Olaf L. Müller

Goethes fünfte Tafel

Einblicke in die Zeichenwerkstatt eines exakten Experimentators

Felix Mühlhölzer gewidmet

I. Ein Verdacht gegen Goethe aus der Physik

Kurz nachdem Goethe im Mai 1810 nach jahrelanger Arbeit seine 1400 Seiten starke ›Farbenlehre‹ herausgebracht hatte, hieß es in der allerersten (anonymen) Rezension, die ein Verriss war:

> Nun drang er [Goethe] tiefer [in die Optik] ein, wiederholte die [newtonischen] Experimente. (Dieses wird dem Autor kein Physiker auf's Wort glauben, und wird zu Begründung seines Unglaubens sich auf die Kupfertafeln berufen.)[1]

Wir wissen nicht, wer diese Sätze geschrieben hat, doch implizit gibt er sich als Physiker zu erkennen. Da die Fächergrenzen seinerzeit verschwommener waren als heute, könnte der Autor auch ein Natur-

1 Anonym, [Rez.:] Zur Farbenlehre von Göthe. Cotta, Tübingen 1810. 2 Bde. 95 Bogen, in: Neue Oberdeutsche allgemeine Literatur-Zeitung, Nr. 132 vom 5. Juli 1810, Sp. 25–32, hier: Sp. 27. – Goethes naturwissenschaftliche Schriften werden nach der Leopoldina-Ausgabe und mit der Sigle *LA* zitiert: Johann Wolfgang von Goethe, Die Schriften zur Naturwissenschaft. Vollständige mit Erläuterungen versehene Ausgabe im Auftrage der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina hrsg. von Dorothea Kuhn, Wolf von Engelhard und Irmgard Müller, Weimar 1947 ff. Die ›Farbenlehre‹ besteht aus dem sog. didaktischen Teil (Entwurf einer Farbenlehre. Des ersten Bandes erster, didaktischer Teil [1808], LA I 4, S. 11–266), dem sog. polemischen Teil (Enthüllung der Theorie Newtons. Des ersten Bandes zweiter, polemischer Teil [1810], LA I 5), dem sog. historischen Teil (Materialien zur Geschichte der Farbenlehre. Des zweiten Bandes erster, historischer Teil [1810], LA I 6, S. VII–450), dem Tafelteil (Erklärung der zu Goethes Farbenlehre gehörigen Tafeln [1810], LA I 7, S. 41–114), einem Vorwort ([1808], LA I 4, S. 3–10) und einer vorab veröffentlichten Zusammenfassung (Anzeige und Übersicht des Goethischen Werkes zur Farbenlehre [1810], LA I 7, S. 1–17).

© 2017 Olaf L. Müller, Publikation: Wallstein Verlag
DOI https://doi.org/10.46500/83533105-002 | CC BY-NC-SA 4.0

wissenschaftler gewesen sein, der in mehreren Disziplinen zuhause war; jedenfalls kannte er sich in physikalischen Fragen aus – und behauptete, dass dies bei Goethe nicht der Fall war. Der hatte in seiner ›Farbenlehre‹ eine scharfe Kritik an Newtons Theorie vom Licht und den Farben formuliert, also an einer physikalischen Theorie, die ein ganzes Jahrhundert hindurch so gut wie unangefochten im Sattel saß und in ihren Grundzügen bis heute unser Denken über das Licht prägt.[2]

Der Rezensent hatte sich offenbar von der ›Farbenlehre‹ provozieren lassen. Er warf Goethe vor, er sei nicht einmal imstande gewesen, Newtons Experimente zu wiederholen, d. h. im Jargon heutiger Fachsprache: zu replizieren. Schon damals war Replikation der Goldstandard empirischer Forschung. Wer Experimente beschreibt, die sich von anderen Wissenschaftlern nicht replizieren lassen, riskiert sein Renommee. Und umgekehrt: Wer die Experimente eines renommierten Wissenschaftlers nicht zu replizieren weiß, hat offenbar keine gültige Eintrittskarte in diejenige Disziplin, um die es geht.[3] Das ist einer der Gründe dafür, dass junge Wissenschaftler es noch heute lieber nicht publik machen, wenn sie darin gescheitert sind, die Experimente ihrer arrivierten Kollegen zu replizieren.

2 A letter of Mr. Isaac Newton, professor of the mathematicks in the university of Cambridge; containing his new theory about light and colors, in: Philosophical Transactions 6 (1671/72), No. 80, S. 3075–3087 (wieder in: Isaac Newton's papers and letters on natural philosophy and related documents, ed. by I. Bernard Cohen, Cambridge, Mass. 1958, S. 47–59; zitiert wird nach der Originalpaginierung); Isaac Newton, Optics: or, a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light (1704), in: ders., Opera quae exstant omnia, ed. Samuel Horsley, t. 4 (1782), Nachdruck Stuttgart 1964, S. 1–264, Lib. I. Zur heutigen Sicht der Physik siehe z. B. Heinz Niedrig (Hrsg.), Optik. Wellen- und Teilchenoptik, überarbeitete Ausgabe ([1]1955), Berlin 2004 (= Bergmann-Schaefer. Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 3), S. 203–220.

3 Newton war in dieser Hinsicht besonders empfindlich. In der Auseinandersetzung mit seinen Gegnern zeigte er sich voller Wut über die Ungenauigkeit, mit der sie beim Nachvollzug seiner Experimente vorgingen, und äußerte sich so, als wolle er sie wegen ihrer Unfähigkeit aus dem wissenschaftlichen Diskurs ausschließen (z. B. Mr. Isaac Newton's considerations on the former reply; together with further directions, how to make the experiments controverted aright, in: Philosophical Transactions 10 [1675/76], No. 121, S. 500–504, hier: S. 500; Brief an Heinrich Oldenburg für Anthony Lucas vom 28. November 1676, in: The correspondence of Isaac Newton, vol. II: 1676–1687, ed. by Herbert Westren Turnbull, Cambridge 1960, S. 184 f.).

Der anonyme Rezensent hat nicht genau ausgeführt, bei welchen optischen Experimenten Goethe seiner Ansicht nach mit der Replikation gescheitert war. Aber er gab einen Hinweis: Durch Konsultation der Kupfertafeln lasse sich Goethes Scheitern dingfest machen. Diese zum großen Teil kolorierten Tafeln hatte Goethe in einem separaten Quartheft herausgebracht,[4] also doppelt so groß wie die beiden Textbände, die im Oktavformat erschienen. Goethe hat sich viel Mühe mit den Tafeln gegeben: Die Reinzeichnungen stammen von ihm selbst; gestochen wurden die Tafeln von Christian Müller, einem Lehrer an der Weimarischen Zeichenschule; und die Kolorierung vertraute Goethe dem Weimarer Baumeister Karl Friedrich Christian Steiner an.[5] Zuletzt fügte Goethe jeder Tafel einen ausführlichen Kommentar bei, und so kann man sagen, dass dies Quartheft mit den Farbtafeln einen guten Überblick über wichtige Thesen und Ergebnisse seiner ›Farbenlehre‹ bietet.[6] Insgesamt finden sich dort siebzehn Tafeln, die römisch durchnumeriert sind. Im kommenden Abschnitt möchte ich begründen, warum sich der Vorwurf des anonymen Rezensenten am besten anhand von Goethes Tafel V überprüfen lässt.

4 Johann Wolfgang von Goethe, Sechszehn Tafeln neben der Erklärung zu Goethe's Farbenlehre, Tübingen 1812. Alle nachfolgenden Abbildungen von Goethes Tafeln stammen aus einem Exemplar der Universitätsbibliothek der Humboldt-Universität zu Berlin (Signatur: Historische Sammlungen: 2942:tafe: 'a':F8). – Goethes Tafeln sind oft gedruckt und wiederabgedruckt worden. Eine Liste der Erscheinungsorte und Originalfundstellen (bis zur Weimarer Ausgabe 1894) bietet Rupprecht Matthaei in LA II 4, S. 348 f. Eine andere Liste bietet das Goethe-Handbuch, Supplemente, Bd. 2: Naturwissenschaften, hrsg. von Manfred Wenzel, Stuttgart und Weimar 2012, S. 740. Wegen fehlender Orts- und Jahreszahlen ist es nicht immer einfach festzustellen, welchen Druck man vor sich hat.

5 Siehe (ohne Belege) Jürgen Teller in: Johann Wolfgang von Goethe, Die Tafeln zur Farbenlehre und deren Erklärungen (1810), hrsg. von J. Teller, Frankfurt am Main und Leipzig 1994 (= Insel-Bücherei 1140), S. 94. Allein für die Herstellung der Kupferplatten wandte Goethe 25 Taler auf (vgl. Manfred Wenzel in: Die Entstehung von Goethes Werken in Dokumenten, hrsg. von Katharina Mommsen, Bd. 4: Entstehen – Farbenlehre, Berlin und New York 2008, S. 158; dort auch weitere Details und Belege zur Entstehung der Tafeln).

6 Daher lässt es sich gut nachvollziehen, warum die traditionsreiche Insel-Bücherei den Tafelband als eigenständiges Werk herausgebracht hat (siehe die vorige Anm.). Obwohl die Tafeln dort deutlich zu klein wiedergegeben sind (nur zwei Drittel der Originalgröße), erfreuen sie sich großer Beliebtheit; das liegt sicher auch am starken ästhetischen Reiz, den sie ausüben.

II. Was und wozu taugen Goethes Tafeln?

Einige der Tafeln dienen nicht der Repräsentation von Versuch*sergebnissen*, sondern als Vorlage für optische Versuche, sozusagen als Teil der *Anfangs*bedingungen. Hierzu schrieb Goethe:

> 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.[7]

Ein Beispiel dafür ist Tafel IIa (Abb. 1). Auf ihr finden sich verschiedene Schwarz/Weiß-Figuren, die man durch das Prisma betrachten soll, um verschiedene bunte Spektren zu sehen. Solche Tafeln werden von der anonymen Kritik nicht berührt, da sie keine (gescheiterten oder gelungenen) Replikationsversuche repräsentieren.

Auf anderen Tafeln sieht man diejenigen Versuchsergebnisse, mit denen Goethe spektralfarbiges Neuland betrat und die ihm am wichtigsten waren. Da der anonyme Rezensent jedoch deutlich genug herausstrich, dass Goethe schon bei der Wiederholung *bekannter* Experimente gescheitert war, kann er sich damit nicht auf Tafeln bezogen haben, in denen Goethe neue Ergebnisse präsentierte. Tafel VI beispielsweise kommt daher für die anonyme Kritik ebenfalls nicht in Betracht (Abb. 2). Weil sie Goethes zentrale Kritik an Newtons ›Opticks‹ besonders sinnfällig vor Augen führt, verdient sie eine eigene Behandlung, die ich zu einem anderen Zeitpunkt nachholen werde.[8]

Tafel V (Abb. 3) hingegen ist demjenigen Experiment gewidmet, mit dem Newton berühmt geworden war und das in vereinfachter Form noch heute im Unterricht durchgenommen wird.[9] Es handelt sich bei diesem Experiment um eine Ikone neuzeitlicher Wissenschaft: Newton schickte das Sonnenlicht durch eine enge Blende in sein dunkles Zimmer und stellte dem Licht ein Glas- oder Wasserprisma in den Weg, das die

7 Vorwort, LA I 4, S. 9 f.

8 Den in ihr aufscheinenden Grundgedanken der Kritik Goethes an Newton habe ich woanders ausführlich dargestellt und verteidigt, siehe Olaf L. Müller, Mehr Licht. Goethe mit Newton im Streit um die Farben, Frankfurt am Main 2015, Teil II. Für vorläufige Betrachtungen zur Tafel VI siehe dort §§ II.2.2, II.2.10, III.3.11–13.

9 Siehe z. B. Friedrich Dorn und Franz Bader (Hrsg.), Physik Mittelstufe, Hannover 1974, S. 268 f. sowie Niedrig, Optik. Wellen- und Teilchenoptik (Anm. 2), S. 203 f. und passim.

Strahlen brach (d. h. vom Weg ablenkte), und zwar je nach Farbe unterschiedlich stark, sie daher in ihre farbspektralen Bestandteile zerlegte und schließlich auf der gegenüberliegenden Wand farbig abbildete.

Newton hatte dies Experiment auf einer Skizze in seinem Notizbuch festgehalten (Abb. 4), und Goethes Tafel zeigt die fraglichen Verhältnisse erneut, allerdings nicht wie bei Newton schwarz/weiß, sondern farbig. Vergleichen wir die beiden Bilder etwas genauer.

III. Vergleich

Goethes Tafel ist anders orientiert als Newtons Skizze; es sieht so aus, als fiele das Sonnenlicht durch eine Dachluke in Goethes Dunkelkammer, nicht durch das vertikale Fenster wie bei Newton. In diesem Fall müsste die Dunkelkammer sehr hoch sein (etwa in einem Treppenhaus), denn beide Autoren fingen ihre Spektren auch immer wieder in großen Abständen vom Prisma auf – Newton sprach z. B. zuweilen von 22 Fuß, das sind fast sieben Meter.[10]

Nun wissen wir, dass Goethe die optischen Experimente nicht in so einem hohen Raum durchführte, sondern in seinem Arbeitszimmer am Frauenplan in Weimar.[11] Dort kann man noch heute Goethes Loch im Fensterladen besichtigen (Abb. 5). Das Arbeitszimmer ist weit unter drei Meter hoch, und das Fensterladenloch liegt 144 cm über dem Fußboden. Wie man sieht, hatte Goethe hier nach unten nicht genug Platz für die Entfaltung der Spektren. Die Ausrichtung der Tafel gibt also die tatsächlichen Verhältnisse nicht richtig wieder. Vielmehr dürfte sie auf die auch damals im Druckgewerbe vorherrschenden Hochformate zurückgehen. Folgerichtig schrieb Goethe: »Die größere Figur, welche zu betrachten man das Blatt die Quere nehmen wird […].«[12]

10 A letter of Mr. Isaac Newton […] containing his new theory about light and colors (Anm. 2), S. 3077. Zur Umrechnung: Ein Fuß umfasste zwölf Zoll und ein Zoll betrug 2,54 cm (Müller, Mehr Licht [Anm. 8], § I.2.4).

11 Weitere Orte nennen Kerrin Klinger und Matthias Müller, Goethe und die Camera obscura, in: Goethe-Jahrbuch 125 (2008), S. 219–238, hier: S. 232–237. Details zu Goethes Dunkelkammer im Haus am Frauenplan erörtere ich in: Olaf L. Müller, Optische Experimente in Goethes Arbeitszimmer. Mutmaßungen über die apparative Ausstattung und deren räumliche Anordnung, in: Goethe-Jahrbuch 133 (2016), S. 111–125.

12 Erklärung der zu Goethes Farbenlehre gehörigen Tafeln, LA I 7, S. 64.



Abb. 1. Goethes Tafel IIa.

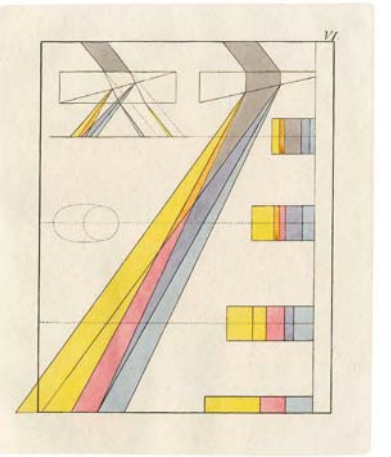


Abb. 2. Goethes Tafel VI.

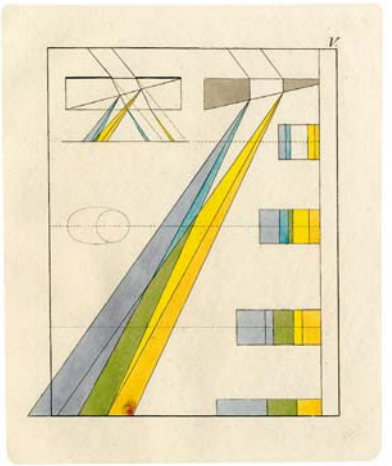


Abb. 3. Goethes Tafel V.

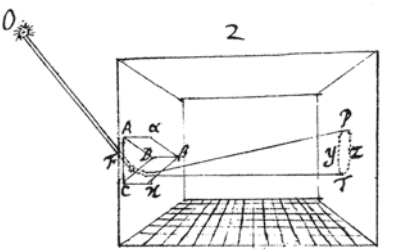


Abb. 4. Ausschnitt aus: Isaac Newton, Lectiones Opticae, MS Add. 4002 (Bearbeitung: Olaf L. Müller nach einem Faksimile aus Johannes A. Lohne / Bernhard Sticker, Newtons Theorie der Prismenfarben, München 1969, Tafel II, nach S. 32, Fig. 4).

Wenn wir die Tafel im Uhrzeigersinn um 90° drehen, so scheint die Sonne von rechts in die Kammer (Abb. 6). In den Werken der europäischen Malerei wird nun aber der Lichteinfall überwiegend von links dargestellt; vielleicht deshalb hat es sich in neuerer Zeit eingebürgert, auch bei wissenschaftlichen Illustrationen die Sonne (oder andere Lichtquellen) von links scheinen zu lassen. Das ist freilich nur eine Konvention, die vielleicht auf unserer Schreibrichtung beruht.[13] Entweder galt diese Konvention zu Goethes Zeit noch nicht – oder Goethe hat sie auf dieser Tafel absichtlich ignoriert.[14] Wie dem auch sei, ich habe mich entschlossen, der Konvention zu folgen. Daher habe ich Goethes Tafel an einer vertikalen Mittelachse gespiegelt (Abb. 7). In dieser Ausrichtung passt das Ergebnis gut zu Newtons Skizze; so gewappnet können wir den Vergleich der beiden Bilder unter erleichterten Bedingungen fortsetzen.

Auf Newtons Skizze (Abb. 4) sieht man die Sonne als Lichtquelle, die bei Goethe fehlt, im begleitenden Text aber ausdrücklich erwähnt wird.[15] Beide Abbildungen tun so, als käme das Sonnenlicht parallel von der Sonne zum Prisma; das ist nicht ganz richtig, bietet aber keinen Grund zur Kritik, da sowohl Newton als auch Goethe anderswo oft genug dokumentiert haben, dass sie das wussten.[16] Sie haben ihre Abbildungen der Einfachheit halber mit parallelem Lichteinfall ausgestattet, weil es ihnen dort auf etwas anderes ankam: nicht auf die Ausgangsbedingungen des Versuchs, sondern auf seine Ergebnisse.

Newtons Skizze stellt *ein einziges* Versuchsergebnis dar: Nach doppelter Brechung im Prisma (an dessen beiden Grenzflächen) werden die Lichtstrahlen vertikal auseinandergezogen, und zwar so, dass auf der

13 Den Hinweis auf die Konvention verdanke ich dem Physiker Martin Dressler; heutzutage wird sie in so gut wie allen Lehrbüchern befolgt (z. B. Dorn/Bader, Physik Mittelstufe [Anm. 9], S. 268 sowie Niedrig, Optik. Wellen- und Teilchenoptik [Anm. 2], S. 203–208 und passim). Newtons frühe Skizze aus Abb. 4 passt zu der Konvention, anders als alle Tafeln in den ›Opticks‹ aus dem Jahr 1704, auf denen die Sonne vorkommt (siehe z. B. Newton, Optics [Anm. 2], Lib. I, Tab. III, Par. I, Fig. 13).

14 Auf Frühfassungen der Tafel ließ er die Sonne von links in das Bild scheinen; Corpus der Goethezeichnungen, Bd. Va: Die Zeichnungen zur Farbenlehre, hrsg. von Rupprecht Matthaei, Leipzig 1963, S. 99, Nr. 366.

15 Erklärung der zu Goethes Farbenlehre gehörigen Tafeln, LA I 7, S. 63.

16 Siehe z. B. Newton, Optics (Anm. 2), Lib. I, Tab. III, Par. I, Fig. 13. Dass Goethe das auch verstanden hatte, ergibt sich aus: Entwurf einer Farbenlehre, LA I 4, §§ 309–311; Warte-Steine (1822), LA I 8, S. 271–279, hier: S. 272.



Abb. 5 a–b. Goethes Fensterladenloch von außen und innen (Fotos: Olaf L. Müller).

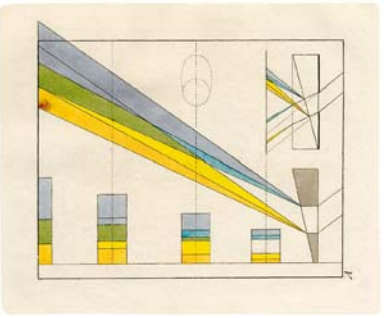


Abb. 6. Goethes Tafel V, gedreht (Bearbeitung: Sarah Schalk).

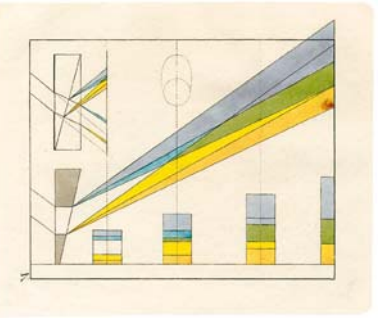


Abb. 7. Goethes Tafel V, gedreht und gespiegelt (Bearbeitung: Sarah Schalk). Vgl. Abb. 35.

gegenüberliegenden Wand ein längliches Spektrum PT erscheint – ca. fünfmal so hoch wie breit. Die bunten Farben dieses Vollspektrums beschrieb Newton im Begleittext, ohne sie abzubilden: Oben ist das Spektrum violett oder dunkelblau gefärbt, darunter türkis, dann grün und gelb, ganz unten rot.[17] Newtons Erklärung dafür ist die Theorie von der Heterogenität des weißen Sonnenlichts: Entgegen dem Anschein besteht das Sonnenlicht aus einer Vielzahl verschiedenfarbiger Lichtsorten, die sowohl eine eigene Farbe haben als auch eine eigene Refrangibilität, d.h. ein eigenes Ausmaß dafür, wie weit das fragliche Licht beim Weg durch das Prisma gebrochen (refrangiert) wird.

Anders als Newtons *farblose* Abbildung *eines* Versuchsergebnisses stellt Goethes Tafel (Abb. 7) eine ganze Versuchs*reihe* dar, und zwar *farbig*. Die kleinen Kästchen unten im Bild heben vier verschiedene Versuchsergebnisse heraus: ganz links das, was ich Kantenspektrenpaar nenne (Violett/Türkis/*Weiß*/Gelb/Rot), dann weiter rechts ein newtonisches Vollspektrum (Violett/Türkis/*Grün*/Gelb/Rot) und schließlich noch zwei farbärmere Spektren – das Schwundspektrum (Violett/Grün/Gelb/Rot, ohne Türkis) sowie das Endspektrum (Violett/Grün/Rot, ohne Gelb). Mit Ausnahme der Rede von Kantenspektren ist diese Terminologie bislang nicht verbreitet – auch deshalb, weil sich Goethes Darstellung der verschiedenen Spektren nicht durchgesetzt hat. Dafür wiederum gibt es einen einfachen Grund: Abgesehen von Newtons Spektrum kommen die genannten Spektren weder im Physik-Unterricht an den Schulen noch in Lehrbüchern der Physik für die Universität vor. Man wird fragen: Gibt es die von Goethe gezeigten Spektren überhaupt? Das möchte ich mit meinen Überlegungen klären.

17 Vgl. The unpublished first version of Isaac Newton's Cambridge lectures on optics 1670–1672, ed. by Derek Thomas Whiteside, Cambridge 1973, S. 3, 22. In dieser ältesten Schrift, aus der die Skizze stammt, erwähnte Newton genau fünf Farben. Schon wenige Jahre später redete er von sieben Farben mit unendlich vielen Zwischentönen (A letter of Mr. Isaac Newton […] containing his new theory about light and colors [Anm. 2], S. 3082). In den ›Opticks‹ beschrieb er zunächst fünf Farben (Newton, Optics [Anm. 2], S. 24), um dann im Farbenkreis sieben Farben zu unterscheiden (ebd., S. 97 und Lib. I, Tab. III, Par. II, Fig. 11). Weil man im tatsächlichen Experiment recht deutlich fünf Farben auseinanderhalten kann (mit unwesentlichen Zwischentönen an deren leicht unscharfen Grenzen), bleibe ich bei Newtons ursprünglicher Zählweise, die übrigens gut zu derjenigen Goethes passt.

IV. Kleinere empirische Ungereimtheiten in Goethes Tafel

Wie ich nun kurz vorführen möchte, stellt Goethes Tafel einige der Ergebnisse des Experiments nicht ganz korrekt dar – was aber nicht weiter ins Gewicht fällt, weil diese Unstimmigkeiten nur mit unwichtigen Nebenpunkten zu tun haben.

Erstens zeigen sich im wirklichen Experiment zarte Farberscheinungen bereits im brechenden Prisma, gleich nach dem Eintritt des Lichts.[18] Das wusste Goethe; er ließ es weg, um die Abbildung nicht mit Unwesentlichem zu überfrachten.[19]

Zweitens ist es hinter Newtons Prisma in Wirklichkeit dunkel; die Spektralfarben erfüllen nicht den Raum der *camera obscura*. Nur wo die Lichtstrahlen auf geeignete Materie treffen, werden sie sichtbar. Diese Abweichung von der empirischen Realität spricht einerseits deshalb nicht gegen Goethes Tafel, weil die erforderliche Materie recht einfach in die Dunkelkammer gebracht werden kann:

> so läßt sich auch das Phänomen auf seinem ganzen Wege zum schönsten folgendermaßen sichtbar machen. Man errege nämlich in der Linie, in welcher das Bild durch den dunklen Raum geht, eine weiße feine Staubwolke, welche durch feinen recht trocknen Haarpuder am besten hervorgebracht wird. Die mehr oder weniger gefärbte Erscheinung wird nun durch die weißen Atomen aufgefangen und dem Auge in ihrer ganzen Breite und Länge dargestellt.[20]

18 So lautete eine oft vorgebrachte Kritik an den Tafeln; siehe Christoph Heinrich Pfaff, Über Newton's Farbentheorie, Herrn von Goethe's Farbenlehre und den chemischen Gegensatz der Farben. Ein Versuch in der experimentalen Optik, Leipzig 1813, S. 41–43 (§§ 60–62). Zustimmung zu dieser Kritik findet sich sowohl bei Zehe in LA II 5A, S. 223 f., als auch bei [Carl Brandan Mollweide,] [Rez.:] Über Newton's Farbentheorie, Herrn von Göthe's Farbenlehre und den chemischen Gegensatz der Farben. Ein Versuch in der experimentalen Optik, von Dr. C. H. Pfaff, ordentl. Prof. der Physik und Chemie der Universität zu Kiel und Mitglied des Schleswig-Holsteinischen Sanitäts-Collegiums. Leipzig 1815. bey Fr. Chr. Wilh. Vogel. XII. und 180 S. in 8. Nebst einer Kupfertafel, in: Leipziger Literatur-Zeitung, Nr. 185 vom 1. August 1815, Sp. 1473–1480 (zur Zuschreibung vgl. Horst Zehe in LA II 5A, S. 107), hier: Sp. 1476.

19 Brief an Leopold von Henning vom 16. Mai 1822; LA II 5B,2, S. 1011.

20 Entwurf einer Farbenlehre, LA I 4, § 326.

Heutzutage würde man keinen Haarpuder verwenden, sondern künstlichen Nebel (wie in Discotheken) – so haben es jedenfalls Künstler wie Olafur Eliasson oder Ulrich Bachmann vorgemacht und dabei ähnliche raumfüllende Farbeffekte erzeugt wie diejenigen, die Goethe im Zitat beschrieb und auf der Tafel darstellte.[21]

Andererseits bietet die Tafel auch ohne Versuchsänderung mittels raumfüllender feiner Materiepartikel alles, was man von einer guten Repräsentation experimenteller Ergebnisse erwarten möchte. Sie repräsentiert dann synchron eine diachrone *Serie* von Versuchen, die mit einem beweglichen Auffangschirm durchzuführen sind. Goethe schreibt, dass

> man das aus dem Prisma heraustretende leuchtende Bild und seine wachsende Farbenerscheinung *auf einer entgegengehaltenen Tafel stufenweise beobachten*, und sich Durchschnitte von diesem Konus mit elliptischer Base vor Augen stellen kann.[22]

Man schiebt also den Schirm im Lichtkegel hin und her, um in jeder erdenklichen Schirmposition das jeweils entstehende Spektrum aufzufangen. Einige dieser Spektren hat Goethe unten in der Tafel exempla-

21 Florian Bachmann und Marcus Pericin, In Farbe und Licht eintauchen, in: 4 bis 8. Fachzeitschrift für Kindergarten und Unterstufe, Nr. 5 (2014), S. 12 f.; Anonym, Reise ins Licht. Olafur Eliasson in Berlin, in: ArtMag 60, April 2010 (db-artmag.de/de/60/news/olafur-eliasson-in-berlin; 13. Juli 2017). Mehr zu beidem in: Olaf Müller, Spaziergang aus dem Blauen ins Purpur. Kleine Betrachtung über Goethe und Lichtkunst im Nebel, in: Orte der Farben, hrsg. von Franziska Kramer, Anja Neuefeind, Thomas Schmitz, Uwe Schröder, i. E. – Pehr Sällström hat eine andere, raffinierte Technik eingesetzt, um die Wege bunter Strahlen in der Dunkelkammer sichtbar werden zu lassen, und zwar mithilfe eines fast parallel zum Kammerboden liegenden, leicht gekippt eingebauten weißen Auffangschirms, der die dreidimensionalen Lichtkörper in der gewünschten Darstellungsebene schneidet; Pehr Sällström, Monochromatische Schattenstrahlen. Ein Film über Experimente zur Rehabilitierung der Dunkelheit, Stuttgart 2010 (DVD).

22 Entwurf einer Farbenlehre, LA I 4, § 326 (meine Kursivierung). Wie man sieht, geht Goethe hier kenntnisreich mit geometrischen Fachwörtern um; das gilt auch für den nur auf ersten Blick befremdlichen Einsatz des Ausdrucks ›Parallelepipedon‹ für den Quader in der Ecke unserer Tafel (Erklärung der zu Goethes Farbenlehre gehörigen Tafeln, LA I 7, S. 63; Details dazu in: Olaf Müller, Parallelepipedon. Goethe als Verfechter oder Verächter der Messkunst?, erscheint in einer Publikation der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften aus Anlass des siebzigjährigen Bestehens des Goethe-Wörterbuchs).

risch eingeblendet (wobei er anstelle des vertikalen Längsschnitts einen vertikalen Querschnitt zeigt, also senkrecht zu den Verhältnissen, die überall sonst in der Tafel zu sehen sind). Es liegt auf der Hand, dass Goethe aus Platzgründen nur eine kleine Auswahl dieser Versuchsergebnisse in Form *zwei*dimensionaler Kästchen einbauen konnte.[23] Um dem abzuhelfen, folgt die Darstellung über diesen Kästchen einer anderen Darstellungsregel: Die jeweils an Ort und Stelle aufgefangenen Spektren werden nur in *einer* Dimension (im vertikalen Querschnitt) gezeigt. In der horizontalen Dimension sieht man keine vollen Versuchsergebnisse; stattdessen sieht man vertikal stilisierte – eindimensionale – Versuchsergebnisse für variable Abstände zwischen Prisma und Schirm.

Die gesamte Graphik bietet ein Funktionsdiagramm mit zwei Achsen – für einerseits den freien Parameter des Abstandes zwischen Prisma und Schirm (auf der x-Achse) und andererseits die davon funktional abhängigen Parameter (auf der y-Achse). Zwar fehlen die Zahlenwerte an den cartesischen Koordinaten; doch wird in Abhängigkeit von x sogar die farbige Zusammensetzung am jeweiligen y-Ort dargestellt. In der y-Richtung finden wir also eine ganze Reihe von Informationen: erstens Ort und Gesamthöhe des jeweiligen Spektrums, zweitens die Farben, aus denen das Spektrum besteht, und drittens die Größen der insgesamt bis zu fünf verschiedenen Farbfelder. Newtons Skizze (Abb. 4) ist in dieser Hinsicht weniger raffiniert und weniger abstrakt; stattdessen bildet sie die Dunkelkammer in realistischer Zentralperspektive ab (mit allem, was dazugehört, einschließlich eines korrekten Fluchtpunkts). Goethes Tafel zeigt dagegen einen vertikalen Längsschnitt. Anders als Newtons Illustration qualitativer Verhältnisse sieht Goethes Tafel so aus, als beanspruche sie eine exakte *quantitative* Repräsentation der Versuchsergebnisse zu sein, die sich mit Lineal ausmessen und dann nach festem Maßstab in tatsächliche Zahlenangaben umrechnen lassen. Darauf möchte ich nun ausführlich zu sprechen kommen. Und zwar möchte ich folgender Goethe-Kritik des französischen Physikers Malus

23 Ebenfalls aus Platzgründen dürfte Goethe davon abgesehen haben, die Breite der eingeblendeten Kästchen von links nach rechts anwachsen zu lassen; die so dargestellten Spektren vergrößern sich (grob gesagt) proportional mit dem Abstand vom Prisma.

entgegentreten, die im Jahr 1814 anonym erschien und ein Jahr darauf in deutscher Übersetzung herauskam:

> Man sieht, daß der Verfasser die Versuche gekannt und sie wiederholt hat; sieht aber auch zugleich, *daß keine einzige Erscheinung von ihm gemessen worden ist*, und daher rührt das Unbestimmte, welches in seiner Theorie herrscht.[24]

Diese polemische Behauptung ist oft wiederholt worden, etwa vom Nobelpreisträger Heisenberg: »Umgekehrt kann der Physiker der Goetheschen Farbenlehre zum Vorwurf machen, daß sie sich nicht zu einer *exakten* Wissenschaft ausbauen lasse.«[25]

Solche Aussagen sind Teil eines umfassenden Vorurteils gegenüber Goethes Farbenforschung, dem zufolge er eine qualitative statt quantitative, phänomenorientierte statt theoretische, weiche statt harte Naturwissenschaft anstrebte oder betrieb.[26] Um die zitierten Sätze von Malus ein für allemal zu entkräften, genügt es zu zeigen, dass Goethe in mindestens einer experimentellen Serie sehr genau nachgemessen hat. Er tat es zum Beispiel für die Tafel, die ich hier bespreche. Ob er auch

24 [Étienne Louis Malus,] Bericht eines französischen Physikers über Herrn von Göthe's Werk: Zur Farbenlehre, 2 Bde. Tübingen 1810, in: Annalen der Physik 40 (1812), Nr. 1, S. 103–115, hier: S. 111 (meine Hervorhebung).

25 Werner Heisenberg, Die Goethesche und Newtonsche Farbenlehre im Lichte der modernen Physik (Vortrag vom 5. Mai 1941), in: ders., Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft, Stuttgart 1949, S. 54–70, hier: S. 57 (meine Hervorhebung).

26 Für das Vorurteil siehe Friedrich Klemm, Ernst Gottfried Fischer und Goethe. Ein Beitrag zu Goethes Farbenlehre, Schweidnitz 1930 (= Schriftenreihe der Optischen Rundschau 7), S. 3; Gottfried Benn, Goethe und die Naturwissenschaften (1932), Zürich 1949, S. 41–43, 51 f. und passim; Karl Jaspers, Unsere Zukunft und Goethe (1947), Bremen 1949, S. 16 f.; Rike Wankmüller, Nachwort zur Farbenlehre, in: Goethes Werke. Hamburger Ausgabe. Bd. 13: Naturwissenschaftliche Schriften I, hrsg. von Dorothea Kuhn und Rike Wankmüller, München 1998 ([1]1955), S. 613–640, hier: S. 614 (Anm. 3), 625 f., 629; Adolf Muschg, Erfahrene Hoffnung – ein Vorwort, in: ders., Goethe als Emigrant. Auf der Suche nach dem Grünen bei einem alten Dichter (1986), Frankfurt am Main und Leipzig 1996, S. 7–24, hier: S. 13–16; ders., »Im Wasser Flamme« – Goethes grüne Wissenschaft, ebd., S. 48–72, hier: S. 52–56, 66–68; Hermann von Helmholtz, Über Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten (Vortrag aus dem Jahr 1853; mit einer Nachschrift von 1875), in: ders., Vorträge und Reden, erweiterte Ausgabe, Bd. 1, Braunschweig 1903, S. 23–47, hier: S. 34–36, 40–42, 44 f.

bei anderen Serien von Experimenten nachgemessen hat, kann ich offenlassen; ich will nur einen *Existenz*-Nachweis führen – ein einziges Beispiel reicht.

V. Mit zweierlei Maß gemessen

Welchem Maßstab folgt Goethes Tafel? Bevor ich diese Frage beantworten kann, muss ich einige Probleme aus dem Weg räumen. Wie wir aus Experimenten und Computersimulationen wissen, zeigt sich unmittelbar hinter dem Prisma kein volles newtonisches Spektrum mit grüner Mitte (Abb. 8). Laut Newtons Theorie lässt sich das bestens verstehen.[27] Wenn wir den Schirm zu nah ans Prisma rücken, können sich die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen noch nicht weit genug auseinanderbewegen, um all ihre Farben tatsächlich zu zeigen; in der Mitte auf dem Schirm überlagern sich demzufolge noch alle Spektralfarben und zeigen deren Mischungsergebnis: Weiß (Abb. 9). Nur an den Rändern des Bildes entstehen die ersten Farben (und zwar oben die kühlen Farben Violett und Türkis, denen besonders hohe Refrangibilität zukommt; unten die warmen Farben Gelb und Rot von besonders geringer Refrangibilität). Erst wenn wir den Schirm weit genug zurückschieben, entrinnen die mittelstark refrangiblen – grünen – Lichtstrahlen den Territorien der stärker bzw. schwächer refrangiblen Strahlen und werden sichtbar. Alle diese Verhältnisse gibt Goethes Tafel qualitativ korrekt wieder. Stimmt die Tafel aber auch quantitativ?

Nicht auf den ersten Blick. Denn bei einer Blendengröße von mindestens 0,8 cm (wie Goethe sie in solchen Experimenten typischerweise verwendet hat) muss man mindestens einen Meter zurückgehen, um ein Vollspektrum mit grüner Mitte aufzufangen, wie ein Vergleich der Abb. 10 mit Abb. 11 zeigt; in der ersten dieser beiden Abbildungen haben wir einen Abstand von 50 cm vorausgesetzt, in der zweiten doppelt soviel.[28] Nun gleicht laut Tafel V die senkrechte Kantenlänge des Pris-

27 Siehe Newton, Optics (Anm. 2), S. 102 f.

28 Ein Meter ist für die erforderliche Entfernung insofern eine vorsichtige Schätzung, als Goethe oft mit wesentlich größeren Blenden experimentierte. Je größer die Blendenöffnung, desto weiter muss man den Schirm zurückschieben, um Newtons grüne Mitte zu bekommen. Newton nutzte zuweilen kleinere Blenden,



Abb. 8. Spektrum bei 10 cm Abstand (für Details zu den Simulationen siehe Tabelle, S. 74).

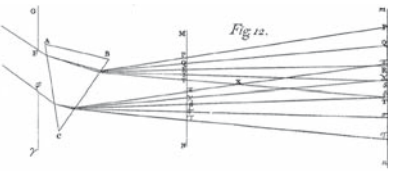


Abb. 9. Newton erklärt das Weiß links vom Punkt x (Bearbeitung: Matthias Herder nach einem Faksimile aus Newton, Optics [Anm. 2], Lib. I, Tab. III, Par. II, o. S., Fig. 12).





Abb. 10 und Abb. 11. Spektra bei 50 cm bzw. 1 m Abstand.

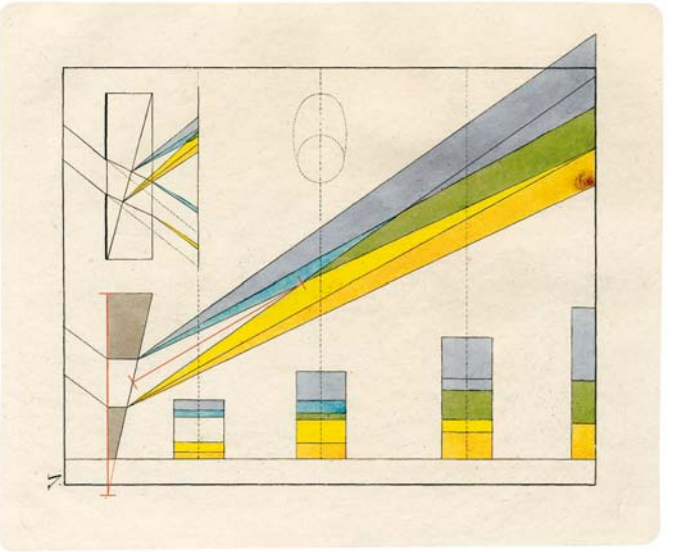


Abb. 12. Goethes Tafel V, rot eingezeichneter Längenvergleich (Bearbeitung: Sarah Schalk).



Abb. 13. Goethes Wasserprisma, links und rechts mit gleichseitig dreieckiger Gundfläche (Foto: Goethe-Nationalmuseum Weimar, Klassik Stiftung Weimar, Bestand Museen, Inv. Nr. GNF 0089).

mas dem Abstand, in dem das Vollspektrum mit grüner Mitte aufscheint (Abb. 12). Das würde aber bedeuten, dass auch diese Kantenlänge des Prismas einen Meter betragen haben müsste. Und so große Prismen gab es seinerzeit nicht; jedenfalls hatte Goethe keine Prismen dieser Größe.

Rechnen wir also mit dem größten Prisma weiter, über das Goethe verfügte und das sich noch heute in Weimar besichtigen lässt. Es handelt sich um ein Wasserprisma, dessen Kantenlänge 25 cm beträgt (Abb. 13). Wenn wir mithilfe dieser Kantenlänge den Maßstab der gesamten Tafel bestimmen, würde das (wieder wegen gleicher Abstände in der Tafel) bedeuten, dass das Vollspektrum (mit der grünen Mitte) 25 cm entfernt vom Prisma aufgefangen werden kann. Und das ist empirisch falsch (Abb. 14).

Diese Schwierigkeit lässt sich so auflösen: Wir setzen nicht länger voraus, dass die Tafel in beiden Richtungen einem *einheitlichen* Maßstab unterworfen ist. Vielmehr folgt sie in ihren horizontalen Abmessungen einem gut viermal gröberen Maßstab als vertikal; denn wenn *im Experiment* die – horizontale – Entfernung zwischen Prisma und Newtons Vollspektrum viermal größer ist als die – vertikale – Länge des Prismas, wenn aber *auf der Tafel* beide Längen gleich groß dargestellt sind, dann ist die Tafel horizontal um den Faktor Vier gestaucht. Der zweifache Maßstab ist klug gewählt. Goethe wollte Versuchsergebnisse zeigen, die bei sehr großen Abständen zwischen Prisma und Auffangschirm entstehen. Hätte er diese Abstände zum Maßstab für die gesamte Tafel genommen, so hätte er die Bilder in vertikaler Richtung

etwa von 0,6 cm (siehe A letter of Mr. Isaac Newton […] containing his new theory about light and colors [Anm. 2], S. 3077), hat aber in den ›Opticks‹ bei demselben Experiment mit einer Blende von 0,8 cm operiert (Newton, Optics [Anm. 2], S. 21; vgl. Horst Zehe in LA II 5A, S. 255). Goethes größte Blende hatte einen Durchmesser von 9,5 cm Höhe bzw. 9,1 cm Breite (Abb. 5). Diese Öffnung dürfte er für die umgekehrten Spektren benutzt haben, wie er sie auf Tafel VI darstellte und für deren Erzeugung das Prisma mit viel Licht, aber wenig Schatten bespielt werden muss (Abb. 2). Für das Experiment unserer Tafel V setzte Goethe Pappschablonen ein, in die er verschiedene Öffnungen geschnitten hatte, siehe z. B. Abb. 15 und Abb. 16. In der ersten dieser Schablonen hat das Loch einen Durchmesser von 1,6 cm, in der zweiten hat das ausgeschnittene Rechteck eine Höhe von 0,8 cm und liegt damit näher an den newtonischen Maßen.



Abb. 14. Spektrum bei 25 cm Abstand.

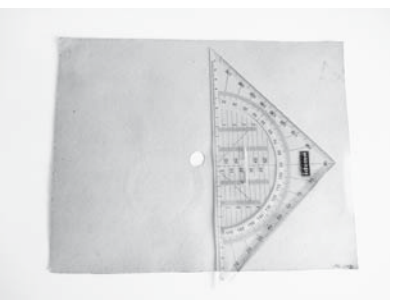


Abb. 15. Goethes Blende von 1,6 cm Durchmesser (siehe Anm. 28) (Foto: Olaf L. Müller; Goethe-Nationalmuseum Weimar, Klassik Stiftung Weimar, Bestand Museen, Inv. Nr. GNF 0218).

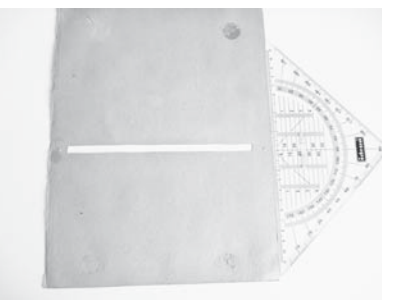


Abb. 16. Rechteckige Blende Goethes von 0,8 cm Höhe (siehe Anm. 28) (Foto: Olaf L. Müller; Goethe-Nationalmuseum Weimar, Klassik Stiftung Weimar, Bestand Museen, Inv. Nr. GNF 0094).

sehr klein machen müssen – und dann wären die Versuchsergebnisse kaum zu erkennen.

Das war gängige Praxis. Auch viele Tafeln Newtons folgen einem doppelten Maßstab.[29] Offenbar war es damals unüblich, die jeweiligen Maßstäbe ausdrücklich anzugeben. Wir müssen sie also aus Indizien erschließen.[30]

VI. Zu spitze Prismen?

Im vorigen Abschnitt habe ich vorgeschlagen anzunehmen, dass der eine Maßstab auf Goethes Tafel ungefähr viermal gröber sein muss als der andere. Um diese Annahme besser abzustützen, möchte ich in einer Art Gegenprobe auf einen weiteren Fehler eingehen, den sich Goethe – bei oberflächlicher Betrachtung – hat zuschulden kommen lassen. Das auf der Tafel gezeigte Prisma ist nämlich extrem spitz; sein brechender Winkel beträgt exakt zehn Grad. Doch mithilfe eines solchen Prismas kann man kein newtonisches Vollspektrum (mit grüner Mitte) erzeugen – ganz gleichgültig, in welcher Entfernung der Auffangschirm steht (Abb. 17).

Nun hatte Goethe keine Prismen mit brechendem Winkel von 10 Grad; jedenfalls sind solche Prismen nicht erhalten.[31] Er besaß einer-

29 Bei Erzeugung seines Spektrums entfernte Newton den Auffangschirm z. B. 18,5 Fuß (also gut 5,60 Meter) vom Prisma (Newton, Optics [Anm. 2], S. 22). Nun gibt seine Tafel zu dem Experiment diesen Abstand zwischen Prisma H und Schirm w viermal so groß wieder wie die Länge des Spektrums PT (ebd., Lib. I, Tab. III, Par. I, Fig. 13). Dann müsste das Spektrum also ca. 170 cm bzw. mehr als vier Fuß lang gewesen sein; es war aber nur 10,25 Zoll lang, also mehr als ein Viertel kürzer, als es die Tafel bei einheitlichem Maßstab mit sich brächte.

30 Hierfür verwende ich eine Schlussmethode, die man in der Wissenschaftsphilosophie als Schluss auf die beste Erklärung oder als Abduktion bezeichnet; *locus classicus* ist Gilbert H. Harman, The inference to the best explanation, in: The Philosophical Review 74 (1965), Nr. 1, S. 88–95. Ich erläutere diese Schlussweise knapp in Müller, Mehr Licht (Anm. 8), § I.4.1.

31 Eigenartigerweise erwähnte Goethe mehrmals ein Prisma von 15° und behauptete, dass sich mit diesem Prisma die ganze Reihe der Phänomene durchspielen lasse (Goethe, Enthüllung der Theorie Newtons, LA I 5, § 101; vgl. Goethe, Entwurf einer Farbenlehre, LA I 4, § 320). Hier liegt möglicherweise ein empirischer Fehler vor. Selbst bei einem großen Abstand von über 2 m kann man aus einem



Abb. 17. Auseinanderstrebende Farbsäume ohne Grün.



Abb. 18. Goethes spitzes Wasserprisma (Foto: Olaf L. Müller; Goethe-Nationalmuseum Weimar, Klassik Stiftung Weimar, Bestand Museen, Inv. Nr. GNF 0245).



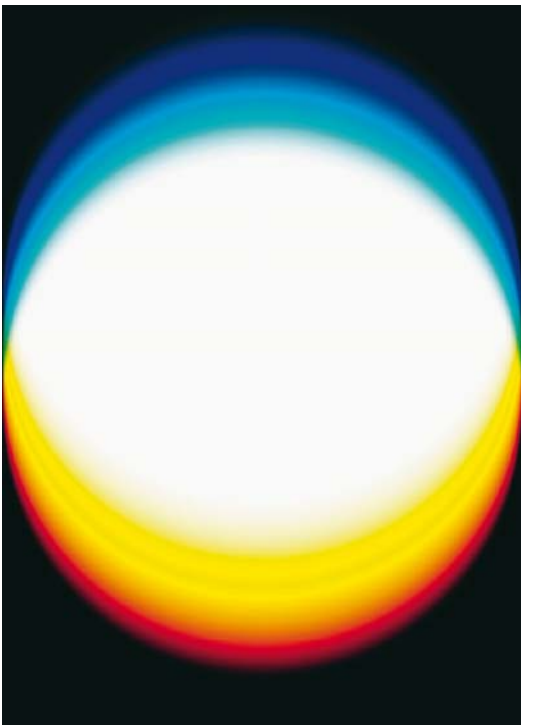


Abb. 19 und Abb. 20. Spektra bei 15° (siehe Anm. 31).

seits vier etwas kleinere Wasserprismen mit einem brechenden Winkel von 38° bis 39° (Abb. 18), andererseits das oben schon erwähnte große Wasserprisma, dessen Grundfläche ein gleichseitiges Dreieck bildet, also drei Winkel von jeweils 60 Grad aufweist.

Welches dieser Prismen hat Goethe für die Versuchsreihe benutzt, deren Ergebnisse die Tafel V wiedergibt? Das große Wasserprisma. Dafür spricht zweierlei. Erstens zeigte Goethe in früheren Fassungen der Tafel Prismen mit gleichseitiger Grundfläche.[32] Und zweitens lassen sich die anderen vier Wasserprismen nicht so in das Versuchsgeschehen einbinden, wie die Tafel zeigt – sonst liefe ihr Wasser aus. Sie werden von oben durch die offene dreieckige Seite gefüllt, die sich nicht wasserdicht schließen lässt; daher müssen sie aufrecht stehen, und dann zeigt der brechende Winkel nicht nach unten wie in der Tafel, sondern nach vorn. Im Unterschied hierzu wird das große Wasserprisma von oben durch eine der drei rechteckigen Grenzflächen gefüllt. Es hängt in einer sinnreichen Holzkonstruktion; so kann der brechende Winkel nach unten zeigen, ohne dass das Prisma umkippt oder ausläuft. Goethe hielt große Stücke auf diese Holzkonstruktion und widmete ihr (zum Nachbauen) eine eigene Tafel (Abb. 21).

Wenn nun das benutzte Prisma tatsächlich eine gleichseitige Grundfläche hatte und von Goethe maßstabgetreu abgebildet wurde, können wir das Verhältnis der beiden Maßstäbe bestimmen.[33] Dazu verlängern

Wasserprisma mit brechendem Winkel von 15° kein Newton-Spektrum mitsamt grüner Mitte herauslocken (Abb. 20). Nun bringen Wasserprismen keine starke Dispersion mit sich. Besser steht es in dieser Hinsicht mit modernen Gläsern; extrem hohe Dispersion bietet z. B. das Schott-Glas N-SF57 (Abb. 19). Solche Gläser gab es zu Goethes Zeiten noch nicht. Doch solange wir die Sellmeier-Koeffizienten der Prismen Goethes nicht kennen, können wir nicht sicher sagen, ob er sich im angeführten § 101 geirrt hat.

32 Corpus der Goethezeichnungen, Bd. Va (Anm. 14), S. 99, Nr. 366.

33 Die Rechnung fußt auf Messungen in der Tafel aus der Leopoldina-Ausgabe (Erklärung der zu Goethes Farbenlehre gehörigen Tafeln, LA I 7, S. 65). Soweit ich sehe, haben deren Herausgeber darauf verzichtet, sich darauf festzulegen, ob sie die Tafel in Originalgröße wiedergegeben haben. Zwar sind die Originaltafeln deutlich schärfer gedruckt als deren Nachdrucke in der Leopoldina-Ausgabe, aber alles in allem passt ihre Größe zu den Abmessungen der beiden alten Exemplare, die Sarah Schalk und ich in der Universitätsbibliothek der Humboldt-Universität ansehen konnten (Goethe, Sechszehn Tafeln neben der Erklärung zu Goethe's Farbenlehre, Tübingen 1812, Exemplar der Universitätsbibliothek der Humboldt-

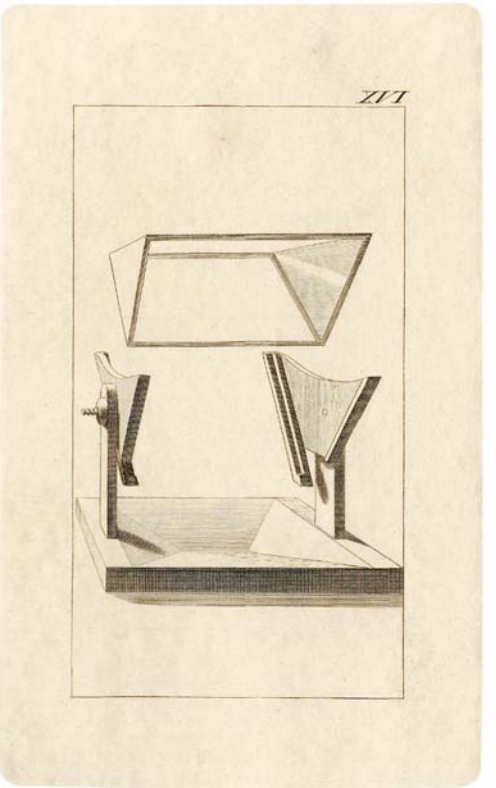


Abb. 21. Goethes Tafel XVI.

wir die beiden nach unten zeigenden Kanten des Prismas bis zu ihrem Schnittpunkt C, der jenseits der inneren Rahmenlinie der Tafel und zufälligerweise noch ein kleines Stückchen jenseits ihres äußeren Rahmens liegt; nun messen wir das entstehende Dreieck aus (Abb. 22).

Die lange, senkrecht stehende Seite b des Prismas hat in der Tafel V eine Kantenlänge von $b_{\text{Tafel V}} = 5{,}9$ cm; hingegen hat die kurze, waage-

Universität Berlin, Signatur 2942:F4; Ort und Jahreszahl sind unklar; die Angaben wurden aus dem Bibliothekskatalog der HU übernommen). Selbstverständlich kommt es am Ende nur auf das *Verhältnis* der Maßstäbe an, das man genauso gut aus Tafel V der Insel-Bücherei berechnen kann (wie Anm. 4, S. 25).

rechte Seite c des Prismas in der Tafel eine Kantenlänge von $c_{\text{Tafel V}}$ = 1,3 cm. Wenn beide Messergebnisse ein und denselben Wert repräsentieren, ist der waagerechte Maßstab um den Faktor 5,9/1,3 = 4,5 gröber als der senkrechte. Das passt verblüffend gut zu dem Wert, den ich im vorigen Abschnitt mit einer hiervon unabhängigen Überlegung ermittelt habe. Es könnte also sehr wohl sein, dass Goethe mit größter Sorgfalt nachgemessen, sich dann zwei geeignete Maßstäbe zurechtgelegt und konsequenterweise auch sein großes Wasserprisma diesem doppelten Maßstab getreu abgebildet hat. Sollte es sich so verhalten, so können wir die Maßstäbe recht genau berechnen:

Vertikal: 5,9 cm auf der Tafel entsprechen 25 cm im Labor;
d. h. 1 cm entspricht 4,2 cm Labor.
Horizontal: 1,3 cm auf der Tafel entsprechen 25 cm im Labor;
d. h. 1 cm entspricht 19,2 cm Labor.[34]

34 Es gibt einige Alternativen zu dieser Rechnung, die leicht abweichende Zahlen mit sich bringen. Oben habe ich vorausgesetzt, dass die Seite b genau so lang ist wie in Goethes Wasserprisma – ich hätte das mit gleich gutem Recht für Seite a voraussetzen können (weil die Grundfläche des Wasserprismas gleichseitig ist). Welche der beiden Seiten für die Rechnung zugrundegelegt werden soll, kann sich der Interpret aussuchen; es liegt nicht in der Natur der Sache. Diese Wahlmöglichkeit wäre verschlossen, wenn Goethe das Dreieck ABC gleichschenklig, nicht rechtwinklig gezeichnet hätte. Nur dann ließen sich die wahren Zahlenverhältnisse durch einfache Dehnung rekonstruieren (wie oben der Einfachheit halber angenommen). Mit dem rechten Winkel in der Ecke A wird die Transformation dagegen komplizierter: Da der rechte Winkel erhalten bliebe, wenn wir die Tafel lediglich in der Horizontalen dehnten, gewönnen wir auf diesem Weg nie ein gleichseitiges Dreieck. Um die Schwierigkeit zu beheben, haben wir zunächst das rechtwinklige Dreieck des Prismas dadurch per Scherung in ein gleichschenkliges Dreieck verwandelt, dass wir seine Spitze so weit nach rechts verschoben haben, bis sie genau unter der Mitte zwischen den anderen beiden Ecken lag. Dadurch wurde die Kante a noch etwas steiler, und um die Austrittswinkel der Farbkeile zu wahren, wurden sie leicht gegen den Uhrzeigersinn gedreht. Dann haben wir berechnet, wie weit man die so entstandene Graphik in der Horizontalen dehnen muss, um ein gleichseitiges Dreieck ABC zu gewinnen; dieser Faktor betrug 5,5 (Abb. 24). Der tatsächliche Zerrfaktor dürfte also grob in der Nähe der oben ermittelten Zahl 4,5 und des neuen Werts 5,5 liegen; dass wir ihn nicht genauer bestimmen können, lässt sich verschmerzen: Auch die Größen der einzelnen Farbzonen lassen sich nur im Rahmen der Messgenauigkeit bestimmen – und ihre Grenzen sind im echten Experiment von erheblichen Unschärfen gekennzeichnet.

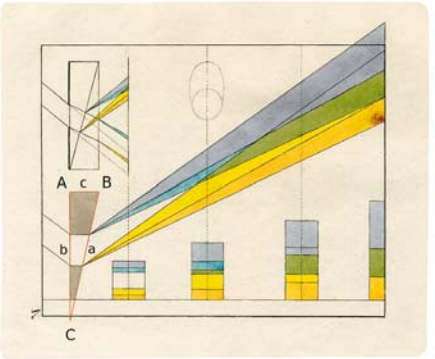


Abb. 22, Goethes Tafel V, gedreht, gespiegelt mit vollständigem Dreieck, Dreieck rot eingezeichnet (Bearbeitung: Sarah Schalk).

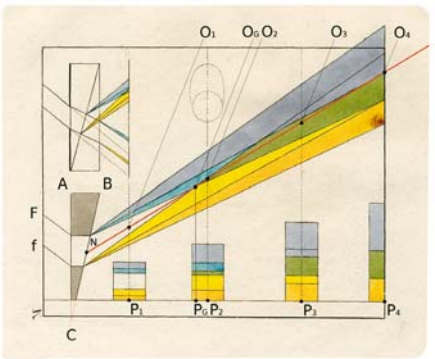


Abb. 23. Goethes Tafel V, gedreht, gespiegelt, mit optischer Achse $NO_1 \ldots O_4$ (Bearbeitung: Sarah Schalk).



Abb. 24. Goethes Tafel V, gedreht, gespiegelt, und per Scherung und Zerrung in einheitlichen Maßstab überführt (siehe Anm. 34) (Grafik: Sarah Schalk).

Mit diesen Werten lassen sich einige Parameter aus der Tafel ablesen (Abb. 23):

- O_1N 2,2 cm ≙ 36,8 cm (nach Pythagoras 1 cm in schräger Richtung ≙ 16,7 cm) – auf der Vertikalen P_1O_1 fing Goethe das erste Spektrum auf.
- O_GN 5,7 cm ≙ 95,4 cm – OG ist der Punkt, an dem sich zum ersten Mal das newtonische Grün zeigt.
- O_2N 6,3 cm ≙ 105,5 cm – P_2O_2 zeigt die Position des zweiten aufgefangenen Spektrums.
- O_3N 11,25 cm ≙ 188,4 cm.
- O_4N 15,6 cm ≙ 261,2 cm.

Wie die Tafel bei einheitlichem Maßstab ausgesehen haben könnte, zeigt Abb. 24.

Selbstverständlich könnte man auch behaupten, dass Goethe das spitzwinklig aussehende Prisma mit anderen Absichten in die Tafel eingebaut hat, also ohne sich bei der Darstellung des Prismas um exakte Maßstäbe zu kümmern. Dafür sehe ich zwei Möglichkeiten, die ich nur nennen möchte, ohne sie weiterzuverfolgen: Einerseits könnte Goethe den gezeigten spitzen Winkel eingesetzt haben, um auf übertriebene Weise anzudeuten, dass sich für seine Experimente (etwa aus Tafel VI) *etwas* spitzere Winkel besser eignen als Newtons Winkel von 60°. Andererseits könnte es ihm darum gegangen sein, auf der Tafel genügend Platz für die Darstellung der Versuchsergebnisse zu gewinnen – je spitzer dort das Prisma erscheint, desto weniger Platz benötigt es.[35]

VII. Geometrische Idealisierungen zur Verschönerung und Aufklärung der Versuchsergebnisse

Folgender Unterschied zwischen spektralfarbiger Empirie und Goethes Tafel V fällt auf: Anders als auf Goethes Tafeln erscheinen die aufgefangenen Spektren im tatsächlichen Experiment jeweils farblich verworren und mit rundlichen Enden (Abb. 25). Darüber schrieb Newton:

35 Das war bis vor kurzem meine Erklärung für diesen etwas misslichen Zug der Tafel (Müller, Mehr Licht [Anm. 8], § III.3.13).



Abb. 25. Spektrum am Punkt O2.

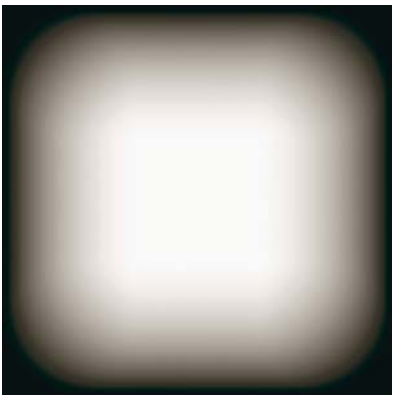


Abb. 26. Ohne Prisma, quadratische Blende.

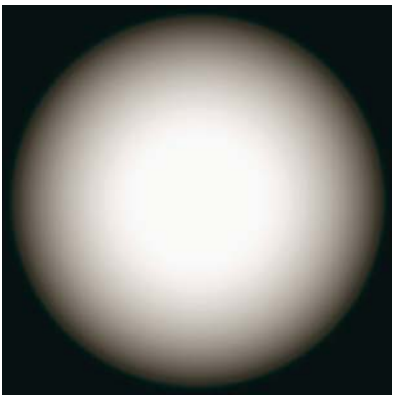


Abb. 27. Ohne Prisma, runde Blende.

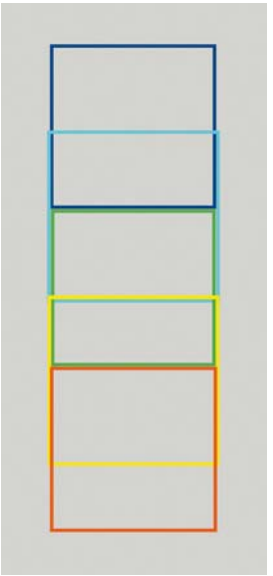
> They [i.e. the colours of the spectrum – O.M.] were terminated at the sides with streight lines, but at the ends, the decay of light was so gradual, that it was difficult to determine justly, what was their figure; yet they seemed *semicircular*.[36]

Goethe zeigte dagegen (in den schon erwähnten eingeblendeten Kästchen) begradigte Spektren als Versuchsergebnis. Sie haben gerade Kanten (auch oben bzw. unten an den Längsenden), und auf jeder horizontalen Linie in diesen Kästchen findet sich stets ein und derselbe Farbton. Was ist von dieser Diskrepanz zu halten?

Das kommt darauf an. Wer z. B. den Abstand zwischen Prisma und Schirm recht klein einstellt, kann aus dem Sonnenlicht sehr wohl die Spektren erzeugen, die Goethe für die fraglichen kleinen Abstände abbildete. Dafür muss man anstelle eines kreisrunden Lochs im Fensterladen (wie in Newtons Grundexperiment) ein rechteckiges oder quadratisches Loch wählen. Um das besser zu verstehen, müssen wir zunächst eine Vorüberlegung ohne Farben anstellen. Noch ohne Prisma fängt man kurz hinter einem *eckigen* Fensterladenloch auch ein nahezu *eckiges* helles Bild auf (Abb. 26) – kurz hinter einem runden Fensterladenloch hingegen ein rundes helles Bild (Abb. 27). Das leuchtet ein; kurz hinter dem Fensterladenloch entsteht ein recht scharfes Bild eben dieses Lochs. (Wäre das Loch dreieckig, so wäre auch sein Abbild auf dem Schirm dreieckig, usw.)

Wenn wir diese quadratischen bzw. runden hellen Bilder prismatisch brechen, dann bekommen wir laut Newtons Theorie entweder eine Serie übereinandergelagerter und verschiedenfarbiger *Quadrate* (Abb. 28) – oder eine Serie übereinandergelagerter und verschiedenfarbiger *Kreise* (Abb. 29). Aus geometrischen Gründen liegt auf der Hand, warum die Enden dieser Bilder im quadratischen Fall ausgerechnet gerade Begrenzungslinien zeigen – und warum diese Bilder auch farblich gut aufgeräumt sind (Abb. 30). Auf jeder Höhe im Bild entsteht exakt dieselbe Farbmischung, anders als im runden Fall, wo sich in *jedem* Bildpunkt verschiedene monochromatische Kreise überlagern (Abb. 31).

36 A letter of Mr. Isaac Newton […] containing his new theory about light and colors (Anm. 2), S. 3076 (kursiv im Original). Vgl. Newton, Optics (Anm. 2), S. 22.



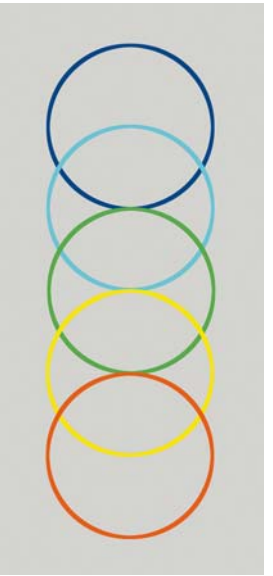


Abb. 28–29. Fünf monochromatische Rechtecke (links) überlagern sich weniger verworren als fünf monochromatische Kreise (rechts). Genauso im unendlichen Fall (Grafik: Sarah Schalk).





Abb. 30–31. Wie Abb. 26–27, aber mit Prisma.

Statt also Goethe beim linkerhand eingeblendeten Kästchen (Abb. 22) eine Diskrepanz zwischen empirischer Wirklichkeit und abgebildeter Darstellung vorzuwerfen, sollten wir ihn loben. Er hat Newtons Experiment so verändert, dass die Verhältnisse klarer hervortreten – und zwar theoretisch und empirisch. Solche Veränderungen im Namen der Klarheit sind das tägliche Brot versierter Experimentatoren.

No. der Abb. aus Computer-simulation	*Form der Sonnen-scheibe*	*Höhe der Blende 0,8 cm*	*Prisma*	*Abstand zum Schirm*
Abb. 8	rund	rund	60° H_2O	10 cm
Abb. 10	rund	rund	60° H_2O	50 cm
Abb. 11	rund	rund	60° H_2O	100 cm
Abb. 14	rund	rund	60° H_2O	25 cm
Abb. 17	rund	rund	10° H_2O	0 bis 600 cm
Abb. 19	rund	rund	15° Schott	212 cm
Abb. 20	rund	rund	15° H_2O	212 cm
Abb. 25	rund	rund	60° H_2O	105,5 cm
Abb. 26	rund	quadr.	–	29,9 cm
Abb. 27	rund	rund	–	29,9 cm
Abb. 30	rund	quadr.	60° H_2O	29,9 cm
Abb. 31	rund	rund	60° H_2O	29,9 cm
Abb. 32	rund	quadr.	60° H_2O	105,5 cm
Abb. 33	quadr.	rund	–	152,9 cm
Abb. 34	quadr.	rund	60° H_2O	261,2 cm
Abb. 36	rund	quadr.	60° H_2O	0 bis 212 cm
Abb. 39	rund	quadr.	60° H_2O	10 cm

Tabelle: Nach einem Simulationsprogramm von Alexander Schreiber haben wir die verschiedenen Spektren berechnet, die hier gezeigt werden: mit variablen Formen der Sonnenscheibe bzw. Blendenöffnung, mit Prismen unterschiedlicher brechender Winkel und verschiedener Materialien – sowie mit variablem Abstand zwischen Prisma und Schirm. Wir haben stets angenommen, dass das Prisma symmetrisch ausgerichtet ist – so wie Newton es beschrieben hat (Newton, Optics [Anm. 2], S. 21).

VIII. Eckige Sonnenscheibe am Himmel

Die Überlegung aus dem vorigen Abschnitt hat einen Schönheitsfehler. Die Spektren lassen sich nämlich nur in der Nähe des Prismas begradigen wie beschrieben. Doch bei vergrößertem Abstand (etwa zur Erzeugung eines newtonischen Vollspektrums mit grüner Mitte) bleibt das Spektrum verworren gerundet – selbst dann, wenn das Fensterladenloch viereckig ist, nicht rund (Abb. 32). Dass Goethe das auch so beobachtet hatte, ergibt sich aus der gestrichelt eingeblendeten Ellipse, die er bei mittelgroßem Abstand zwischen Prisma und Auffangschirm andeutete (Abb. 23). Er schrieb:

> Der Durchschnitt über welchen man oben eine punktierte Ellipse gezeichnet, ist ohngefähr derjenige, wo Newton und seine Schüler das Bild auffassen, festhalten und messen.[37]

Was ist davon zu halten, dass Goethe an derselben Stelle unten trotzdem ein eckiges und begradigtes Spektrum eingezeichnet hat? Verfälschte er auf unzulässige Weise die tatsächlichen Versuchsergebnisse?

Er verfälschte sie, aber nicht unzulässigerweise. Vielmehr trieb er die Idealisierung im Namen der Klarheit auf die Spitze. Um das herauszuarbeiten, möchte ich fragen: Wie sähe ein Experiment aus, in dem auch bei größeren Abständen eckige Spektren aufgefangen würden? Es wäre ein Experiment, in dem sich (bei größeren Abständen) auch ohne Prisma ein *eckiges* weißes Bild zeigen müsste. Nun fängt man bei den fraglichen größeren Abständen das Abbild der äußeren Wirklichkeit auf; wir haben dann eine Dunkelkammer-Abbildung: die Vorform der modernen Fotografie. Bei größeren Abständen zeigt der aufgefangene Lichtfleck also das Abbild der Sonne – und die ist rund, nicht eckig. Je größer der Abstand, desto perfekter das Abbild der Sonne. Bei sehr großen Abständen hätten wir beispielsweise während einer partiellen Sonnenfinsternis ein sichelförmiges Abbild, wie man schon in aristotelischen Tagen wusste.[38] Kurz und gut, in hoher Entfernung von

37 Erklärung der zu Goethes Farbenlehre gehörigen Tafeln, LA I 7, S. 64.

38 Pseudo-Aristoteles, Problemata physica, hrsg. und übersetzt von Helmut Flashar, überarbeitete Ausgabe, Berlin 1991 (= Aristoteles. Werke in deutscher Übersetzung, Bd. 19), S. 141 (Problema XV, Kapitel 11).

der Blendenöffnung folgt das Abbild immer der Form des Vorbildes draußen.[39]

Wenn das richtig ist, dann müsste das Licht im gesuchten Experiment von einer *viereckigen* Sonnenscheibe stammen – eine surreale Vorstellung. Doch warum nicht? Nehmen wir an, dass die Sonne ein leuchtender *Würfel* wäre, der uns auf Erden genau eine seiner sechs Flächen zuwendete. Dann hätten wir eine quadratische Sonnenscheibe am Himmel und fingen (immer noch ohne Prisma) auch ein nahezu quadratisches Abbild dieser quadratischen Sonnenscheibe auf (Abb. 33). Mit dem Prisma im Strahlengang müsste sich dann das wohlaufgeräumte Bild ergeben, das Goethe in seiner Tafel an Ort und Stelle rechts in der Tafel eingeflochten hat. Er schrieb:

> Es ist *angenommen*, daß ein *viereckes* leuchtendes Bild verrückt werde, welches die Sache viel deutlicher macht, weil die vertikalen Grenzen rein bleiben und die horizontalen Unterschiede der Farben deutlicher werden.[40]

Diese Annahme bezieht sich auf die gesamte Versuchsreihe. Bei kleinen Abständen läuft die Annahme auf ein eckiges Loch im Fensterladen hinaus (wie im vorigen Abschnitt durchdekliniert) – bei größeren Abständen läuft die Annahme eines viereckigen leuchtenden Bildes darauf hinaus, dass die leuchtende Sonne eckig ist.

Selbstverständlich können wir die Form der Sonne im realen Experiment nicht manipulieren. Aber ich habe es in einer Computersimulation ausprobiert. Dabei kam das heraus, was Goethe unten in seine Tafel (Abb. 23) eingezeichnet hat (Abb. 34). Jedenfalls kam dabei *geometrisch* nahezu das heraus, was die Tafel zeigt – *farblich* weicht die Simulation von der Tafel erheblich ab. Genauso stand es bei den zuvor errechneten Simulationen.

In der Tat, bislang habe ich mit den vergilbten Farben einer zweihundert Jahre alten Tafel gearbeitet. Es versteht sich von selbst, dass diese

39 Genau genommen sieht man in hinreichender Entfernung vom Schirm das Abbild nicht nur der Sonne, sondern der gesamten Szenerie vor dem Fensterladenloch. Doch weil die Sonne um ein Vielfaches heller ist als der ganze Rest, dürfen wir diesen dunkleren Rest vernachlässigen und so tun, als wäre er finster.

40 Erklärung der zu Goethes Farbenlehre gehörigen Tafeln, LA I 7, S. 64 (meine Kursivierung).



Abb. 32. Quadratische Blende, erhöhter Abstand.



Abb. 34. Wie Abb. 33, aber mit Prisma.

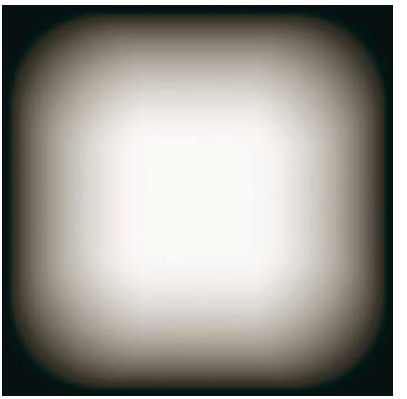


Abb. 33. Quadratische Sonne, runde Blende, kein Prisma.

Farben blasser sind als die aus der Computersimulation – und *deren* Farben sind wiederum blasser als die aus der empirischen Wirklichkeit. Wie dem auch sei, es hat wenig Sinn, mit den suboptimalen Farben alter Drucke weiterzuarbeiten; wir wissen aus Experiment und Simulation, welche Farben dort eigentlich stehen müssten. Das Ergebnis dieser farbigen Modernisierung der Tafel V sehen Sie in Abb. 35. Wie die Farben in der Computersimulation aussehen, zeigt Abb. 36.

Goethes Tafel weicht bei einer Farbe besonders stark von Computersimulation und empirischer Wirklichkeit ab; was er als blassviolette Farbe zeigt, ist in Wirklichkeit ein dunkles, sattes Blau mit einem minimalen Stich ins Violette. Daher werde ich von nun an die obere Farbe in den Spektren nicht mehr als Violett bezeichnen, sondern als Dunkelblau. Ich bezweifle, dass die Abweichung zwischen Tafel und Wirklichkeit nur mit dem Alter der ausgebleichten Tafel zu tun hat. Wie mir scheint, hat Goethe die Farben systematisch anders wahrgenommen und benannt, als sie im Experiment erscheinen. Er hat die fragliche Farbe nicht nur violett abgebildet, sondern z. B. auch Blaurot genannt.[41] Seltsamerweise hat er sogar im allerdunkelsten Königsblau einen rötlichen Schimmer gesehen.[42] Zudem redete er am unteren Ende des Spektrums oft von Gelbrot, obwohl die dortige Farbe im schönsten Rubinrot aufleuchtet.[43]

Hatte Goethe vielleicht am Ende einen Sehfehler bei der Farbwahrnehmung? Ich stehe vor einem Rätsel. Fest steht, dass Goethe die Spektren geometrisch präzise ausgemessen hat. Laut einer verbreiteten Einschätzung der Farbenforschung Goethes wusste der Dichter und Augenmensch die Farben lebendig zu erfassen, konnte aber mit den idealisierenden Messverfahren moderner Naturwissenschaft nichts anfangen.[44] Wie seine ungenaue Farbwahrnehmung und seine genaue Vermessung der Spektren zeigen, war es umgekehrt.

41 Entwurf einer Farbenlehre, LA I 4, § 214. Für die folgende Überlegung siehe auch Müller, Mehr Licht (Anm. 8), § III.3.9.

42 Brief an Schopenhauer vom 16. November 1815; WA IV 26, S. 155.

43 Entwurf einer Farbenlehre, LA I 4, § 214.

44 Siehe z. B. Felix Mühlhölzer, Wissenschaft, Stuttgart 2011 (= Grundwissen Philosophie), S. 12, 32 f. und passim.

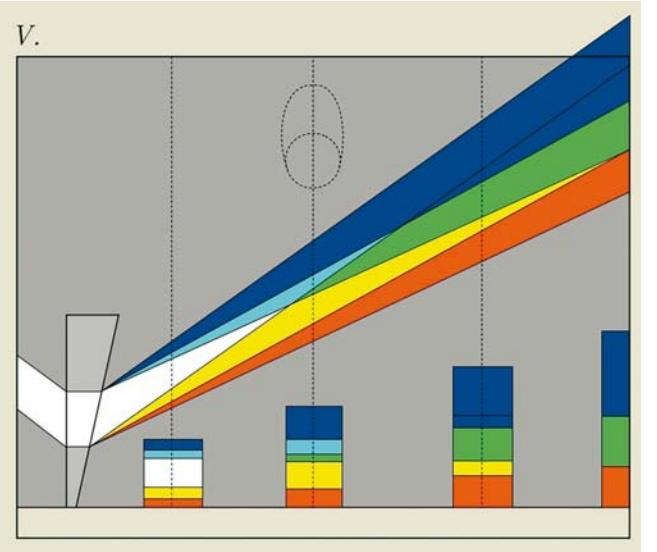


Abb. 35. Tafel V mit rekonstruierten Farben (Grafik: Matthias Herder).

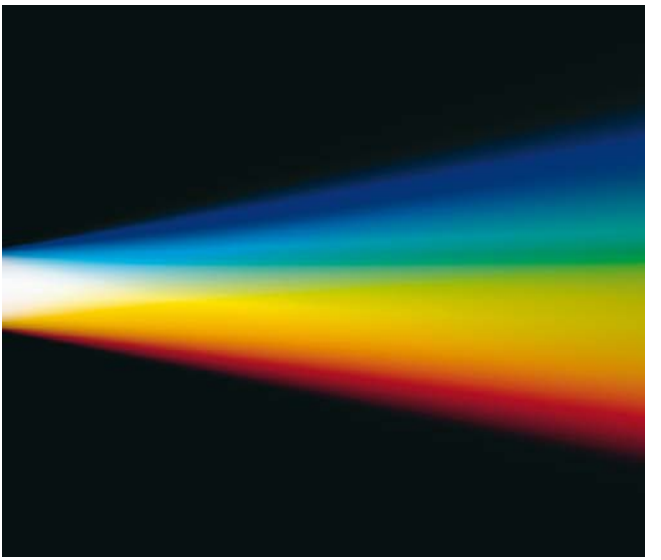


Abb. 36. Spektren bis zum Abstand von 212 cm.

IX. Das Auge als Dunkelkammer

Was im vorigen Abschnitt zutage getreten ist, finde ich aus zwei Gründen bemerkenswert. Erstens wird Goethe immer vorgeworfen, den idealisierenden und theoretischen Charakter der exakten Naturwissenschaften verkannt zu haben. So schrieb der Physiker Pfaff in einer Monographie aus dem Jahr 1813, die ganz der Widerlegung Goethes gewidmet war: »so war es gewiss auch hier […] der *erste Augenschein*, bei welchem er stehen blieb«.[45] Wer wie Goethe kühn eine quadratische Sonnenscheibe ansetzt, um die Phänomene klarer darzustellen, den kann Pfaffs Vorwurf nicht treffen.

Zweitens muss Goethe die optischen Abbildungsbeziehungen recht tief durchdrungen haben, um ein hypothetisch idealisiertes Versuchsergebnis korrekt wiederzugeben – und zwar so gut, dass es sich Jahrhunderte später in der Computersimulation bestätigen ließ. Wie hat das der Dichter schaffen können, der doch immer damit kokettierte, mit der Mathematik auf dem Kriegsfuß zu stehen?

Ich behaupte: Er kannte ein strukturgleiches Experiment, in dem genau das herauskam, was er auf der Tafel abgebildet hat. Und zwar war ihm klar, dass man Newtons Experiment um Dimensionen verkleinern kann, ohne etwas wesentliches am Versuchsausgang zu ändern.[46] Wenn man nämlich das menschliche Auge als kleinen Nachbau der Dunkelkammer auffasst (deren Fensterladenloch nun von der Pupille nachgebildet wird und deren Auffangschirm die Netzhaut ist), dann kann man anstelle der Sonnenscheibe am dunkelblauen Himmelszelt einen kleinen hellen Kreis auf schwarzem Papier verwenden (Abb. 37). Das Prisma muss in diesem Fall *vor* der Pupille plaziert werden, aber diese kleine Änderung im Versuchsaufbau schadet nicht weiter; schon Newton hatte das Prisma manchmal vor, manchmal nach der Lochblende angebracht, ohne dass sich dadurch die aufgefangenen Spektren merklich geändert hätten.[47]

45 Pfaff, Über Newton's Farbentheorie (Anm. 18), S. 91 f., § 118 (Pfaffs Hervorhebung).

46 Für die folgende Darstellung siehe Goethe, Entwurf einer Farbenlehre, LA I 4, §§ 299–304.

47 Siehe Isaac Newton, Opticae – Optics, in: The optical papers of Isaac Newton, vol. I: The optical lectures. 1670–1672, ed. by Alan E. Shapiro, Cambridge 1984, S. 280–603, hier: S. 530 f.



Abb. 37. Goethes Tafel IIa, Kreis (Bearbeitung: Sarah Schalk).



Abb. 38. Goethes Tafel IIa, Rechteck (Bearbeitung: Sarah Schalk).

In diesem verkleinerten Nachbau des newtonischen Experiments kann man den hellen *Kreis* (Newtons Sonnenscheibe) durch ein helles *Quadrat* auf schwarzem Papier ersetzen; Papier ist geduldig. Und da wir gerade bei preiswerten Variationen auf Papier sind: Um die Farben noch großzügiger aufscheinen zu lassen, zog Goethe das Quadrat in die Länge und verwandelte es in ein Rechteck (Abb. 38). In der Tat sieht man dann (mit dem Prisma bewaffnet) eckige und gut aufgeräumte Spektren: so, wie Goethe sie dargestellt hat. Im rechteckigen Fall wäre das Spektrum entsprechend breiter; ich bleibe im folgenden der Einfachheit halber bei quadratischen Formen.[48]

48 Das Verhältnis zwischen objektiven und subjektiven Experimenten ist verwickelter, als ich es oben kurz und bündig darstellen wollte (im ersten Fall fällt präzise abgezirkeltes Sonnenlicht durchs Prisma auf einen Schirm; im zweiten Fall fällt von der Tafel zurückgeworfenes Licht durchs Prisma auf die Netzhaut). Da man im subjektiven Experiment den Abstand zwischen Netzhaut und Pupille nicht so ändern kann wie den zwischen Schirm und Fensterladenloch im objektiven Experiment, lässt sich die experimentelle Serie aus Tafel V nur über einen weiteren gedanklichen Umweg subjektiv ermitteln; hierzu muss man sich klarmachen, dass eine variable Entfernung des prismatisch bewaffneten Auges vom Vorbild auf Papier ähnliche Folgen zeitigt wie der variable Abstand zwischen Prisma und Schirm, den Goethe auf seiner Tafel V darstellte.

Nach allem Gesagten verbirgt sich hinter Goethes Tafel V eine Extrapolation – also ein gedankliches Manöver, das denen nicht offensteht, die sich immer nur eng an den Phänomenen orientieren. Dass Goethe jenes Manöver ganz bewusst eingesetzt hat, lässt sich an vielen seiner Aussagen belegen, zum Beispiel hier:

> Der Naturforscher […] ist in einzelnen Fällen aufmerksam, nicht allein wie die Phänomene erscheinen, sondern auch wie sie erscheinen sollten. Es gibt, wie ich besonders in dem Fache, das ich bearbeite, oft bemerken kann, viele empirische Brüche, die man wegwerfen muß, um ein reines konstantes Phänomen zu erhalten.[49]

Dass Goethe Brüche weggeworfen hat, bedeutet am Beispiel der Tafel V dreierlei. Einerseits hat er – bei kurzen Abständen – das runde Fensterladenloch Newtons weggeworfen und im Realexperiment durch ein eckiges ersetzt (Abschnitt VII). Andererseits hat er – bei großen Abständen – die runde Sonnenscheibe weggeworfen und im Gedankenexperiment durch eine eckige ersetzt (Abschnitt VIII). In beiden Fällen zielte er darauf ab, die entfalteten Spektren zu begradigen und besser durchschaubar zu machen – sie also so zu zeigen, wie sie idealerweise aussehen sollten. Schließlich idealisierte er die Spektren noch in einer weiteren Hinsicht, die bislang noch nicht zur Sprache gekommen ist. Sie ist Thema des nächsten Abschnitts.

X. Kontinuum oder scharfe Grenzen?

Laut Newton besteht das Spektrum aus unendlich vielen Farbtönen, die graduell ineinander übergehen; es ist ein Kontinuum – abgesehen davon hat es keine innere Struktur und keine inneren Grenzen.[50] Laut Goethe müssen dagegen Grenzen in das Spektrum eingezogen werden: Bei kleinem bzw. mittlerem Abstand zwischen Prisma und Schirm zeigt Goethes Tafel fünf klar voneinander abgegrenzte Farbfelder: Dunkelblau/Türkis/Weiß/Gelb/Rot bzw. Dunkelblau/Türkis/Grün/Gelb/Rot.[51]

49 Das reine Phänomen (datiert: 15. Januar 1798), LA I 3, S. 306–308, hier: S. 306 f.

50 Siehe Newton, Optics (Anm. 2), S. 28, 43 f.

51 Entsprechend schrieb Goethe im Begleittext konsequent von jeweils fünf Farben (Entwurf einer Farbenlehre, LA I 4, § 214; Erklärung der zu Goethes Farbenlehre gehörigen Tafeln, LA I 7, S. 64).

Beide Darstellungen bieten eine Idealisierung der tatsächlichen Ergebnisse im optischen Experiment; doch haben Newton und Goethe in unterschiedliche Richtungen idealisiert: In guter Übereinstimmung mit seinen infinitesimalen Errungenschaften auf den Feldern der Mechanik und Mathematik setzte Newton aus theoretisch-hypothetischen Gründen ein unendliches Kontinuum an, das mehr Nuancen verheißt, als sich jemals erkennen lassen; und zwar *viel* mehr solcher Nuancen.

Über diese Diskrepanz ist fast jeder erstaunt, der die Spektren zum ersten Mal im tatsächlichen Experiment erblickt – und dabei newtonische Ergebnisse erwartet: Die Spektren zeigen wesentlich weniger Nuancen, als man denken möchte.[52] Darauf reagieren viele Beobachter verblüffend defensiv; sie meinen nämlich, beim Experimentieren einen Fehler gemacht zu haben, der sich sicher irgendwie erklären lasse. Das ist ein klassischer Fall von dem, was man in der Wissenschaftsphilosophie als theoriebeladene Beobachtung bezeichnet – man sieht nur, was man weiß.[53]

Gegen Missverständnisse: Ich erwähne diese Angelegenheit nicht, weil ich etwa meinte, dass sich Newtons Theorie dadurch erschüttern oder entkräften ließe; ich erwähne es nur, um auf den theoretischen Sprung aufmerksam zu machen, den diejenigen vollziehen, die im Spektrum ein gleichmäßiges Kontinuum sehen. Sie springen über das hinaus, was man im Experiment selbst wahrnehmen kann. Der Sprung wird durch eine ganz bestimmte Hypothese vermittelt – durch eine Hypothese, die uns so sehr in Fleisch und Blut übergegangen ist, dass wir sie kaum noch bemerken. Es ist die Hypothese von unendlich vielen verschiedenen Lichtsorten (wonach es für jede Wellenlänge zwischen 390 nm und 770 nm eine eigene Lichtsorte und Lichtfarbe gibt). Obwohl sich diese Hypothese nicht unmittelbar aus dem Experiment ablesen lässt, kann sie immer noch zutreffen. Ich halte sie für korrekt.

52 Siehe Carl Jennings, Revisioning colour. Trichromatic polarity and the phenomenological structure of colour (unveröffentlichter Vortrag; gehalten im Jahr 2010 auf der Jahrestagung des Inter-Society Color Council; Fassung vom 6. Oktober 2010), Fig. 8, Fig. 12, sowie Ferdinand Wülfing, Die Farben und der goldene Schnitt, Goch 2015, S. 96–106 und passim.

53 Das Motto geht auf Goethe zurück: »Man erblickt nur, was man schon weiß und versteht« (aus einem Gespräch mit Friedrich von Müller vom 24. April 1819; Goethes Gespräche, hrsg. von Wolfram Herwig, Bd. 3/1: 1817–1825, Zürich 1971, S. 112).

Goethe hätte die Hypothese nicht abgelehnt, bloß weil es eine Hypothese ist. Was er ablehnte, war etwas anderes: die undisziplinierte Verwechslung von dem, was man sieht, mit dem, was man theoretischerweise zur Beschreibung des Gesehenen hinzufügt. Er meinte, dass man gar nicht darum herumkommt, beim Beobachten zu theoretisieren:

> Ist es doch eine höchst wunderliche Forderung, die wohl manchmal gemacht, aber auch selbst von denen, die sie machen, nicht erfüllt wird: Erfahrungen solle man ohne irgend ein theoretisches Band vortragen […]. Denn das bloße Anblicken einer Sache kann uns nicht fördern. Jedes Ansehen geht über in ein Betrachten, jedes Betrachten in ein Sinnen, jedes Sinnen in ein Verknüpfen, und so kann man sagen, *daß wir schon bei jedem aufmerksamen Blick in die Welt theoretisieren.* Dieses aber mit Bewußtsein, mit Selbstkenntnis, 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 Erfahrungsresultat, das wir hoffen, recht lebendig und nützlich werden soll.[54]

Hier hat Goethe viel von dem vorweggenommen, was erst im 20. Jahrhundert zur gängigen Münze der Wissenschaftsphilosophen geworden ist; ein schöner Triumph, der bislang nicht recht gewürdigt worden ist.[55]

Nichtsdestoweniger fragt sich angesichts unseres augenblicklichen Themas: Wie hat Goethe die farbliche Vielfalt der beobachteten Spektren theoretisch zurechtgeschnitten? Ich deutete es schon an – im Vergleich zu Newton genau entgegengesetzt. Wo Newton die Zahl der spektralen Farben ins Unendliche hochtrieb, verringerte Goethe sie. Ihm war aufgefallen, dass die Farben unmittelbar hinter dem Prisma verblüffend rein aussehen und verblüffend scharf voneinander abgetrennt sind (Abb. 39).

54 Vorwort, LA I 4, S. 5 (meine Kursivierung).

55 In der Tat war Goethe insgesamt ein hellsichtiger Vorreiter moderner Wissenschaftstheorie; vgl. Michael Mandelartz, Goethe, Newton und die Wissenschaftstheorie. Zu Wissenschaftskritik und Methodologie der ›Farbenlehre‹, in: ders., Goethe, Kleist. Literatur, Politik und Wissenschaft um 1800, Berlin 2011, S. 240–281, hier: S. 258–262, 271 f. und passim; Müller, Mehr Licht (Anm. 8), Teil IV, insbes. §§ IV.1.17 f., IV.7.2–6.



Abb. 39. Recht scharfe Farbgrenzen bei 10 cm Abstand.

Natürlich nicht perfekt; nichts ist perfekt. Wo Dunkelblau und Türkis aneinanderstoßen, zeigt sich eine enge verschwimmende Grenze von Zwischentönen (genauso dort, wo Gelb und Rot aneinanderstoßen). Doch stellen Sie sich vor, dass Sie ganz oben auf einem Blatt Papier einen schmalen dunkelblauen Streifen sehen, ganz unten aber einen schmalen türkisen Streifen; und stellen Sie sich vor, dass Sie die Fläche dazwischen möglichst gleichmäßig mit allen dazwischenliegenden Farbnuancen füllen sollen. Dann sieht das Ergebnis ganz anders aus als der fragliche Teil des tatsächlich zu beobachtenden Spektrums.

Goethe hat sich dafür entschieden, die enge verschwimmende Grenze zwischen Dunkelblau und Türkis wegzulassen; für ihn bildete sie einen der Brüche, »die man wegwerfen muß, um ein reines konstantes Phänomen zu erhalten«.[56] Mit dieser Entscheidung lag er weit ab von dem,

56 Das reine Phänomen, LA I 3, S. 306 f., volles Zitat bei Anm. 49. Goethe hat die Unschärfe der Grenze nicht etwa deshalb ausgeklammert, weil sie sich mit den damaligen Herstellungsmethoden kolorierter Kupfertafeln nicht (oder nur unter unvertretbar hohem Aufwand) hätte darstellen lassen; vielmehr ist es ein integraler Bestandteil seiner eigenen Theorie der spektralen Farben, dass es nur wenige Grundfarben gibt, aus denen sich der ganze Rest zusammensetzt. Es

was wir heute für richtig halten. Aber er wich damit weniger stark als Newton und dessen Nachfolger von dem ab, was man tatsächlich sieht. Um abermals Missverständnissen vorzubeugen: Auch diese Bemerkung habe ich nicht gemacht, weil ich Goethes Idealisierung gegenüber der heute gängigen auszeichnen wollte. Wie er wusste und wie oben zitiert, weichen wir beim Theoretisieren notgedrungen vom bloß Sichtbaren ab, und das Ausmaß dieser Abweichung ist keine Größe, die allein darüber entscheidet, ob eine Theorie zu verwerfen ist oder nicht. Theorien werden in erster Linie anhand ihrer Erklärungsleistung beurteilt.

Selbst in Sachen Erklärungsleistung hatte Goethe noch einen Gesichtspunkt auf seiner Seite. Weil die Farbfelder unmittelbar hinter dem Prisma besonders scharf voneinander abgegrenzt sind und besonders rein wirken, machte er sie zur Grundlage seiner Theorie; er zog sie heran, um Newtons Vollspektrum (mit der grünen Mitte) zu erklären.

Seine Tafel V (Abb. 23) zeigt diese theoretische Erklärung auf einen Schlag. Da sich das dunkelblau/türkise Farbenpaar bei wachsendem Abstand genauso aufspreizt wie dessen gelb/rotes Gegenüber, müssen sich Türkis und Gelb an einem wohldefinierten Punkt treffen und dann gegenseitig durchdringen – hier entsteht die grüne Mitte aus Newtons Vollspektrum: Türkis plus Gelb gleich Grün.

Eine schöne Erklärung, nicht wahr? Doch Vorsicht: Ob Goethes Theorie etwas taugt, ist damit nicht entschieden. Das hängt zusätzlich davon ab, wieviele weitere Phänomene sie zu erklären weiß. Im kommenden Abschnitt möchte ich auf ein Phänomen zu sprechen kommen, mit dem sie offenbar nicht so ohne weiteres klarkommt. Wie Sie sehen werden, gerät Newtons Theorie an derselben Stelle in Bedrängnis.

würde meinen Rahmen sprengen, diese Andeutung auszuführen; einige Details hierzu und zum folgenden Gedankengang finden sich in: Olaf Müller, Goethe contra Newton on colours, light, and the philosophy of science, in: How colours matter for philosophy. Proceedings of the 2nd international colloquium on colours and numbers, Fortaleza, Brazil (2015), ed. by Marcos Silva, New York 2017, S. 71–93.

XI. Eine Anomalie bei Newton und Goethe

Bislang haben wir uns auf kleine sowie mittelgroße Abstände zwischen Prisma und Auffangschirm konzentriert; Goethes Tafel geht aber rechts ein gutes Stück weiter. Am Ende zeigt sie ein Spektrum, das nur noch aus drei Farben besteht: Dunkelblau/Grün/Rot. Das gelbe Feld aus Newtons Vollspektrum ist hier ebenso verschwunden wie sein türkises Gegenstück.

Dies Ergebnis kommt in meinen Computersimulationen nicht heraus – auch bei großen Abständen bleibt das gelbe Feld erhalten (Abb. 36). Wenn die simulierte Farbenvielfalt jenseits von Newtons Vollspektrum nicht sinkt, müssen wir fragen: Hat sich Goethe hier eines Beobachtungsfehlers schuldig gemacht? Ich glaube nicht; der Fehler scheint in der Computersimulation zu liegen.

Denn im tatsächlichen Experiment verschwindet das Gelb (ebenso wie das Türkis), sobald man den newtonischen Abstand verdoppelt; das haben viele Experimentatoren beschrieben.[57] Goethes Tafel bietet eine scheinbare Erklärung für den Gelbverlust. Dort sieht es so aus, als ob die türkisen und gelben Keile einander am Ende verschlängen, also voll und ganz in ihrem grünen Mischungsergebnis aufgingen.

Doch der schöne Eindruck trübt sich, wenn man das Liniengewirr ganz rechts in der Tafel auseinanderdividiert. Um das augenfällig zu machen, braucht man die Tafel nur zu verlängern (Abb. 40–41). Wie sich dann herausstellt, müssten bei nochmaliger Verdoppelung auch wieder mehr Farbfelder aufscheinen – und das ist im tatsächlichen Experiment nicht der Fall. Kurzum, die auf den ersten Blick bestechende Geometrie der Tafel führt bei riesigen Abständen empirisch in die Irre.[58]

57 Siehe Neil M. Ribe, Goethe's critique of Newton. A reconsideration, in: Studies in History and Philosophy of Science 16 (1985), Nr. 4, S. 315–335, hier: S. 320 f.; Ingo Nussbaumer, Zur Farbenlehre. Entdeckung der unordentlichen Spektren, Wien 2008, S. 130, 159; Olaf Müller, Newton, Goethe und die Entdeckung neuer Farbspektren am Ende des Zwanzigsten Jahrhunderts, in: Erkenntniswert Farbe, hrsg. von Margrit Vogt und André Karliczek, Jena 2014, S. 45–82, hier: S. 55–59.

58 Ich danke Matthias Herder, der mich auf viele der Feinheiten hingewiesen hat, die in diesem Abschnitt zur Sprache kommen. Es ist interessant, wie geschickt es Goethe gelingt, seine Schwierigkeiten zu überdecken. Und zwar lässt er die Tafel just an der Stelle aufhören, wo sich zwei entscheidende seiner Linien schneiden – ausgerechnet so, dass sich das fragliche Farbfeld vor dem Schnittpunkt G verengt, bis es ganz verschwindet. Doch diesen Trick müsste Goethe zweimal einset-

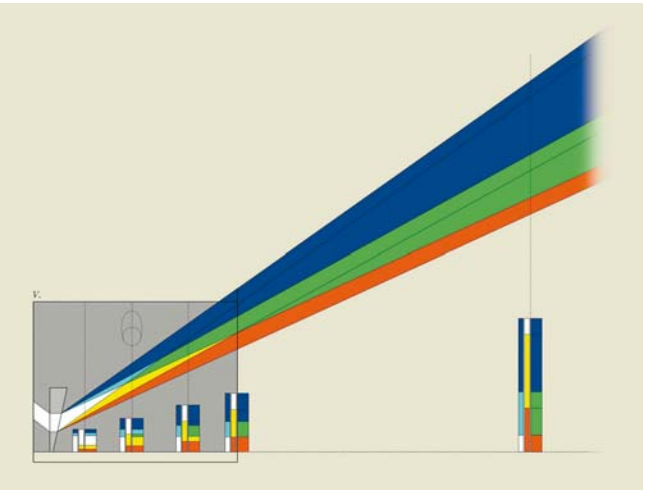


Abb. 40. Verlängerung der Tafel V (Grafik: Matthias Herder).

Diese Anomalie in Goethes Lehre hat ein Gegenstück bei Newton. Und zwar lässt sich mithilfe der newtonischen Theorie ebenfalls nicht verstehen, warum die spektrale Farbenvielfalt bei vergrößertem Abstand wieder abnimmt. Laut Newton müsste sie entweder steigen oder doch konstant bleiben.[59]

Vielleicht bietet der Gelbverlust bei erhöhtem Abstand einen der Brüche, die man wegwerfen muss, um weiterzukommen? Das klingt

zen: einerseits dort, wo (am Ende der Tafel in G) das Gelb verschwindet – andererseits an der Stelle T des Türkisverlusts weiter links (Abb. 42). Nun konnte Goethe die Tafel nur an einer Stelle abschneiden, nicht an zweien. Da die fraglichen Linien im Fall des Türkis nach ihrem Schnittpunkt wieder auseinanderstreben, also wieder Platz für eine eigene Färbung freilassen, musste Goethe den Türkisverlust anders übertünchen. Das tat er mithilfe blauer Tusche. Hat er gehofft, dass uns der Unterschied zwischen Dunkel- und Hellblau (bzw. Violett und Türkis) nicht so stark auffällt?

59 Olaf Müller, Fuchs, Du hast das Gelb gestohlen. Versuch über Goethes diebische Variation eines Experiments von Newton, in: Experiment FARBE. 200 Jahre Goethes Farbenlehre, hrsg. von Johannes Kühl, Nora Löbe, Matthias Rang, Dornach 2010, S. 38–53, hier: S. 42–44; vgl. Newton, Optics (Anm. 2), S. 43 f.

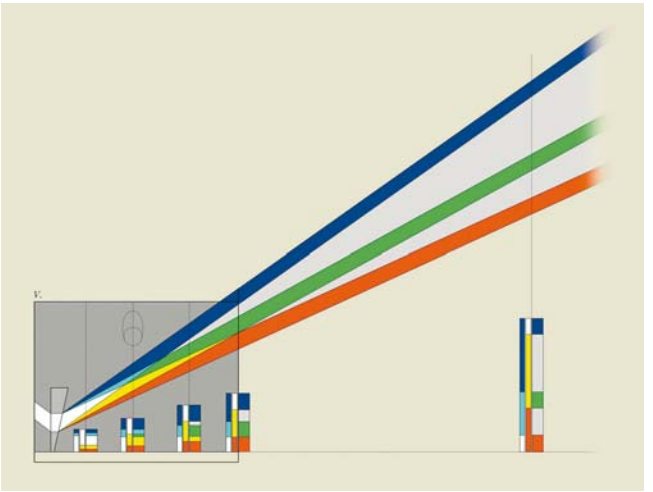


Abb. 41. Welche Farben sagt Goethe rechts voraus? (Grafik: Matthias Herder).

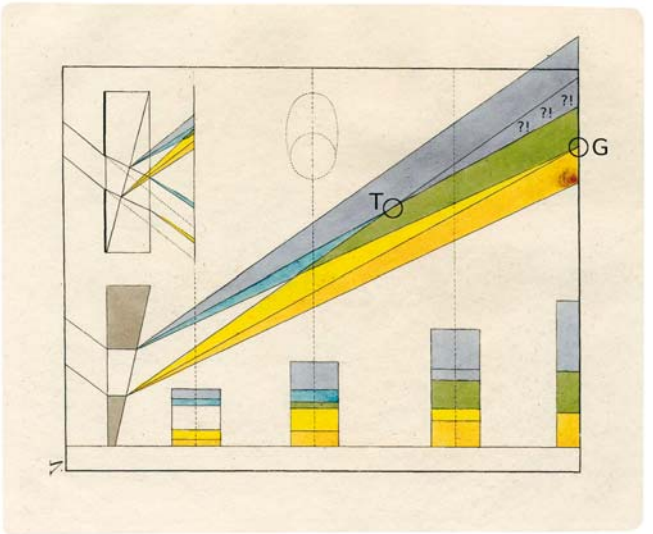


Abb. 42. Goethes Tafel V, gedreht, gespiegelt, Türkis und Gelb verschwinden in T bzw. G (Bearbeitung: Sarah Schalk).

aufreizend, ist es aber nicht. In der unterkühlten Sprache heutiger Wissenschaftsphilosophie besteht angesichts eines unerklärten Faktums kein Grund zur Beunruhigung; man redet von einer Anomalie, zu Deutsch: Ungereimtheit. Was sich bis auf weiteres gegen Erklärungen sperrt, wird solange an die Seite gestellt, bis man es entweder doch noch erklären kann – oder bis es vergessen ist. Schon in der Mitte des letzten Jahrhunderts hat der Wissenschaftshistoriker Thomas Kuhn darauf aufmerksam gemacht – und darauf, dass normale Wissenschaft gar nicht sinnvoll betrieben werden kann, wenn man sich von jedem unerklärten Faktum aus der Bahn werfen lässt.[60]

Vermutlich hat die hier besprochene Anomalie nichts mit Physik zu tun, sondern mit der menschlichen Farbwahrnehmung. Aber diese Vermutung lässt sich einstweilen nicht erhärten; offenbar passt die Anomalie nicht zu unseren augenblicklichen Theorien der Farbverarbeitung im Gehirn. Dafür möchte ich hier nur ein Indiz anführen.

In der Computersimulation, der viele meiner hier gezeigten Bilder entspringen, stecken nicht nur die physikalischen Gesetze der sog. geometrischen Optik; die rein physikalisch simulierten Intensitätsverteilungen sind am Ende nur Zahlenmatrizen – sie müssen am Ende in farbige Bilder umgerechnet werden. Hierbei werden Intensitätsverteilungen auf Punkte im dreidimensionalen Farbraum abgebildet. Und in diese Umrechnung fließt unsere augenblickliche Theorie der menschlichen Farbwahrnehmung ein.

Das bedeutet: Wenn die Computersimulation das Bild eines Spektrums liefert, das anders aussieht als im tatsächlichen Experiment, dann passen die im Simulationsprogramm codierten Naturgesetze nicht vollständig zur empirischen Realität. Ob die Schwierigkeit mit den einprogrammierten Gesetzen der geometrischen Optik zu tun hat oder mit den einprogrammierten Gesetzen der menschlichen Farbwahrnehmung, ist dadurch freilich nicht entschieden; doch wenn man bedenkt, wie gut die Aussagen der Optik abgesichert sind, wird man den Fehler eher bei den Gesetzen der Farbwahrnehmung suchen.

60 Thomas S. Kuhn, The structure of scientific revolutions (1962), second edition, enlarged, Chicago 1970, ch. VI und passim.

XII. Ästhetische Feinheiten der Tafel

Wo bleibt das Positive? Mit dem ungereimten Ergebnis aus dem vorigen Abschnitt will ich diesen Aufsatz nicht beenden. Daher möchte ich Ihre Aufmerksamkeit zum Abschluss auf zwei Feinheiten der Tafel lenken, die vielleicht ein wenig zur Aufheiterung beitragen. Sie haben beide mit der Rahmung der Tafel zu tun und bieten vielleicht einen kunstvoll versteckten Hinweis auf Goethes Emotionen, die er während der Arbeit an der Tafel mühsam gezügelt hat.

Der Rahmen der Tafel (Abb. 23) wird rechts oben gesprengt, wo der dunkelblaue Lichtkeil innerhalb des Rahmens nicht mehr genug Raum findet und sich gleichsam aus dessen Fesseln löst. Vielleicht wollte Goethe damit andeuten, dass sich das farbige Licht nie und nimmer einsperren lässt, dass also jede schematische Darstellung an ihre Grenzen stößt, derer man sich besser bewusst bleiben sollte. Gerade das Licht, das Goethe lieb und teuer war, strebt über jede künstliche Grenze hinaus.

Ironischerweise ist Goethe schräg gegenüber (also links unten) mit dem Prisma weniger freizügig umgesprungen. Jedes intakte Prisma in der Optik hat eine dreieckige Grundfläche – im Bild aber ist ausgerechnet der elegante spitze Winkel des Dreiecks abgeschnitten.[61] Passte etwa der brechende Winkel (dessen genaue Größe für das optische Geschehen entscheidend ist) nicht mehr ins Bild? Fast wirkt die Angelegenheit wie eine bewusste Aggression Goethes gegen Newtons wichtigstes optisches Instrument – so als hätte Goethe eine Ecke des Prismas voller Wut zerschmettert. Bedenken Sie: Dort, wo das Prisma abgeschnitten ist, verläuft zwar eine rahmenartige Linie. Doch wozu dient diese Linie? Sie sieht wie die Linie eines cartesischen Koordinatensystems aus; aber diese Rolle hätte man auch der äußeren Linie darunter zuweisen können.

Die Sache wird noch rätselhafter, wenn man die fehlenden Linien des Prismas ergänzt (Abb. 22). Der Schnittpunkt der Seiten des Dreiecks liegt nämlich fast auf dem äußeren Rahmen der Tafel. Warum hat Goethe das Prisma nicht vollständig abgebildet? Genug Platz hatte er dafür – zumal er, wie gesagt, schräg gegenüber selbst noch den äußeren Rah-

61 Wohlgemerkt, für den Versuchsausgang spielt es keine Rolle, ob der brechende Winkel abgeschnitten ist oder nicht.

men seiner Tafel gesprengt hat, dem Licht zuliebe. Eine spaßige Grille des schalkhaften Dichters? In dieser einen Hinsicht scheint die Tafel nicht ganz wissenschaftlich zu sein. Doch in meinen Augen ist das nicht weiter schlimm.[62]

62 Dieser Aufsatz bietet die Ausarbeitung von Überlegungen, die ich am 18. Januar 2016 beim *jour fixe* des Forscher-Kollegs ›Bildakt und Verkörperung‹ in Berlin und am 20. Februar 2016 beim Kolloquium zu Ehren von Felix Mühlhölzer ›Philosophie, Wissenschaft & Alltäglichkeit‹ in Göttingen vorgetragen habe. Ich danke Jürgen Trabant, Horst Bredekamp und deren Berliner Mitstreitern ebenso wie Felix Mühlhölzer und seinen Weggefährten für ertragreiche Debatten. Beate Kayser danke ich für hilfreiche Kommentare zu einer früheren Fassung dieses Textes, Sarah Schalk für Hilfe beim Messen, Zeichnen und Rechnen. Für die Erlaubnis zur Untersuchung der Experimentiermittel Goethes danke ich Gisela Maul, die viele wichtige Informationen bereitgestellt hat.