Goethes *Farbenlehre*

Vorlesung für Mitglieder aller Fakultäten

von Olaf L. Müller (www.farbenstreit.de)

Netzfassung für die
Humboldt-Universität

Persönliche Vorbemerkung von O. Müller:

Die hier angebotenen Filme zu Goethes *Farbenlehre* basieren auf Audio-Mitschnitten frei gehaltener Vorlesungen, die ich im Sommersemester 2015 an der Humboldt-Universität zur Diskussion gestellt habe. Mein Ziel bestand darin, aus moderner Sicht die Stärken der Farbforschung Goethes zum Vorschein zu bringen. Wie ich zu zeigen versuche, war Goethe ein guter Physiker und ein exzellenter Wissenschaftsphilosoph.

Wir haben uns bewusst dagegen entschieden, den informellen, teilweise polemischen Charakter der Vorlesungen zu sehr zu glätten. Nur offensichtlich nicht zur Vorlesung gehörende Episoden sind aus der Tonspur herausgeschnitten worden, der Rest ist O-Ton – mit allen Umgereimtheiten, die mir in Echtzeit unterlaufen sind.

Einige der krassesten Fehler korrigieren wir jeweils an Ort und Stelle auf der Bildspur, auf der zusätzlich das damals ausgeteilte Thesenpapier textlich unverändert, aber mit neuem Layout mitläuft. Die seinerzeit gezeigten Bilder tauchen auch jetzt wieder auf, vermehrt um eine Reihe weiterer Bilder, die hilfreich sein könnten.

Für die Diskussion am Ende jedes Unterkapitels geben wir die damaligen Fragen aus dem Publikum nicht wörtlich wieder, sondern in einer knappen Zusammenfassung. Sollten Sie weitere Einwände, Kritik oder Fragen haben, freue ich mich über Nachrichten an muelleol@staff.hu-berlin.de.

Ich danke meinem Mitstreiter Derya Yürüyen für Endredaktion, Rat und Tat.

O.M.

I. Einleitung

I.1. Ein seltsamer Unfall der deutschen Geistesgeschichte?

Der Weimarer Geheimrat und, wie man sagt, größte deutsche Dichter schrieb just in der Mitte seines Lebens (im Alter von 41 Jahren) an einen notorischen Revoluzzer:

> "Unter den *Arbeiten* die mich jetzt am meisten interessiren, ist eine neue Theorie des Lichts, des Schattens und der Farben [...] Wenn ich mich nicht betrüge, so muß sie mancherlei *Revolutionen* sowohl in der Naturlehre als in der Kunst hervorbringen" (Goethe, Brief an Johann Friedrich Reichardt vom 30.5.1791, mein Kursivdruck (siehe Goethe [WA]/IV.9:264)).

Das war keine Laune des Augenblicks:

(a) Bis zu seinem Tod im Jahr 1832 widmete Goethe keinem anderen schriftstellerischen Projekt mehr Zeit als dem "Farbenwesen".
(b) Sein Ziel bestand darin, die (bis heute in Grundzügen akzeptierte) Optik Newtons (1704) ein für allemal zu zertrümmern.
(c) Über kein anderes Thema hat er mehr geschrieben und veröffentlicht.
(d) Er begann 1791/2 mit einer kleinen Publikationsreihe: *Beyträge zur Optik* 1 und 2 (Goethe [LA]/I.3:6-37, 450-452; Goethe [LA]/I.3:38-53).
(e) Nachdem er beim Experimental-Physiker Lichtenberg auf Interesse in Nebenpunkten und Unnachgiebigkeit in der Hauptsache gestoßen war, ja nachdem er sich von anderen Physikern wütende Verrisse eingefangen hatte, blieb die Publikationsreihe zwar stecken.

(f) Aber er arbeitete unverdrossen an seinem Projekt weiter und veröffentlichte im Jahr 1810 die *Farbenlehre* in drei Teilen und mit einem Dutzend Farbtafeln: 1400 Druckseiten (Goethe [LA]/I.4-7).

(g) Nachdem es – bis 1815 – zwanzig fachwissenschaftliche Verrisse und andere veröffentlichte Todesurteile für die *Farbenlehre* gehagelt hatte, ließ er sich immer noch nicht ermutigen, hielt zwar eine Zeitlang öffentlich still, gab aber in den Jahren 1817-1823 noch fünf Hefte *Zur Naturwissenschaft überhaupt* heraus, in denen es zuallererst um die Farben ging (Goethe [LA]/I.8).

Provokation meiner Vorlesung:

(i) Die damaligen Kritiker Goethes und nahezu sämtliche späteren Leser der *Farbenlehre* haben den dort wichtigsten und scharfsinnigsten Gedankengang entweder nicht bemerkt oder irrigerweise für nichtig gehalten.

(ii) Goethe hatte recht, und zwar auf dem *rationalen* Terrain der bis heute gültigen Methoden der exakten Naturwissenschaften.

I.2. Drei schockierende Ansagen an Eckermann

Zwar hat Goethes Weggefährte Eckermann nicht einfach wortgetreu mitstenographiert, was der Alte sagte; deswegen sollte man die bevorstehenden Zitate eher *Eckermanns* Goethe zuschreiben als Goethe selbst.

Aber in der Tendenz dürfte sich Johann Peter Eckermann kaum vertan haben:

> Aber doch, sagte ich, kann es Ihnen nicht gereuen, dass Sie die Farbenlehre geschrieben; denn nicht allein, daß Sie dadurch ein festes Gebäude dieser trefflichen Wissenschaft gegründet, sondern Sie haben darin auch ein Muster wissenschaftlicher Behandlung aufgestellt, woran man sich bei Behandlung ähnlicher Gegenstände immer halten kann. "Es gereut mich keineswegs", sagte Goethe, "obgleich ich die Mühe eines halben Lebens hinein gesteckt habe. Ich hätte vielleicht ein halb Dutzend Trauerspiele mehr geschrieben, das ist alles, und dazu werden sich noch Leute genug nach mir finden" (Eckermann [GmGi]:205 (1.2.1827)).
>
> "Auf alles, was ich als Poet geleistet habe [...] bilde ich mir gar nichts ein. Es haben treffliche Dichter mit mir gelebt, es lebten noch trefflichere vor mir und es werden ihrer nach mir sein. Daß ich aber in meinem Jahrhundert in der schwierigen Wissenschaft der Farbenlehre der einzige bin, der das Rechte weiß, darauf tue ich mir etwas zugute, und habe daher ein Bewußtsein der Superiorität über viele" (Eckermann [GmGi]:283 (19.2.1829)).
>
> "Die Irrtümer meiner Gegner […] sind seit einem Jahrhundert zu allgemein verbreitet, als daß ich auf meinem einsamen Wege hoffen könnte, noch diesen oder jenen Gefährten zu finden. Ich werde allein bleiben! – Ich komme mir oft vor wie ein Mann in einem Schiffbruch, der ein Brett ergreift, das nur einen einzigen zu tragen imstande ist. Dieser eine rettet sich, während alle übrigen jämmerlich ersaufen" (Eckermann [GmGi]:616 (10.2.1830)).

Besonders das erste dieser drei Zitate hat die Fans deutscher Dichtung aus den Socken geschockt – wusste Goethe nicht den Wert dessen zu schätzen, was er gut konnte?

Naja; ob ausgerechnet *Trauer*spiele zu seiner unpessimistischen Geisteshaltung passten, darüber kann man streiten.

I.3. Physiker schütteln angewidert die Köpfe

Ausgerechnet Geisteswissenschaftler lassen sich wieder und wieder von harscher Goethe-Kritik aus der Naturwissenschaft einschüchtern, in einer Art vorauseilendem Gehorsam gegenüber den MINT-Fächern, von wo es z.B. so herüberschallt:

1810 "Hr. Göthe erlaube seinem Recensenten, der ihm als Dichter den Zoll des verdienten Lobes eben so wenig als irgend ein deutscher Mann vorenthält, folgende gar nicht unfreundliche Erinnerungen. Wer über mathematische und physische Gegenstände schreiben will, muß sich mit einem heitern und ruhigen Kopfe an seinen Schreibtisch setzen. Wer auf dem Pegasus reitet, und aus den castalischen Quellen trinkt, der mag auf seinem Sattel eine Physik für idealische Welten schreiben. Auf unserer gemeinen prosaischen sublunarischen Welt ist aber ein physikalischer Roman nicht brauchbar. Die wirkliche palpable Welt und die Verhältnisse ihrer Erscheinungen lassen sich ein für alle Mal nicht mit Jamben ausmessen. In der idealistischen Welt mögen die Herren Dichter und Transcendental-Philosophen ihre Rößchen nach Herzenslust herumtummeln" (Anonym [zFvG]:32).

1882 "Sein Theroretisiren beschränkte sich darauf, aus einem Urphaenomen, wie er es nennt [...], andere Phaenomene hervorgehen zu lassen, etwa wie ein Nebelbild dem anderen folgt, ohne einleuchtenden ursächlichen Zusammenhang. Der Begriff der mechanischen Causalität war es, der GOETHE gänzlich abging. Deshalb blieb seine Farbenlehre, abgesehen von deren subjectivem Theil, *die todtgeborene Spielerei eines autodidaktischen Dilettanten*; deshalb konnte er sich mit den Physikern nicht verständigen; deshalb war NEWTON's Grösse ihm verschlossen; und deshalb sah er in der wissenschaftlichen Optik eines YOUNG, eines FRESNEL, nur eine 'Katzenpastete' " (Emil du Bois-Reymond [GKE]:29; Hervorhebungen geändert).

1955 "In seiner Kritik der herrschenden Farbenlehre hat Goethe den klaren Sinn der Worte und Versuche Newtons vierzig Jahre lang mißverstanden und hat sich durch so kluge und sachkundige Gesprächspartner wie Lichtenberg nicht belehren lassen. Wie konnte ein so großer, so umfassender Geist so irren? Ich weiß nur eine Antwort: er irrte, weil er irren wollte" (Carl Friedrich von Weizsäcker [EBaG]:539).

2015 "Niemand hat die Intelligenz Goethes in Zweifel gezogen. Es ist allerdings ein Fehler, die wissenschaftlichen Leistungen eines Gelehrten stets ganzheitlich bewerten zu wollen. Eine lebenslange Beschäftigung mit einem Thema qualifiziert per se nicht zum Titel Naturwissenschaftler sondern im Falle Goethes vielleicht zum Titel Naturforscher, wenn man den Fokus auf seine Naturbeschreibungen richtet. Seine Farbenlehre bleibt falsch. Sie ist in Analogie zu Newtons alchimistischen Studien zu sehen (die ebenfalls wenig bekannt scheinen). Auch hier ein Muster ohne (naturwissenschaftlichen) Wert" (Hans-Jürgen Steffens, Leserforum der FAZ).

Um diese Verdikte zu neutralisieren, werde ich einerseits auf die begeisterte Zustimmung verweisen, die Goethe seinerzeit bei Spitzenphysikern gefunden hat (wie z.B. beim Entdecker des UV-Lichts Johann Ritter).

Andererseits will ich die Höhepunkte der optischen Arbeit Goethes im Detail entfalten (nachdem ich zunächst die Höhepunkte der optischen Arbeit Newtons vorführe).

I.4. Unvollständige Übersicht über die vier wichtigsten Teile der Farbenlehre

Entwurf einer Farbenlehre (Didaktischer Teil; Goethe [LA]/I.4):

— Beschreibung der wichtigsten Farberscheinungen: Physiologische Farben – Physische Farben – Chemische Farben – ... – Sinnlich-sittliche Wirkung der Farbe.
— Hier geht es u.a. um Himmelsblau, Abendrot, Feuerschein, Regenbögen – und um die bunten Phänomene, die sich mit Hilfe von Glas- oder Wasserprismen hervorzaubern lassen (für die Vorlesung zentral).
— Gerade zum Thema der Spektralfarben legt Goethe den *Entwurf* seiner eigenen Lehre vor (den ich leider fast nicht verstehe und hier nicht verteidigen werde).

Enthüllung der Theorie Newtons (Polemischer Teil; Goethe [LA]/I.5):

— Entwurf einer anti-newtonischen Wissenschaftsphilosophie (einer unszientistischen Erkenntnistheorie für die Naturwissenschaft).
— Übersetzung und Kritik der zentralen Passagen aus Newtons *Opticks* (1704), Book I.

Zwölfter Versuch.

252.

Ein schwarzes Papier

253.

Warum ein schwarzes Papier? Zu diesem Zweck ist jede durchlöcherte Tafel von Holz, Pappe oder Blech vollkommen geeignet; vielleicht auch wieder ein schwarzes Papier, um recht vorsichtig zu scheinen, dass kein störendes Licht mitwirke.

254.

Ein schwarzes Papier, worin eine runde Öffnung befindlich war, deren Durchmesser etwa den fünften oder sechsten Teil eines Zolls hatte,

255.

Warum war die Öffnung so klein? Doch nur dass die Beobachtung schwerer und jeder Unterschied unbemerklicher wäre. (Goethe [LA]/I.5:94).

Materialien zur Geschichte der Farbenlehre (Historischer Teil; Goethe [LA]/I.6):

— Wissenschaftsgeschichte von der Urzeit bis zur Zeit Goethes.
— Historisch informierte Wissenschaftsphilosophie (mit Vorwegnahme einiger Thesen von Thomas Kuhn und Paul Feyerabend).

Erklärung der zu Goethes Farbenlehre gehörigen Tafeln (Tafelteil; Goethe [LA]/I.7:41-114):

— Farbtafeln zur *Illustration* der wichtigsten Thesen und Experimente.
— Erklärungen der Tafeln mit Schlüsselthesen aus der *Farbenlehre*.
— Tafeln als *Teil der Experimente*, die Goethe seine Leser durchzuführen anflehte.

I.5. Unvollständige Übersicht über allerlei Ausgaben

Hinweis: Die Literaturkürzel dieser Vorlesung finden Sie hier jeweils ganz am Ende des Films. Viele Literaturkürzel dieser Vorlesung und weit mehr Literaturverweise finden Sie hier: http://farbenstreit.de/wp-content/uploads/2015/02/Literatur-zur-Farbenlehre.pdf.

Die Leopoldina-Ausgabe (Goethe [LA]):

(+) Bietet (vor allem in der ersten Abteilung [LA]/I.1-11) *sämtliche* Texte und Textschnipsel Goethes zur Naturwissenschaft.

(–) Hat in der ersten Abteilung die Schreibweisen Goethes an die damals offiziellen Rechtschreibregeln angepasst, Goethe-Texte im Kommentar- und Materialienteil der zweiten Abteilung ([LA]/II.1-10) aber unverändert gelassen.

(--) Kommt im Kommentarteil z.T. mit krassen Fehlurteilen der Errungenschaften Goethes daher, insbesondere mit Blick auf die optische Arbeit Goethes ([LA]/II.5A, herausgegeben vom Physiker, Wissenschaftshistoriker und Goethe-Hasser Horst Zehe).

(---) Ist in vielen wichtigen Teilen ein heilloses Durcheinander (insbesondere [LA]/I.3, [LA]/II.3 und [LA]/II.4), so dass wichtige Perlen im Chaos untergehen, etwa zwei spektakuläre Fachaufsätze Hegels zugunsten der *Farbenlehre* ([LA]/II.5B/1:265-288). Die zweite Abteilung hat 18 Teilbände, und trotzdem bezieht sich der Kommentarband nicht immer auf den parallel numerierten Textband.

(++) Verspricht mit der dritten Abteilung angesichts vieler unübersichtlicher Register in den Einzelbänden jetzt doch noch zwei wunderbare Registerbände ([LA]/III.1 ist bereits erschienen) und soll vielleicht auch eines schönen Tags vollständig digitalisiert werden.

Die Hamburger Ausgabe (Goethe [HA]):

(–) Ist unvollständig, insofern sie den höchst wichtigen *Polmischen Teil* ebenso wie den ganz interessanten *Historischen Teil* einfach ganz weglässt.

(--) Schreibt die üblichen Vorurteile fort, indem sie im Kommentarteil einen defaitistischen Vortrag Weizsäckers bringt ([HA]/XIII:539-555; s.o. I.3); der hatte sich nach eigenem Bekunden nie eingehend mit Goethes Farbenlehre befasst!

Die Weimarer Ausgabe (Goethe [WA]):

(+) Bietet die *Farbenlehre* vollständig ([WA]/II.1-3), in unmodernisierter Schreibung und alter Typographie.

(++) Ist frei im Netz zu haben, siehe die Links des Tokyoter Germanisten Mandelartz unter http://www.kisc.meiji.ac.jp/~mmandel/recherche/goethe.html

Die Original-Ausgabe aus dem Jahr 1810:

(+) Stimuliert den wissenschaftsgeschichtlichen Entdeckergeist.

(++) Ist ebenfalls frei im Netz zu haben: http://farbenstreit.de/links/

II. Elementare Experimente: Grundkurs Newton

II.1. Die Entdeckung der Heterogenität des weißen Lichtes (Newtons Brief an die Royal Society *vom 6.2.1672)*

Newtons Grundexperiment (mit Loch im Fensterladen) liefert Anhaltspunkte zugunsten der Theorie von der Heterogenität des weißen Lichtes:

(H)^{W} Weißes Licht ist heterogen und besteht aus blauen, türkisen, grünen, gelben und roten Lichtstrahlen (mit beliebig vielen Zwischenstufen).

(Ä)^{W} Jeder Farbe eines homogenen Lichtstrahls entspricht eine eigene Refrangibilität, d.h. ein eigenes Maß dafür, wie stark der fragliche Lichtstrahl beim Weg durchs Prisma abgelenkt wird:

Blau > Türkis > Grün > Gelb > Rot.

[Äquivalenzthese für die homogenen Bestandteile des weißen Lichts].

(K)^{W} Dunkelheit und Schwärze spielen bei den prismatischen Versuchen keine eigene Rolle.

[These der kausalen Unwirksamkeit des Gegenteils von Weiß].

II.2. Newtons genauere Untersuchung des Grundexperiments

Bevor Newton seine Theorie formulierte, vergewisserte er sich, ob die seltsamen Effekte (der Bildverlängerung und der Farbentstehung) vielleicht auf anderen Ursachen beruhen könnten, z.B.:

(1?) Hängen die Farben vielleicht davon ab, wie lang der Weg des Lichts durchs Innere des Prismas ist? (Der ist in der Nähe der Prismenspitze kürzer und in der Nähe der Grundfläche länger).

(1!) Experimentelles Resultat: Die Effekte sind stabil gegenüber solchen Variationen.

Zudem schaltete er Störeinflüsse aus:

(2?) Hängen die Farb- und Formveränderungen vielleicht von Verschmutzungen im Glas ab? (Bedenken Sie die damaligen Mittel der Glasgewinnung, des Polierens usw.)

(2?!) Newton hätte das Grundexperiment mit einem zweiten Prisma ausprobieren und dabei dieselben Effekte beobachten können wie mit dem ersten Prisma.

(2!) Experimentelles Resultat: Wer das zweite Prisma hinter das erste stellt, und zwar kopfüber, der macht dadurch sowohl die Farb- als auch die Formeffekte des ersten Prismas rückgängig.

(2!!) Newton zieht aus (2!) folgenden Schluss: Wenn die Farb- und Formeffekte auf Unreinheiten zurückgingen, dann müssten sie sich beim Durchgang durchs zweite Prisma noch verschlimmern – und zwar gleichgültig, in welcher Position das zweite Prisma hinter dem ersten angebracht wird. Da sich die Effekte aber rückgängig machen lassen, kann keine

Unsauberkeit des Glases im Grundexperiment für farbige Störungen oder Formstörungen gesorgt haben.

II.3. Feuerprobe Weißsynthese

Wer (im Grundexperiment) das Weiß der Sonne in bunte Farben zerlegen (analysieren) kann, der muss das bunte Licht auch wieder zu Weiß mischen (synthetisieren) können:

> In Newtons Weißsynthese (1672) zieht eine *Linse* die bunt auseinanderdividierten Lichtstrahlen wieder in einen weißen Lichtfleck zusammen.

Abstrakte und konkrete Schönheitsfehler:

(-1_A) Dass Newtons Weißsynthese seine Weißanalyse genau umkehrt, lässt sich weder leicht sehen noch leicht einsehen. (Asymmetrie zwischen Prisma und Linse).

(-2_K) Der Effekt ist weder geometrisch scharf noch farblich sauber. (Zudem ist das Experiment störanfällig).

In Desaguliers' Weißsynthese (1714) schaut der Betrachter durchs analysierende *Prisma* auf die bunt auseinanderdividierten Lichtstrahlen und sieht dabei einen weißen Lichtfleck.

Ästhetische Vorzüge gegenüber Newtons Weißsynthese:

($+1_A$) Dass Desaguliers' Weißsynthese die newtonische Weißanalyse genau umkehrt, lässt sich leicht einsehen. (Apparative Sparsamkeit; Analyse und Synthese sind in ein und demselben Experiment verwirklicht).

($+2_K$) Die geometrische und die farbliche Reinheit des Effekts sind visuell schön.

($+3_A$) Die zeitliche Symmetrie fasziniert unseren Intellekt.

II.4. Subjektive Experimente bei Newton

Zwei Spielarten optischer Experimente in Goethes ungeschickter Terminologie (Eigentor):

(O) Im sog. *objektiven* Experiment werden bestimmte Farb-Effekte auf einem Schirm oder einer Wand aufgefangen (z.B. II.1). Mehrere Personen können ein und dasselbe prismatische Bild betrachten.

(S) Im sog. *subjektiven* Experiment werden die Farb-Effekte direkt ins Auge auf die Netzhaut projiziert. Derartige Bilder kann die Experimentatorin nur selber betrachten (Sinnesphysiologische Labors außen vor). Sie ist *Teil* des Versuchsaufbaus.

Bei Newton und seinen Verbündeten kamen subjektive Experimente vor, und zwar ganz zu Beginn seiner optischen Forschung, lange vor dem objektiven Grundexperiment.

So blickte Newton im Jahr 1665 durchs Prisma auf eine z.B. halb weiße, halb schwarze Vorlage und beobachtet die farblichen Veränderungen, die sich an der Grenze zeigen.

Bevor Newton seine Vorlagen dann sogar noch farbig einfärbte, experimentierte er mit Schwarz/Weiß-Vorlagen.

Auf diese Experimente werde ich zurückkommen; Newton ließ sie in seinen ersten Veröffentlichungen unter den Tisch fallen, weil sie sich nur mit viel Aufwand aus seiner Theorie erklären lassen.

II.5. Ungereimtheiten gar nicht ignorieren

Wissenschaftsphilosophische Randbemerkung – das ist gängige Praxis in der Naturwissenschaft:

(+) Theorien und die Daten, die für sie sprechen, müssen möglichst zugkräftig, elegant und stromlinienförmig präsentiert werden; daher darf und sollte sich der Theoretiker auf die für ihn günstigsten Experimente stützen. Ohne *gezielte* Auswahl optimaler Experimente geht's nicht.

(–) Der Theoretiker darf sogar diejenigen Experimente ausblenden, mit denen seine Theorie augenblicklich gar nicht zurechtkommt, die also als Widerlegung verstanden werden könnten. Er darf sich sagen: Wie diese Ungereimtheit ("Anomalie") zu erklären ist, überlegen wir später (Kuhn).

Goethe hat das klar gesehen und für sich ausdrücklich in Anspruch genommen:

> "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" (Goethe [RP]:306/7; mein Kursivdruck).

II.6. Das optimale subjektive Experiment zugunsten von Newton

Auf der einen Seite sehen Sie eine Vorlage (mit Kreis) fürs subjektive Experimentieren, die sich gut mit Newtons Theorie verheiraten lässt.

Dem weißen Fleck entspricht die Sonne aus Newtons objektivem Grundexperiment (II.1); dessen schwarzer Umgebung entspricht die Dunkelkammer; der Netzhaut entspricht der Auffangschirm.

Nachteil des subjektiven Experiments:

(–) Es ist schwieriger, das resultierende Spektrum auszumessen. (Wirklich?)

Vorteile des subjektiven Experiments

(i) Der Aufwand ist viel geringer.
(ii) Man kann es auch bei schlechtem Wetter durchführen, also besser reproduzieren.
(iii) Es lässt sich besser variieren.

Auf der anderen Seite sehen Sie die Vorlage einer Variation (mit Quadrat), in der Newtons Spektrum noch besser herauskommt.

Auf jeder Höhe im spektralen Bild findet sich immer nur ein *einheitliches* Lichtgemisch, weshalb das Spektrum viel aufgeräumter aussieht: einfacher, schlagkräftiger, stromlinienförmiger.

Rätsel: Hat dieses subjektive Experiment ein objektives Gegenstück?

III. Elementare Gegenexperimente: Grundkurs Goethe

III.1. Goethes Wiederentdeckung eines subjektiven Gegenexperiments des Jesuitenpaters Lucas

Goethe begann mit subjektiven Experimenten, in denen er die Rollen von Hell und Dunkel aus Newtons optimalen subjektiven Experimenten genau vertauschte (Goethe [BzO]/1).

Ähnlich schon Lucas, Brief an Hooke vom Februar 1677/8 (Newton [CoIN]/II:249-50).

Das Versuchsergebnis ist einigermaßen verblüffend:

NEWTONSPEKTRUM	GOETHESPEKTRUM
Blau	*Gelb*
Dunkeltürkis	Hellrot
Grün	*Purpur*
Dunkelgelb	Hellblau
Rot	*Türkis*

Vergleich zwischen den beiden Spektren:

(i) Beide Spektren sind gleich groß, gleichermaßen farbstark, gleich schön.
(ii) Newtons Spektrum hat dunkle Farben, Goethes helle.
(iii) Newtons Gelb ist hässlich und zu dunkel; Goethes Rot ist hässlich und zu hell.
(iv) Jeder Farbe aus Newtons Spektrum korrespondiert auf gleicher Höhe exakt die Komplementärfarbe.
(v) In Newtons Spektrum fehlt das Purpur, in Goethes das Grün.

Kurzum, beide Spektren wirken fürs unvoreingenommene Auge gleichwertig.

III.2. Goethes Patzer in den Beyträgen zur Optik

Ursprünglich glaubte Goethe (ebenso wie Lucas), dass das subjektives Gegenexperiment bereits zur Widerlegung der newtonischen Theorie hinreiche:

> "Wenn wir den Versuch, welcher den horizontalen weißen Streiffen ganz gefärbt und die fünf Farben in einer Folge zeigt, einen Augenblick bewundern, so hilft uns doch bald die alte [newtonische] Theorie und wir können uns diesen horizontalen Papierstreiffen als eine Oeffnung eines Fensterladens als die Wirkung eines hereinfallenden, in die fünf oder sieben Farben gebrochenen Lichtstreiffens vorstellen. Wenn wir aber den schwarzen Streiffen auf weiß Papier vor uns nehmen: so verwundern wir uns um desto mehr, da wir auch diesen schwarzen Streiffen völlig aufgehoben und die Finsternis sowohl als das Licht in Farben verwandelt sehen. Ich habe fast einen jeden, der diese letzte Erfahrung zum erstenmale machte, über diese beyden Versuche erstaunt gesehen; *ich habe die vergeblichen Bemühungen gesehen das Phänomen aus der bisherigen Theorie zu erklären*" (Goethe [BzO]/1:§56, Originalschreibung, mein Kursivdruck).

Inwiefern wirft das neue Experiment einen Schatten des Zweifels auf Newtons Theorie? Es passt offenbar nicht gut zu Newtons Äquivalenzthese (II.1):

(Ä)^{W} Jeder Farbe eines *homogenen* Lichtstrahls entspricht eine eigene Refrangibilität, d.h. ein eigenes Maß dafür, wie stark der fragliche Lichtstrahl beim Weg durchs Prisma abgelenkt wird:

Blau > Türkis > Grün > *Gelb* > Rot.

Problem für (Ä)^{W}:

> In Newtons Spektrum werden blaue stärker als gelbe Strahlen gebrochen; in Goethes Spektrum ist es umgekehrt.

Newton-Anhänger müssen darauf antworten, dass Goethes Gelb kein homogenes Licht darstellt. Newton schrieb an Lucas:

> "Ihr nächster Einwand betrifft die schwarzen und weißen Papierkreise. Hier begründen Sie die Gleichheit der Refrangibilität wieder dadurch, dass die fraglichen Effekte an derselben Stelle entstehen. Dabei vergessen Sie, dass das Licht nicht beidemal im selben Winkel ins Prisma tritt. Sie meinen offenbar, dass die beiden Fälle in folgender Hinsicht gleich liegen: So wie die durch den weißen Kreis auf dem schwarzen Tuch hervorgebrachten Farben letztlich vom Licht des weißen Kreises herrühren, so rühren auch die durch den schwarzen Kreis auf der weißen Wand hervorgebrachten angeblich vom Licht des schwarzen Kreises her. Aber das ist falsch. Im zweiten Fall rühren die Farben von denjenigen Teilen der weißen Wand her, die ober- und unterhalb des Kreises liegen. Denn nehmen Sie an, dass der Kreis so schwarz ist, wie er sein muss (oder dass er von einem dunklen Loch gebildet wird). Dann kann keine Rede davon sein, dass er Licht aller dieser Farben entsendet; denn dann entsendet er überhaupt kein sichtbares Licht. Die vom [Experiment mit dem – O.M.] schwarzen Kreis herrührenden Farben leuchten genauso stark wie die vom [Experiment mit dem – O.M.] weißen Kreis herrührenden; sie leuchten sogar noch stärker, wenn man sie aus großer Entfernung durch ein stark brechendes Prisma betrachtet. Nun wollen Sie diesen Einwand als Beweis nutzen, wie Sie immer wieder sagen. Das können Sie also nur, wenn Sie beweisen, dass ein schwarzer Kreis mehr Licht aussendet als ein weißer. Denn auf dieser Behauptung beruht Ihr Beweis" (Newton, Brief an Lucas vom 5.3.1677/8 (siehe Newton [CoIN]/II:257)).

Gleich in den ersten Verrissen der *Beyträge zur Optik* haben Physiker darauf hingewiesen, dass Newtons Theorie sehr wohl mit dem neuen Experiment klarkommt. Und das schadet Goethes *Farbenlehre* bis heute:

> "Das ausführliche Zitat soll die folgende spekulative These stützen: Hätte Goethe dies aufmerksam gelesen und bedacht, wäre seine *Farbenlehre* nicht geschrieben worden. Die Spekulation illustriert das Ausmaß und die in jeder Hinsicht grundlegende Bedeutung des Mißverständnisses, sie verdeutlicht, was man die Tragik des Beharrens nennen könnte" (Helbig [NO]:122; Hervorhebung im Original).

III.3. Als Goethe aus Schaden klug geworden war

Anders als Helbig es hinstellt, hat Goethe die orthodoxe Erklärung seines Spektrums gekannt und in der *Farbenlehre* (1810) ausführlich behandelt. Er machte sie lächerlich (und schoss sich damit ins Bein):

> "Die Nachwelt wird mit Erstaunen ein solches Musterstück betrachten, wie gegen das Ende des achtzehnten Jahrhunderts in den Naturwissenschaften auf eine Weise verfahren worden, deren sich das dunkelste Mönchtum und eine sich selbst verwirrende Scholastik nicht zu schämen hätte" (Goethe [EzGF]:89).

Wenn man das von Polemik befreit, läuft der rationale Gehalt dieser Kritik darauf hinaus, an jedwede wissenschaftliche Errungenschaft einen Maßstab anzulegen, der mit deren rein empirischen Erfolg nichts zu tun hat – die Tugend der Einfachheit:

(E) Newtons Erklärung ist viel zu kompliziert, um zu überzeugen.

Aus Sicht heutiger Wissenschaftstheorie ist die Einfachheit *ein* wichtiger Prüfstein für die theoretische Arbeit. Weitere anerkannte Kriterien bzw. Tugenden:

(T) Empirische Adäquatheit, Widerspruchsfreiheit, Sparsamkeit in der Zahl der postulierten Sachen, Schönheit, Übereinstimmung mit Schlüsselüberzeugungen.

Überzeugt Goethes Kritik in diesem speziellen Fall? Nein:

(i) Wissenschaftliche Arbeit ist oft mühsam, also kompliziert.
(ii) Es gibt keine *absolute* Komplexitäts-Obergrenze, die von Wissenschaftlerinnen nicht überschritten dürfte.
(iii) Die Komplexität der newtonischen Erklärung aus III.2 spricht nur gegen Newton, wenn mindestens eine insgesamt einfach*ere* Erklärung vorliegt (die sich diesen Vorteil nicht mit Nachteilen bei den anderen Tugenden aus (T) erkauft).
(iv) Wir müssen uns also nach einer attraktiven Alternativ-Erklärung für Goethes Spektrum umsehen.
(v) Und selbst wenn wir eine gefunden haben, muss das kein definitives Ergebnis gegen Newton liefern.
(vi) Denn solche Gesamtvergleiche zwischen zwei Theorien erfordern knifflige Abwägungen und brauchen nicht unbedingt eindeutig auszugehen.

III.4. Zwei Ebenen des Streits

In der Tat hat Goethe in der *Farbenlehre* nicht mehr behauptet, dass er Newtons Theorie widerlegen könne (anders als in III.2):

> "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 [...] Wir bilden uns also keinesweges ein, zu beweisen, daß Newton unrecht habe" (Goethe [ETN]:§30/1).

Beweisansprüche wurden vielmehr von Newton erhoben:

> "Ich verfolge mit diesem Buch nicht das Ziel, die Eigenschaften des Lichts durch Hypothesen zu erklären, sondern sie anzugeben sowie durch *vernünftige Argumentation* und Experimente zu *beweisen*".
>
> "MY design in this Book is not to explain the Properties of Light by Hypotheses, but to propose and *prove them by reason and experiments*" (Newton [O]:5 (= Book I, Part I), mein Kursivdruck).

Laut Newton lässt sich aus den prismatischen Experimenten zwingend *beweisen*, dass das weiße Sonnenlicht eine heterogene Mischung ist und aus Lichtstrahlen verschiedener Farben besteht.

Ohne Konflikt mit der heutigen Physik (und ihrem methodologischen Selbstverständnis) könnte man darauf erwidern:

(–) Aus den prismatischen Experimenten lässt sich *nicht* zwingend *beweisen*, dass das weiße Sonnenlicht eine heterogene Mischung ist und aus Lichtstrahlen verschiedener Farben besteht.
(+) Aber das weiße Sonnenlicht ist eine heterogene Mischung und besteht aus Lichtstrahlen verschiedener Farben.

Billige, nichtsnutzige Variante von (–):

(-) In der Wissenschaft lässt sich überhaupt nichts beweisen!

Aufwendige, wissenschaftlich ertragreiche Variante von (–):

(—) Newtons Theorie kann deshalb nicht als bewiesen angesehen werden, weil ihr eine ganz bestimmte Alternative gegenübersteht, die mit Blick auf (T) aus III.3 *genauso gut* funktioniert und die derselben Logik folgt wie Newtons Theorie.

These der Vorlesung: Das hat Goethe tatsächlich geleistet.

(Abgesehen davon hat er auch noch eine eigene Theorie vorgelegt, die seiner Ansicht nach *besser* funktioniert als Newtons. Sie ist kaum zu verstehen; vergl. I.4).

III.5. Zurück in die Dunkelkammer

Um (trotz II.4) alle Zweifel an Goethes Spektrum auszuräumen, sollte es zunächst objektiv dargestellt werden.

Wie das? Vergl. das Rätsel aus II.6:

> "Angenommen, dass die Luft (oder der Äther) aus der Umgebung der Sonne, genauso viele Male heller als die Sonnenscheibe wäre, wie die weiße Wand heller ist als der schwarze Kreis: Dann hätten wir vielleicht immer noch ein Spektrum mit umgekehrten Farben; und das Gelb dieses umgekehrten Spektrums wäre so lang wie das Blau unseres tatsächlichen Spektrums" (Lucas, Brief an Hooke für Newton vom Februar 1677/8 (Newton [CoIN]/II:250), meine Übersetzung).

Eine schwarze Sonne vor hell gleißendem Himmel – nicht durchführbar! Oder?

Lucas und Newton kamen an dieser Stelle nicht weiter; Goethe ab ca. 1800 sehr wohl:

> "Der Purpur wird gefunden [...] Großes Prisma zu Objektivversuchen" (Goethe [LA]/I.3:363, datiert auf 21.2.1800).

Goethe brauchte die Simulation einer dunklen Sonne. Es musste in der Dunkelkammer (noch ohne Prisma) so aussehen, als wäre draußen eine dunkle Sonne vor hellem Hintergrund.

Wie das? Einfach:

> "Wenn nun die [...] Versuche gewöhnlich nur mit dem leuchtenden Sonnenbilde gemacht wurden, so ist ein [...] Versuch mit einem *dunklen Bilde* bisher fast gar nicht vorgekommen. Wir haben hierzu aber auch eine bequeme Vorrichtung angegeben. Jenes große Wasserprisma nämlich stelle man in die Sonne und klebe auf die äußere oder innere Seite eine runde Pappenscheibe" (Goethe [EF]:§331; mein Kursivdruck).

Einwand – damit bekommt noch ohne Prisma nur ein (rundes) Schattenbild der Pappscheibe.

Irrtum. Zwar bekommt man unmittelbar hinter der Pappe deren Bild; aber bei hinreichendem Abstand fängt man ein *dunkles* Bild der *Sonne* auf:

(W) Wenn wir die Fensterläden aufreißen, also dem Licht von außen weder Loch (Blende) noch Steg (Schattenwerfer) entgegenstellen, fangen wir innen ein Gemisch aller Strahlen auf; das Bild auf dem Auffangschirm sieht weiß aus.

(S_{Loch}) Bei geschlossenen Fensterläden mit kleiner Lochblende erlauben wir einigen Strahlen den Weg durch die Lochblende – sie malen ein weißes Bild der Sonne vor dunklem Hintergrund auf den Schirm.

(S_{Steg}) Bei offenen Fensterläden mit kleinem Steg (von gleichem Durchmesser wie das Blendenloch) fangen wir diejenigen Strahlen ab, die bei (S_{Loch}) hereingelassen wurden, und lassen diejenigen herein, die bei (S_{Loch}) abgefangen wurden – daher muss sich das Negativ des weißen Sonnenbildes ergeben.

Einfach gesagt:

(*) Stegkamerabild = Weißes Bild – Lochkamerabild.

IV. Die Heterogenität der Finsternis

IV.1. Rückblick und Vorschau auf weitere Experimente

Fazit:

(N) Wir kennen ein newtonisches Experiment, das Grundexperiment in zwei Hauptvarianten – objektiv (II.1) und subjektiv (II.6), wobei im subjektiven Fall eine große Zahl geometrischer Variationen des Ausgangsbilds möglich sind. In allen diesen Fällen läuft ein eng abgezirkelter Lichtkörper in dunkler Umgebung ins Prisma und liefert die Farben des Regenbogenspektrums.

(G) Alle Experimente aus (N) haben komplementäre Gegenstücke, in denen ein eng abgezirkelter Schatten in heller Umgebung (bzw. ein umfassender Lichtkörper mit einer dunklen Lücke innen) durchs Prisma fällt und die Farben des Goethespektrums liefert (subjektiv in III.1, objektiv in III.5).

Nun hatte Newton weit mehr Experimente, die allesamt für seine Theorie sprachen, etwa die Weißsynthese (II.3).

Achse zeitlicher Symmetrie ↓

Achse der Farbsymmetrie →

Weißanalyse	Weißsynthese
Schwarzanalyse	?

Der subjektiv/objektiv gekoppelten Weißsynthese lässt sich eine Schwarzsynthese gegenüberstellen (Nussbaumer [zF]:105, 129, 158/9, 188; O.M. [FK], Abschnitt XV).

Goethe ist nicht bis zur Schwarzsynthese vorgedrungen, aber:

(1) Durch die Objektivierung des subjektiven komplementären Experiments von Lucas (III.5 *versus* III.1) hatte er alle Bestandteile für diesen Schachzug beisammen.
(2) Durch die gesamte *Farbenlehre* zieht sich die Tendenz, newtonische Experimente umzudrehen; Goethe hätte die Schwarzsynthese enthusiastisch begrüßt.
(3) Abgesehen davon hatte Goethe allerlei Einwände gegen Newtons *Weiß*synthese.

Betrachten wir als nächstes einige newtonische Experimente, die schon Goethe umzudrehen wusste.

IV.2. Kontinuierliche Variationen des objektiven Grundexperiments von Newton

Goethe trieb die Parallele zwischen den beiden *objektiven* Fällen (II.1 versus III.5) weiter, indem er den Abstand zwischen Prisma und Auffangschirm systematisch variierte.

Ergebnis – eine komplementäre Serie verschiedener spektraler Entwicklungsstufen:

(i) Bei kleinstem Abstand zwischen Prisma und Auffangschirm zeigen sich jeweils zwei Kantenspektren, die durch eine neutrale Mittelfarbe (Schwarz oder Weiß) voneinander getrennt sind; das gesamte Bild (aus Kantenspektrum I, neutraler Mitte, Kantenspektrum II) bezeichne ich als *Kantenspektrenpaar*.
(ii) Bei einem ganz bestimmten, etwas größeren Abstand berühren sich die beiden Kantenspektren – ohne dass sie von einer unbunten Mitte auf Abstand gehalten würden; das gesamte Bild (aus Kantenspektrum I und Kantenspektrum II) bezeichne ich als *Kantendoppelspektrum*.
(iii) Bei noch größeren Abstand tritt eine neue Farbe zwischen die äußeren Farbpaare – Grün bzw. Purpur; das gesamte Bild (aus allen fünf bunten Farben) bezeichne ich als *Vollspektrum*. Das sind die Phänomene aus Newtons und Goethes Grundexperimenten.
(iv) Bei noch größeren Abstand verschwinden zwei der fünf Farben des jeweiligen Vollspektrums; das gesamte Bild aus drei bunten Farben bezeichne ich als *Endspektrum*. Die beiden Farben verschwinden nicht beim gleichen Abstand: Aus Newtons Vollspektrum verschwindet das

Türkis früher als das Gelb; aus Goethes Vollspektrum verschwindet das Rot früher als das Blau. In den seltenen Fällen, in denen nur eine der beiden Farben – Türkis bzw. Rot – fehlen, rede ich von einem *Schwundspektrum*. Es besteht aus vier Farben.

(v) Bei noch größeren Abstand verschwindet das bunte Bild und verliert sich im Finstern (bei newtonianischem Versuchsaufbau) bzw. im Hellen (bei dessen Umkehrung). Das verschwundene Spektrum bezeichne ich als Nullspektrum.

Bemerkung: Die Endspektren aus (iv) sind (insbesondere in der newtonischen Variante) bis heute eine Ungereimtheit der Farbwissenschaft. (Dazu: O.M. [FDHG]).

IV.3. Retardierendes Moment: Kritik an Goethes Tafeln V und VI

In der ersten – anonymen – Rezension der *Farbenlehre* hieß es, leider ohne konkrete Kritik:

> "Nun drang er tiefer ein, wiederholte die Experimente. (Dieses wird dem Autor kein Physiker auf's Wort glauben, und wird *zu Begründung seines Unglaubens sich auf die Kupfertafeln berufen.*)" (Anonym [zFvG]/a:27, meine Hervorhebung).

Hier einige Kritikpunkte, die Goethes allerwichtigste Tafeln heraufbeschwören:

(-1) Die Tafeln geben nicht wieder, wo die senkrechten Ränder der Spektren eher scharf konturiert sind und wo unscharf.

(-2) Die Bilder der Kantenspektrenpaare sehen aus wie Bilder eines *quadratischen* oder doch recht*eckigen* Fensterladenlochs bzw. Schattenwerfers; bei Newton war die Blende aber kreisrund.

(-3) Die Bilder der Voll- und Endspektren sehen aus wie utopische Bilder einer *quadratischen* Sonne; quadratische Ausgangsbilder waren zu Goethes Zeiten aber nur im subjektiven Experiment zu haben (II.6).

Antwort – Goethe *idealisierte* die Ergebnisse aus seiner doppelten Versuchsreihe:

(+1) Er ignorierte bildliche Unschärfen, und zwar genau so, wie es in den *exakten* Naturwissenschaften üblich ist.

(+2) Er verschwieg unwesentliche Änderungen des Versuchsaufbaus, um farblich besser sortierte Bilder zeigen zu können (II.6).

(+3) Er *extrapolierte* die Bilder, die er aus subjektiven Experimenten kannte, um theoretisch auf die Bilder schließen zu können, die sich nach astronomischen Umbaumaßnahmen des Himmels ergeben *hätten*.

Kurzum, der stereotype Vorwurf der Mathefeindschaft Goethes trifft nicht zu:

> "so war es gewiss *auch* hier […] der *erste Augenschein*, bei welchem er stehen blieb" (Pfaff [uNFH]:§118; mein Kursivdruck).

Noch mehr Kritik an den Tafeln:

(-4) Die Tafeln zeigen nicht, dass die ersten Farben schon im Prisma aufscheinen.

(-5) Die beiden Tafeln zeigen Prismen mit einem brechenden Winkel von nur 15°; das ist extrem wenig – so wenig, dass selbst Prismen mit stärkstmöglicher Dispersion keine Vollspektren aus dem Licht der Sonnenscheibe hervorholen können.

(-6) Die Logik der Tafeln für Erklärung der Endspektren ist nicht zuendegedacht.

IV.4. Von der Parallelität, Symmetrie, Komplementarität & Polarität zur gleichwertigen Gegentheorie

Die Kritik an den beiden Tafeln kann deren wichtigste Leistung nicht schmälern:

> Sie zeigen die völlig deckungsgleiche Komplementarität zweier Versuchsreihen; jedem Fehler der einen Tafel entspricht ein deckungsgleicher Fehler ihres Gegenstücks.

Goethes Trumpfkarte:

> "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 – O.M.] Schule behaupten könne, das weiße Bild auf schwarzem Grunde werde durch die Brechung in Farben aufgelöst, getrennt, zerstreut, sie eben so gut sagen könne und müsse, *daß das schwarze Bild durch Brechung gleichfalls aufgelöst, gespalten, zerstreut werde*" (Goethe [EzGF]:86; mein Kursivdruck).

Hier hat Goethe spielerisch eine Gegentheorie erfunden, die exakt derselben Logik folgt wie Newtons Theorie – die Theorie von der Heterogenität der Schwärze:

$(H)^S$ Schatten und Finsternis sind heterogen und bestehen aus gelben, roten, purpurnen, blauen und türkisen Finsternistrahlen (mit beliebig vielen Zwischenstufen).

$(Ä)^S$ Jeder Farbe eines homogenen Schattenstrahls entspricht eine eigene Refrangibilität, d.h. ein eigenes Maß dafür, wie stark der fragliche Schattenstrahl beim Weg durchs Prisma abgelenkt wird:

Gelb > Rot > Purpur > Blau > Türkis. (Äquivalenzthese).

$(K)^S$ Farblose Helligkeit und Weiß spielen bei den prismatischen Versuchen keine eigene Rolle. (These von der kausalen Unwirksamkeit des Gegenteils von Schatten).

Exegetische Warnung: Diese Theorie hat Goethe nicht in eigener Sache verfochten; er wollte zeigen, dass diese Theorie genauso gut ist wie Newtons – bzw. genauso *schlecht* (vergl. (—) in III.4).

IV.5. Erste Einwände gegen die Heterogenität der Finsternis

Warum halten wir die Heterogenität der Finsternis für falsch? Vielleicht deshalb, weil sie verrückt ist.

Das kann vielerlei heißen. Erster Anlauf:

(±L) Das Kriterium der *logischen Widerspruchsfreiheit* (aus (T) in III.3) führt nicht weiter: Wenn Newtons Theorie logisch widerspruchsfrei sein sollte (was bislang niemand bestritten hat), dann ist auch die Heterogenität der Finsternis logisch widerspruchsfrei. [Folgt aus der strukturellen Gleichheit beider Theorien sowie aus der Definition logischer Wahrheit als Wahrheit unter beliebiger Uminterpretation aller Konstanten mit Ausnahme der logischen].

Nächster Anlauf:

(+V) Die Frage stellt sich nicht. Kein Mensch vertritt so einen Humbug.

($-V_1$) Stimmt nicht; der schottische Optiker Reade hat die Heterogenität der Finsternis in unzähligen Aufsätzen und einer eigenen Monographie verfochten. (Goethe dagegen nur spielerisch, d.h. zum Zweck des Arguments – als *reductio ad absurdum* Newtons).

($-V_2$) Abgesehen davon wurden viele wichtige Innovationen der Naturwissenschaft zunächst als Humbug abgekanzelt.

IV.6. Die empirische Adäquatheit der Heterogenität der Finsternis

Zwar kommt die neue Theorie gut mit Goethes Spektrum zurecht, das ja ein erstes Indiz zugunsten ihrer Wahrheit bietet.

Passt die Theorie aber auch empirisch zu *Newtons* Spektrum?

(+) Natürlich; sie wiederholt einfach die newtonische Erklärung des Goethespektrums, aber mit umgekehrten Vorzeichen:

Indem wir die Ausdrücke aus Newtons Theorie stur durch geeignete Ausdrücke der unorthodoxen Theorie ersetzen, lässt sich jede newtonische Erklärung in ihr unorthodoxes Gegenstück verwandeln.

Begriffe aus der unorthodoxen Theorie	**Begriffe aus der orthodoxen Theorie**
Phänomenologische Begriffe	
Blau	Gelb
Türkis	Rot
Grün	Purpur
Gelb	Blau
Rot	Türkis
Stärker refrangibel	Stärker refrangibel
Durchschnittlich refrangibel	Durchschnittlich refrangibel
Maximal refrangibel	Maximal refrangibel
Minimal refrangibel	Minimal refrangibel
Dunkel	Hell
Schwarzer Schatten	Weißes Licht

Hinreichend homogenes Schattenbündel	Hinreichend homogenes Lichtbündel
Störender Streuschatten	Störendes Streulicht
Theoretische Begriffe	
Finsternisstrahl	Lichtstrahl
Heterogene Finsternis	Heterogenes Licht
Homogenes Schattenbündel	Homogenes Lichtbündel
Kausal wirksamer optischer Faktor	Kausal wirksamer optischer Faktor
Unterrepräsentation blauer Finsternisstrahlen	Unterrepräsentation gelber Lichtstrahlen
Experimentelle Begriffe	
Prisma	Prisma
Spiegel	Spiegel
Blende mit schwarz erscheinenden Backen	Blende mit weiß erscheinenden Backen

V. Goethes Theorem

V.1. Empirische Polarität im Reich der Farben, des Lichts und der Finsternis

Aus Goethes *Farbenlehre* ergibt sich zunächst eine empirische Polarität (oder Dualität oder Symmetrie) zwischen Helligkeit und Dunkelheit – Goethes Theorem:

(P_e) Zu *jedem* prismatischen Experiment aus Newtons *Opticks* (1704) gibt es ein duales Gegenstück (das durch Vertauschung der komplementären Farben sowie der Rolle von Schwarz und Weiß aus dem ursprünglichen Experiment hervorgeht).

Die Wahrheit dieses starken Theorems hat Goethe nur *geahnt*. (Viele seiner Angriffe auf Newtons Optik lassen sich als Versuch verstehen, das Theorem hochzuhalten). Genauer:

(P_e)* Im Rahmen der *geometrischen Optik* gibt es zu jedem optischen Experiment à la Newton mit Prismen, Linsen, Blenden, Spiegeln, Absorptionsflächen, Auffangschirmen und beliebigen Lichtquellen (wie Sonnen oder auch Lampen) mindestens ein komplementäres Gegenstück. Wenn man in einem beliebigen Experiment Newtons die Rollen von Dunkelheit und weißem Licht systematisch vertauscht, so ergibt sich ein geometrisch isomorphes Experiment mit strukturell demselben Versuchsergebnis wie im Original – nur dass sich sämtliche ursprüngliche Farben in ihr jeweiliges Gegenteil verwandeln, in ihr Farbkomplement.

Gegen Missverständnisse:

(a) Ich rede von Experimenten *à la Newton*, weil ich voraussetzen will, dass sowohl die Löcher in den benutzten Blenden als auch die Zahl der eingesetzten Photonen groß genug sind, um Experimente aus dem Anwendungsbereich der Theorie Newtons zu liefern.
(b) In Newtons *Opticks* kommen Phänomene vor, die sich nicht Rahmen der geometrischen Optik behandeln lassen, z.B. Beugung. Nichtsdestoweniger ist es ihm gegenüber fair, sich auf die geometrische Optik zu beschränken. Denn gerade das, was Newton auf diesem Gebiet leistete, hat sich in den Grundzügen bis heute gehalten.

Wie ließe sich das Theorem begründen? Es folgt logisch aus Newtons Theorie.

V.2. Zum Beweis des Goethe-Theorems

Beweis-Skizze – Vorüberlegungen:

(i) Ohne Aufspaltungen können wir jeden homogenen Lichtstrahl (mit ein und derselben Refrangibilität bzw. Wellenlänge λ) Schritt für Schritt durch den Raum des Experiments verfolgen, im Zickzack: $p_1, p_2, \ldots, p_n$.
(ii) Auf exakt diesem Pfad würden sich auch *beliebig verstärkte oder abgeschwächte* Lichtstrahlen (mit ein und derselben Wellenlänge λ) fortpflanzen.
(iii) Von allen finsteren Stellen des experimentellen Raums gehen für jede Wellenlänge entsprechende Zickzack-Pfade aus, auf denen sich eine verschwindende Licht-Intensität verbreitet. (Grenzfall Null).

Daher können wir irgendein gegebenes Experiment dadurch optisch umkehren, dass wir die Lichtpfade geometrisch unangetastet lassen und auf ihnen genau *entgegengesetzte* Intensitäten entlanglaufen lassen. Was heißt das?

(max) Auf den Pfaden, auf denen ursprünglich maximale Lichtintensität irgendeiner Wellenlänge entlanglief, soll nach Umkehrung nur noch minimale Lichtintensität *derselben* Wellenlänge entlanglaufen.
(min) Auf den Pfaden, auf denen ursprünglich minimale Lichtintensität irgendeiner Wellenlänge entlanglief, soll nach Umkehrung maximale Lichtintensität derselben Wellenlänge entlanglaufen.
(⌀) Entsprechend für Strahlen mit Intensitäten zwischen den Extremen. Ein Strahl, der im ursprünglichen Experiment z.B. mit 70% der maximalen Lichtintensität ausgestattet war, wird fürs umgekehrte Experiment mit 30% der maximalen Lichtintensität ausgestattet.

Weil in der idealisierten Strahlenoptik unterwegs kein Licht verloren geht, vererbt sich die Umkehrung der Anfangsbedingungen automatisch durch das gesamte Experiment bis zum Versuchsergebnis. (Mathematische Details im Anhang zu Kapitel II.5 in O.M. [ML]).

Bemerkung: Dass das – weitgehend unbekannte – Theorem gilt, wird von Physikern normalerweise nicht bestritten; der Beweis lässt sich z.B. in der Matritzen-Optik darstellen.

V.3. Unterbestimmtheit à la Quine gegen Newtons Beweisansprüche

Beruhigungspillen für heutige Physiker – von seiner Theorie hätte Newton nicht abrücken müssen:

(+) Alle *umgekehrten* Experimente lassen sich aus Newtons Theorie erklären.

Umgekehrt gilt:

(–) Alle Experimente Newtons lassen sich mithilfe der Heterogenität der Finsternis erklären.

Bittere Pille für Newton:

(0) Newtons Anspruch, seine Theorie eindeutig beweisen zu können, ist haltlos.

Quines These der Unterbestimmtheit der Theorie durch die Daten:

(QD) Zu einer gegebenen Menge an Beobachtungsdaten gibt es immer mehrere Theorien, die gleich gut zu diesen Daten passen.

Daten-Stellschraube:

(D) Je stärker wir die Menge derjenigen Daten ausweiten, unter denen eine Theorie in Quines Sinn unterbestimmt ist, desto gewagter und verstörender wird Quines These. Quine sprach von einer Theorie der *gesamten* Welt.

(G_D) Die Heterogenität der Finsternis verträgt sich mit allen Daten der newtonischen Theorie und passt zu allen Experimenten mit beliebigen Lichtquellen (nicht zu heiß), beliebigen Blenden (nicht zu klein), beliebigen Spiegeln, Auffangschirmen, Prismen, Linsen usw.

Theorien-Stellschraube:

(T) Je umfassender eine Theorie ist, d.h. je mehr sie über die Welt aussagt, desto größer ist die Gefahr, dass die Theorie an irgendeiner Stelle durch Daten unterbestimmt i.S. Quines ist. (Etwa wenn die Theorie von etwas handelt, worüber sich die Daten ausschweigen). Quine sprach von einer *allumfassenden* Theorie.

(G_T) Das Fallbeispiel von Goethe betrifft zwei eng abgezirkelte Theorien – Newtons Theorie (oder modern: die Theorie der geometrischen Optik) ist empirisch äquivalent zur Heterogenität der Finsternis.

Kriterien-Stellschraube:

(K) Je mehr außerempirische Kriterien wir an eine Theorie anlegen, die "gut" zu den Daten passen soll, desto weniger Theorien bleiben im Spiel – desto gewagter und verstörender wird Quines These.

(G_K) Die Heterogenität der Finsternis (HD) steht mit Blick auf *alle* intrinsischen Kriterien wie Schönheit, Einfachheit, ontologische Sparsamkeit usw. exakt so gut da wie Newtons Theorie (bzw. die geometrische Optik).

Zum Abschluss der Vorlesung ein Wort zu

Ingo Nussbaumers Frankfurter Farbenkreis

Das im Zeitverlauf wachsende Wahrzeichen der Vorlesung haben wir mit freundlicher Genehmigung des Künstlers leicht verändert einer Installation von Ingo Nussbaumer entnommen. Sein 72-teiliger Farbenkreis gehört zu dem Werk

Lichte Nacht der Iris – The Rainbow's Missing Colours

im Frankfurter Deutschen Romantik-Museum, unter dessen Glaskuppel Nussbaumer ein riesiges Wasserprisma aufgehängt hat. Wenn die Sonne scheint, entfalten sich dort parallel die beiden Spektren und werden in 15 Metern Abstand vom Prisma aufgefangen. Nussbaumer zerschneidet das Bild dieser Spektren (das seine Assistentin Nina Gospodin photographiert hat) in 36 horizontale Streifen gleicher Breite, wobei er die schwärzlichen Enden des Newton- und die weißlichen Enden des Goethespektrums mit einbezieht.

Auf diese Weise gewinnt er 36 Paare komplementärer Spektralfarben, die oben Schwarz/Weiß beginnen, dann im Uhrzeigersinn nach rechts auf den Kontrast zwischen Goethes Türkis und Newtons Rot zulaufen, unten einen Gegensatz aus Purpur und Grün passieren, um zuletzt links durch Paare aus Gelb und Blau wieder auf den unbunten Ausgangspunkt zurückzukommen. Unseres Wissens ist das die allererste hochaufgelöste Kartographie der beiden wichtigsten Farbspektren.

Für einen kurzen Film über die *Lichte Nacht der Iris* siehe

Literatur

[Hinweis: Kleingedruckt sind sämtliche Sammelbände, auf die sich andere Einträge beziehen]

Anonym [zFvG]: "Zur Farbenlehre von Göthe". In Braun (ed) [GiUS]/3:246-251. [Unvollständiger Abdruck; erschien zuerst in Neue Oberdeutsche allgemeine Literatur-Zeitung (5.7.1810), München].

Bleisch, Barbara / Strub, Jean-Daniel (eds) [P]: *Pazifismus. Ideengeschichte, Theorie und Praxis*. (Bern: Haupt, 2006).

Braun, Julius W. (ed) [GiUS]/3: *Goethe im Urtheile seiner Zeitgenossen (1802-1812). Band 3.* (Hildesheim: Georg Olms, 1969). [Reprographischer Nachdruck; erschien zuerst in Berlin: Luckhardt, 1885].

Desaguliers, J.T. [AoSE]: "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 by J. T. Desaguliers, F. R. S." *Philosophical Transactions* (1683-1775), Vol. 29. (1714 - 1716), pp. 433-447.

du Bois-Reymond, Emil [GKE]: *Goethe und kein Ende. Rede bei Antritt des Rectorats der Koenigl. Friedrich-Wilhelms-Universitaet zu Berlin am 15. October 1882.* (Leipzig: Veit, 1883).

Eckermann, Johann Peter [GmGi]: *Gespräche mit Goethe in den letzten Jahren seines Lebens.* (Regine Otto (ed); München: Beck, 1988). [Erschien zuerst in drei Teilen; erster und zweiter Teil 1836, dritter Teil 1848].

Eissler, Kurt R. [G]/A: *Goethe. Eine psychoanalytische Studie. 1775–1786.* (Peter Fischer / Rüdiger Scholz (tr); Basel: Stroemfeld, 1983 und 1985). [Erschien zuerst auf Englisch im Jahr 1963; da die Seiten der beiden Bände durchlaufend gezählt werden, zitiere ich ohne Angabe der Band-Nummer].

Goethe, Johann Wolfgang von [ÄE]: "Ältere Einleitung". In Goethe [LA]/I.8:178-184. [Aus Goethe [zNÜ]/I.4. Erschien zuerst 1822; der Text entstand vermutlich Anfang 1815 (so Nickol in Goethe [LA]/II.5B/2:1574)].

Goethe, Johann Wolfgang von [BzO]: *Beiträge zur Optik. Erstes Stück mit 27 Karten und 13 Tafeln*. In Goethe [LA]/I.3:6-37, 450-452. [Erschien zuerst 1791].

Goethe, Johann Wolfgang von [EF]: *Entwurf einer Farbenlehre. Des ersten Bandes erster, didaktischer Teil.* In Goethe [LA] I 4, pp. 11-266. [Erschien zuerst 1810].

Goethe, Johann Wolfgang von [ETN]: *Enthüllung der Theorie Newtons. Des ersten Bandes zweiter, polemischer Teil*. In Goethe [LA] I 5. [Erschien zuerst 1810].

Goethe, Johann Wolfgang von [EzGF]: *Erklärung der zu Goethes Farbenlehre gehörigen Tafeln.* In Goethe [LA]/I.7:41-114. [Erschien zuerst 1810, und zwar ungefähr am 10.5.

Goethe, Johann Wolfgang von [HA]: "Hamburger Ausgabe". *Goethes Werke in 14 Bänden.* (Erich Trunz (ed); München: Beck, 1998). [Die Hamburger Ausgabe erschien zuerst zwischen 1948 und 1960].

Goethe, Johann Wolfgang von [LA]: "Leopoldina-Ausgabe". *Die Schriften zur Naturwissenschaft. Vollständige mit Erläuterungen versehene Ausgabe im Auftrage der Deutschen Akademie*

der Naturforscher Leopoldina. (Jutta Eckle / Wolf von Engelhardt / Dorothea Kuhn / Rupprecht Matthaei / Irmgard Müller / Gisela Nickel / Thomas Nickol / Günther Schmid / Wilhelm Troll / Karl Lothar Wolf / Horst Zehe (eds); Weimar: Böhlau, 1947-2011).

Goethe, Johann Wolfgang von [RP]: "Das reine Phänomen". In Goethe [LA]/I.3:306-308. [Datiert 15.1.1798].

Goethe, Johann Wolfgang von [WA]: *"Weimarer Ausgabe" der Werke Goethes.* (Im Auftrag der Großherzogin Sophie von Sachsen; Weimar: Böhlau, 1887–1919). Nachträge und Register zur IV. Abteilung. (Paul Raabe (ed); München: dtv, 1990).

Goethe, Johann Wolfgang von [zNÜ]/I.4/1822: *Zur Naturwissenschaft überhaupt.* Ersten Bandes. Viertes Heft. (Stuttgart: Cotta, 1822).

Helbig, Holger [NO]: *Naturgemäße Ordnung. Darstellung und Methode in Goethes Lehre von den Farben.* (Köln: Böhlau, 2004).

Helmholtz, Hermann von [PWV]: *Populäre wissenschaftliche Vorträge.* Erstes Heft. (Braunschweig: Vieweg, 1865).

Helmholtz, Hermann von [üGNA]: "Über Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten". In Helmholtz [PWV]/1:31-53. [Vortrag aus dem Jahr 1853].

Kühl, Johannes / Löbe, Nora / Rang, Matthias (eds) [EF]: *Experiment FARBE. 200 Jahre Goethes Farbenlehre.* (Dornach: am Goetheanum, 2010).

Müller, Olaf [CKK]: "Chaos, Krieg und Kontrafakten. Ein erkenntnistheoretischer Versuch gegen die humanitären Kriege". In Bleisch et al (eds) [P]:223-263. [Im Netz unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:11-10075607].

Müller, Olaf [FDHG]: "Fuchs, Du hast das Gelb gestohlen. Versuch über Goethes diebische Variation eines Experiments von Newton". In Kühl et al (eds) [EF]:38-53. [Im Netz unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:11-100183246].

Müller, Olaf [FK]: "Farbspektrale Kontrapunkte. Fallstudie zur ästhetischen Urteilskraft in den experimentellen Wissenschaften". In Nussbaumer (ed) [RE]:150-169. [Im Netz unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:11-100180136].

Müller, Olaf [ML]: *Mehr Licht. Goethe mit Newton im Streit um die Farben*. (Frankfurt / Main: Fischer, 2015).

Newton, Isaac [O]: *Optics: or, a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light*. In Newton [OQEO]/4:1-264. [Erschien zuerst 1704].

Newton, Isaac [OQEO]/4: *Opera quae exstant omnia.* Band 4. (Stuttgart: Frommann, 1964). [Nachdruck der Erstausgabe von Samuel Horsley (ed) aus dem Jahr 1782].

Nussbaumer, Ingo (ed) [RE]: Rücknahme und Eingriff. Malerei der Anordnungen. (Nürnberg: Verlag für moderne Kunst, 2010).

Nussbaumer, Ingo [zF]: *Zur Farbenlehre. Entdeckung der unordentlichen Spektren.* (Wien: Edition Splitter, 2008).

Pfaff, Christoph Heinrich [uNFH]: *Ueber Newton's Farbentheorie, Herrn von Goethe's Farbenlehre und den chemischen Gegensatz der Farben. Ein Versuch in der experimentalen Optik.* (Leipzig: Vogel, 1813).

Quine, Willard Van Orman [fLPo]: *From a logical point of view.* (Cambridge / Mass.: Harvard UP, second edition, revised, 1961). [Erschien zuerst 1953].

Quine, Willard Van Orman [oEES]: "On empirically equivalent systems of the world". *Erkenntnis* 9 No 3 (1975), pp. 313-328.

Quine, Willard Van Orman [TDoE]: "Two dogmas of empiricism". In Quine [fLPo]:20-46. [Erschien zuerst 1951].

Quine, Willard Van Orman [WO]: *Word and object.* (Cambridge / Massachusetts: MIT Press, 1960).

Turnbull, Herbert Westren (ed) [CoIN]/II: *The correspondence of Isaac Newton. Volume II. 1676–1687.* (Cambridge: Cambridge University Press, 1960).

Weinberg, Steven [TvEU]: *Der Traum von der Einheit des Universums*. (Friedrich Griese (tr); München: Bertelsmann, 1993). [Erschien zuerst auf Englisch im Jahr 1993].

Weizsäcker, Carl Friedrich von [EBaG]: "Einige Begriffe aus Goethes Naturwissenschaft". In Goethe [HA]/XIII:539-555.