

„Hypotheses non fingo“

Newtons wissenschaftliche Methodenlehre

Band II

DFG – Fa 261/5-1

Prof. Dr. Dr. Brigitte Falkenburg
PD Dr. Karl-Norbert Ihmig

Fakultät Humanwissenschaften und Theologie (14)
Institut für Philosophie
Universität Dortmund
44221 Dortmund

e-mail: brigitte.falkenburg@tu-dortmund.de

Inhaltsübersicht Band II

Karl-Norbert Ihmig (2003d): Textdokumentationen zu Newtons Vorlesungen zur Optik.

- I. Newtons experimentelle Vorgehensweise
- II. Zum Hypothesenbegriff
- III. Newtons Definition des Lichtstrahls
- IV. Die Fundamente der Farbenlehre
- V. Idee einer mathematischen Naturlehre
- VI. Die Methoden der Analyse und Synthese

NEWTONS METHODENLEHRE

I. NEWTONS EXPERIMENTELLE VORGEHENSWEISE

Newton's erste Vorlesungsreihe zur Optik (Teil I)

Vorlesungen 1 - 2: Newtons erstes Experiment mit dem Prisma

Vorlesung 1

In der ersten Vorlesungsreihe 1670/71, den *Lectiones Opticae*, entwickelt Newton zu Beginn eine allgemeine These, die er als solche an den Anfang stellt: *die Lichtstrahlen des weißen Sonnenlichts unterscheiden sich hinsichtlich der Quantität der Brechung* (I. Newton, *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, ed. by A. E. Shapiro, Cambridge 1984, 50; im folgenden zitiert als: Newton, *Optical Papers I*); angedeutet wird auch, daß die Strahlen in Abhängigkeit von ihrer Quantität der Brechbarkeit in einer entsprechenden Ordnung die Farben (nämlich Rot, Gelb, Grün, Blau, Violett) produzieren;

anschließend spricht Newton davon, daß die zuvor erläuterte allgemeine Behauptung durch „Vernunftgründe und Experimente“ („**rationes et experimenta**“) bewiesen werden müsse; denn: ohne Beweis sei sie von einer „fabula“ nicht zu unterscheiden;

Newton's in geometrischer Sprache formulierte allgemeine Behauptung legt zugleich exakt zwei Möglichkeiten fest, die gegeben sein könnten: a) entweder die Strahlen, die unter gleichem Einfallswinkel gebrochen werden, weisen durchgängig einen identischen Ausfallswinkel auf (nämlich FR), oder b) dies ist nicht der Fall;

Was ist also Newton's Beweisziel? Er muß zeigen, daß es sich bei der Eigenschaft der unterschiedlichen Brechbarkeit der Strahlen um eine *reale physikalische* Eigenschaft handelt und nicht um eine scheinbare, die bloß auf zufälligen Umständen beruht;

→ am 18. Januar 1672 hatte Newton einen Brief an Oldenburg geschickt, in welchem er von einer „philosophischen Entdeckung“ berichtet, die er als die bedeutendste beschreibt, die bezüglich der „Operationen der Natur“ gemacht worden sei:

„I desire that in your next letter you would inform mee for what time the Society continue their weekly meetings, because if they continue them for any time I am purposing them, to be considered of & examined, an accompt of a Philosophicall discovery wch induced mee to the making of the said Telescope, & wch I doubt not but will prove much more gratefull then the communication of that instrument, being in my Judgement the oddest if not the most considerable detection wch hath hitherto beene made in

the operations of Nature.“ (I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull, J. F. Scott, A. Rupert Hall, Laura Tilling, 7 vols., Cambridge 1959-1977, Vol. I, Cambridge 1959, 82f.; im folgenden zitiert als: Newton, Cor. I.)

An diesem Punkt hätte nun der **deduktive** Prozeß, der auf die Behauptung folgt, lediglich einen bestimmenden Charakter, aber noch keinen konklusiven; d.h. Newton kann durchaus versuchen, eine der beiden Möglichkeiten zu *falsifizieren*; damit ist aber noch nicht die andere Behauptung in einem positiven Sinne bestätigt; angenommen, er könnte zeigen, daß *einige* der gebrochenen Strahlen, die alle denselben Einfallswinkel aufweisen, unterschiedlichen Linien folgten, also unterschiedliche Quantitäten der Brechung besäßen, dann wäre zumindest die allgemeine Behauptung widerlegt, daß beim weißen Licht *alle* Strahlen mit gleichem Einfallswinkel auch den gleichen Brechungswinkel besitzen; damit wäre also die **physikalische Hypothese**, die **geometrischen Optik** implizit zugrunde liegt, widerlegt; aber: damit ist noch keineswegs bewiesen, daß *alle* Strahlen als „letzte, grundlegende physische Realitäten des Lichts“ einen unterschiedlichen Brechungswinkel haben; bzw. daß ein bestimmter Grad der Brechung für jeden einzelnen Strahl konstant und unveränderlich ist und daher seine Realität ausmacht; → hier muß Newton gewissermaßen von neuem einen **induktiven** Prozeß in Gang setzen und aus dem bisher Erreichten aufgrund von Experimenten zu einer weiteren allgemeinen Behauptung fortschreiten, die so beschaffen ist, daß sie eine experimentelle Entscheidung zuläßt;

Problem: da es im Prinzip unendlich viele Strahlen gibt, läßt sich diese Behauptung in ihrer Allgemeinheit nicht für jeden einzelnen Strahl beweisen; Newton greift daher auf ein im 17. Jahrhundert allgemein anerkanntes Prinzip zurück, nämlich das **Kontinuitätsprinzip** bzw. die „*analogia naturae*“ (gleichen Wirkungen gleiche Ursachen zuschreiben); eine wichtige Rolle spielt auch das Kriterium der **Konstanz** und **Unveränderlichkeit** (cf. die spätere Regel 3 der ‘*Regulae Philosophandi*’); Newton versucht in allen weiteren Experimenten zu zeigen, daß die Konstanz und Regelmäßigkeit, mit der der Effekt der Dispersion des weißen Lichts auftritt, in **notwendiger** und **gesetzmäßiger** Weise auf die unterschiedliche Brechbarkeit der Lichtstrahlen zurückzuführen ist; läßt sich ein solches Gesetz angeben, dann ist zumindest bewiesen, daß die unterschiedliche Brechbarkeit der Lichtstrahlen kein bloß zufälliges Phänomen darstellt, sondern auf einer physikalischen Eigenschaft des Lichts beruht;

[die unterschiedliche Brechbarkeit der Lichtstrahlen wurde im Kern schon von Thomas Harriot (1560-1621) 60 Jahre zuvor entdeckt; sein Werk wurde jedoch nicht publiziert und blieb weitgehend unbekannt; auch Marcus Marci wird diese Entdeckung zugeschrieben; er führte die unterschiedliche Brechung aber nicht auf die Natur der Lichtstrahlen zurück, sondern auf die minimalen Unterschiede im Einfallswinkel, der von der Größe des Sonnenkörpers herrühren; diese Differenz entpricht etwa einer halben Bogenminute];

in seiner i. Vorlesung fährt er nun wie folgt fort: er konstatiert, daß der Anlaß für seine Behauptung ein sehr naheliegendes und bereits bekanntes Experiment („valde obvium“, „experimentum vulgare“) gewesen sei, das er mit dem Prisma gemacht habe [in seiner Schrift *New Theory about Light and Colours* (1672) spricht er auch von den „celebrated Phaenomena of Colours“]; aufgrund dieses Experiments habe er den „Rest sich ausgedacht“ bzw. das Übrige entwickelt; daher wolle er dieses Experiment zunächst näher ausführen;

es folgt nun eine Beschreibung des Versuchs; durch eine runde Öffnung in einem Fensterladen fällt Sonnenlicht in einen verdunkelten Raum; unmittelbar hinter die Öffnung wird ein Prisma plaziert; das Licht wird gebrochen und auf eine hinreichend entfernte Wand oder einen Schirm projiziert; Ergebnis: das Bild entspricht einer länglichen Figur, die mehrere Male so lang wie breit ist;

[Zu vorherigen und späteren Versionen dieses Versuchs: (1) in der Schrift *Of Colours* taucht der Versuch in zwei Varianten auf, bei denen das Verhältnis von 1 : 3 bis 1 : 7,3 reicht (cf. I. Newton, *Manuskript zur Optik: Of Colours* (ULC. ADD. 3975; ca. 1665/66), in: J. E. McGuire/M. Tamny (eds.), *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 466-489; cf. hier 468); (2) in den *Lectiones Opticae* wird ein Verhältnis von $\geq 1 : 4$ festgestellt (cf. Newton, *Optical Papers I*, 52); (3) in der *New Theory about Light and Colours* ergibt sich ein Verhältnis von ca. 1 : 5 (cf. Newton, Cor. I, 92); (4) in den *Opticks* taucht das Experiment im ersten Buch auf und zwar als Experiment 3 zum 'Beweis' der Proposition II: Das Sonnenlicht besteht aus unterschiedlich brechbaren Strahlen (cf. I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light. Based on the fourth edition* London 1730, New York 1952, 26-33; im folgenden zitiert als: Newton, *Opticks*); hier ergibt sich ein Verhältnis von Breite zu Länge des Spektrums von $2 \frac{1}{8}$ inches zu $10 \frac{1}{4}$ inches, was einem Verhältnis von 1 : 4,8 entspricht; bei späteren Varianten dieses Versuchs erreichte er ein Verhältnis von ca. 1 : 70 (cf. Newton, *Opticks*, 69f.);

wie wird das Ergebnis interpretiert?

„Et hinc evinci certò videtur quòd radorum aequaliter incidentium aliq̄ majorem alijs refractionem patiuntur.“ (Newton, *Optical Papers I*, 52; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 53: „Hence, this definitely appears to establish that at equal incidence some rays undergo a greater refraction than others“); denn: angenommen, das Gegenteil wäre richtig: alle Strahlen würden gleich gebrochen; dann folgte (aus dem geläufigen Brechungsgesetz), daß das Bild des Spektrums rund sein müsse [bzw. den Sinnen rund erscheinen müsse; Newton schreibt hier „orbiculares“, ein Ausdruck, den er später in „circulares“ verändert hat; „orbicular“ meint offenbar nicht einen perfekten geometrischen Kreis, sondern eine näherungsweise runde, ebene Figur];

die Erfahrung zeigt aber das Gegenteil (cf. Newton, *Optical Papers I*, 52: „Id quod contra omnem experientiam est“); → hier spielt ein **Argument aus der Erfahrung** die Rolle der **Widerlegung einer allgemeinen Behauptung**; d.h. Newton entwickelt zwei einander ausschließende Alternativen, von denen eine **durch Erfahrung falsifiziert** wird;

→ bedeutsam ist auch, was unter „experientia“ verstanden wird; offenbar nicht ein singuläres Experiment, sondern eine ganze **Reihe von Variationen der Versuchsbedingungen!** Beispielsweise verweist er auf eine Reihe verschiedener Positionen, in die er das Prisma gebracht habe; dies habe aber an dem Ergebnis des Versuchs nichts Wesentliches geändert; d.h. der Wert von ca. 1 : 4 für das Verhältnis von Breite : Länge des Spektrums konnte nie unterschritten werden; hier werden offenbar aus einer allgemeinen Behauptung wieder Experimente ‘deduziert’, um sie überprüfen zu können; und es werden zugleich mögliche andere Ursachen, die für ein derartiges Verhältnis von Länge und Breite verantwortlich sein könnten, ausgeschlossen;

[in der *New Theory about Light and Colours* vom 06. 02. 1672 beschreibt Newton seine Beobachtung wie folgt: **„Comparing the length of this coloured Spectrum with its breadth, I found it about five times greater; a disproportion so extravagant, that it excited me to a more than ordinary curiosity of examining, from whence it might proceed.“** (Newton, Cor. I, 92.)];

Bedeutsam: es gibt genau **eine Position des Prismas**, in der nach dem herkömmlichen Brechungsgesetz (Snell, Descartes) das Bild hätte **rund** erscheinen müssen; diese Position wird von ihm ausführlich beschrieben; dann zeigt er vermöge der **geometrischen Optik**, daß die Summe der beiden Brechungswinkel an den Seiten des Prismas für alle Strahlen in dieser Position ein Minimum annehmen; dazu wird eigens ein recht kompliziertes Lemma entwickelt, das eine Reihe von Sätzen aus Euklids „Elementen“ benutzt; (cf. Newton, *Optical Papers I*, 52-58); vermittels dieses Lemmas werde auch bewiesen, **„quod illi radij quorum refrangibilitas non est dispar, efformabunt imaginem penè orbicularem“** (op. cit., 60; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 61: „that those rays whose refrangibility is not unequal will form a nearly circular image“); da das Resultat des Versuchs aber ein längliches Spektrum zeige, sei die unterschiedliche Brechbarkeit der Strahlen bewiesen;

er verweist darüber hinaus auf weitere Faktoren, die das Bild des Spektrums verändern könnten, die aber als Ursache ausgeschlossen werden können: (1) ob das Prisma vor oder hinter der Öffnung plaziert wird; (2) die Gestalt des Loches ändert nichts, wenn es nur hinreichend klein ist; in der zweiten Version der *Lectiones Opticae*, den *Optica* kommen noch weitere Faktoren hinzu: (3) die Dicke des Prismas und (4) die Größe der Öffnung;

[in der *New Theory about Light and Colours* werden ebenfalls eine Reihe möglicher zufälliger Ursachen für die Länge des Spektrums untersucht (Newton, Cor. I, 92-94); (1) Dicke des Glases; (2) Begrenzung durch Schatten; Widerlegung: Variationen in folgender Hinsicht zeigen keine Veränderungen des Bildes: a) Variation der Dicke des Glases, b) Variation der Größe der Einfallsoffnung, c) Variation der Position des Prismas (vor oder hinter der Öffnung); (3) Unebenheiten des Glases; Widerlegung: Newtons Experiment mit den parallel aneinandergelegten Prismen, deren Brechungseffekte sich neutralisieren; (4) unterschiedliche Einfallswinkel der Strahlen, die von entgegengesetzten Seiten der Sonnenscheibe herkommen; Widerlegung: a) Newton rechnet aus, daß diese Abweichung bei den von ihm angegebenen Maßen des Versuchsaufbaus maximal einen Winkel von 31' hervorrufen könnte (ein halbes Grad); statt dessen sei aber eine Abweichung von 2°49' zu beobachten, also das Fünffache dessen, was man erwarten müßte; b) diese Beobachtung wird noch durch eine weitere unabhängige Berechnung unterstützt, die das Brechungsverhältnis von Luft und Glas als 20 : 31 bestimmte; Newton stützt sich dabei auf das Sinusgesetz der Brechung; c) er zeigt, daß eine Rotation des Prismas um seine Achse um ca. 4°-5°, welche also die Veränderung des Einfallswinkels um nahezu das Acht- bis Zehnfache der berechneten Abweichung von 31', die von der Größe der Sonnenscheibe herrührt, übertrifft, keine nennenswerte Änderung der Gestalt und der Farbverteilung des Spektrums erkennen läßt; (5) Die Strahlen pflanzen sich, nachdem sie das Prisma passiert haben, nicht mehr geradlinig, sondern leicht gekrümmt fort; aufgrund der unterschiedlichen Krümmung erzeugen sie das längliche Spektrum; Hinweis auf die Bewegung eines Tennisballs, der mit Effet geschlagen wird; Newton folgt hier einigen Ideen Descartes'; Widerlegung: a) zunächst erfolgt ein Hinweis darauf, daß er bei seinen Experimenten eine solche kurvenförmige Bewegung nicht beobachten konnte; b) er beobachtete einen *gesetzmäßigen* Zusammenhang zwischen der Größe der Differenz von dem Durchmesser der Einfallsoffnung und der Länge des Spektrums und der Entfernung beider; d.h. die Größe dieser Differenz ist der Entfernung proportional];

nachdem Newton diese Störfaktoren ausgeschlossen hat, folgt am Ende noch ein weiterer, kürzerer Beweis für seine Behauptung der unterschiedlichen Brechbarkeit der Strahlen des weißen Sonnenlichts; hier weist er nur darauf hin, daß die Ungleichheit des Einfallswinkels, die sich aus dem Durchmesser der Sonne ergibt, etwa einem halben Grad entspricht, während sich bei dem Bild des Spektrums ein Verhältnis von (mindestens) 1 : 4 ergibt.

Vorlesung 2

Newton kündigt eine Wiederholung des ersten Experiments an, um weitere Informationen aus einer **Variation** der verschiedensten **experimentellen Bedingungen** zu erhalten;

(cf. Newton, *Optical Papers I*, 62: „**Istud autem experimentum jam repeto ut varias ejus circumstantias**“; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 63: „I now repeat that experiment, however, so that I may pursue its various features“); werden hier aus einer Verallgemeinerung weitere Experimente „deduziert“?
im Mittelpunkt dieser zweiten Lektion steht insbesondere die Interpretation der geometrischen Form des Bildes des Spektrums; Newton beschreibt die Form dieses Bildes als ein Oval, das von oben und unten von zwei geraden (parallelen) Linien begrenzt wird, während die Seiten von zwei Halbkreisen begrenzt werden; allerdings macht er die Einschränkung, daß die Seiten der Halbkreise nicht ganz scharf begrenzt erscheinen; [vgl. seine spätere Auseinandersetzung mit Linus bzw. Francis Hall, der das Bild am roten Ende des Spektrums breiter und am blauen Ende schmaler beobachtet hatte];

→ Frage: was ist die **Ursache** für diese **längliche Gestalt** des **Spektrums**?

zunächst gibt Newton (mithilfe der geometrischen Optik) eine Analyse der Gestalt des Spektrums; dabei greift er auf **kontrafaktische Annahmen** zurück; [methodische Analogie zur Mechanik: ebenso wie eine Bewegung aus verschiedenen (kontrafaktischen) Komponenten zusammengesetzt gedacht wird, wird das Spektrum als aus verschiedenen (kontrafaktischen) Komponenten zusammengesetzt gedacht]; in diesem Kontext entwickelt er eine allgemeine **Vermutung** („**conjecturam**“; cf. Newton, *Optical Papers I*, 64);

1. zunächst werden die Halbkreise, die das Bild am Ende begrenzen, zu ganzen Kreisen ergänzt; ebenso wird in der Mitte des Bildes ein Kreis herausgehoben, dessen Durchmesser der Breite des Bildes entspricht;
2. Strahlen, die so disponiert sind, daß sie bei gleichem Einfallswinkel gleich gebrochen werden, ergeben - sofern man sie isoliert betrachtete - ein annähernd rundes Bild (dies ist in dem vorangegangenen Lemma der geometrischen Optik bewiesen worden);
3. nun stellt Newton eine Korrelation her zwischen der *Quantität der Brechung* der (homogenen) Strahlen, die gleich gebrochen werden, und ihrer (relativen) *Position* innerhalb der Fläche des Spektrumbildes: die Strahlen, die von der Sonne kommen (die ebenfalls untereinander ähnlich sind), aber ein wenig mehr gebrochen werden als die ersten, werden ein rundes Bild in der Mitte des Spektrums geben;
4. im vierten Schritt dehnt Newton seine Überlegungen auf unendlich viele (homogene) Strahlen aus; man denke sich „unzählige“ („*innumeros*“) andere Strahlen, deren *Quantität der Brechung* größer oder kleiner als die der vorherigen drei ist: diese werden daher unzählige Kreise beschreiben, die zwischen den beschriebenen Kreisen liegen und somit das Spektrum in seiner Länge kontinuierlich ausfüllen; → hier spielen Infinitesimalbetrachtungen und das Kontinuitätsprinzip eine entscheidende Rolle; darüber hinaus arbeitet Newton mit Idealisierungen; denn: im Prinzip ist jeder Strahl nur eine geometrische Linie, d.h. er würde nur als (unsichtbarer) geometrischer Punkt auf dem Spektrum erscheinen;

5. die kreisförmigen Bilder der einzelnen Strahlen besitzen alle (annähernd) die gleiche Größe → die Linien, die das Spektrum oben und unten begrenzen, sind annähernd Geraden und parallel zueinander;

Schlußfolgerung:

„Et sic totum spatium PYTZ radijs ex eâdem incidentiâ variè refractis illuminatum, partim parallelis rectis & partim semicirculis oppositis terminabitur: sicut experienciâ compertum est.“ (Newton, *Optical Papers I*, 64; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 65: „Thus the entire space PYTZ, illuminated by rays diversely refracted at the same incidence, will be terminated partly by parallel straight lines and partly by opposite semicircles, just as is found by doing the experiment.“)

Diese **allgemeine Schlußfolgerung** bezeichnet Newton aber noch als „**conjectura**“, nämlich als „**Vermutung**“, die noch nicht sicher bewiesen sei;

Wie ist bislang der Weg verlaufen?

1. Experimente, Erfahrung → 2. Zwei alternative allgemeine Aussagen der Theorie werden entwickelt; → 3. Prismaexperiment: Falsifikation der einen und damit Bestätigung der anderen; → 4. Theoretische (geometrische) Analyse der Gestalt des Spektrumbildes; → 5. „Deduktion“ von weiteren Experimenten: diese sollen die allgemeine Aussage überprüfen und gegebenenfalls falsifizieren;

Newton ist sich der **Idealität seiner Konstruktion** offenbar bewußt; denn: er verweist darauf, daß das Bild in der realen Beobachtung keineswegs so scharf begrenzt ist, wie er es hier dargestellt hat; (cf. Newton, *Optical Papers I*, 64; dort heißt es wörtlich, er habe die Begrenzung der Halbkreise stets „maxime confusi“ gefunden); dazu verweist er auf einen analogen Fall: wenn man Sonnenlicht durch eine kleine Öffnung lenkt und es über eine große Entfernung an einen Schirm wirft (ohne, daß es zwischendurch gebrochen würde), dann erscheint das Bild nicht sehr klar begrenzt; → eine erhebliche Verbesserung erzielt man dadurch, daß man das einströmende Sonnenlicht durch eine konvexe Linse lenkt, deren Brennpunkt genau auf den Schirm fällt; [dies könnte Newton aus einer Reihe von Quellen haben; bereits in seinem Notizbuch ULC Add. MS 4000 findet sich ein Aufsatz „De refractione“, in welchem auf diesen Sachverhalt hingewiesen wird; cf. dazu Komm. Shapiro, in: op. cit., 64f. Anm. 8; sowie A. R. Hall, „Further optical experiments of Isaac Newton.“ *Annals of Science* 11 (1955), 27-43; hier 41]; dazu kommt ein weiterer Umstand: die Kreise, die im Innern des Bildes des Spektrums liegen, überlagern sich; und: die Menge der Strahlen, die einer mittleren Quantität der Brechung entsprechen, ist am größten; sie sammeln sich in der Mitte; daher nimmt die Leuchtkraft an den Enden

ab, sofern die Menge der Strahlen immer geringer wird;

nun folgen eine Reihe praktischer Hinweise, wie das sich Versuchsergebnis möglichst klar darstellen läßt; d.h. die Diskrepanz zwischen theoretischer Deutung und praktischer Beobachtung wird systematisch auf ein Minimum reduziert; dies sind auch Hinweise darauf, wie sich die Experimente am einfachsten reproduzieren lassen; hier taucht erstmals der Begriff des „*homogenen Strahls*“ auf (Newton, *Optical Papers I*, 66: „**radij omnes homogenei**“);

weiteres Vorgehen: „aus der Gestalt des Bildes wird ein weiteres Experiment deduziert“ (Newton, *Optical Papers I*, 66: „**Ab imaginis figura aliud etiam experimentum deducitur**“);

dabei stellt Newton erneut fest, daß es um die „besagten Eigenschaften des Lichts“ (op. cit., 66: „*dictas proprietates lucis*“) geht, d.h. der Gegenstand der Untersuchung ist das Licht und seine Eigenschaften (physikalische Optik); Newton habe sich eine Möglichkeit ausgedacht, wie er sie einer **Untersuchung/Prüfung** unterziehen könne;

Vor.: die Größe des Bildes des Kreises, den ein homogener Strahl an die Wand wirft, hängt von der Größe der Sonne ab; wenn man den Durchmesser der Sonne verkleinern könnte, bliebe die Länge des Spektrumbildes erhalten, aber das Verhältnis Breite - Länge würde sich entsprechend vergrößern; → **Variation der Versuchsbedingungen, um bestimmte Effekte zu verstärken**; Newton leitet die Sonnenstrahlen durch zwei kleine Öffnungen von gleicher Größe (etwa 1/8 inch), die einen hinreichend großen Abstand (12 Fuß) voneinander haben, bevor sie auf das Prisma treffen; dann werden beim zweiten Durchgang die Sonnenstrahlen, die von dem äußeren Rand der Sonne kommen, abgeschnitten und der (scheinbare) Sonnendurchmesser erscheint damit auf ein Fünftel der ursprünglichen Größe verkleinert; Ergebnis: die Länge des Spektrumbildes beträgt 4,5 inches und die Breite 1/3 inch → das Verhältnis von Breite : Länge beträgt 1 : 13,5;

[ein ähnlicher Versuch findet sich in Newtons Aufsatz *Of Colours*, cf. I. Newton, *Of Colours* (ULC. ADD. 3975; ca. 1665/66), in: J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 466-489; hier 468];

Newton weist darauf hin, wie man durch (kontinuierliche) Variation der Umstände ein noch größeres Verhältnis bekommen kann; z.B. durch Verwendung einer konvexen Linse erreicht man Verhältnisse von 1 : 80 oder 1 : 100; [cf. Newton, *Opticks*, Buch I, Teil I, Prop. IV, Experiment 11, 67-72: hier gibt Newton an, daß er Verhältnisse von 1 : 40, 1 : 60 oder sogar 1 : 70 (op. cit., 69) erzielt habe; allerdings steht hier das Experiment in einem anderen Kontext, nämlich dem Versuch, bei zusammengesetztem Licht die heterogenen Strahlen zu trennen];

anschließend erfolgt eine **Grenzwertbetrachtung**: im Idealfall, wenn man die Öffnung,

durch die das Sonnenlicht einfallt, immer weiter verkleinerte, näherte sich das Bild des Spektrums einem Strich, bei dem die Breite gegen Null konvergiert (cf. Newton, *Optical Papers I*, 70); Hinweis auf eine entsprechende Beobachtung, die Newton mit dem Licht der Venus gemacht habe; deren Strahlen hat er durch ein Teleskop verstärkt; wenn man dann in einer Entfernung von ca. 7 Fuß einen Schirm anbringt, erkennt man einen hellen Punkt, der das Bild der Venus darstellt; plaziert man ca. 1 Fuß vor dem Schirm (Blatt Papier) ein Prisma, dann verschwindet der helle Punkt und man sieht statt dessen eine schmale Linie von ca. 1/2 inch Länge und kaum wahrnehmbarer Breite; → damit hat Newton das Spektrum des Lichts von der Venus experimentell hergestellt; er verweist darauf, daß man entsprechende Experimente auch mit dem Licht von Sternen (Sirius) machen könnte (op. cit., 72);

[cf. dazu auch Newtons Brief an Oldenburg vom 13. April 1672, in welchem er auf die ersten Einwände von Pardies gegen die *New Theory about Light and Colours* antwortet: „[...] **I have observed that the solar image falling on a paper placed at ye focus of the Lens, was by the interposed Prism drawn out in length proportionall to the Prisms refraction or distance from the focus. And ye cheife observable here wch I remember, was, that the streight edges of the oblong image were distincter then they would have been without the lens. - Considering that the rays comeing from the Planet Venus are much lesse inclined one to another then those wch come from the opposite parts of the suns disque, I once tryed an experiment or two wth her light. And to make it sufficiently strong I found it necessary to collect it first by a broade lens, and then interposing a Prism between the Lens and its focus at such distance that all the light might passe through the Prism, I found the focus wch before appeared like a lucid point, to be drawn out into a long splendid line by the Prisms refraction. - I have sometimes designed to try how a fixt starr seen through a long Telescope would appeare by interposing a Prism between the Telescope & my eye. But by the appearance of Venus viewed wth my naked eye through a Prism I presage the event.“ (Newton, Cor. I, 137.)]**

Newton wendet nun das **Ergebnis dieser Experimente** mit dem Licht der Venus auf seine **allgemeine These** (unterschiedliche Brechbarkeit der Strahlen des weißen Sonnenlichts) an, die er bezüglich der **Brechung der Sonnenstrahlen** gleich zu Beginn

aufgestellt hatte; im Zuge dieser Überprüfung leitet er daraus eine weitere **Folgerung** ab (deduktiver Schritt): wenn seine Konzeption richtig wäre, dann müßten die gebrochenen Strahlen, die von der Venus kommen, wenn sie auf einen Schirm oder eine Wand projiziert würden, eine schmale, helle Linie bilden; → genau dies wird von der Erfahrung bestätigt; zwar folgten die Strahlen nicht exakt einer geraden Linie, aber sie könnten aufgrund der vorgeschalteten konvexen Linse als weitgehend parallel angesehen werden; → Newton weist somit auf eine weitere **Variation der Versuchsbedingungen** (Newton, *Optical Papers I*, 72: „**circumstantiâ variatâ**“) hin, die das Ergebnis seiner Überlegungen bestätigt;

nach all den bisherigen Experimenten scheint die vorausgesetzte Annahme (suppositio) die längliche Gestalt des Spektrums zu erklären; Newton antwortet nun auf den möglichen Einwand, daß die Dispersion des Lichts bei der Brechung durch das Prisma durch eine **zufällige** Irregularität verursacht werde; gegen diese Vermutung führt er eine Reihe von Gründen an, mithilfe derer er zeigen will, daß der Effekt auf einer „vorausgehenden **Disposition der Strahlen**“ und „bestimmten **Gesetzen**“ beruhe (cf. op. cit., 74: „ex praevia radiorum dispositione“ und „certis legibus“):

(1) folgte die Brechung der Strahlen keinem Gesetz, dann könnte das längliche Bild des Spektrums oben und unten nicht von geraden Linien begrenzt sein;

(2) folgte die Brechung der Strahlen keinem Gesetz, dann wäre das Bild des Spektrums überhaupt nicht länglich, sondern bildete in dem helleren Teil in der Mitte eine wahrnehmbar begrenzte runde Figur, die sich von dem schwächeren Licht, das sich darum herum verstreut ausbreitet (ähnlich wie das Licht, das durch dunkle Wolken fällt oder durch leicht verdunkelte Gläser), merklich unterscheidet;

(3) das entscheidende Argument zieht Newton aus dem Experiment mit den beiden parallel aneinandergelegten Prismen, deren Brechungseffekte sich gegenseitig aufheben; (dieses Experiment spielt auch eine entscheidende Rolle in der *New Theory*); Ergebnis: der Effekt des länglichen Spektrums, der sich beim Durchgang durch ein Prisma ergibt, wird bei zwei parallelen Prismen völlig neutralisiert; das Bild des Spektrums erscheint rund, also genau so, als ob es direkt von der Öffnung auf das Papier auftreffen würde; → die Brechung durch beide Prismen ist gesetzmäßig, also auch die jedes einzelnen Prismas; → die Ungleichheit der Brechung von einem Prisma beruht auf einer „praevia radiorum dispositione“; und: die Quantität der Brechung desselben Strahles ist bei beiden Prismen gleich;

„Unde radius quilibet utcunque sit refrangibilis, postquam ex utroque Prismate emerit ipsi cum nondum ijs inciderat fiet parallelus.“ (Newton, *Optical Papers I*, 74; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 75:

„Consequently, any ray, however refrangible, after emerging from both prisms will become parallel to itself when it has not yet fallen on the prisms.“)

weiter gilt: wenn die unterschiedliche Brechung der Strahlen beim Durchgang durch das erste Prisma irregulär wäre, dann müßte diese Irregularität beim Durchgang durch das zweite Prisma verstärkt (Newton meint, verdoppelt) werden; das Bild müßte also noch länglicher erscheinen als vorher; aber: die „Erfahrung bezeugt“ (op. cit., 74: „experientia teste“) etwas anderes, nämlich ein rundes Bild;

Newton zieht nun, nachdem auch diese Einwände widerlegt sind, eine vorläufige **Zwischenbilanz**; aus der vorherigen **Vermutung** (offenbar sowohl seine Theorie als auch die Interpretation der Gestalt des Spektrums betreffend) ist ein **hinreichend bewiesenes Theorem** geworden; Grund für die vielfältigen Variationen seiner Experimente: die **Harmonie vieler Dinge** erhöhe die Akzeptanz für die Theorie weit mehr als nur ein einziges, wenn auch „höchst wissenschaftliches Argument“: **„quoniam verò jucunditatem intellectui et assensum plerumque firmiorem harmonia rerum plurium affert quàm unci licèt maximè scientifici argumenti testimonium [...].“** (Op. cit., 74/76; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 75/77: „Since, however, the agreement of several things imparts an intellectual pleasure and a generally more assured acceptance than the evidence of a single, though highly scientific argument [...].“); daher will Newton den Experten kurz eine weitere Art von Experimenten nahelegen, die mit den bereits genannten verwandt sei; u.a. verweist er auch hier auf das zu beobachtende Spektrum eines Sterns; dabei ist unklar, ob er diese Beobachtung tatsächlich gemacht hat, oder nur ihr Ergebnis voruassagt; damit, so Newton, sei für die „zu sichernde Proposition“ hinreichend viel zusammengetragen;

[in der *New Theory about Light and Colours* resümiert Newton nach einer Digression über die Schwierigkeit, die chromatische Aberration bei der Konstruktion von Teleskopen und Mikroskopen durch Verwendung von Reflexionen an Spiegeln zu umgehen, die Ursache dieser Aberration folgendermaßen: **„But to return from this digression, I told you, that Light is not similar, or homogeneal, but consists of difform Rays, some of which are more refrangible than others: So that of those, which are alike incident on the same medium, some shall be more refracted than others, and that not by any virtue of the glass, or other external cause, but from a predisposition, which every particular Ray hath to suffer a particular degree of Refraction.“** (Newton, Cor. I, 96.)]

Weiteres Material aus seiner späteren Korrespondenz zum Problem der von Newton beschriebenen (geometrischen) Figur des Spektrums als eines länglichen, oben und unten von parallelen Linien und rechts und links von zwei Halbkreisen begrenzten Bildes:

→ am 6. Oktober 1674 sandte der Mathematikprofessor des Englischen Jesuitenkollegs in Liège Francis Hall (Linus) Oldenburg einen Brief, in welchem er die Beobachtungen Newtons bezüglich der exakten Figur des Spektrums anzweifelt (cf. Newton, Cor. I, 317-319); insbesondere behauptet Hall, daß die längliche Form des Spektrums nicht bei Sonnenlicht, sondern nur dann erscheine, wenn das Licht durch Wolken falle (op. cit., 318); Hall erklärt dieses Phänomen dadurch, daß das Licht von den Wolken gestreut würde und die längliche Form daher rühre; Hall beruft sich dabei auf die Erfahrung;

→ Newton antwortete daraufhin Oldenburg am 5. Dez. 1674 (op. cit., 328f.); in seiner Antwort spricht er von Linus' Erklärungsversuch als von „Linus's conjecture“ (op. cit., 328) bzw. „wide [abseitig, abwegig] conjecture“ (op. cit., 329); er verweist dabei auf seine Beschreibung des betreffenden Experimentes in der zweiten Antwort an Pardies;

→ Linus antwortet am 15. Februar 1675 mit einem zweiten Brief an Oldenburg (Newton, Cor. I, 334-336); darin insistiert er, daß die halbkreisförmigen Enden des Spektrums an klaren Tagen nicht zu beobachten gewesen seien; man könne sie auch nicht beobachten, wenn man das Prisma sehr nahe an die Einfallsoffnung der Lichtstrahlen plaziere (op. cit., 334); auch erscheine das Bild des Spektrums nicht rechtwinklig zur Achse des Prismas, sondern parallel dazu (op. cit., 335); dabei stützt er sich auf Pardies' Vermutung, daß die unterschiedlichen Brechungen der Strahlen von ihren unterschiedlichen Einfallswinkeln herrührten, die beim Durchgang der Strahlen durch Wolken verursacht worden sein könnten (op. cit., 335);

→ Newtons zweite Antwort an Oldenburg vom 13. Nov. 1675 (op. cit., 356-358); Newton weist hier auf die **Theorieabhängigkeit von Beobachtungen** hin; denn er hält Hall vor, daß er bei dem Experiment noch die „alten Begriffe“ zugrunde lege und es nicht im Lichte seiner [Newtons] neuen Theorie durchgeführt habe; cf. op. cit., 356f.: **„[...] I suspect he has not tryed ye expt since he acquainted himself wth my Theory, but depends upon his old notions taken up before he had any hint given to observe ye figure of ye coloured image.“** Es folgt darauf nochmals eine genaue Beschreibung des Versuchshergangs von Newton; er weist eindringlich darauf hin, daß er selbst das Experiment sehr häufig ausgeführt habe: **„After this manner I used to try the Expt: for I have try'd it often; sometimes to observe ye circumstances of it, sometimes in order to further expts & sometimes to show it to others, & in all my tryals ye success was ye same.“** (Op. cit., 357.)

Newton zählt demnach die folgenden Gründe für die Wiederholung des Experiments auf: 1) um die Umstände genau zu beobachten (d.h. die Faktoren herauszukristallisieren, von denen der Ausgang des Versuchs abhängt; Variation der Umstände); 2) um weitere Experimente daraus abzuleiten; 3) aus didaktischen Gründen; um die Experimente anderen zu zeigen; → alle hier genannten Gründe findet man auch in den Vorlesungen zur Optik; weiterhin hebt Newton hervor, daß viele andere Beobachter seine Experimente bestätigten, u.a. auch R. Hooke;

→ nachdem Hall verstorben war, schickte am 15. Dez. 1675 sein Assistent Gascoines einen Brief an Oldenburg (Newton, Cor. I, 393-395); er versucht nochmals Halls Argumente zu bekräftigen unter Hinweis darauf, daß Hall seine Versuche sehr häufig wiederholt habe (op. cit., 394).

NEWTONS METHODENLEHRE

Newton's erste Vorlesungsreihe zur Optik (Teil II)

Vorlesung 3: Zur Farbenlehre

Nachdem Newton in der ersten und zweiten Vorlesung seine Behauptung von der **ungleichen Brechbarkeit der Strahlen bei gleichem Einfallswinkel** als **allgemeines Theorem** bewiesen hat, geht er zur Behandlung der Natur der Farben über, soweit sie auf dem bereits bewiesenen Theorem beruhen;

zu Beginn erwähnt er nochmals das Phänomen der **chromatischen Aberration**; dieses Phänomen sei direkt proportional zur Größe der Öffnung und Länge des Focus; es sei als das größte Hindernis für die Konstruktion besserer Teleskope zu betrachten; denn aufgrund dieses Phänomens dürfe die Linse eine bestimmte Größe nicht überschreiten und sie darf auch keine zu große Krümmung aufweisen, denn dann werde ihre Vergrößerungskraft eingeschränkt; werden diese Grenzen nicht beachtet, erscheint das Objekt zu dunkel oder es wird an seinen Rändern in Farben eingehüllt (cf. I. Newton, *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, ed. By A. E. Shapiro, Cambridge 1984, 78-80; im folgenden zitiert als: Newton, *Optical Papers I*);

→ Problem: was ist die Ursache für dieses Phänomen der Aberration? Um sie ausfindig zu machen, soll „die Natur der Farben“ genauer untersucht werden:

„operae pretium videtur in naturam colorum inquirere, ut investigemus tandem quid in causa sit quod ita appareant et objecta reddant indistincta.“ (Op. cit., 78; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 81: „I consider it worthwhile to investigate the nature of colors, so that we may finally discover the cause that is responsible for their appearing in this way and rendering objects indistinct.“) Newton weist auf eine verbreitete Annahme über die Ursache hin; diese werde in der Gestalt der Linsen gesucht; daher habe man viel Mühe darauf verwandt, neue Linsenformen zu schleifen und zu erproben; dies sei jedoch vergeblich; denn: die Ursache dieser Farberscheinungen an den Rändern habe eine andere Ursache: **„Quod si nosent hasce colorum productiones ab alio fonte dervari, et quod invitris quantumvis perfectis illi non secus sint apparituri; certè conatus suos mutassent; et laboribus istis secundum aliam methodum dispositis, Opticam in gradum multò perfectiorem jam promotam haberemus.“** (Op. cit., 78; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 81: „But had they known that these productions of colors derive from another source and that they would appear no differently in glasses however perfect, they would

certainly have altered their efforts, and by directing their labors according to a different method, we would already have advanced optics to a much more perfect state.“)

Kritik an der bisherigen Behandlung der Farben

1. Die Peripatetiker (Aristoteles)

Bevor Newton mit seinen eigenen Überlegungen zu den Farben beginnt, setzt er sich noch mit bisherigen Theorien über Farben auseinander; dabei teilt er diese in zwei Gruppen ein, nämlich (1) die Peripatetiker, d.h. die Anhänger des Aristoteles und (2) die „übrigen Philosophen“; bei letzteren denkt er im wesentlichen an die Ansichten von Kepler, Descartes und Hooke, ohne sie jedoch namentlich zu nennen; Hauptvorwurf an die Peripatetiker: ihre Art, die Farben zu behandeln sei wertlos, weil sie zwei Dinge nicht in Betracht gezogen haben:

(1) die Art, wie die Farben erzeugt werden (op. cit., 78: **„modum quo generantur“**);

(2) die Ursachen, wodurch sie verschieden werden (op. cit., 78: **„causas unde fiunt tam varij“**);

statt dessen werde lediglich auf gewisse „Formen“ als Ursachen sowohl für ihre Existenz als auch für ihre Verschiedenheit hingewiesen; aber: nie wurde jemals die besondere Ursache der Form (selbst) untersucht noch der Grund, wodurch sie sich von anderen Formen unterscheidet;

→ die Peripatetiker werden **„der höchsten Pflicht/Aufgabe der Philosophie“** nicht gerecht, sofern sie sich der genannten Aufgaben nicht annehmen: **„Et sic ea fecerunt missa, quorum explicatio videtur summum Philosophorum officium, imò quae sola mentem scientiae naturalis avidam explere possint.“** (Op. cit., 78/82; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 81/83: „Thus they dismiss those things the explanation of which seems the highest function of philosophy and, indeed, alone can satisfy the eager mind of natural science.“)

Statt dessen definierten sie [die Peripatetiker] Farbe als eine „Qualität oder Form“ [„qualitas vel forma“] (op. cit., 82), welche einem leuchtenden [Ding] Existenz verleihe; einige Farben seien mit mehr Licht vermischt als andere; diese Mischung aus weißem und dunklem Licht könne jedoch das Auftreten der Farben nicht erklären; denn: a) wenn man weißes und dunkles Licht mische, erhalte man lediglich verschiedene Grade von Grautönen, aber keine Farben; b) die Lichtquantität vermöge nicht die Art der Farbe zu ändern; c) diese Definition erhelle in keinem Fall die „Natur der Farben“;

→ in *De sensu* (439 b 12-13) definierte Aristoteles Farbe wie folgt: „Farbe ist die Grenze des Durchsichtigen in einem (bestimmt) begrenzten Körper“ (cf. op. cit., 82: "χρῶμα δὲ ἐστὶ τοῦ διαφανοῦς ἐν σώματι ὀρισμένῳ περὶ τὸν"); vermutlich hat Newton diese Definition aber nicht direkt von Aristoteles, sondern von Johannes Magirus, *Physiologiae peripateticae libri sex cum commentariis*, Cambridge 1642 (cf. dazu op. cit., Komm. Shapiro, 83, Anm. 12); Newtons Kritik an dieser Definition: dies sei eine Beschreibung einer farbigen Oberfläche, aber nicht der Farbe selbst; Farben treten jedoch häufig auf, ohne daß eine solche „Grenze des Durchsichtigen“ existiere; dazu zählt er eine Reihe von Beispielen auf: Regenbogen, Prisma, transparente Gläser oder Flüssigkeiten, Wasser des Meeres, Luft oder Flamme; [Aristoteles selbst hatte die Phänome von Farben in Luft und Wasser vor seiner Definition an der besagten Stelle in *De sensu* durchaus in Betracht gezogen]; nachdem Newton noch eine Reihe von Gegenbeispielen angeführt hat, wendet er sich von der Kritik an der aristotelischen Definition der Farbe ab; denn: sie erkläre nicht a) wie Licht gebrochen wird, b) wodurch sich die Farben unterscheiden, c) warum Farben in Teleskopen erscheinen, d) wie man diesen unangenehmen Effekt beseitigen kann;

2. Meinungen übriger Philosophen

Hier unterscheidet Newton zwischen drei Konzeptionen (op. cit., 84), ohne jedoch die Urheber derselben namentlich zu nennen:

- A. Farben werden aus verschiedenen Mischungen von Schatten und Licht erzeugt (dies entspricht den Annahmen Keplers);
- B. Farben entstehen durch die Drehung kleiner Kügelchen bzw. dem von ihnen jeweils erzeugten Druck (Descartes);
- C. Licht wird produziert durch den Impuls eines vibrierenden Äthers, der auf die Retina trifft und Farben entstehen durch die verschiedenen Arten und Weisen, in denen das ätherische Medium zu Vibrationen veranlaßt wird (Hooke);

Newton will diese Positionen nicht einzeln widerlegen; dies würde ihn zu weit abführen; aber: alle diese Positionen hätten *einen Irrtum* gemeinsam: „**Scilicet quod modificatio lucis, quâ singulos colores exhibet, ei non est insita ab origine suâ, sed inter reflectendum vel refringendum acquiritur.**“ (Op. cit., 84; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 85: „namely, the modification of light, by which it exhibits individual colors is not innate to it from its source but is acquired by being reflected or refracted.“)

Alle hier genannten Konzeptionen legten die Annahme zugrunde, daß es keinen Unter-

schied zwischen den Lichtstrahlen gäbe, **bevor** sie auf einen farbenerzeugenden Körper aufträfen; vielmehr würden sie gemäß den unterschiedlichen Dispositionen des Körpers auf verschiedene Weise reflektiert und gebrochen und aufgrund dessen auf verschiedene Weise modifiziert; **nachdem** sie auf diese Weise unterschiedlich modifiziert worden wären, riefen sie beim Beobachter die verschiedenen Farberscheinungen („phantasmata colorum“) hervor; d.h. die Mischung von Licht und Schatten (A), die Umdrehung der kleinen Kügelchen (B) und die verschiedenen Vibrationen des ätherischen Mediums (C) (d.h. alle die Aktionen oder Operationen, durch die die Entstehung der Farben erklärt werden soll) sind nichts, was **in den Strahlen vor** den Reflektionen und Brechungen gewesen wäre, sondern wird durch diese „Aktionen“ erst erzeugt; aber: das Gegenteil sei der Fall: **„Attamen contrarium esse verum ex sequentibus abunde patet.“** (Op. cit., 84; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 85: „Nonetheless, it will be manifestly evident from the following that the contrary is true.“)

Ursprünge und allgemeine Fundamente der Farben

An den Anfang seiner eigenen Exposition der Farbenlehre stellt Newton folgende These: These: **„Invenio scilicet quòd modificatio lucis unde colores originem sumunt, luci connata sit, et non oritur a reflectione neque a refractione neque a qualitatibus corporum aut modis quibuslibet, nec ab ijs vel destrui potest vel ullo modo mutari.“** (Op. cit., 8; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 85: „Namely I find that the modification of light whereby colors originate is connate to light and arises neither from reflection nor from refraction, nor from the qualities or any modes whatsoever of bodies, and it cannot be destroyed or changed in any way by them.“)

Die Modifikation, wodurch die Farben erzeugt werden, sei eine **innere, eingeborene** Eigenschaft des Lichts; diese sei **weder zerstörbar noch veränderbar** durch Reflektion, Brechung oder durch andere Eigenschaften der Körper; [offenbar ist hier die Unzerstörbarkeit und Unveränderlichkeit (Invarianz) unter den genannten Operationen ein Kriterium dafür, was eine „innere Eigenschaft“ (insita, connata) darstellt oder nicht!];

Nun legt Newton in **vier Propositionen** die **Fundamente** oder **allgemeinen Prinzipien** seiner Lehre dar (op. cit., 86):

(1) er habe entdeckt, daß die Strahlen, die bei gleichem Einfallswinkel am stärksten gebrochen werden, ‘Purple’ oder violette Farben hervorbringen („efficiunt“); diejenigen, die am wenigsten gebrochen werden, bringen rote Farben hervor; alle Strahlen, deren Brechungsgrad dazwischen liegt, bringen Blau, Grün und Gelb hervor;

(2) Umkehrung: die Strahlen, die ‘Purple’ oder violette Farben hervorbringen („generant“), werden bei gleichem Einfallswinkel am stärksten gebrochen, und diejenigen, die rote Farben hervorbringen, werden am wenigsten gebrochen; diejenigen, die blaue, grüne und gelbe hervorbringen, liegen mit ihrer Brechungsstärke dazwischen;

Allgemein: Newton verbindet **zwei kontinuierliche Reihen** vermöge einer **eindeutigen Zuordnung**, nämlich a) die **Quantität der Brechung** (der bei gleichem Einfallswinkel einfallenden Strahlen) wird als kontinuierlich zunehmende (positive, reelle) Zahlenreihe gedacht, die sich über ein gewisses Intervall erstreckt; b) die (Disposition der Strahlen, die) **kontinuierliche Farbreihe** von Rot, Gelb, Grün, Blau und Violett zusammen mit allen sukzessiven Abstufungen und Zwischenfarben (zu erzeugen) [es gibt unendlich viele davon];

(3) aus verschiedenen Mischungen dieser [einfachen, homogenen (?)] Strahlen werden alle anderen Farben hervorgebracht; die Farben Weiß, Grau und Schwarz setzen sich aus konfusen Mischungen aller Strahlen zusammen;

(4) die Oberflächenfarben von Körpern kommen durch eine gewisse Disposition der Körper zustande, einige Strahlen zu reflektieren und alle anderen zu absorbieren („intromittant“); ein weißer Körper reflektiere fast alle Strahlen, während ein schwarzer Körper fast alle Strahlen absorbiere und nur ganz wenige reflektiere;

Nachdem Newton ausdrücklich klargemacht hat, daß er diese Propositionen nicht als hypothetisch oder nur wahrscheinlich behandeln wolle, sondern aufgrund von Experimenten und Beweisen (wörtlich heißt es: **„De quibus non hypotheticè et probabiliter, sed ab experimentis aut demonstrativè disserendum esse promittitur.“** (Op. cit., 86; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 87: „It is affirmed that these propositions are to be treated not hypothetically and probably, but by experiments or demonstratively.“), und in diesem Zusammenhang auf seine mathematische Behandlung der Farben hingewiesen hat, kommt er nun auf seinen ursprünglichen Plan zurück, die Farben auf dem Fundament dieser vier genannten Propositionen abzuhandeln;

zum **Beweis** der **vier Propositionen** oder **Fundamente** der Farbenlehre:

ad (1): die erste Proposition wird nur kurz behandelt; denn sie sei aus dem bisher Gesagten offensichtlich; die Aufeinanderfolge der Farben am Prisma, nämlich ‘purple’, Blau, Grün, Gelb und Rot, sei sehr gut bekannt („notissimum est“), wobei die Strahlen, die ‘purple’ erzeugten, am stärksten gebrochen werden;

→ diese Proposition ist für Newtons Theorie fundamental; sie taucht auch in allen späteren Formulierungen seiner Theorie wieder auf; Problem: die Farben im Spektrum treten

nie in reiner Form auf, sondern sind stets das Ergebnis einer Überlagerung verschiedener Farben; wenn beispielsweise ein schmaler Strahl Grün ein zweites Mal gebrochen wird, tauchen die Nachbarfarben Gelb und Blau, ebenfalls wieder auf; [cf. dazu I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, (im folgenden zitiert als: Newton, *Opticks*), Buch I, Teil II, Prop. II, 122-124; hier faßt Newton den Satz von der Korrespondenz von Farbe und Brechungsgrad der Strahlen sowie deren Unveränderlichkeit in einem Satz zusammen];

ad (2): Newton wendet sich gleich der Umkehrung des ersten Satzes zu: **„scilicet quòd magis atque magis refringuntur prout colores hoc ordine rubeum, flavum, viridem, caeruleum et purpureum successivos cum omnibus eorum gradibus intermedijs generant.“** (Op. cit., 88; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 89: „namely, they are more and more refracted as they produce the successive colors in this order: red, yellow, green, blue, and purple, together with all their intermediate gradations.“)

[in der *New Theory about Light and Colours* vom Februar 1672 macht Newton die stärkere Behauptung, daß zwischen Grad der Brechbarkeit und Farbe eine exakte Korrespondenz bestehe: **„To the same degree of Refrangibility ever belongs the same color, and to the same colour ever belongs the same degree of refrangibility. [...] And this Analogy ‘twixt colours, and refrangibility, is very precise and strict; The Rays always either exactly agreeing in both, or proportionally disagreeing in both.“** (Cf. I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull, J. F. Scott, A Rupert Hall, Laura Tilling, 7 vols., Cambridge 1959-1977, Vol. I, Cambridge 1959, 97; im folgenden zitiert als: Newton, Cor. I)];

zum Beweis greift Newton auf sein erstes Prismaexperiment zurück (Newton, *Optical Papers I*, 90); Frage: werden die Strahlen, die am einen Ende des Spektrums Violett erzeugen, stärker gebrochen als die, die am anderen Ende Rot erzeugen? Dies, so Newton, könne man auf verschiedenen Wegen prüfen; er wähle den einfachsten und klarsten Weg; → **Experiment mit zwei senkrecht zueinander stehenden Prismen**; Newton setzt zwischen das erste Prisma und den Schirm (Wand) ein zweites Prisma, das gegenüber dem ersten um 90° gedreht ist; inwieweit vermag dieses Experiment eine Antwort auf die zuvor gestellte Frage zu geben?

Zunächst konstatiert Newton das Resultat der Brechung an diesen beiden Prismen; das dadurch erzeugte Bild des Spektrums hat die Eigentümlichkeit, daß es nicht parallel zum ursprünglichen Bild, das mit nur einem Prisma erzeugt wurde, liegt, sondern schräg da-

zu, wobei die roten Enden einander am nächsten liegen, während die violetten Enden am weitesten voneinander entfernt sind; Newton führt an dieser Stelle einen *indirekten* Beweis der zweiten Proposition; die Annahme des Gegenteils bedeutete: unter der Voraussetzung, daß alle Strahlen (annähernd) parallel auf das zweite Prisma auftreffen und sowohl die roten als auch die violetten Strahlen (bzw. die Strahlen mit der Disposition, rote und violette Farben hervorzurufen) auf gleiche Weise gebrochen würden, müßte das Spektrumbild, das nach dem Durchgang durch *beide* Prismen erscheint, genau *parallel* zu dem Spektrumbild liegen, das nach dem alleinigen Durchgang der Strahlen durch das erste Prisma erschienen war; [später benutzt Newton das gleiche Experiment, um Hookes Diffusionstheorie zu widerlegen; cf. Newtons Antwort auf Hooke vom 11. 06. 1672 (Newton, Cor. I, 178f.); zu diesem Experiment cf. auch Newton, *Opticks*, Buch I, Teil I, Prop. II, Experiment V, 34-45)];

dies ist aber nicht der Fall; die Erfahrung zeige das Gegenteil; also ist die zuvor gemachte Annahme widerlegt; der Umstand, daß das violette Ende des Spektrums viel stärker von dem ursprünglichen Bild entfernt ist, „beweise“ („necessario concedendum est“), daß die Strahlen, die zum violetten Ende tendieren, stärker gebrochen werden als diejenigen, die zum roten Ende tendieren (Newton, *Optical Papers I*, 90); dies gelte auch für alle dazwischenliegenden Farben;

Newton gibt weitere **Variationen** der **Umstände** des Experiments an; wenn man das zweite Prisma näher an das erste heranrücke, dann führe dies zu einer **Verstärkung** des **Effekts**: die Bilder liegen weiter auseinander und der Neigungswinkel des zweiten gegenüber dem ersten Bild nimmt zu; [Problem: kann man die Quantität der Brechung für jeden individuellen Strahl exakt messen? In den *Lectiones Opticae* bezeichnet Newton ein Instrument, das eine solche Messung ermöglichte, noch als Desiderat; in der zweiten Vorlesung (op. cit., 90), den *Optica*, hält er eine solche direkte Bestimmung nicht mehr für möglich; cf. dazu auch A. E. Shapiro, „Experiment and Mathematics in Newton's Theory of Color“, in: *Physics Today* 37(9) (1984), 34-42];

da durch das erste Experiment die eingangs gestellte Frage hinreichend beantwortet sei, hält Newton weitere Experimente im Prinzip für überflüssig; dennoch wird das Experiment mit den zwei senkrecht zueinander stehend Prismen weiter variiert und ausgedehnt, um „jedem klarer zu machen, wie groß die Evidenz des Vorangegangenen“ sei: **„Verum ut cuique magis pateat quanta sit praedictorum evidentia, quaedam quae exinde scaturiunt notatu dignissima proferre non pigebit.“** (Op. cit., 90/92; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 91/93: „But to make it clearer to everyone how great the evidence of the preceding is, I will not be displeased to reveal some very noteworthy things that flow from it.“);

→ offensichtlich verfolgt Newton hier, wie an anderen entscheidenden Stellen auch, ein

Prinzip der Redundanz durch Variation experimenteller Bedingungen;

1. Variation: Verwendung von drei Prismen; **derselbe Effekt tritt zweimal** auf; dieses Experiment hat offenbar den Sinn, den experimentellen Effekt in **didaktischer Absicht** deutlicher vor Augen zu führen; zwei Prismen werden auf zwei übereinanderliegenden Öffnungen übereinander plazierte und deren Strahlen werden auf ein längliches dazu senkrecht stehendes Prisma geleitet; Ergebnis: zwei längliche Bilder des Spektrums, die in einer Linie liegen und sich an den Enden berühren; Vorteil: hier liegen das rote Ende des einen und das violette Ende des anderen Prismas unmittelbar nebeneinander in einer Linie; die beiden Bilder sind schräg gegeneinander versetzt; die violetten Enden beider Bilder sind jeweils am weitesten von dem ursprünglichen Bild entfernt; das violette Ende des einen und das rote Ende des anderen, die sich zuvor noch berührten, liegen nun weit auseinander; Folgerung: **„Id quod nullo prorsus modo potuisset accidisse, nisi radij ad purpuram generandam apti aliquanto magis refringerentur ex incidentiâ pari quàm radij generantes rubedinem.“** (Op. cit., 92; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 93: „This could in absolutely no way have happened, unless at equal incidence rays disposed to generating purple were refracted somewhat more than rays generating red.“) Bedeutsam ist das Problem der Parallelität der Strahlen; Newton Experiment ist bezüglich seiner Behauptung nur dann aussagekräftig, wenn die Strahlen zumindest annähernd parallel auftreffen; Newton gibt einen Hinweis, wie man durch Drehung eines der beiden Prismen um seine Achse eine solche größtmögliche Parallelität erreichen kann;

2. Variation: Newton zeigt, wie man dasselbe Experiment mit nur zwei Prismen durchführen kann; dabei wird die Einfallseite des ersten Prismas abgedeckt und mit zwei übereinanderliegenden Öffnungen versehen; durch diese Öffnungen werden die Strahlen gebrochen und man findet auf einem Blatt Papier das Bild zweier Spektren, die in einer Linie liegen und direkt aneinander grenzen, analog dem vorherigen Experiment; wenn man dann wieder ein weiteres Prisma im rechten Winkel dazu aufstellt, das die Strahlen erneut bricht, dann erkennt man wie im vorigen Fall zwei schräge Bilder, die von der geraden Linie abweichen und das rote Ende des einen weniger stark gebrochen wird als das violette Ende des anderen;

3. Variation: (= Variante des späteren ‘experimentum crucis’)

das zweite Prisma wird in großem Abstand zum ersten wiederum in transversaler Position (Newton bemerkt, es könne auch eine parallele oder beliebige Position sein) aufgestellt; nun wird eine Seite dieses Prismas abgedeckt und nur eine kleine Durchgangsöffnung freigelassen; dann wird wieder in einem großem Abstand ein Blatt Papier fixiert, auf dem das Bild der gebrochenen Strahlen erscheint; nun werden das Blatt und das zweite Prisma

fixiert; das erste wird nun leicht um seine Achse gedreht, so daß nacheinander verschiedene Farbstrahlen auf die Öffnung des zweiten Prismas fallen; Ergebnis: jede verschiedene Farbe erscheint an einem anderen Ort auf dem Papier; Folgerung: **„Quamobrem cùm radij cujuslibet generis pergentes a foramine F positione dato ad Foramen G positione datum, et ideò similiter incidentes in prisma posterius $\alpha\beta\kappa$, refringantur ad loca diversa P, T, caeteraque intermedia: constat quòd inaequaliter refringuntur. Et cùm refractus GP observetur magis deflectere ab incidenti FG quàm refractus GT; constat quòd radij purpuram exhibentes magis refringuntur quàm exhibentes ruborem, caeterique deinceps in ordine intermedio.“** (Op. cit., 96; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 97: „Consequently, since rays of any sort whatsoever that proceed from the hole F in a given position to the hole G in a given position, and that therefore are similarly incident upon the second prism $\alpha\beta\kappa$, are refracted to different places P and T, and all the others in between, it is certain that they are refracted unequally. Since the refracted ray GP is observed to be deflected more from the incident one FG than the refracted ray GT, it also is certain that rays exhibiting purple are refracted more than those exhibiting red, and the others in sequence are refracted in an intermediate order.“)

Diese Variation dient insbesondere dazu, den gleichen Einfallswinkel der Strahlen sicherzustellen; daher ist die Position des zweiten Prismas im Prinzip beliebig; [cf. auch Newton, *Opticks*, Buch I, Teil I, Prop. II, Experiment 6, 45-48; hier beschreibt er das berühmte '*experimentum crucis*'];

[In der *New Theory about Light and Colours* erfolgt der Hinweis auf das „*experimentum crucis*“, nachdem Newton eine Reihe von möglichen (zufälligen) Ursachen für das längliche Bild des Spektrums zurückgewiesen hatte; es beweist für Newton offenbar die unterschiedliche Brechbarkeit der Strahlen bei gleichem Einfallswinkel; das Resultat dieses Experiments beschreibt Newton wie folgt: **„And so the true cause of the lenght of that Image was detected to be no other, then that Light consists of Rays differently refrangible, which, without any respect to a difference in their incidence, were, according to their degrees of refrangibility, transmitted towards divers parts of the wall.“** (Newton, Cor. I, 95.) Bedeutsam ist hier, daß Newton sowohl in den Vorlesungen zur Optik als auch in der *New Theory* zunächst keine Behauptung über Farben aufstellt, sondern ausschließlich auf die unterschiedlichen Grade der Brechung der unterschiedlichen Strahlen abhebt];

3. a. Variation: (Variation der vorherigen Variation)

Reaktion auf einen Einwand: die Bewegung des ersten Prismas könnte den Einfallswinkel der Strahlen verändern und auf diese Weise (d.h. durch die unterschiedlichen Einfallswinkel) die Verschiedenheit der Orte verursachen, auf die die Farben innerhalb des Spektrums nach der zweiten Brechung projiziert werden; Newton spricht ausdrücklich davon, daß „dieses Beispiel durch Variation der Umstände höchst wissenschaftlich gemacht werden könne“ (op. cit., 96: **„Quod specimen, circumstantiâ variatâ, fit maximè scientificum“**); das Prisma wird nicht hinter die Öffnung, durch die die Sonnenstrahlen einfallen, gesetzt, sondern davor; dann sind die Öffnungen F und G in einer fixen Position; → die Position der Strahlen, die durch F und G fallen, sind ebenfalls fixiert; → der Einfallswinkel ist für alle Strahlen, die auf die Öffnung des zweiten Prismas treffen, genau fixiert und wird daher für alle gleich sein; dennoch könne man, so Newton, auch in diesem Fall eine Verschiedenheit der Positionen der Strahlen nach der zweiten Brechung beobachten; [mit dieser Variante hat Newton im wesentlichen den Versuchsaufbau des später sog. ‘experimentum crucis’ erreicht];

mit dem folgenden Resümee schließt Newton seinen Beweisgang ab:

„Cùm veritatem propositam sic fecerim stabilitam, hanc propositionem concludam annotando connexionem et affinitatem quam coloribus et refractionibus interesse dixeram: Nempe ex ostensis non solùm pateat quòd diversa colorum genera cum definitis gradibus refrangibilitatis reciprocantur: sed et iisdem experimentis probatur dari radios diversè refrangibiles, et radios diverse refrangibiles esse diversicolores, iisdemque probatur e contra radios diversicolores esse diversè refrangibiles, et inde radios diversè refrangibiles dari. Et hinc scopus eorum quae in primis lectionibus de dispari refrangibilitate radiorum edocui, quoad causas colorum intelligendas multùm illustratur, ut pateat quòd una absque alijs dilucidè tractari nequeant.“

(Op. cit., 96/98; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 97/99: „Since I have thus established the proposed truth, I shall conclude this proposition by commenting on the connection and relation that I had said belong to colors and refractions. Namely, it is not only evident from what has been shown that different kinds of colors correspond to definite degrees of refrangibility, but also it is proved by the same experiments that there exist differently refrangible rays, and that differently refrangible rays are differently colored; and con-

verseiy it is proved from the same experiments that differently colored rays are differently refrangible, and consequently there exist differently refrangible rays. The aim of what I taught in the first lectures about the unequal refrangibility of rays with respect to understanding the causes of colors is made much more evident, so that it is obvious that the one cannot be clearly discussed without the other.“)

NEWTONS METHODENLEHRE

Newton's erste Vorlesungsreihe zur Optik (Teil III)

Vorlesungen 4 - 6: Die Zusammengesetztheit des weißen Lichts

Vorlesung 4

Newton hat in der 3. Vorlesung die Fundamente seiner Farbenlehre in Gestalt von vier Propositionen niedergelegt; davon hat er bislang die ersten beiden Propositionen bewiesen; diese postulierten eine eindeutige Korrespondenz zwischen dem Grad der Brechbarkeit einzelner Strahlen und ihrer Disposition, eine bestimmte Farbe hervorzubringen; in der vierten Lektion geht er nun zum Beweis der dritten Proposition über; diese besagte, daß sich die Farben Weiß und Schwarz (sowie alle Grautöne) aus konfusen Mischungen aller Strahlen zusammensetzen;

er führt den Beweis insbesondere für das weiße Licht, da er die Entdeckung von dessen Zusammengesetztheit für eine seiner bedeutendsten Entdeckungen über Farben hält; dabei geht er in zwei Schritten vor: **„eam [albidinem] nempe ex omnigenis coloribus posse componi; et inde lucem solis albere quòd omnes colores in eâ commisti lateant.“** (I. Newton, *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, ed. by A. E. Shapiro, Cambridge 1984 (im folgenden zitiert als: Newton, *Optical Papers I*), 98; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 99: „namely, that it [white] can be compounded from every sort of color; and then that the sun's light is white, because all colors mixed together are latent in it.“)

→ er will also nacheinander zeigen:

a) daß weißes Licht aus allen Arten von Farben zusammengesetzt werden kann; (Möglichkeit wird erklärt); dies ist Gegenstand der Lektionen 4 + 5;

b) daß das Sonnenlicht deshalb weiß ist, weil in ihm eine Mischung aus allen Farben latent enthalten ist (Tatsache wird erklärt); dies geschieht in der Lektion 6;

nachdem dies bewiesen sei, so Newton, werde der Ursprung der Farben durch das Prisma befriedigender und mit größerer Klarheit eröffnet werden; [die Strategie dieser zwei Schritte hat Newton auch in allen späteren Arbeiten zur Optik beibehalten: a) in der zweiten Vorlesungsreihe zur Optik (*Optica*), b) in der *New Theory about Light and Colours*, c) in seinem Brief an Huygens (23.06.1673), d) in den *Opticks*, Buch I, Teil II, Prop. V, 134-154];

zu Beginn zeigt Newton einen Weg auf, **wie weißes Licht durch die Mischung prismatischer Farben erzeugt werden kann:**

das Licht wird durch drei Prismen geleitet, deren Spektren an eine Wand geworfen werden und sich überschneiden; die Prismen stehen nahe beieinander und bilden mit ihren

Seiten eine gerade Linie; ein bis zwei Fuß dahinter wird ein weißes Blatt Papier **plaziert** (op. cit., 98-100); diese Prismen werden um ihre Achse gedreht und so eingestellt, daß auf den Mittelpunkt des Spektrums R sowohl die roten Farben des oberen Prismas, als auch die (mittleren) grünen Farben des mittleren Prismas, als auch die violetten Farben des unteren Prismas gelenkt werden und sich dort überlagern; Resultat: in der Mitte des Spektrums (um R) beobachtet man weißes Licht;

[Newton beschreibt dieses Experiment bereits in seiner Frühschrift *Of Colours*; cf. I. Newton, *Manuskript zur Optik: Of Colours* (ULC. ADD. 3975; ca. 1665/66), in: J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 466-489 (im folgenden zitiert als: Newton, *Of Colours*), hier 478f.];

nach der kurzen Versuchsbeschreibung gibt Newton Hinweise, wie der gewünschte Effekt möglichst gut sichtbar erreicht werden kann; es handelt sich zwar um die Beschreibung *eines* Experiments, tatsächlich aber ist es bei der Durchführung mit einer ganzen *Reihe von Versuchen* („*experiendis*“) verbunden; Newtons Beschreibungen sind offenbar dynamisch zu interpretieren; sie geben **konkrete Handlungsanweisungen** in Gestalt **abstrakter symbolischer Schemata**; darüber hinaus bemerkt Newton, daß die Farben, die von einem Prisma kommen, keineswegs einfache (homogene) Farben sind, sondern gemischt auftreten (Newton, *Optical Papers I*, 100); daher werden im Mittelpunkt des Spektrums R nicht nur drei Farben, nämlich Rot, Grün und Indigo gemischt, sondern auch Blau und Gelb „zusammen mit allen Zwischengraden“ (op. cit., 100: „*cum omnibus eorum gradibus intermedijs*“);

2. Variante des Ausgangsexperiments:

ein weiteres Experiment zur Erzeugung des weißen Lichts aus der Mischung der Farben wird vorgestellt; das erste Experiment wirft das Problem der Fixierung der drei Prismen unter der Voraussetzung der bemerklichen Bewegung der Sonne auf; die Sonne bewegt sich in einer Minute ca. 15 Bogenminuten weiter; → der Versuchsaufbau muß demnach ständig nachgebessert und angepaßt werden; daher verwendet Newton bei dieser Variante nur ein Prisma, dessen eine Seite, auf die die Strahlen auftreffen, abgedeckt und die Abdeckung mit sechs parallelen Schlitzen versehen wird; jeder dieser Schlitze produziert ein kleines Farbspektrum und übernimmt so die Funktion, die zuvor ein einzelnes Prisma hatte; die Spektren werden auf einem Blatt Papier sichtbar; bewegt man das Papier weiter weg, dann mischen sich die Farben zunehmend; der Schirm zeigt eine zunehmende Verdünnung der Farben bis schließlich weißes Licht auf dem Schirm erscheint; [dieses Experiment (mit nur vier Schlitzen) findet sich bereits in der frühen Schrift *Of Colours* von 1665/66; cf. Newton, *Of Colours*, 479f.]; anschließend gibt Newton weitere Hinweise zum Versuchsaufbau, wobei wieder von „*experiendis*“ die Rede ist, also der Durchführung einer *Reihe* von Versuchen;

Entgegnung auf mögliche Einwände (Wechselwirkung der Strahlen):

nun will Newton einem Einwand der „herkömmlichen Meinung der Philosophen“ (Newton, *Optical Papers* I, 104: „objectionem ex receptis philosophorum opinionibus“) begegnen; dieser Einwand beruht auf der Annahme, daß Weiß durch die wechselseitige Zerstörung der Farben und nicht durch ihre Mischung erzeugt wird; Grund: der die Farben begrenzende Schatten, der für ihre Entstehung als wesentlich angenommen wird, werde nach dem Durchgang durch die Schlitze zerstört; [→ Problem der Wechselwirkung der Strahlen aufeinander!]; Newton nennt explizit „einige Cartesianer“, aber auch Hooke könnte gemeint sein;

Darauf antwortet Newton mit einer „responsio multiplex“, die sechs Punkte aufzählt, die gegen diesen Einwand sprechen (op. cit., 106-112):

(1) Newton zeigt, daß durch Wegbewegen des Schirms zwar die begrenzenden Schatten verschwinden, aber nicht die Farben; → die Farben sind invariant, während die Schatten verschwinden; → die Schatten können nicht ursächlich mit der Produktion der Farben verknüpft sein;

(2) die Farben werden auch nicht dadurch ausgelöscht, daß sich die (gegensätzlichen) Bewegungen der Kügelchen („globuli“) gegenseitig neutralisieren, wie die Cartesianer angenommen haben; denn: die gegensätzlichsten Farben seien Violett und Rot, sofern sie an den entgegengesetzten Enden des Spektrums auftauchen; wenn man nur diese beiden mischt, ergibt die Mischung aber noch kein Weiß; also können sich die Bewegungen der Kügelchen nicht neutralisieren;

(3) Prinzip der Unabhängigkeit (Superposition) der Strahlen: die Lichtstrahlen wirken nicht wechselseitig aufeinander ein; denn: die Farben ändern sich nicht, wenn die Strahlen durch ein beliebig beleuchtetes Medium gesandt werden; dies könne jeder ohne Schwierigkeiten beobachten; und: wenn sich die Strahlen zweier Prismen kreuzen und mischen, dann bleiben sie erhalten, wenn man sie nach dieser Mischung wieder trennt;

→ für Newton folgte dieses Prinzip der Superposition insbesondere aus einem anderen fundamentalen Prinzip seiner Optik, nämlich dem der Unveränderlichkeit der Lichtstrahlen; [dieses Prinzip der Superposition - daß sich Lichtstrahlen kreuzen können, ohne eine Wirkung aufeinander auszuüben - wurde bereits von Alhazen (1572) entdeckt; er versuchte es für das Licht von verschiedenen Kerzen zu zeigen; sein Schüler Witelo hat dies dann für verschiedene Farben gezeigt; cf. dazu op. cit., Komm. Shapiro, 106f., Anm. 19; cf. dazu auch V. Ronchi, *The Nature of Light. A Historical Survey*, transl. by V. Barocas, London 1970, 53f.];

(4) Weiß verschwindet sofort, wenn nur eine (beliebige) Farbe aus der Mischung entfernt wird; Newton modifiziert dazu den Versuchsaufbau des zweiten Experiments; (in op. cit.,

iÜß, spricht Newton explizit von einer „species“ oder „forma“ der Farbe; dies erinnert an Bacons Terminologie);

(5) wenn man im Rahmen desselben Experiments in dem Schirm, auf dessen Mitte die Farbe Weiß erscheint, eine kleine Öffnung ausschneidet und fünf oder sechs inches dahinter ein weiteres Blatt Papier hält, dann tauchen die Farben wieder auf; dies wäre unmöglich, wenn sie zuvor zerstört worden wären; Folgerung: **„Concedendum est itaque quòd tantùm miscentur: et quòd radij varijs coloribus tincti et promanantes a diversis rimis λ , λ decussant sese in dicto foramine per acum effecto, et postea divergentes ab invicem gradatim segregantur et segregati proprios iterum colores depingunt: quemadmodum posthac fusiùs explicabitur.“** (Op. cit., 108; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 109: „It must therefore be conceded that they are only mixed, and that the rays imbued with various colors and flowing from the different slits λ , λ cross each other in that hole made with the needle and diverging afterward are gradually separated from one another, and once separated they again depict their own colors, as will be explained more fully later.“

Entsprechendes sehe man, wenn man vor die Mitte R der weißen Strahlen einen reflektierenden Spiegel halte; die Strahlen, die in der Mitte konvergierten und sich mischten, werden durch den Spiegel abgelenkt und divergieren; dadurch trennen sie sich wieder und erscheinen auf einem entsprechend plazierten Schirm als unterschiedliche Farben; also gilt: **„Liquet ergo quòd in misturâ radiorum diversicolorum suae dispositiones ad efficiendos varios colores non destruuntur; ut ut albedinem exhibeant dum commisceantur sibi.“** (Op. cit., 108; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 109: „It is therefore evident that in a mixture of diversely colored rays their dispositions to produce different colors are not destroyed, howsoever they may exhibit whiteness when they are mixed together.“)

(6) Schließlich versucht Newton zu zeigen, daß eine Mischung von Farbpulvern einen Grauton produziert; hier stützt er sich auf eine Beobachtung von Boyle; dieser hatte festgestellt, daß eine Mixtur aus verschiedenfarbigen Pulvern eine neue Farbe ergibt; schaut man sich diese Mixtur unter dem Mikroskop an, dann erkennt man die ursprünglichen Farben der einzelnen Pulverpartikel wieder; → die ursprünglichen Farben haben sich in der Mischung also erhalten;

[in Newtons „Notebook“ aus seiner Studienzeit in Cambridge findet sich bereits ein ähnlicher Eintrag, der sich mit der Mischung von Farbpulvern beschäftigt; cf. I. Newton, *Questiones quaedam philosophicae* (ca. 1664/65), in: J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 455; seit Grimaldi (1665) hatte diese Analogie von Farb- und Pulvermischungen den paradigmatischen

schen Status eines allgemeinen Prinzips der Farbenlehre erlangt; dennoch stimmt sie nicht! Cf. Newton, *Optical Papers I*, Komm. Shapiro, 110f., Anmerkung 31; dort heißt es (op. cit., 111, Anm. 31): „The illustration of the composition of spectral colors by colored powders was a fundamental one for Newton, for he maintained that the rays of the sun’s direct light - just like a heap of colored powders - do not at all act upon one another. Indeed, this idea follows directly from his principle of color immutability. About twenty years later, when he was composing the *Opticks* and considered making the principle of color immutability an axiom, he once again invoked this illustration“];

auch hier möchte Newton **keinen Raum für Zweifel** lassen (op. cit., 110: „ut nullum dubitandi locum relinquerem“); das Ergebnis sei kein reines Weiß, sondern ein Grauton; dies mache aber keinen Unterschied, da sich Grau und Weiß nur durch die Quantität des Lichts, aber nicht in der Species der Farbe unterschieden; in op. cit., 112, spricht Newton von „**experientijs**“, also „Erfahrungen“; hier benutzt er offenbar „**Erfahrung**“ und „**Experiment**“ synonym;

damit hat Newton auf die möglichen Einwände reagiert und fährt nun mit seinen Beweisen fort;

3. Experiment zur Mischung der Farben:

ein dritter (und vierter) Weg, um die prismatischen Farben in ein Weiß zu mixen, wird aufgezeigt; denn: die Bedeutung der Sache (op. cit., 112: „rei dignitas“) mache es erforderlich, keinen Stein unumgedreht zu lassen (op. cit., 112: „ut nullus non moveatur lapis“); dieses Experiment ist offenbar wesentlich einfacher als die anderen beiden; es ähnelt dem ersten Prismaexperiment, allerdings mit dem Unterschied, daß das Farbspektrum von einem Blatt Papier „konfus reflektiert“ wird; die reflektierten Strahlen werden von einem weiteren Blatt, das entsprechend positioniert wird, aufgefangen und zeigen ein Weiß;

am Ende bekräftigt Newton das Superpositionsprinzip nochmals mit einem indirekten Argument: wenn die Strahlen mit einer Disposition zu bestimmten Farben aufeinander einwirken könnten, dann gäbe es keine Sicherheit und Konstanz bezüglich der Farben der sichtbaren Dinge: **„Quinimò si radij tincti cum diversis coloribus dum per eadem spatia confusè transeunt possent in se invicem agere et dispositiones mutare quas quilibet habent ad expingendos proprios colores: omnes omnium rerum colores conturbarentur ac se mutuò transmutarent dum per aëra transmittuntur; ubique scilicet radijs aliorum corporum omnigenis coloribus tinctorum occurrentes. Et sic in coloribus visibilium nulla esset certitudo, constantia nulla.“** (Op. cit., 114; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 115: „Indeed, if rays imbued with different colors could act upon one another

while passing confusedly through the same space and could change the dispositions they each have to depict their own color, then all colors of all things would be thrown into confusion, and they mutually transmute each other while they passed through the air, that is, everywhere running into rays of other bodies imbued with every sort of color. Thus there would be neither certainty nor stability in the colors of visible things.“)

Vorlesung 5

4. Experiment zur Mischung der Farben: (dasselbe Resultat soll auf klarere Weise erreicht werden)

ein Prisma wird vor die Öffnung plaziert, die das Sonnenlicht durchläßt; das einfallende, durch das Prisma gebrochene Licht wird auf eine konvexe Linse gelenkt, so daß das farbige Licht auf die Linse fällt; hinter die Linse wird dann ein Blatt Papier gehalten, welches das zweifach gebrochene Licht auffängt; dieses Papier wird dann in einer kontinuierlichen Bewegung immer weiter von der Linse wegbewegt (op. cit., 114f.); was beobachtet man? Zunächst wird das Farbspektrum in seiner Ausdehnung immer schmäler, bis es völlig verschwindet und in weißes Licht übergeht; bewegt man das Papier noch weiter weg, dann tauchen die Farben wieder auf, nur in der umgekehrten Reihenfolge; diesen Versuchsausgang wertet Newton als eine erneute Bestätigung für seine Theorie: **„Et sic omnes omnium specierum tum purpuram ad P tum rubedinem ad T, tum alios alibi colores efficientum convergunt ad X et ibi confusè miscentur ad albedinem generandam: [...] Unde liquet iterum quòd dispositiones, radorum absimilium, ad diversos colores producendos non destruantur per eorum mixturam, quandoquidem eosdem expingunt cùm segregantur quos ante mixturam expingebant.“** (Op. cit., 116; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 117: „Thus all rays of every sort, making purple at P as well as red at T and the other colors elsewhere, converge to X and are there confusedly mixed to generate white; [...] Consequently, it is again evident that the dispositions of dissimilar rays to produce diverse colors are not destroyed by their mixture, since they depict the same colors when they are separated as those they depicted before the mixture.“)

[dies ist auch eines der drei Experimente, auf die Newton in der *New Theory about Light and Colours* hingewiesen hat; es dient nach Newtons eigenen Worten zur *Überprüfung* seiner Theorie und seine Beschreibung sei als „Introduction to Experiments of this kind“ zu verstehen; cf. Newton, Cor. I, 100-102; vgl. auch Newton, *Opticks*, 137];

Anmerkung: wenn man die Strahlen von irgendeiner Farbe unterbricht, indem man einen undurchsichtigen Körper dorthin plaziert, dann verschwindet diese Farbe und das Weiß am Punkt X, an dem sich alle Farben gemischt haben, verschwindet; → somit kann man

beliebige Farbkombinationen herstellen und sich ansehen, wie die resultierende Mischfarbe aussieht; diese Operation der Unterbrechung von Farbstrahlen zählt zu den bedeutendsten und fundamentalsten Operationen in Newtons Optik (cf. auch seine Definition des Lichtstrahls!);

es folgt nun eine nähere Erläuterung des 4. Experiments, und zwar insbesondere der Art und Weise, wie die Strahlen im Mittelpunkt X gemischt werden;

→ Newton greift dazu auf seine Interpretation des Spektrumbildes aus der zweiten Vorlesung zurück; er denkt sich das Bild als aus unendlich vielen Kreisen zusammengesetzt, wobei jedem Kreis genau ein Strahl (penicillum) entspricht; hier spricht er auch davon, daß die Strahlen „sint conformes sibi“ (sich selbst konform sind); in der zweiten Fassung seiner Vorlesungsreihe, den *Optica*, spricht er von „homogenen“ Strahlen; die Strahlen, die disponiert sind, verschiedene Farben zu erzeugen, werden von der Linse auf verschiedene Foci geworfen; dabei gilt: der Focus von Strahlen, die weniger stark gebrochen werden (Rot), liegt ein Stückchen weiter von der Linse entfernt als der von den Strahlen, die stärker gebrochen werden (Violett); an dieser Stelle weist Newton ausdrücklich auf die Diskrepanz zwischen geometrischer Figur („schema“) und dem realen physikalischen Vorgang hin; es wird deutlich, daß Lichtstrahlen nicht mit geometrischen Linien identifiziert werden, sondern mit (infinitesimalen) Strahlenbündelchen („radiatorum penicilli“); entsprechend liegt der Focus der Linse, in dem sich alle (homogenen) Strahlen treffen, nicht exakt auf einem Punkt, sondern auf einem Intervall, das sich auf der Achse der konvexen Linse erstreckt (cf. op. cit., 120); entsprechend liegen in diesem Intervall die Foci von allen anderen Farbschattierungen; sie erstrecken sich darüber hinaus jeweils auf eine kleine Fläche, die senkrecht zu der Achse liegt; wenn man nun das Papier in etwa in die Mitte des dadurch aufgespannten dreidimensionalen Raumes halte, wo die Mischung der „penicilli“ verschiedener species von Farben am größten sei, werde man am deutlichsten das aus der Mischung hervorgehende Weiß erkennen; allerdings weist das Bild noch eine Abstufung aus; es ist in der Mitte weiß und an den Rändern wird es leicht farbig;

5. Experiment zur Mischung der Farben: (das dem vierten ähnlich ist; Newton verwendet anstatt der konvexen Linse einen konkaven Spiegel)

Newton verweist darauf, daß das Ergebnis des vorigen Experiments keineswegs perfekt sei, da an den äußeren Rändern noch Farben zu erkennen seien, die nicht weiß sind (selbst dann, wenn ein ungeübter Experimentator dies kaum ausmachen könne); wenn man aber an die Stelle der brechenden konvexen Linse einen genau geformten und polierten konkaven Spiegel setze, „dicta mistura fiet omnibus numeris perfecta“ (op. cit., 124); Grund: für alle Strahlen jedweder Art gilt, daß bei der Reflexion der Einfallswinkel exakt dem Ausfallswinkel entspricht und damit alle Störungen, die bei der Brechung auf-

treten können, beseitigt sind; man könne dabei einen Spiegel sowohl von einer elliptischen als auch einer sphärischen Form benutzen, wenn nur der Radius der Sphäre hinreichend groß sei;

These: das weiße Licht, welches sich im Brennpunkt des Spiegels sammelt, sei aus *allen* Farben zusammengesetzt; das gleiche gelte für das weiße Licht, das durch die Öffnung auf den Spiegel fällt, kurz nachdem es von dem Prisma gebrochen wurde; denn: alle Strahlen, egal welcher Farbe, die sich im Brennpunkt des Spiegels sammeln, kommen von genau jeweils einem Punkt der Öffnung; → jeder Strahl, der die Öffnung passiert, fällt auch in den Brennpunkt; folglich ist das weiße Licht, das die Öffnung passiert, auch aus exakt den Strahlen zusammengesetzt, die sich im weißen Licht des Brennpunkts befinden; also muß die Zusammensetzung des weißen Lichts in beiden Fällen dieselbe sein; denn: jeder Strahl, der von einem Punkt der Öffnung ausgeht, trifft auf exakt einen Punkt des Bildes des reflektierten Lichts; dies gilt auch (im Prinzip) für den vierten Versuch, obgleich hier die Streuung etwas größer war; [darüber hinaus bot die Ersetzung des Vorgangs der Brechung durch den der Reflexion noch einen weiteren Vorteil: es herrschte unter den zeitgenössischen Wissenschaftlern Einigkeit darüber, daß die Lichtstrahlen bei dem Vorgang der Reflexion - im Gegensatz zum Vorgang der Brechung - keinerlei Veränderung erfahren];

weitere Überlegung Newtons: die Streuung des Lichts durch ein Prisma ähnelt der Streuung des Lichts durch den Focus einer konvexen Linse; d.h. die Streuung durch ein Prisma wird durch die Bündelung durch eine konvexe Linse exakt aufgehoben; → die Strahlen werden in beiden Fällen in exakt der gleichen Weise gemischt; allerdings: wenn man ein Blatt Papier durch langsame, kontinuierliche Bewegung von den jeweiligen Brennpunkten entferne, dann erschienen beidemal zwar die Farben, aber nur an den Enden, während die Mitte weiß bleibe; das liege daran, daß die divergierenden Strahlen zunächst im Grenzbereich von Licht und Schatten getrennt werden;

→ man könne dieses Streuen und Sammeln der Strahlen durch konvexe Linsen beliebig wiederholen und jedesmal wieder weißes Licht erzeugen; d.h. wendet man dieselbe Operation auf das von einer konvexen Linse oder von einem Prisma gestreute Licht an, dann erhält man jedesmal dasselbe Ergebnis; daraus schließt Newton, daß auch der Zustand, der jeweils derselben Operation vorausging, beidemal derselbe ist; [d.h. es gilt: $\Psi(F) = W$ und $\Psi(X) = W \Rightarrow F = X$; dies gilt dann, wenn die Abbildung bijektiv ist; dies geht aber daraus hervor, daß die Menge der Strahlen, aus denen sich F zusammensetzt, exakt der Menge entsprechen muß, aus denen sich X zusammensetzt, obgleich es beidemal unendlich viele Strahlen sind; Ψ bedeutet die Operation: Sammeln der Strahlen in einem Brennpunkt durch eine konvexe Linse; F ist das weiße Licht an der Öffnung der Linse

(nach der Brechung durch das Prisma) und X ist das weiße Licht nach der Brechung durch die konvexe Linse];

Konklusion am Ende der fünften Vorlesung: „**Concludendum est itaque quòd lux, cùm modò trjicitur per prisma, licèt albedinem exhibeat, tamen constat ex radijs heterogeneis confusè mixtis et ab invicem per divergentiam mox discessuris, qui postquam ita segregantur proprijs apparent formis, sin iterum congregantur albedinem rursus componunt, & sic praeterea in infinitum.**“ (Op. cit., 128; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 129: „It must be concluded, therefore, that when light has just passed through a prism, although it exhibits whiteness, it nonetheless consists of confusedly mixed heterogeneous rays soon about to separate from one another by diverging, which after they are thus separated, appear according to their own nature; but if they are again gathered together, they once more compound whiteness, and so on to infinity.“)

Vorlesung 6

Newton geht nun zum Beweis des zweiten Teils der dritten Proposition über, nämlich:

b) daß das Sonnenlicht deshalb weiß ist, weil in ihm eine Mischung aus allen Farben latent enthalten ist (Tatsache wird erklärt):

„**Imò vero lux non solùm componitur ex omnium colorum radijs ut egreditur prismate et nondum discernitur in colores istos, sed etiam cùm nondum attigerit prisma et antecedenter ad omnem refractionem. Et inde non mirum est quòd cùm segregatur in colores virtute prismatis radios inaequaliter refringentis, et colores iterum commiscentur ope lentis aut alio quovis modo praemonstrato, quòd, inquam, rursus componant albedinem.**“ (Op. cit., 128; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 129: „In fact, light is compounded of rays of all colors not only as it leaves the prism and is not yet separated into those colors, but also when it has not yet reached the prism and prior to any refraction. Consequently, it is not surprising that when light is separated into colors by the power of a prism to refract rays unequally, and the colors are again mixed by the aid of a lens or by any other way previously shown, that, I say, they again compound white.“)

1. Experiment: (Reflexion und Brechung am Prisma werden kombiniert)

Newton möchte zeigen, daß weißes Licht aus allen verschiedenen Strahlen zusammengesetzt ist, *bevor* es durch das Prisma gebrochen wird;

die gelben Strahlen nur teilweise reflektiert werden und die roten überhaupt nicht, sondern durch die Oberfläche gebrochen werden;

Schlußfolgerung:

„Et proinde cùm e radijs solaribus alij alijs, pro specie colorum quos postmodum exhibent, faciliùs reflectuntur; constat lucem solis ex illis coloribus componi.“ (Op. cit., 136; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 137: „Consequently, since some of the solar rays are more easily reflected than others according to the species of color they exhibit afterward, it is manifest that the sun’s light is compounded of those colors.“)

Denn: alle Experimente hätten gezeigt, daß die Strahlen, die Violett erzeugen, „schneller und leichter“ gebrochen werden als andere; im ersten Experiment wurde dies bei Strahlen gezeigt, die im Sonnenlicht gemischt ankommen und auf das Prisma fallen, während bei den anderen Experimenten (Varianten 1-3) die Strahlen getrennt wurden, bevor sie auf das Prisma fielen; da „denselben Strahlen immer dieselben Dinge widerfahren“ (op. cit., 136: „cùm eadem iisdem radijs semper eveniant“; cf. Newton, *Principia*, ‘Regulae Philosophandi’, Regel 2: Wirkungen derselben Art muß man stets dieselben Ursachen zuschreiben), gilt: es ist klar („liquet“), daß dieses Verhalten *nicht* auf Zufall („ex contingentia“), sondern auf einer Prädisposition der Strahlen („ex praedispositione radiorum“) beruht und daß *vor* jeder Reflexion und Brechung bestimmte Strahlen in bestimmter Weise disponiert sind, bestimmte Farben hervorzubringen und leichter reflektiert werden, während andere mit anderen Farben und Fortbewegungskräften („alijs coloribus et progrediendi viribus afficiuntur“) ausgestattet sind;

[Komm. Shapiro, op. cit., 136f., Anm. 18: zu Beginn hatte Newton festgestellt, daß die ungleiche **Brechbarkeit** der Strahlen **nicht** auf **Zufall** beruhen könne, sondern auf eine innere Disposition der Strahlen zurückgeführt werden müsse; dabei spielte die Farbe noch keine Rolle; nun - im Zusammenhang mit der Reflexion - dehnt er sein Argument auf Farben aus; wieso ist dies möglich? Es liegt an der unterschiedlichen Natur der Phänomene der Reflexion und Brechung; denn: „with total reflection it is always possible - as it is not with refraction - to identify the particular color that is totally reflected at any given angle, since the rays exhibit their color at τ before they are reflected to π .“]

2. Experiment: (das Sonnenlicht wird teilweise reflektiert und teilweise gebrochen)

auch dieses Experiment dient dazu, die Ungleichheiten der Strahlen, die sich im Sonnenlicht mischen, zu verdeutlichen; es weicht nicht wesentlich vom 1. Experiment ab, ist auch genau so wissenschaftlich wie das erste („aeque scientificarum“), aber es sei *visuell überzeugender*; hier variiert Newton *aus didaktischen Gründen* ein Experiment, um einen bestimmten Effekt noch deutlicher vor Augen zu führen;

dabei benutzt Newton zwei Prismen, die an ihren Grundflächen zusammengesetzt werden; an der Schnittfläche könne etwas Luft zwischen die beiden Oberflächen geraten „in der Art eines sehr dünnen Plättchens“ (op. cit., 136: „in morem tenuissimae laminae“); die Seiten des auf diese Weise zusammengesetzten Körpers werden als parallel angenommen; trifft ein Sonnenstrahl senkrecht auf eine Seite, dann wird ein Teil des einfallenden Sonnenlichts (durch drei Oberflächen) direkt hindurchgeleitet und sein Bild (t) auf dem Schirm (Papier) ergibt eine weiße Farbe, *so als wäre* das Licht nicht durch die Prismen geleitet worden, sondern *käme* direkt von der Sonne; [kontrafaktisch; die Effekte neutralisieren sich; aber: ist dieses weiße Licht tatsächlich mit dem Sonnenlicht identisch?]; ein Teil des Lichts wird jedoch an der Oberfläche, an der beide Prismen zusammengehalten werden, reflektiert; dieses reflektierte Licht wird von einem weiteren Blatt Papier (p) aufgehalten; dort zeigt sich ebenfalls ein weißes Licht;

nun wird das viereckige Prisma leicht um seine Achse im Uhrzeigersinn gedreht, so daß sich der Winkel für die einfallenden Sonnenstrahlen (kontinuierlich) verändert; Beobachtung: auf beiden Schirmen verändert sich der ursprünglich weiße Farbton; zunächst sieht man bei t einen Gelbton (mittlere Farbe zwischen Gelb und Grün) und dann ein Rot, während auf p ein Blauton erkennbar ist; wenn nun auf t ein intensives Rot erkennbar ist und das Prisma leicht weitergedreht wird, dann verschwindet von t jede Farbe und alles Licht, während das Blau auf p in ein Weiß übergeht, das heller leuchtet als vorher;

→ durch Drehung der beiden zusammengesetzten Prismen wird der Einfallswinkel für die Strahlen immer spitzer; wenn der Winkel zu spitz ist, dann können die Strahlen die Oberfläche nicht mehr durchdringen, sondern werden reflektiert; (dies geschieht etwa bei einem Einfallswinkel von ca. 40°);

[Newton hat diese Art von Experimenten bereits in seinem frühen *Fragment Of Colours* beschreiben; cf. Newton, *Of Colours*, 471-475; sie finden sich ebenfalls in einem Entwurf zu einer Antwort an Hooke, MS Add. 3970, ff. 439-440; und in den *Opticks*, Buch I, Teil I, Prop. II, Experiment 10, 57-62];

anschließend wird das Experiment nochmals wiederholt und eine **Verstärkung des Effekts** durch zwei weitere Prismen erzielt, die hinter die Schirme bei t und p gehalten werden (op. cit., 141); damit wird das weiße Licht, das zunächst bei t ankommt, in seine Farben zerlegt; dann sieht man genau, daß in dem Moment, in dem das Bild auf t eine gelbe Farbe annimmt, das Violett innerhalb des Spektrums verschwindet; daran kann man genau sehen, daß die Strahlen, die Violett hervorrufen, nicht mehr gebrochen werden, sondern von t ganz verschwinden und reflektiert werden; dreht man das Prisma kontinuierlich weiter, dann sieht man sukzessive alle Farben von t verschwinden, bis am Ende ein intensives Rot übrigbleibt; Folgerung: **„Quod manifestò convincit hanc lucem et non aliunde rubescere quàm quòd a radijs aliorum colorum per superficiem CB^β reflexis secernitur.“** (Newton, *Optical Pa-*

pers I, 140; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 141: „This manifestly proves that this light $\epsilon\tau$ becomes red from nothing else other than that it is separated from the rays of the other colors that are reflected by the surface $CB\beta$.“)

In analoger Weise kann man die Farben, die nach p reflektiert werden, durch Zerlegung sichtbar machen, indem man ein weiteres Prisma nimmt und es hinter p plaziert; dann sieht man, daß das Violett, in dem Augenblick, in dem es von t verschwindet, das Bild von p stark einfärbt; dreht man das Prisma in der Mitte weiter, dann sieht man auch bei allen anderen Farben, daß sie sukzessive auf p auftauchen, in genau der Reihenfolge, in der sie von t verschwinden; Newton weist allerdings darauf hin, daß es großer Aufmerksamkeit und Umsicht bedürfe, um diesen Effekt zu beobachten, da die sukzessive Veränderung der Färbung von p nur schwer zu erkennen sei;

→ in diesem Experiment sieht Newton seine Behauptung nochmals auf augenfälliger Weise bestätigt, da man hier genau sehen könne, welche der Strahlen reflektiert und welche durchgelassen werden; dies könne nicht auf Zufall beruhen, sondern nur auf einer inneren Disposition der Strahlen selbst: **„Penitiùs hic ostenditur quinam e radijs solaribus reflectuntur et quinam transmittuntur: atque adeò hoc non casu sed praedispositione radiorum evenire.“** (Op. cit., 140; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 141: „It is more thoroughly shown here which of the solar rays are reflected and which are transmitted, and thus that this does not occur by chance but by a predisposition of the rays.“)

3. Experiment: (das Sonnenlicht wird teils reflektiert und teils gebrochen)

Newton fügt zwei gut polierte Glasplatten zusammen und versiegelt sie an ihren Nahtstellen; anschließend werden sie in einen mit Wasser gefüllten Behälter getaucht; dabei können sie in eine Position gebracht werden, in der das Sonnenlicht, das auf sie fällt, teilweise reflektiert und teilweise gebrochen wird;

im Anschluß and diese **Serie von Experimenten** zieht Newton folgende **Schlußfolgerungen**:

(1) Widerlegung der Annahme von Descartes und Hooke, daß durch parallele Oberflächen keine Farben erzeugt werden könnten; dem widerspreche das dritte Experiment, in welchem die Farben durch parallele Oberflächen erzeugt werden; dabei werden einige Strahlen nach einer Seite zurückgeworfen und andere nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt; wenn nun die Oberflächen - wie einige Philosophen glaubten (Descartes, Hooke) - die inneren Dispositionen der Strahlen, gewisse Farben zu erzeugen, tatsächlich beeinflussen und verändern könnten, müßten sich diese Effekte neutralisieren; dies sei aber nicht der Fall; also sei ihre Annahme falsch; [cf. op. cit., Komm. Shapiro, 142, Anm. 26: Descartes hatte als allgemeines Prinzip der Farbenlehre unterstellt, daß durch

gleiche und entgegengesetzte Brechungen keine Farben erzeugt werden könnten; Hooke schränkte dieses Prinzip in der von Descartes ausgesprochenen Allgemeingültigkeit ein, nahm aber auch an, daß es zumindest für gerade und parallele Oberflächen gelten würde (z.B. Prismen)];

(2) obwohl das Licht, nachdem es durch die parallelen Oberflächen geleitet wurde, eine weiße Farbe zeigt, besteht es dennoch aus unterschiedlichen Strahlen; denn einige Arten („genera“) können total reflektiert werden, während andere teilweise durchgelassen werden; dasselbe gilt für das Weiß der reflektierten Strahlen; denn auch dieses ist aufgrund desselben Arguments auf gleiche Weise zusammengesetzt;

nun folgt der entscheidende Schluß, nämlich, daß das reflektierte und das durchgelassene Licht von derselben Natur sei wie das direkte Sonnenlicht: **„Quis autem dubitaverit unquam quin lux a Sole directè adveniens sit ejusdem naturae cum luce reflexâ, vel per parallelas superficies trajectâ, cùm ijdem cujusque sunt effectus, et eadem proprietates omnes.“** (Op. cit., 142; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 143: „But who has ever doubted that light arriving directly from the sun is of the same nature as reflected light or as that transmitted through parallel surfaces, since the effects of each are the same and all their properties are the same?“

[auch hier macht Newton offenbar von dem Grundsatz (Regel 2 der ‘Regulae Philosophandi’) Gebrauch, daß man gleichen Wirkungen gleiche Ursachen zuschreiben müsse];

Anschließend erfolgt noch eine Verfeinerung der Argumentation:

(a) Licht, das reflektiert wird oder parallele Oberflächen durchdringt und eine weiße Farbe zeigt, ist aus Strahlen von verschiedener Art („genus“) zusammengesetzt;

(b) was ist die *Ursache* der Farben, die diese Strahlen produzieren, wenn sie sukzessive durch ein Prisma geleitet werden? Es sei nicht zu bezweifeln, daß die *Ursache* der Farben *dieselbe* ist, unabhängig davon, ob i) das Licht direkt von der Sonne auf ein Prisma fällt oder ii) nach einer Reflexion (z.B. beim Durchgang durch Wolken) oder nach dem Durchgang durch parallele Oberflächen (z.B. beim Durchgang durch ein Glasfenster) auf das Prisma geleitet wird;

(c) Konsequenz: die *Wirkungen* (d.h. das Entstehen des Farbspektrums nach dem Durchgang durch das Prisma) sind in beiden Fällen gleich; also müssen auch die *Ursachen* (die Disposition der Strahlen, eine bestimmte Farbe zu erzeugen) in beiden Fällen gleich sein; d.h. das direkte Sonnenlicht und das reflektierte oder durch parallele Oberflächen gesandte Licht ist aus denselben Arten von Strahlen (die dieselben Dispositionen, Farben zu erzeugen, aufweisen) zusammengesetzt;

die Argumentation wird noch durch einen weiteren Grundsatz unterstützt, der der Sache „die höchste Gewißheit“ (op. cit., 142: „summam rei certitudinem“) verleihen sollte,

nämlich das **Prinzip der Unveränderlichkeit der (einfachen) Farben bei Reflexionen**; an dieser Stelle wird zunächst vorausgesetzt, daß das Licht einer „einfachen Farbe“ in seiner Farbe durch Reflexion an Spiegeln nicht verändert wird (dieser Grundsatz wurde zu Newtons Zeiten allgemein akzeptiert); er will darüber hinaus zeigen, daß dies auch für **Brechungen** gilt, d.h. bei einer Brechung wird die (einfache) Farbe, die ein Strahl erzeugt, nicht verändert; diesen zweiten Teil des Grundsatzes beweist er jedoch nicht mehr in den *Lectiones Opticae*, sondern erst in der zweiten Vorlesungsreihe, den *Optica*; dort wird dieses Prinzip als zweiter Grundsatz seiner Farbenlehre eingeführt und bewiesen [cf. op. cit., 452-460];

Nun schließt Newton den Teil seiner Untersuchungen ab, in welchem die **Fundamente** (oder Prinzipien) der **Farbenlehre** gelegt werden; dieser Teil ist bestimmt durch die Anwendung der **analytischen Methode**, wie seine späteren Äußerungen in den *Principia* und den *Opticks* zeigen; er stellt fest, daß die „innere Disposition oder Form“ der Strahlen, wodurch sie eine bestimmte Farbe erzeugen, durch die Kraft der Reflexion und Brechung weder zerstört noch auf irgendeine Art verändert werden könne; → diese Dispositionen sind den Strahlen „von ihrem Ursprung innerlich zugehörig“, auch dann, wenn sie nur nach der Trennung der heterogenen Strahlen durch die Kraft der Brechung sichtbar gemacht werden können: **„Atque adeò (praeter rationes sparsim antedictas) cùm inhaerentes dispositiones vel formae radiorum, quibus apti sunt ad exhibendum colorem aliquem destrui nequeant, vel ullo modo virtute reflectionis aut refractionis mutari, quid aliud concludamus quàm quòd dictae dispositiones sunt insitae radijs ab eorum origine, atque ijs, ut dicam, connatae: licèt non possunt exhibere proprios colores antequam heterogenei ab invicem virtute refractionum secernantur.“** (Op. cit., 142/144; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 143/145: „Consequently, besides the reasons previously given here and there, since the inherent dispositions or forms of the rays whereby they are disposed to exhibit some color can neither be destroyed nor in any way be changed by the power of reflection or refraction, what else can we conclude but that those dispositions are innate to the rays from their origin and, as I may say, connate to them, although they cannot exhibit their own colors before the heterogeneous rays are separated from one another by the power of refractions.“)

[an dieser Stelle findet man bereits eine implizite Anwendung der späteren Regel 3 der ‘Regulae Philosophandi’; diese Regel besagt, daß die Qualitäten, die weder vermehrt noch vermindert werden können und allen Körpern zukommen, als allgemeine (physikalische) Eigenschaften aller Körper gelten müssen; entsprechend gilt auch für die (monochromatischen) Lichtstrahlen, daß ihnen ursprünglich eine Disposition zu einer

bestimmten Farbe zukommt, die unveränderlich ist (und mit einem bestimmten Brechungsgrad korreliert ist); daher muß diese Disposition als reale physikalische Eigenschaft betrachtet werden, die allen Strahlen eigentümlich ist; cf. dazu auch M. Mamiani, *Isaac Newton filosofo della natura. Le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo newtoniano*, Firenze 1976, 130f.; dort heißt es: „Ma, [...], la conclusione di Newton implica una vera e propria deduzione, fondata su un principio *a priori*. Ciò che non può essere distrutto o mutato implica una realtà fisica ‘insita e innata’. [...] La forza della conclusione di Newton è così fondata non tanto sull’ esperimento, che assume unicamente un valore di prova strumentale o indiziaria, ma sul principio che ciò che è immutabile possiede una realtà fisica privilegiata, è una proprietà inerente o formale sottratta all’ accidentalità effettuale, e agente quindi come una causa fisica necessaria.“ Übersetzung des Verfassers: „Aber [...] Newtons Schlußfolgerung beinhaltet eine echte und eigentümliche Beweisführung, die sich auf ein Prinzip *a priori* gründet. Dasjenige, was nicht zerstört oder verändert werden kann, beinhaltet eine ‘innere und eingeborene’ physikalische Realität. [...] Die Kraft von Newtons Schlußfolgerung beruht auf diese Weise nicht so sehr auf dem Experiment, welches einzig und allein den Wert einer instrumentellen oder verdachtsmäßigen Überprüfung annimmt, sondern auf dem Prinzip, daß dasjenige, was unveränderlich ist, eine bevorzugte physikalische Realität besitzt, und daß es eine notwendig anhaftende oder der Form eigentümliche Eigenschaft ist, die sich jedem zufälligen Einfluß entzieht und daher wie eine notwendige physikalische Ursache wirkt.“]

Damit endet die sechste Lektion; interessant: Newton hat später nicht wieder aufgrund der totalen Reflexion zu beweisen versucht, daß die **Farben dem direkten Sonnenlicht innewohnen**; gleichwohl hat er die totale Reflexion zu Beweisen benutzt, die zeigen sollen, daß **Strahlen von unterschiedlicher Brechbarkeit dem direkten Sonnenlicht innewohnen**;

was die Zusammensetzung des weißen Lichts aus Farben betrifft, so stützte er sich zusehends auf das **Prinzip der Unveränderlichkeit der Farben**; wenn man diesen Beweis auf die wesentlichen Punkte konzentriert, dann erscheint er verblüffend einfach;

1. Prämisse: die Farben sind absolut unveränderlich; d.h. sie können weder durch Reflexion noch durch Brechung verändert werden;

2. Prämisse: das Sonnenlicht offenbart Farben, nachdem es beim Durchgang durch das Prisma gebrochen wurde;

Konklusion: die Farben müssen bereits *vor* der Brechung im Sonnenlicht vorhanden sein, obwohl sie darin nicht sichtbar in Erscheinung treten;

diesen Beweis hat Newton später jedoch nicht wieder verwendet; denn: es war ihm nicht möglich, das Prinzip der Unveränderlichkeit der Farben für das unmittelbare Sonnenlicht, *bevor* es in die Spektralfarben zerlegt worden ist, experimentell zu beweisen; dies gilt insbesondere für die *Opticks* (cf. op. cit., 145, Anm. 33, Komm. Shapiro);

Funktion des Prinzips der Unveränderlichkeit in den *Opticks*:

in den *Opticks*, Buch I, Teil II, Prop. VII, 158-161, findet man eine Anwendung des Unveränderlichkeitsprinzips; die Proposition lautet: **„All the Colours in the Universe which are made by Light, and depend not on the Power of Imagination, are either the Colours of homogeneal Lights, or compounded of these, and that either accurately or very nearly, according to the Rule of the foregoing Problem.“** (Op. cit., 158); die Regel auf die Newton Bezug nimmt, betrifft die Mischungsverhältnisse zusammengesetzter Farben, die aus einfachen, homogenen Farben bestehen; diese Proposition VII ist auch interessant, weil sie gewissermaßen als eine Art Zusammenfassung der Ergebnisse des ersten Buches und zugleich als allgemeines ‘Scholium’ zu diesem ersten Buch erscheint;

zum Beweis der Proposition VII führt Newton Sätze an, die er seiner Meinung nach experimentell bewiesen hat:

(1) die Farbveränderungen durch Brechungen kommen nicht durch Modifikationen zustande, die den Strahlen durch die Brechungen zugefügt würden, noch durch die unterschiedlichen Begrenzungen von Licht und Schatten;

(2) die Farben der homogenen Strahlen korrespondieren in konstanter Weisen ihren jeweiligen bestimmten Brechungsgraden;

(3) die Brechungsgrade homogener Strahlen können durch Reflexion und Brechung nicht verändert werden und daher auch nicht ihre Disposition, bestimmte Farben zu erzeugen:

„It has also been proved that the several Colours of the homogeneal Rays do constantly answer to their degrees of Refrangibility, (...) and that their degrees of Refrangibility cannot be changed by Refractions and Reflections (...) and by consequence that those their Colours are likewise immutable. It has also been proved directly by refracting and reflecting homogeneal Lights apart, that their Colours cannot be changed, (...).“ (Op. cit., 158f.)

(4) Die Strahlen üben keinerlei Wirkungen aufeinander aus (Superpositionsprinzip);

(5) wenn man die Aktionen (Wirkungen) der Strahlen in dem „Sensorium“ mischt, dann rufen sie die Wahrnehmung einer „mittleren Farbe“ hervor, nämlich Weiß; Weiß ist eine Mischung aus allen den Farben, die die Strahlen separat produziert hätten; die Strahlen verlieren in der Mischung aber nicht ihre Disposition, eine bestimmte Farbe zu erzeugen;

(6) das Sonnenlicht ist aus allen Arten von Strahlen gemischt; also ist seine weiße Farbe eine Mischung aus den Farben all dieser Arten von Strahlen;

Resiimee:

„These things have been prov'd, and the sum of all this amounts to the Proposition here to be proved. For if the Sun's Light is mix'd of several sorts of Rays, each of which have originally their several Refrangibilities and colorific Qualities, and notwithstanding their Refractions and Reflëxions, and their various Separations or Mixtures, keep those their original Properties perpetually the same without alteration; then all the Colours in the World must be such as constantly ought to arise from the original colorific qualities of the Rays whereof the Lights consist by which those Colours are seen.“ (Op. cit., 160.)

NEWTONS METHODENLEHRE

Newton's erste Vorlesungsreihe zur Optik (Teil IV) + weitere Beispiele zur Synthese von 1671-1675

Vorlesungen 7 - 8: Beispiele für Synthese/Compositio

Vorlesung 7

In der Lektion 7 der *Lectiones Opticae* sollen die Erscheinungen am Prisma aufgrund der zuvor durch Analyse ermittelten allgemeinen Eigenschaften oder Prinzipien erklärt werden; denn rückblickend stellt Newton fest, daß in den ersten sechs Vorlesungen die *Fundamente* der Farbenlehre entwickelt worden seien: „**Hucusque fundamenta struximus, quibus apparentiae vulgares colorum prismatibus effectorum certissime possunt explicari.**“ (I. Newton, *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, ed. by A. E. Shapiro, Cambridge 1984, 145; im folgenden zitiert als: Newton, *Optical Papers I*; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 145: „Thus far we have erected the foundations whereby the common appearances of colors produced by prisms can be most certainly explained.“); hier wird bereits eine Zweiteilung der Methode deutlich, die Newton auch in allen späteren Werken (*Principia*, *Opticks*) beibehalten hat, nämlich 1. die Prinzipien einer Wissenschaft (grundlegende Eigenschaften, Axiome, Ursachen) aus den Phänomenen abzuleiten (zu deduzieren); dies entspricht der Analyse, und 2. vermöge dieser Prinzipien (grundlegenden Eigenschaften, Axiomen, Ursachen) die (bekannten und weitere) Phänomene zu erklären; dies entspricht dem Schritt der Synthese; beide Schritte werden hier bereits sauber unterschieden;

anschließend teilt Newton die Phänomene der Farberzeugung durch Prismen in zwei Gruppen ein: **a)** solche, in denen Farben auf einen Körper projiziert werden, der hinter dem Prisma plaziert wird; **b)** solche, in denen Objekte durch ein Prisma als farbig wahrgenommen werden;

a) Newton wendet sich zunächst der ersten Gruppe zu; (den zweiten Fall behandelt er nur in den *Optica*, der zweiten Vorlesungsreihe);

zu Beginn steht nochmals das erste Prismaexperiment der ersten Vorlesung im Mittelpunkt; zunächst erklärt er kurz den Versuchsaufbau und erläutert sein (physikalisches) Konzept eines Lichtstrahls, das er hier durch eine ideale mathematische Linie repräsentiert; aufgrund dieser Prämissen und den Ergebnissen der Lektionen 4-6 folge, daß die einfallenden Lichtstrahlen nicht einander gleich seien, sondern eine Mischung aus Strahlen bildeten, die Rot, Gelb, Grün, Blau und Violett - sowie alle Zwischengrade - erzeugten; er geht dabei von den fünf genannten Farben als Hauptfarben aus und betrachtet von

jeder dieser Farben das Verhalten eines (ideellen) Strahls;

→ Strahlen des weißen Lichts werden durch Brechung separiert → jeder Strahl manifestiert an seinem Ort die seiner Disposition oder verschiedenen Natur (op. cit., 146: „**pro dispositione suâ, vel formâ diversâ**“) entsprechende Farbe; dies folge aus der Definition des Lichtstrahls; denn „rot-machende Strahlen“ seien als solche definiert, die, wenn sie isoliert sind, eine rote Farbe hervorrufen;

Newton erklärt nun die längliche Form des Bildes: wenn man den einfallenden Strahl auf eine (mathematische) Linie begrenzte, müßte auf dem Bild eine Linie von Punkten erscheinen; statt dessen hat man eine (kleine) kreisrunde Öffnung, durch die (unendlich) viele (annähernd) parallele Strahlen fallen; daher ist das Bild nicht linienförmig, sondern in der Breite ausgedehnt und bildet somit die Gestalt eines Ovals; dies gelte auch, wenn die Strahlen nicht exakt parallel einfielen, sondern durch die Breite der Sonnenscheibe ein wenig geneigter;

Newton wendet sich nun den Resultaten des Versuchs unter jeweils *variierenden Bedingungen* des Phänomens zu (op. cit., 146: „**De varijs phaenomeni circumstantijs**“);

a) das Licht fällt, ohne zuvor durch eine Öffnung zu gehen, direkt auf das Prisma und wird auf einer Seite (nahe der Basis des Prismas) abgedeckt; Newton erklärt die sich daraus ergebenden Farberscheinungen;

b) dasselbe Experiment, nur wird diesmal die andere Seite (nahe dem Scheitelpunkt des Prismas) abgedeckt (Symmetrieargument);

c) beide Formen der Abdeckung werden miteinander kombiniert; auf diese Weise wird, indem man die beiden Abdeckungen immer größer und die Durchgangsöffnung immer kleiner werden läßt, ein monochromatisches Grün erzeugt; Grün bildet exakt die Mitte des Spektrums; in diesem Zusammenhang kommt erstmals die explizite Unterscheidung zwischen *homogenen* und *heterogenen* Strahlen vor (op. cit., 150, ist von „heterogeneis“ und „homogeneis radijs“ die Rede); [Newtons Deutung der Versuche ist im Hinblick auf seine Erklärung des Verhältnisses von Spektral- und Grenzfarben bedeutsam; im 19. Jht. wurde das Phänomen der Grenzfarben häufig herangezogen, um Newtons Farbenlehre zu widerlegen (Goethe)];

d) die Abdeckung erfolgt senkrecht zu den beiden vorherigen Abdeckungen; dann sind die Enden der Abdeckung senkrecht zur Länge des Prismas plaziert und es werden überhaupt keine Farben produziert; Hinweis: dieser Versuch müsse mit einem hinreichend großem Prisma gemacht werden; statt der herkömmlichen Glasprismen empfiehlt Newton den Bau eines mit Wasser gefüllten Glasbehälters mit prismatischer Gestalt;

e) bei dem folgenden Experiment seien *alle Aspekte in einem Beispiel* vereinigt (op. cit., 152: „**ut omnia jam uno comprehendam specimine**“); hier benutzt Newton zur Abdeckung einen undurchsichtigen Gegenstand mit einer runden Öffnung;

kurz hinter der Öffnung (ca. einen halben Fuß) wird ein Schirm (Papier) plaziert; dann erkennt man ein rundes Bild, das in der Mitte weiß ist und oben und unten von zwei halbmondförmigen Farbrändern begrenzt wird; je weiter man sich mit dem Papier vom Prisma entfernt, dehnen sich die Farben am Rand aus und das Weiß in der Mitte schrumpft;

f) der undurchsichtige Körper wird hinter dem Prisma plaziert; auch die Entfernung wird variiert;

[zu dem entsprechenden synthetischen Teil in den *Opticks* cf. I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952 (im folgenden zitiert als: Newton, *Opticks*), Buch I, Teil II, Prop. VIII, 161-168; op. cit., 161: **„By the discovered Properties of Light to explain the Colours made by Prisms.“** Hier spricht Newton von den Fundamenten oder Prinzipien, aufgrund deren die Phänomene erklärt werden sollen im Sinne von (grundlegenden) Eigenschaften];

Vorlesung 8

Newton führt ein weiteres Experiment an, in welchem gezeigt werden soll, wie die Farben von zwei Prismen so gemischt werden, daß sie zusammen eine weiße Farbe hervorbringen; dieses, so Newton, werde „aus dem Vorangegangenen deduziert“ (op. cit., 156: **„E praefatis modus deducitur albedinem e coloribus componendi“**); er habe dieses Experiment im Rahmen seiner früheren Versuche, Weiß aus Prismenfarben zu erzeugen, nicht erwähnt (sich nicht daran erinnert?), weil er damals noch nicht auf den Einwand überzeugend antworten konnte, daß die Farben nicht gemischt würden, sondern vielmehr durch die Eliminierung der Begrenzung zerstört würden und in weißes Licht übergangen;

Versuchsaufbau: zwei Prismen werden so aneinandergelegt, daß der Scheitelpunkt des oberen an einen Eckpunkt der Basisseite des unteren angelegt wird; zwei Seiten des Prismas bilden auf diese Weise eine gerade Linie; läßt man nun Licht hindurchfallen und setzt ca. 8-12 inches hinter das Prisma einen Schirm, dann werden an den äußeren Ecken Farben produziert, aber nicht an den inneren; während der mittlere (innere) Bereich weiß bleibt, wenn man dann eines der beiden Prismen entfernt, bilden sich auch an der übrigbleibenden, inneren Ecke Farben; setzt man das entfernte Prisma wieder zurück, dann wird die Mitte erneut weiß und die Farben, die die Ecke des verbleibenden Prismas erzeugt hatte, verschwinden; zu zeigen: **„Scilicet albedo ista componitur e coloribus ab extremitate C et β prismaticis utriusque prolapsis.“** (Op. cit., 156; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 157: „That white is of course compounded from the colors proceeding from the edges C and β of each prism.“);

Newton erklärt im weiteren Verlauf insbesondere die Farbphänomene, die durch Schatten an den Rändern der Prismen entstehen (oder durch Schatten, die durch dazwischengesetzte undurchsichtige Körper entstehen), wenn der Schirm oder das Papier relativ nahe hinter das Prisma gesetzt wird; er erläutert, wie man prüfen kann, ob die Winkel des Scheitels beider Prismen gleich sind; beide Prismen werden aneinandergelegt und man schaut, ob sich beide Effekte aufheben; dann folgt noch eine Variante desselben Experiments, bei der nur ein Prisma verwendet wird;

[somit beschränkt sich in der ersten Vorlesungsreihe der *Lectiones Opticae* der synthetische Teil vor allem auf die Erklärung von Farberscheinungen am Prisma; in der zweiten Vorlesungsreihe kommen dann noch weitere Phänomene hinzu;

nachdem Newton nun die Entstehung (Genese) der Farben, die von Prismen in einer gewissen Entfernung erzeugt werden, erklärt hat, müßte er nun zum zweiten Teil übergehen, den er zu Beginn der siebten Vorlesung angekündigt hatte, nämlich zu **b**) solchen Phänomenen, bei denen Objekte durch ein Prisma als farbig wahrgenommen werden;

aber: Newton weicht von diesem Plan ab, um stattdessen das **Maß der Brechungen** genauer zu studieren; Ziel: die Wissenschaft der optischen Instrumente, welche das Sehen perfektionieren, zu verbessern; mit deren Hilfe könne man dann viele Propositionen deduzieren, die sich auf diese Art der Genese der Farben stützen;

synthetische Methode: diese **Erklärung** wolle er aber nur in der Weise liefern, daß er sich dabei auf die **Prinzipien** stütze, die er zuvor bewiesen habe, wie dies in der **Geometrie** üblich sei: „**et multae sint exinde deducendae propositiones quibus hujusmodi colorum genesis innititur et explicari debet, modò ex solis principijs antecederent demonstratis (ut in geometriâ solet fieri) velim determinare**“ (Op. cit., 168; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 169: „and next many propositions are to be deduced upon which the origin of colors of this kind depends and must be explained, provided that I intended to determine them solely from principles previously demonstrated (as is usual in geometry)“). [Bedeutsam: hier wird die synthetische Methode mit einem direkten Hinweis auf die Geometrie bzw. auf das methodische Vorgehen in der Geometrie verbunden; statt „determinare“ hatte Newton ursprünglich „demonstrare“ geschrieben, es dann aber wieder ausgestrichen; vermutlich aus stilistischen Gründen, da sonst im selben Satz das Wort „demonstrare“ zweimal auftauchte].

Weitere Beispiele zur Synthese von 1671-1675

Optica (1671/72)

In der zweiten Vorlesungsreihe, den *Optica*, folgt nach dem Beweis für die fünfte und letzte Proposition bzgl. der Oberflächenfarben von Körpern, also dem letzten der **Fun-**

damente oder **Prinzipien** der Theorie, eine kurze Digression; unmittelbar nachdem Newton seine Bemerkungen zu dem Beweis der fünften Proposition beendet hat, verweist er auf einige Erscheinungen, die aus seinen Prinzipien mit Notwendigkeit folgten und die ohne diese überraschend und sehr schwer erklärbar sein würden; offensichtlich folgt hier ein Teil, den Newton auch der Synthese zurechnen würde (cf. op. cit., 510-516); wörtlich heißt es (op. cit., 510): „**Antequam huic de coloribus physicorum corporum propositioni finem impono, placet annotare de quibusdam apparentijs quantâ necessitate consequuntur nostris principijs, quae aliàs mirae viderentur, et explicatu difficillimae.**“ (Op. cit., 510; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 511: „Before I set an end to this proposition about the colors of physical bodies, I propose to comment on some appearances that follow from our principles with such necessity and that would otherwise seem surprising and very difficult to explain.“)

An dieser Stelle wendet Newton offenbar die Prinzipien, die er aus einer gewissen Sphäre von Erscheinungen gewonnen („deduziert“) hat, auf **neue Erscheinungen** an, um sie zu erklären; damit wird der Zirkelvorwurf entkräftet, daß dieselben Erscheinungen, aus denen die Prinzipien ‘deduziert’ wurden, im Rahmen der synthetischen Methode wiederum aus diesen Prinzipien erklärt würden;

zunächst zieht Newton eine Folgerung aus der fünften Proposition: wenn nämlich Körper farbig erschienen, weil sie einige Arten („genera“) von Strahlen reflektierten und andere wiederum absorbierten, dann müßten sie, wenn sie in gewisser Weise transparent seien, diejenigen Farben, die sie absorbieren, durchlassen und am wenigsten reflektieren; → sie müßten eine unterschiedliche Farbe aufweisen, je nachdem, ob man durch sie hindurchsieht, oder ob man sie in reflektiertem Licht betrachtet; → Newton verweist hier auf ein Experiment von Robert Boyle mit dem ‘lignum nephriticum’, das dieser in seiner Schrift *Experiments and Considerations Touching Colours* von 1664 beschrieben habe (cf. op. cit., 510);

[‘lignum nephriticum’ (moringa pterygosperma) ist das Holz eines kleinen Baumes oder Strauches (*Eysenhardtia polystachya*), der in Mexiko gefunden und zur Behandlung von Nierenleiden (Nierensteinen) eingesetzt wurde; cf. op. cit., Komm. Shapiro, 512, Anm. 7; das entsprechende Experiment von Boyle beschreibt Newton bereits in seinem Trinity-Notebook; cf. I. Newton, *Questiones quaedam philosophicae* (ca. 1664/65), in: J. E. McGuire/M. Tamny (eds.), *Certain Philosophical Questions: Newton’s Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 336-465; hier insbesondere 461; cf. auch R. Boyle, *Experiments and Considerations Touching Colours*, London 1664, Teil III, Experiment 10, 199-212; cf. dazu auch J. R. Partington, „Lignum nephriticum“, in: *Annals of Science* 11 (1955), 1-26];

Beobachtung: wenn man eine Flüssigkeit mit 'Lignum nephriticum' eine Nacht stehen läßt und das Wasser abgießt und durch ein klares Glasgefäß betrachtet, dann erscheint es gelblich oder rötlich, wenn man auf das Gefäß gegen das Licht hält, aber Blau, wenn man mit dem Licht (also das Auge ist zwischen Licht und Flüssigkeit) auf das Gefäß blickt; weitere Beispiele: Goldplättchen; wenn man sie mit dem Licht ansieht, erscheinen sie goldfarben, wenn man sie gegen das Licht betrachtet, erscheinen sie bläulich; gefärbtes Glas zeigt eine andere Farbe, je nachdem, aus welchem Winkel man es ansieht;

[diese drei Phänomene („Lignum nephriticum“, Goldplättchen und farbiges Glas) spielten für Newtons Theorie der Oberflächenfarben von anfang an eine wesentliche Rolle; neben seinem Trinity-Notebook findet man entsprechende Einträge auch in seiner Schrift *Of Colours* (I. Newton, *Of Colours*, Manuskript ULC. ADD. 3975 (ca. 1665/66), in: J. E. McGuire/M. Tamny (eds.), *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 466-489, hier insbesondere 466f.; im folgenden zitiert als: Newton, *Of Colours*); bereits im Frühjahr 1672 hatte Newton die Farbphänomene dünner Plättchen und Filme zur Grundlage seiner Theorie der Oberflächenfarben gemacht; heute erachtet man das Moment der Absorbierung von Farben als das entscheidende; Newton hatte es bereits eingeführt, sah aber immer noch die Reflexion als den entscheidenden Vorgang für die Konstitution von Oberflächenfarben an];

Newton unterscheidet im Text vier Kategorien von Farbentstehung bei Körpern (Newton, *Optical Papers I*, 512/514):

- a) Körper, die alle Arten von Strahlen absorbieren: sie erscheinen als schwarze Körper;
- b) Körper, die einige Strahlen reflektieren und den Rest unterdrücken: dies sind die undurchsichtigen farbigen Körper;
- c) Körper, die einige Farben absorbieren und den Rest teils reflektieren und teils durchlassen: dies sind die transparenten farbigen Körper, die überall dieselbe Farbe zeigen;
- d) Körper, die einige Farben reflektieren und den Rest durchlassen: dies sind die Körper, die an dieser Stelle genannt wurden, nämlich „Lignum nephriticum“, Goldplättchen und farbiges Glas;

Probleme bereiteten Newton vor allem die transparenten Körper der dritten Kategorie, die zugleich dieselbe Farbe reflektieren und durchlassen; allerdings passe die Beobachtung, daß eine unterschiedliche Dicke der farbigen Flüssigkeit die Art der Farbe derselben verändern könne, durchaus gut zu den bisher entwickelten Prinzipien;

weiteres Beispiel: Hookes Beobachtung, daß zwei farbige Körper für sich genommen transparent sind, aber undurchsichtig werden, wenn man ihre Farben zusammenmischt; Newton erklärt dies unter Verweis auf zwei Glasplatten von unterschiedlicher Farbe, die für sich genommen durchsichtig sein können, aber undurchsichtig werden, wenn man sie übereinanderlegt.

New Theory about Light and Colours (Februar 1672)

In der *New Theory about Light and Colours* vom Februar 1672 stellt Newton seine Theorie der Farben in 13 Propositionen vor; die ersten acht Propositionen entsprechen in etwa dem Teil, den Newton in seinen Vorlesungen als **Fundamente** oder **Prinzipien** seiner Lehre bezeichnet hat; diese werden vermittels der Methode der **Analyse** oder **Resolutio** ermittelt;

ab der neunten Proposition ändert sich der Charakter der Sätze; denn nun geht Newton daran, gewisse **Phänomene** aufgrund der zuvor entwickelten Prinzipien zu **erklären**; dies entspricht dem Teil, den Newton später als **Synthese** oder **Compositio** bezeichnet; welche Phänomene hat Newton dabei im Auge? Dies soll kurz durch Angabe der Propositionen 9 - 13 erläutert werden (cf. I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. by H. W. Turnbull, J. F. Scott, A. Rupert Hall, Laura Tilling, 7 vols., Cambridge 1959-1977, Vol. I, Cambridge 1959, 99f.; im folgenden zitiert als: Newton, Cor. I):

(9) **die Art und Weise**, wie beim Prisma Farben **erzeugt** werden, wird **erklärt** (Genese!); Newton legt dar, daß die Farbstrahlen, die in Graden der Brechbarkeit differieren, durch die ungleiche Brechung sukzessive in einem ovalen Spektrum erscheinen müssen; entsprechend erscheinen Objekte, sofern sie direkt durch ein Prisma betrachtet werden, farbig (Analogie der Retina des Auges mit einem Schirm oder einer Wand, welche die Strahlen auffängt);

(10) **die Farben des Regenbogens** werden erklärt; die Farben werden an den Wassertropfen gebrochen;

(11) Newton führt auch hier die Phänomene des „Lignum nephriticum“, der Goldplättchen und der Bruchstücke farbigen Glases an, die er schon in den Vorlesungen behandelt hatte und zuvor bereits in der zweiten Hälfte der 60er Jahren untersucht hatte; darüber hinaus nennt er auch andere **transparente farbige Körper**; allen diesen Phänomenen ist gemeinsam, daß die entsprechenden Körper oder Materialien eine bestimmte Farbe aufweisen, wenn man sie aus einer gewissen Position betrachtet, aber eine andere Farbe annehmen, wenn man sie aus einer anderen Position betrachtet; Grund: dabei handele es sich um Substanzen, die einige Farben reflektieren und den Rest durchlassen;

(12) Newton führt ein **Experiment von Hooke** an, bei dem zwei keilförmige Gefäße mit jeweils roter und blauer Flüssigkeit gefüllt werden; jedes Gefäß für sich ist durchsichtig; zusammengenommen seien die Gefäße jedoch undurchsichtig;

[alle diese Phänomene von 9 - 12 tauchten auch in den Vorlesungen auf und wurden dort teilweise sehr ausführlich und unter Zuhilfenahme mathematischer Berechnungen erklärt];

(13) Newton bemerkt, er könne noch mehr solcher Beispiele anführen; er schließe jedoch mit einer allgemeinen Bemerkung bezüglich der **Ursache der Oberflächenfar-**

ben; Grund: die natürlichen Körper seien so beschaffen, daß sie bestimmte Arten von Licht in größerer Menge reflektierten als andere;

[diese Proposition rechnet Newton in den Vorlesungen zu den Fundamenten und Prinzipien seiner Theorie; sie tauchte bereits als 4. Prop. der *Lectiones Opticae* auf (Newton, *Optical Papers I*, 86; dort wird ein Beweis versprochen, aber nicht gegeben; dies geschieht erst in den *Optica*, wo dieser Grundsatz in Form der 5. Prop. dargelegt ist (op. cit., 438; zum Beweis der 5. Proposition in den *Optica* cf. op. cit., 508-510)].

Discourse of Observations (Dezember 1675)

Newtons Brief an Oldenburg vom 7. Dez. 1675 enthielt neben der Abhandlung *An Hypothesis Explaining the Properties of Light* auch den *Discourse of Observations* (in: I. Newton, *Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy and Related Documents*, ed. by I. B. Cohen, Cambridge (Mass.) 1958, 202-235; im folgenden zitiert als: Cohen, *Papers & Letters*); er wurde während dreier Sitzungen der Royal Society verlesen; die Abhandlung besteht aus drei Teilen: (1) zunächst werden 24 Beobachtungen referiert (op. cit., 202-215); (2) dann werden diese benutzt, um die Ursachen der Oberflächenfarben von Körpern zu erklären, wobei vom Einfachen zum Zusammengesetzten vorgegangen wird (synthetische Methode?) (op. cit., 216-225); (3) schließlich legt Newton in neun Propositionen dar, in welcher Beziehung die Phänomene dünner Schichten zu den Farberscheinungen natürlicher Körper im allgemeinen stehen; [alle diese Ausführungen wurden in den Teilen I, II und III des zweiten Buches der *Opticks* mit einer Reihe von Ergänzungen und Erweiterungen wieder abgedruckt; cf. Newton, *Opticks*, 193-288];

in dem *Discourse of Observations* stellt Newton die Farberscheinungen dünner Plättchen bzw. dünner Schichten vor (die später sogenannten „Newtonschen Ringe“) und will sie aufgrund der von ihm zuvor entwickelten Eigenschaften des Lichts erklären; diese Eigenschaften hatte er zunächst anhand seiner Prismaversuche mittels der Methode der **Analyse** gewonnen; die dort auftretenden Farbphänomene hatte er dann mithilfe dieser Prinzipien erklärt; nun will er aufgrund derselben Prinzipien einen *neuen* Phänomenbereich, nämlich die Phänomene dünner Schichten erklären; dies entspricht dem zweiten methodischen Schritt der **Synthese**, wobei hier die aus einem anderen Phänomenbereich gewonnenen Prinzipien zur **Erklärung eines neuen Phänomenbereichs** herangezogen werden; wenn eine solche Erklärung gelingt (wie Newton meint, sogar auf mathematischem Wege), dann liegt darin eine erneute Bestätigung für die zuvor entwickelten Prinzipien; die Anwendung dieser Prinzipien auf neue Erscheinungen kommt demnach auch einem impliziten *Test* dieser Prinzipien selbst gleich;

[einiges spricht dafür, daß Newton die Entdeckung der Farben dünner Plättchen unab-

nangig von Hooke gemacht hat und nicht erst durch die Lektüre von Hookes *Micrographia* davon erfahren hat, wie z. B. Westfall annimmt; cf. R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge 1980, 173; demgegenüber vertreten McGuire/Tamny die Auffassung, daß Newton die Phänomene der farbigen Ringe bereits bekannt waren; cf. J. E. McGuire/M. Tamny (eds.), *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 272: „Although Newton did read the *Micrographia* sometime in 1666, we believe that he came upon the phenomenon in the course of an earlier series of optical experiments that were motivated by issues raised in the *Questiones*.“ Newton hat aus Hookes *Micrographia* Exzerpte angefertigt und an einigen Stellen mit eigenen Kommentaren versehen; wenn die Datierung von McGuire/Tamny stimmt, dann müssen sie um 1666 herum oder etwas später angefertigt worden sein; unter anderem hat Newton dort notiert: „48. Thin flake of Muscovy glasse, aire, water, metalline scumme doe exhibit divers colour according to their thiknesse, if ye midst be thinnest there will bee a broad spot of one colour & coloured rings about it (outward in this order. (white perhaps in the midst) blew purple, scarlet, yellow, greene, blew, &c untill somtimes 8 or 9 circuits. & ye outmost limb of ye flaws of Muscovy Glasse appeares white because of its thinness the other flaws not extending so far [The more oblique position of ye eye to ye glasse makes ye coloured circles dilate.]“ In: A. R. Hall/M. B. Hall (eds.), *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*, Cambridge 1962, 402f.; aber bereits in seinem frühem Fragment *Of Colours* von 1665/66 finden sich Experimente, bei denen zwei Prismen an ihrer Grundfläche zusammengefügt werden; in diesem Zusammenhang beschreibt Newton das Phänomen der farbigen Ringe; cf. Newton, *Of Colours*, 473-476; darin enthalten ist auch ein erster tastender Versuch der *quantitativen* Bestimmung der Breite der Ringe in Abhängigkeit von der Dicke der Luftschicht, die sich zwischen den Böden der Prismen befindet und durch eine verschiedene Stärke des Aufeinanderpressens variiert werden kann; daher erscheint es nicht unwahrscheinlich, daß Newton die Phänomene der farbigen Ringe zuerst unabhängig von Hooke entdeckt hat; diese Möglichkeit räumt auch Hall ein in A. R. Hall, *All was Light: An Introduction to Newton's 'Optics'*, Oxford 1993, 42f.; darüber hinaus existiert ein weiteres Manuskript Newtons, das Untersuchungen zum Phänomen der Newtonschen Ringe enthält (insbesondere ausgedehnte quantitative Bestimmungsversuche) und *nach* dem Fragment *Of Colours*, aber *vor* der ersten Version des *Discourse of Observations*, die Newton 1672 angefertigt hat, entstanden sein muß; d.h. es wurde zwischen 1666 und 1672 niedergeschrieben; cf. dazu I. Newton, *Manuskript zur Optik: ULC. ADD. 3970. Of the coloured circles twixt two contiguous glasses* (ca. 1667/68), in: R. S. Westfall, „Isaac Newton's 'Coloured Circles 'twixt two Contiguous Glasses'“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 2 (1965), 181-196; Newtons Fragment ist auf den Seiten 191-196 wiedergegeben; zur Datierung cf. op. cit., 184.]

Am Ende seiner Abhandlung stellt Newton fest, daß die von ihm entwickelten Prinzipien

bzw. Eigenschaften des Lichts die Grundlage für eine zufriedenstellende Erklärung der Phänomene der Farben dünner Plättchen liefern; zugleich sind diese Eigenschaften bzw. Prinzipien auch aus diesen neuen Phänomenen ableitbar; sie haben somit seiner Meinung nach den Test der Anwendung auf einen neuen Phänomenbereich bestanden: **„These are the principal phaenomena of thin plates or bubbles, whose explications depend on the properties of light, that I have heretofore delivered: and these, you see, do necessarily follow from them, and agree with them even to their very least circumstances; and not only so, but do very much tend to their proof.“** (Cohen, *Papers & Letters*, 223f.; diese Stelle findet sich nahezu wörtlich in: Newton, *Opticks*, 241);

Die folgenden **Eigenschaften des Lichts** werden dadurch **bestätigt**, daß sie die genannten Beobachtungen erklären:

1. Die Strahlen *verschiedener Farben* besitzen *verschiedene Grade der Brechbarkeit*; dabei werden bei der Reflexion an den Plättchen (oder Bläschen) die Strahlen einer bestimmten Art mit Strahlen anderer Arten vermischt und durch Brechung voneinander getrennt, so daß sie als Ringe oder Bögen sichtbar werden (cf. Cohen, *Papers & Letters*, 224; cf. Newton, *Opticks*, 242);
2. die ungleiche Brechung von verschiedenen Strahlenarten entspringt nicht irgendwelchen irregulären oder kontingenten Umständen; denn: dann wäre die genaue und klare Begrenzung der Ringe, sofern sie durch Brechung entstehen, nicht erklärbar: **„It is necessary therefore, that every ray have its proper and constant degree of refrangibility connate with it; according to which its refraction is ever justly and regularly performed, and that several rays have several of those degrees.“** (Cohen, *Papers & Letters*, 224; cf. Newton, *Opticks*, 242);
3. dasselbe gilt analog für die Reflektierbarkeit der Strahlen, d.h. für deren Disposition, an einer größeren oder geringeren Dicke der Plättchen reflektiert zu werden; es gelte, **„that those dispositions are also connate with the rays, and immutable“** (Cohen, *Papers & Letters*, 224; Newton, *Opticks*, 242f.);
4. es gelte ebenfalls, daß Weiß aus einer Mischung aller Farben hervorgehe und daß das weiße Licht eine Mischung aus Strahlen ist, die mit all diesen Farben ausgestattet sind; (Cohen, *Papers & Letters*, 224; Newton, *Opticks*, 243);
5. Es besteht eine konstante Beziehung zwischen Farben und Brechbarkeit; Art der Farben \Leftrightarrow Grad der Brechbarkeit; eine entsprechende konstante Beziehung bestehe zwischen Farben und Reflektierbarkeit (Violett wird an der dünnsten Stelle eines dünnen Plättchens

reflektiert, Rot an der dicksten); Art der Farbe \leftrightarrow Grad der Reflektierbarkeit; (Cohen, *Papers & Letters*, 224f.; Newton, *Opticks*, 243f.); \rightarrow Mathematisierung der Farbenlehre.

Im dritten und letzten Teil des *Discourse* sollen die **Oberflächenfarben natürlicher Körper** durch Analogiebetrachtungen vermittels der Phänomene dünner Schichten erklärt werden (Cohen, *Papers & Letters*, 226-235); dazu führt er **neun Propositionen** an;

Prop. I: Analogie zwischen Reflexion und Brechung; die Oberflächen reflektieren die größte Quantität des Lichts, die die größte Brechkraft haben (d.h. Oberflächen, die Medien von verschiedener Dichte resp. Brechkraft trennen); (Cohen, *Papers & Letters*, 227; Newton, *Opticks*, Buch II, Teil III, 246);

Prop. II: die kleinsten Teilchen natürlicher Körper sind in gewissem Maße transparent; die Undurchsichtigkeit der Körper kommt durch die Vielheit von Reflexionen zustande, die in diesen kleinsten Teilchen verursacht werden (Cohen, *Papers & Letters*, 227; Newton, *Opticks*, Buch II, Teil III, 248);

Prop. III: zwischen den Teilchen von undurchsichtigen und farbigen Körpern gibt es viele Zwischenräume, die entweder leer sind oder mit Medien verschiedener Dichte gefüllt sind (Cohen, *Papers & Letters*, 228; Newton, *Opticks*, Buch II, Teil III, 249);

Prop. IV: die Teile der Körper und ihre Zwischenräume dürfen eine bestimmte Größe nicht unterschreiten, damit sie undurchsichtig und farbig erscheinen (Cohen, *Papers & Letters*, 229; Newton, *Opticks*, Buch II, Teil III, 250);

Prop. V: die transparenten Teile der Körper reflektieren nach Maßgabe ihrer Größe die Strahlen einer Farbe und lassen die einer anderen Farbe durch; dies geschieht analog dazu, wie dünne Plättchen oder Bläschen diese Strahlen reflektieren und durchlassen (Cohen, *Papers & Letters*, 229; Newton, *Opticks*, Buch II, Teil III, 251); d.h. diese Teilchen werden die gleiche Farbe zeigen wie ein dünnes Plättchen von einer Dicke, die der Größe dieser Teilchen entspricht;

Prop. VI: die Teile der Körper, von welchen ihre Farbe abhängt, sind dichter als das Medium, welches ihre Zwischenräume füllt (Cohen, *Papers & Letters*, 230; Newton, *Opticks*, Buch II, Teil III, 254);

Prop. VII: die Größe der kleinsten Teilchen, welche die Körper zusammensetzen, kann nach ihrer [der Körper] Farbe abgeschätzt werden (!) (Cohen, *Papers & Letters*, 230; Newton, *Opticks*, Buch II, Teil III, 255); in diesem Zusammenhang weist Newton darauf hin, daß eine Verbesserung der Mikroskope dazu führen könnte, solche Teilchen direkt zu beobachten; allerdings sei eine Grenze dadurch gesetzt, daß diese Teilchen durchsichtig sein könnten: **„However, it would add much to our satisfaction, if those corpuscles could be discovered with microscopes, which if we shall ever attain to, I fear it will be the utmost improvement of this sense; for it seems impossible to see the more secret and**

noble works of nature within those corpuscles, by reason of their transparency.“ (Cohen, *Papers & Letters*, 233; Newton, *Opticks*, 262.)

Prop. VIII: die Ursache der Reflexion sei nicht das Auftreffen des Lichts auf feste und undurchlässige Teile der Körper, wie gemeinhin angenommen werde (Cohen, *Papers & Letters*, 233; Newton, *Opticks*, Buch II, Teil III, 262);

Prop. IX: es sei sehr wahrscheinlich, daß die Strahlen, welche auf die festen Teile eines Körpers auftreffen, nicht reflektiert, sondern „erstickt“ würden und sich in dem Körper verlören (Cohen, *Papers & Letters*, 234); dieser Satz fehlt in den *Opticks*; allerdings endet hier der *Discourse*, während in den *Opticks* nach der achten Proposition noch weitere 12 Propositionen folgen bis zur Prop. XX (Newton, *Opticks*, 269-288); vor der Prop. XIII fügt Newton eine Definition ein, in der er die „fits of easy Reflexion“ und „Transmission“ definiert (op. cit., 281); dies ist der Versuch der Integration der Phänomene der farbigen Ringe, die ja im Unterschied zu den Phänomenen der Brechung und Reflexion, die Newton im ersten Buch der *Opticks* behandelt hat, ein periodisches Phänomen darstellen, in ein einheitliches Begriffsgefüge.

NEWTONS METHODENLEHRE

II. ZUM HYPOTHESENBEGRIFF

A. Newtons Vorlesungen zur Optik (1669-1672)

Zu Beginn der *Lectioes Opticae* (erste Version seiner Vorlesungen über die Optik; Newton begann seine Vorlesungen im Januar 1670, nachdem er im Herbst 1669 Nachfolger von Isaac Barrow auf dem Lucasischen Lehrstuhl wurde; diese erste Version wurde vermutlich im Oktober 1671 fertiggestellt; die zweite Version der Vorlesungen wird im folgenden, dem Sprachgebrauch Shapiros folgend, *Optica* genannt):

„Verùm cùm Geometras in quadam lucis proprietate, quae ad Refractiones spectat hucusque hallucinatos videam, dum demonstrationibus suis Hypothesin quandam Physicam haud benè stabilitam tacitè supponunt: non ingratum me facturum judico, si principia Scientiae hujus examini severiori subjiciam“. (I.

Newton, *The Optical Papers of Isaac Newton*, ed. by A. E. Shapiro, Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 46. Im folgenden zitiert als: Newton, *Optical Papers* I. Cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 47: „But since I observe that geometers have hitherto erred with respect to a certain property of light pertaining to its refractions, while they implicitly assume in their demonstrations a certain not well established physical hypothesis, I judge it will not be unappreciated if I subject the principles of this science to a rather strict examination“.)

→ Geometer entwickelten das Brechungsgesetz (Snellius, Descartes); Unterschied: geometrische Optik - physikalische Optik; Newton kritisiert die geometrische Optik: sie hielt das Phänomen der Dispersion bei der Lichtbrechung für einen zufälligen Effekt, der durch das brechende Medium zustande kommt (Form der Linsen); physikalische Hypothese der geometrischen Optik: Homogenität und Einfachheit des weißen Sonnenlichts (diese Hypothese folgt nicht notwendig aus dem Brechungsgesetz); aufgrund dieses Brechungsgesetzes kann die Dispersion mittels des Brechungsgesetzes nicht theoretisch erklärt werden;

→ die Prinzipien [„*principia Scientiae hujus*“] der (physikalischen) Optik müßten erneut einer Prüfung unterzogen werden;

In der dritten Lektion seiner *Lectioes Opticae* legt Newton die **Ursprünge der Farben** und die **Fundamente seiner Farbenlehre** in vier **Propositionen** dar;

Diese **Propositionen**, verspricht Newton, sollen **nicht hypothetisch** und **als bloß wahrscheinlich** erörtert werden; statt dessen sollen sie durch Experimente oder (sogar) beweisend behandelt werden;

Vgl. Newton, *Optical Papers I*, 86: „**De quibus non hypotheticè et probabiliter, sed ab experimentis aut demonstrativè disserendum esse promittitur.**“ (Übersetzung Shapiro, op. cit., 87: „It is affirmed that these propositions are to be treated not hypothetically and probably, but by experiments or demonstratively.“)

→ exakt in diesem Zusammenhang verweist Newton auf die Idee einer **mathematischen Behandlung der Farbenlehre**; dort heißt es: „**Verùm ut Geometris philosophantibus & Philosophis exercentibus Geometriam, pro conjecturis et probabilibus quae venditantur ubique, scientiam Naturae summis tandem evidentijs firmatam nanciscamur.**“ (Newton, *Optical Papers I*, 86/88; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 89: „But truly with the help of philosophical geometers and geometrical philosophers, instead of the conjectures and probabilities that are being blazoned about everywhere, we shall finally achieve a natural science supported by the greatest evidence.“) Offensichtlich wendet sich Newton hier gegen die „hypothetische Physik“ von Descartes und Hooke;

→ in der **8. Lektion** (Newton, *Optical Papers I*, 160/161), die zusammen mit der 7. Lektion die Anwendung der **synthetische Methode** ausmacht, wo aufgrund von den in der Analyse gefundenen allgemeinen Eigenschaften oder Prinzipien die Phänomene erklärt werden sollen, erklärt Newton mithilfe der Propositionen 1-4 (genauer 1-3) seiner Farbenlehre die Erscheinungen von Farben, die durch Schatten an den Rändern von eingeführten, undurchsichtigen Hindernissen oder an den Rändern von Prismen entstehen;

→ nachdem Newton anhand einiger Experimente die entstehenden Farbphänomene aufgrund seiner Prinzipien erklärt hat, versucht er zu zeigen, inwiefern diese den bestehenden **Hypothesen der Philosophen** widersprechen [op. cit., 160: „**Adversus philosophorum Hypotheses notae**“];

Newton wendet sich explizit gegen die Hypothesen von Descartes und Hooke [Hooke wird erst in der zweiten Vorlesungsreihe, den *Optica*, explizit genannt]; aufgrund der Voraussetzungen, die sie machen, müßte das gebrochene Licht auf der Seite, wohin die Brechung erfolgt, stets von blauen und violetten Farben begrenzt werden; dies erklären sie mit einer Einwirkung des Mediums auf die Teile des Strahls, die am schrägsten auf das benachbarte ruhende Medium auftreffen;

[ein entsprechender Versuch findet sich in den *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, Buch I, Teil II, Prop. I, Experiment 1, 113-116; im folgenden zitiert als *Opticks*];

→ seine Experimente, so Newton, zeigten jedoch, daß durch entsprechende Positionierung des Hindernisses auch die violetten und blauen Farben zum Verschwinden gebracht werden könnten, ein Umstand, der den Hypothesen der Philosophen entgegengesetzt sei; cf. Newton, *Optical Papers I*, 160: „**quantùm nempe ista circumstantia adversatur hypothësisibus Philosophorum**“; auch die Hypothese, daß die Farben aus Mischungen von Licht und Schatten entstünden, sei völlig ungesichert; op. cit., 160: „**Nec Hypothësis eorum tutior est, qui ponunt colores ex luce et umbrâ mistis componi**“;

Newton weist an dieser Stelle darauf hin, daß er Hypothesen dieser Art noch durch weitere Experimente widerlegt (umgestürzt/zerstört/zu Fall gebracht) werden können, wenn er es denn für seinen Zweck für notwendig erachten würde; z.B. durch Experimente, in denen das Licht teilweise durchgelassen und teilweise reflektiert wird; op. cit., 160: „**Hujusmodi etiam Hypotheses ex alijs experimentis sparsim occurrentibus everti possent**“; op. cit., 162: „**Caeterùm non opus est ut Hypotheses ejusmodi refutem, quae, ex inventâ tandem veritate, suâ sponte corruent.**“ (Übersetzung Shapiro, op. cit., 165: „But it is unnecessary for me to refute hypotheses of this sort that will spontaneously collapse from the truth having at last been discovered.“)

→ am Ende will Newton ein Experiment präsentieren, bei dem alles, was er über den Ursprung der Farben erklärt habe, nicht nur bewiesen („probare“) werde, sondern sogar gesehen werden könne; cf. komplexen Versuchsaufbau auf den Seiten 162ff.; Newton kombiniert dort die Abdeckung des Prismas, die das einfallende Licht nur durch eine kreisrunde Öffnung einläßt, die auf einer Seite des Prismas gemacht wurde; dann wird das sich zerstreue Licht auf eine konvexe Linse gelenkt, die es wieder bündelt, bis es ein weißer Fleck ist; in den Brennpunkt dieser Bündelung wird ein weiteres Prisma platziert, das das gebündelte, weiße Licht in parallelen Strahlen auf ein drittes Prisma lenkt;

→ mithilfe dieses Instruments (Newton spricht von „instrumentum“, aber auch von „machina“) könne man alles überprüfen, was bislang gesagt wurde; für diesen parallelen Strahl weißen Lichts, der auf das dritte und letzte Prisma trifft, gelte: „**Haec enim lux XY jubari a Sole directo persimilis est, et eadem omnes apparentias exhibet, ac si a foramine F rectâ promanasset, nullam omninò refractionem passe; Adeòque ejusdem esse constitutionis facillè credamus.**“ (Newton, *Optical Papers I*, 162; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 165: „This light Xy is in fact very similar to a beam of direct light from the sun and exhibits all the same phenomena as if it had proceeded directly from the hole F without having experienced any refraction at all. Hence we may easily

believe it to be of the same constitution.“)

→ hier argumentiert Newton wieder mit der **Analogie** von **weißem Licht**, das durch ein Prisma gelenkt wird und **direktem Sonnenlicht**; im Prinzip verweist er wieder implizit auf die spätere Regel II der Regulae;

nun kann man hinter das dritte Prisma einen Schirm setzen; dort erscheint das gesamte Farbspektrum; wird nun an der Linse eine Farbe durch ein Hindernis unterbrochen, dann verschwindet diese Farbe auch vom Spektrum; auf diese Weise könne unmittelbar anschaulich gemacht werden, **„quòd prisma convertit lucem in colores non transmutando proprietates ejus intrinsecas, sed segregando tantum radios ad excitandum varia colorum phantasmata dispositos, ex quibus lux omnis albens constituitur“**. (Newton, *Optical Papers I*, 162; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 165: „that a prism converts light into colors, not by transmuting its intrinsic properties but only by separating the rays that are disposed to excite various sensations of colors and from which all white light is constituted“.)

→ damit läßt sich zeigen, daß dieselbe Farbe, die an der Linse blockiert wird, auch auf dem Schirm hinter dem dritten Prisma verschwindet; dreht man das letzte Prisma, dann kann man wieder die Effekte einer kombinierten Reflexion und Brechung sehen; → auf diese Weise könne man jede Farbe an der Linse beliebig unterbrechen und die entsprechenden Wirkungen direkt beobachten; auf diese Weise könne man alle anderen Farbphänomene, die das Prisma aus dem direkten Sonnenlicht produziert, überprüfen und deren Ursachen beobachten;

Zu Beginn der 9. Lektion der *Lectioes Opticae* (entspricht der vierten Vorlesung von Teil I der *Optica*) behandelt Newton das Brechungsgesetz; hier verweist er auf zwei Vorläufer, nämlich 1) ein Gesetz „der Alten“, das annahm, daß der Einfallswinkel und der Ausfallswinkel des Lichts, den die Strahlen mit der Senkrechten zu der brechenden Oberfläche bildeten, stets in einem (annähernd) konstanten Verhältnis stehen würden;

in den *Lectioes Optica* spricht Newton diesbezüglich von einer „Annahme“ („suppositio“); wörtlich heißt es (Newton, *Optical Papers I*, 168: **„vel potiùs credidère suppositionem istam satis accuratam esse, modò dicti anguli sint parvi.“** Cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 169: „they believed that supposition to be sufficiently accurate provided that those angles were small.“); in den *Optica* jedoch hat Newton den Ausdruck „suppositio“ durch „Hypothese“ ersetzt! Dort heißt es: **„vel potiùs Hypothesin credidere satis accuratam esse ubi radij a perpendicularo non multùm divaricant.“** (op. cit., 310; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 311: „they believed the hypothesis to be sufficiently accurate

when the rays did not deviate much from the perpendicular.“)

→ hier benutzt Newton den Ausdruck „**Hypothese**“ im Sinne eines **mathematischen Gesetzes** der Brechung, das aber bereits **erwiesenermaßen unexakt** ist; es könne daher nicht als Fundament der Dioptrik gelten;

kurz darauf spricht Newton von „**Descartes’ Hypothese**“ (op. cit., 172; 314); Problem: bezieht sich diese Bezeichnung auf das mathematische Sinusgesetz der Brechung oder auf die physikalischen Ursachen, die Descartes irrtümlich unterstellt hat? Für die erste Lesart spricht, daß er auch das mathematische Brechungsgesetz „der Alten“ als Hypothese bezeichnet (zumindest in den *Optica*); dies paßte zu einem Hypothesenbegriff, der ein mathematisches Gesetz als Hypothese bezeichnet, sofern es sich als nicht exakt gültig erwiesen hat; andererseits sprechen drei Gründe dagegen: 1) Newton verweist zu Beginn seiner Vorlesungen darauf, daß die geometrische Optik, der das Brechungsgesetz ja angehört, mit einer **falschen physikalischen Hypothese** arbeite; dies entspricht der Sache nach Newtons Kritik an Descartes’ Brechungsgesetz - dessen Beweis er ansonsten sogar als elegant ansieht - , das er wegen der **zweifelhaften physikalischen Ursachen** angreift; dies legt es nahe, seine Redeweise von der ‘Descartesschen Hypothese’ auf diese physikalischen Ursachen zu beziehen und nicht auf das mathematische Gesetz; (evtl. Ironie, da nach Descartes alles, was zweifelhaft sei, als falsch betrachtet werden müsse) 2) in den *Lectiones Opticae* spricht Newton **ausschließlich** in bezug auf Descartes von Hypothesen, aber nicht in bezug auf das mathematische Brechungsgesetz „der Alten“, das er dort noch „suppositio“ nennt; das spricht dagegen, daß er ein solches (ungenaueres) mathematisches Gesetz per se als Hypothese bezeichnet; 3) nur wenig später (op. cit.) bezeichnet Newton das mathematische Sinusgesetz von Descartes auch als „Regel Descartes“; dies deutet ebenfalls darauf hin, daß er einen Unterschied zwischen **mathematischer Regel** und **physikalischer Hypothese** macht; die erste gehört in den Bereich der reinen Mathematik, die zweite in den Bereich der Physik;

In der „New Theory“ stützt Newton eine Widerlegung der Behauptung, daß die längliche Form des Spektrums auf einer zufälligen Ursache beruhe, auf Berechnungen, die auf dem (**mathematischen**) **Sinusgesetz** der Brechung beruhen; auch dieses **Gesetz** bezeichnet er als **Hypothese**:

„But because this computation was founded on the Hypothesis of the proportionality of the sines of Incidence, and Refraction, which though by my own & others Experience I could not imagine to be so erroneous, as to make that Angle but 31’, which in reality was 2 deg. 49’“. (I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull, J. F. Scott, A Rupert Hall, Laura Tilling, 7 vols., Cambridge 1959-1977, Vol. I, 93; im folgenden zitiert als Newton, Cor. I).

→ Newton hatte in den Vorlesungen zur Optik bereits gezeigt, daß dieses Gesetz nicht in der Allgemeinheit gilt, in der es Descartes und Snell ausgesprochen hatten; allerdings gilt es für einzelne monochromatische Strahlen durchaus exakt;

[Sabra behauptet, Newton habe *vor* seiner Kontroverse mit Hooke, Pardies und Huygens das Wort „Hypothese“ nur auf Propositionen angewandt, die nur ungefähr, aber nicht exakt wahr sind (z.B. Sinusgesetz der Brechung); cf. A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, London 1967, 274. „Before the controversy about colours, Newton had applied the term ‘hypothesis’ to propositions which were only *sufficiently* but not *accurately true*.“ Ebenso habe Newton behauptet, es sei überhaupt nicht nötig, seine Farbenlehre durch Hypothesen bezüglich der Natur des Lichts zu erklären; cf. op. cit., 274: „Finally, he claimed that it was not at all necessary to explain his doctrine of colours by any hypothesis regarding the nature of light; that his doctrine, being sufficiently and firmly founded on the experiments, was absolutely infallible. It was in connection with this claim that Newton made his first pronouncements on the proper method of scientific procedure. According to him, this method consisted in deducing the properties of things from experiments; not in arguing from hypotheses.“ Darüber hinaus habe Newton erstmals 1672 in der „New Theory“ den Hypothesenbegriff in einem damals üblichen Sinne benutzt, nämlich als Aussage bezüglich einer Entität, die nicht unmittelbar beobachtbar ist; solche Aussagen könnten daher nur wahrscheinlich sein; so habe Newton den Gebrauch des Hypothesenbegriffs nach 1672 verändert; cf. op. cit., 275f.: „Never after the controversy about colours did Newton apply the word ‘hypothesis’ to a proposition of the same level as, for example, the sine law. This word came to mean a proposition (concerning a hidden entity) that was only *probably* true, in contrast to a verified experimental law that was *certainly true*. The probability or lack of certainty of a hypothesis was, according to Newton, due to the fact, that, instead of being *deduced* from experiments, it was simply *supposed* in order to *explain* experiments.“

In der *New Theory about Light and Colours* (1672) wendet sich Newton dagegen, seine Lehre als Hypothese zu betrachten, die nur gelte, weil andere Hypothesen widerlegt seien oder weil sie die ‘Phänomene rettet’;

„A naturalist would scarce expect to see ye science of those [colours] become mathematicall, & yet I dare affirm that there is as much certainty in it as in any other part of Opticks. For what I shall tell concerning them is not an Hypothesis but most rigid consequence, not conjectured by barely inferring ‘tis thus because not otherwise or because it satisfies all phaenomena (the Philosophers universall Topick,) but evinced by ye mediation of experiments concluding directly & wthout any suspicion of

doubt“ (Newton, Cor. I, 96f.)

Nachdem Newton in der „New Theory“ seine Propositionen dargelegt hat, zieht er einige allgemeine Schlußfolgerungen bezüglich gewisser strittiger Fragen, die **Natur des Lichts und der Farben** betreffend; **Farben**, so stellt er fest, seien die (sinnlich wahrnehmbaren) **Qualitäten** der **Strahlen**, die ihnen als **Substanzen** zugrunde liegen; daraus gehe auch hervor, daß das Licht ein Körper oder körperlicher Natur sei; damit, so Newton, sei aber noch nicht die Frage beantwortet, was Licht sei, in welcher Weise es gebrochen werde (bzw. welcher Mechanismus dahinter steht) oder auf welche Art und Weise es in unserem Geist die Farbvorstellungen hervorrufe; darüber könne man nur **Vermutungen** anstellen, die nicht mit **Gewißheiten** verwechselt werden dürften; vgl. op. cit., 100: **„But, to determine more absolutely, what Light is, after what manner refracted, and by what modes or actions it produceth in our minds the Phantasms of Colours, is not so easie. And I shall not mingle conjectures with certainties.“**

→ Newton macht hier einen deutlichen Unterschied zwischen seiner **Theorie** („**Doctrine**“), die als sicher bewiesen gelten könne und **Vermutungen** oder Hypothesen, über die man nur spekulieren könne; interessant ist auch, daß diese Vermutung innerhalb eines erkenntnistheoretischen Kontextes erfolgt, bei dem Newton auf den (Lockeschen) Grundsatz zurückgreift, daß Substanzen nie an und für sich, sondern nur durch ihre sinnlich wahrnehmbaren Qualitäten als solche erkannt werden können;

Auseinandersetzung um die „New Theory“

B. Briefwechsel mit Hooke

Brief von Hooke (15.02.1672)

Hooke weist zunächst darauf hin, daß er hunderte von Beobachtungen und Experimenten zu Farben gemacht habe, u.a. auch diejenigen, worauf sich Newton beziehe; die Resultate der Experimente zweifelt Hooke nicht an; aber:

„[...], yet as to his Hypothesis of salving the phenomena of Colours thereby I confesse I cannot yet see any undeniable argument to convince me of the certainty thereof.“ (Newton, Cor. I, 110);

dann legt Hooke dar, welche Schlüsse er aus seinen Experimenten hinsichtlich der Natur des Lichts und der Farben zieht; er hält jedoch diese seine Auffassung für eine **Hypothese**, die durch ein ‘experimentum crucis’ widerlegt werden kann; nur habe Newton ein solches nicht geliefert; denn: **„for the same phaenomenon will be salved by my hypothesis as well as by his without any manner of difficulty or straining“** (op. cit., 111); dies gelte nicht nur für seine Hypothese, son-

dem auch für mögliche andere; Hooke unterstellt dabei ein mechanistisches Naturverständnis; dies impliziert, daß Licht im Sinne einer Bewegung in Gestalt von Ätherstößen interpretiert werden muß; Vor.: weißes Licht ist die einfache, grundlegende Bewegung, die durch Brechung gestört und in eine zusammengesetzte Bewegung verwandelt wird; **„But why there is a necessity, that all these motions, or whatever eĩs it be that makes colours, should be originally in the simple rayes of light I doe not yet understand the necessity; noe more than that aĩ those sounds must be in the air of the bel-lows which are afterwards heard to issue from the organ-pipes“** (op. cit., 111);

anschließend geht Hooke Newtons 13 Propositionen Schritt für Schritt durch;

(1): Hooke stimmt mit dem ersten Teil der ersten Proposition überein, versucht aber aufgrund seiner eigenen Hypothese eine Erklärung dafür zu geben; den zweiten Teil lehnt er ab; er betrachtet ihn offenbar als eine Folgerung aus dem ersten Teil, die nicht notwendig ist; dieser zweite Teil besagt, daß Farben keine Qualifikationen (Modifikationen, Störungen) des (weißen) Lichts seien, sondern „ursprüngliche und eingeborene Qualitäten“;

(2) + (3) + (4): der zweiten Proposition (Korrespondenz von Farbe und Grad der Brechbarkeit) stimmt Hooke voll zu; aber wiederum deutet er sie dann im Sinne seiner eigenen Hypothese; der dritten Proposition (Unveränderlichkeit der Farben) stimmt Hooke mit einer Einschränkung zu: wenn nämlich die Farbstrahlen durch eine (der ersten entgegengesetzten) Brechung wieder zu weißem Licht vereinigt werden, dann findet nach Hooke tatsächlich eine Veränderung statt; → die vierte Proposition; Veränderung der Farben nur durch Mischung, aber nicht durch „Transmutation“;

(5) die fünfte Proposition streitet Hooke ab; sie enthält die Behauptung einer unendlichen Anzahl einfacher und ursprünglicher Farben; Grund: eine unnötige Vervielfältigung von Entitäten ohne Notwendigkeit;

(6) der sechsten Proposition stimmt Hooke zu;

(7) + (8) bezüglich der siebten Proposition lehnt Hooke die Art und Weise ab, wie sie von Newton erklärt wird; in der 7. Prop. wird behauptet, daß das weiße Licht (welches nicht wahrnehmbar von dem direkten Sonnenlicht abweicht) notwendigerweise aus (unendlich vielen) Strahlen mit *allen* Farben zusammengesetzt ist; die 8. Prop., die die Zusammengesetztheit des weißen Lichts aus allen Farben behauptet, lehnt Hooke ab;

(9) - (13): hier bemerkt Hooke, daß er mit den Beobachtungen übereinstimme, aber nicht mit der Theorie;

„I doe not therefore see any absolute necessity to beleive his theory demonstrated, since I can assure Mr Newton, I cannot only salve all the Phaenomena of light and colours by the Hypothesis, I have formerly printed and now explicate yt by, but by

two or three other, very differing from it, and from this, which he hath described in his Ingenious Discourse. Nor would I be understood to have said all this against his theory as it is an hypothesis; for I doe most Readily agree with him in every part thereof, and esteem it very subtile and ingenious, and capable of salving all the phaenomena of colours; but I cannot think it to be the only hypothesis; not soe certain as mathematicall Demonstrations“ (Newton, Cor. I, 113).

Am Schluß des Briefes stellt Hooke nochmals dasjenige, was er für Newtons „Hypothese“ hält, seiner eigenen Hypothese gegenüber; dabei bezieht er sich vermutlich auf Newtons Bemerkung, daß Licht ein Körper („a body“) sei und auf Newtons Beispiel der Farbmischungen durch verschiedenfarbige Pulver (Erläuterung zu Prop. 4); cf. Newton, Cor. I, 98: blaues und gelbes Pulver ergeben eine Mischung, die Grün erscheint; dennoch erkennt man im Mikroskop die ursprünglichen Farben („the colours of the Component corpuscles“);

→ interessant: Hooke behauptet, daß sowohl seine eigene als auch Newtons Hypothese die Phänomene rette; welche Phänomene meint er damit? Er nennt ausdrücklich: Prismenfarben, farbige Flüssigkeiten, farbige Körper, Farben dünner Plättchen; welche Phänomene nennt Newton? Ausdrücklich: Prismenfarben (Ausgangspunkt); Körper, die in einer bestimmten Farbe beleuchtet werden; Farben dünner Plättchen (Lignum Nephriticum, Blattgold, farbige Glassplitter) bzw. dünner Schichten; Farben, mit denen farbige Medien beleuchtet werden; Mischungen von farbigen Pulvern; Regenbogenfarben; Hookes Experiment mit keilförmigen Behältern, die mit einer farbigen Flüssigkeit gefüllt sind; Farben natürlicher Körper;

nachdem Newton die Einwände von Hooke (und von Huygens) erhalten hat, schreibt er am 20. Februar 1672 an Oldenburg (Newton, op. cit., 116): **For I am still of the same judgment & doubt not but that upon severer examinations it will be found as certain a truth as I have asserted it.“**

Newton's Antwort an Hooke (11.06. 1672)

In seinem Vorwort an Oldenburg beklagt sich Newton darüber, daß Hooke zu sehr für eine Hypothese eintrete, anstatt seine Theorie unvoreingenommen („unconcerned & indifferent“) zu prüfen; dennoch unterstelle er, daß beide ein gemeinsames Ziel haben, nämlich „a sincere endeavour after knowledge“ (Newton, Cor. I, 171); Newtons Antwort stellt eine längere Abhandlung dar, die in zwölf Abschnitte unterteilt ist;

[cf. R. S. Westfall, „Newton's Reply to Hooke and the Theory of Colours“, in: *Isis* 54 (1963), 82-96; hier S. 87: Newton hat offenbar drei Entwürfe zu dieser Antwort verfaßt;

ursprünglich wollte er vermutlich seine Antwort zum Anlaß nehmen, eine ausführlichere Darstellung seiner Theorie der Farben zu geben; cf. op. cit., 88: „In its final form it was directed specifically to the points Hooke had raised, and these it answered brilliantly. Originally, however, Newton intended to make the reply an occasion for the further publication of his optical work. In the first draft it was fundamentally an introduction to a set of ten experiments drawn out of the *Lectiones Opticae*.“ Darüber hinaus sollten auch die Phänomene dünner Plättchen diskutiert werden, die Hooke selbst auch untersucht hatte; offenbar wollte Newton dieses Material den bereits weitgehend fertigen Entwürfen zweier Arbeiten entnehmen, die er 1675 an die Royal Society sandte, nämlich den „Discourse of Observations“ und „An Hypothesis explaining the Properties of Light“; vgl. dazu auch Newton, Cor. I, Komm. Turnbull, 190-193, einer dieser Entwürfe war eine handschriftliche Kopie, die von Wickens angefertigt wurde, ein längerer Entwurf A und ein kürzerer Entwurf B;];

1) Über den praktischen Teil der Optik

2) Über den theoretischen Teil

Newton erhebt insgesamt vier Vorwürfe gegen Hooke: **a.** er [Hooke] habe ihm eine Hypothese unterstellt, die nicht seine eigene sei; **b.** er [Hooke] vertrete selbst eine Hypothese, die in ihren prinzipiellen Teilen nicht gegen ihn [Newton] spreche; **c.** im Grunde stimme Hooke dem größten Teil seiner [Newtons] Abhandlung zu, sofern er durch seine [Hookes] Hypothese erklärt werden könne; **d.** Hooke leugne einige Dinge, deren Wahrheit durch eine experimentelle Untersuchung ans Licht gekommen wäre;

ad a.: cf. Newton, Cor. I, 173: **„Tis true that from my Theory I argue the corporeity of light, but I doe it without any absolute positiveness, as the word perhaps intimates, & make it at most but a very plausible consequence of the Doctrine, & not a fundamental supposition, nor so much as any part of it, wch was wholly comprehended in the precedent Propositions.“**

→ bedeutsam an dieser Stellungnahme: Newton leugnet nicht, daß er die **Hypothese** der **körperlichen Natur des Lichts** [damit ist offenbar eine **mechanistische** Hypothese gemeint] für eine **plausible Konsequenz** seiner Theorie hält; sie sei aber **keine fundamentale Voraussetzung!** Dies steht mit Newtons Äußerungen gegenüber Pardies im Einklang, wonach die erklärenden Hypothesen den sicheren Erkenntnissen über die Eigenschaften des Lichts angepaßt werden müßten;

an dieser Stelle gibt Newton klar zu, daß ihm a) durchaus klar sei, daß die Eigenschaften des Lichts, die er in seiner Theorie herausgefunden habe, nicht nur mit einer, sondern **„by many other Mechanicall Hypotheses“** (op. cit., 174) erklärt werden

könnten; daher habe er es vorgezogen, **„to decline them all, & speake of light in generall termes, considering it abstractedly as something or other propagated every way in streight lines form luminous bodies, without determining what that thing is“** (op. cit., 174); dann nennt er die Vermeidung solcher Hypothesen als den Grund, weshalb er von Farben so spricht, als handle es sich dabei um **Qualitäten des Lichts**, die von unseren Sinnen unabhängig wären; hätte er Farben unter dem Gesichtspunkt der subjektiven Wahrnehmung betrachtet, dann hätte er eine mechanistische Hypothese bezüglich der Natur und Wirkungsweise des Lichts vertreten müssen; dies wollte Newton aber gerade vermeiden; weiterhin versteht Newton nicht, weshalb Hooke sich so große Mühe gibt, die Newton unterstellte Hypothese zu widerlegen; denn: de facto sei sie von der Hooke-schen Hypothese gar nicht so weit entfernt;

3) Daß Hookes Hypothese und andere mechanistische Hypothesen mit Newtons Lehre vereinbar seien

ad b.: hier führt Newton aus, wie man aufgrund von Hookes Hypothese der Äthervibrationen die Phänomene erklären könne; interessant: Newton entwickelt dabei die Idee, daß die Vibrationen „of various bignesses“ die verschiedenen Farben verursachen; unklar ist hier, was „Größe“ der Vibrationen meint: Frequenz oder Wellenlänge? Aber: trotz dieser Erklärungskraft enthalte die Hookesche Hypothese Schwierigkeiten, die sich nicht so leicht lösen lassen; z.B. **„For me the fundamentall supposition it selfe seemes impossible; namely that the waves or vibrations of any fluid can like the rays of Light be propagated in streight lines, without a continuall & very extravagant spreading & bending every way into ye quiescent Medium where they are terminated by it. I am mistaken if there be not both Experiment & Demonstration to the contrary.“** (Op. cit., 175)

4) Über Hookes Zugeständnisse und deren Beschränkung auf seine Hypothesen

ad c.: Hooke unterstellt bei seinen Zugeständnissen, daß Newton seine „Theorien“ (Plural!) durch Hookes Hypothese erklären wollte; [„Hypothese“ wurde zu der Zeit offenbar auch synonym mit „Theorie“ gebraucht; vgl. auch Newtons Bemerkung zu Pardies]; dabei gestehe Hooke Newton die Propositionen 2-4+6 zu; die Erklärungen, die Hooke mit seiner Hypothese zu geben versuche, seien allerdings nicht nur ungenügend, sondern auch unverständlich; Newton nennt im wesentlichen vier Punkte: 1) es sei unverständlich, wie eine lineare Bewegung durch die brechende Oberfläche unendlich ausgehnt und verdünnt werden könne, so daß sie in eine Flächenbewegung übergehen kön-

ne; cf. Newton, Cor. I, 176: „**Yet I understand not by wt Artifice any linear motion can by a refracting superficies be infinitely dilated & rarefied so as to become superficial**“; 2) warum wird diese Bewegung nur in so einem kleinen Winkel (am Rande) gestreut und nicht innerhalb des gesamten Brechungswinkels? 3) wie ist es zu verstehen, daß sich die gesplitteten Bewegungen wieder in eine einheitliche und gleichförmige Bewegung vereinigen könnten, um sich dann wieder in die vorherigen ungleichförmigen Bewegungen teilen zu können? 4) wie können sich die durch Brechung gestörten und schrägen Impulse bei allen weiteren Brechungen ohne weitere Störungen konstant und invariant erhalten?

5) Es sei nicht notwendig, seine Theorie durch irgendeine Hypothese zu beschränken oder zu erklären

„**But whatever be the advantages or disadvantages of this hypothesis, I hope Mr Hook will excuse me from taking it up, since I do not think it needfull to explicate my Doctrine by any Hypothesis at all. For if Light be considered abstractedly without respect to any Hypothesis, I can as easily conceive that ye severall parts of a shining body may emit rays of differing colours & other qualities, of all wch light is constituted**“ (op. cit., 177);

6) Die Schwierigkeiten von Mr Hooks Abhandlung, sofern man sie abseits von Hypothesen in allgemeinerer Weise betrachtet

„**You see therefore how much it is besides the businesse in hand to dispute about Hypotheses. For wch reason I shall now in the last place proceed to abstract the difficulties involved in Mr Hooks discourse, & without having regard to any Hypothesis consider them in generall termes.**“ (Op. cit., 177)

→ drei Fragen:

1) Werden die ungleichen Brechungen bei gleichem Einfallswinkel durch die unterschiedliche Brechbarkeit verschiedener Strahlen verursacht oder durch die Teilung und Streuung desselben Strahls in verschiedene Teile?

2) Gibt es mehr als zwei Arten von Farben?

3) Ist Weiß eine Mischung aus allen Farben?

7) **Daß der Strahl nicht geteilt oder in anderer Weise gedehnt wird**

Zur ersten Frage: diese Frage werde nach Newton durch ein Experiment bestimmt, aus

dem hervorgehe, daß die Länge des Spektrums nicht durch eine zufällige Irregularität in den Brechungen verursacht wurde; Hookes Erklärung durch die Teilung und Verdünnung ätherischer Impulse (ebenso wie die Erklärung Descartes hinsichtlich des Kometenschweifes) sei aber genau eine solche zufällige („fortuitous“) Erklärung; [für Newton heißt die Alternative: Zufall - notwendiges, mathematisches Gesetz]; → Newtons Hinweis auf sein Experiment mit den zwei parallelen Prismen, deren Effekte sich gegenseitig aufheben: **„Now amongst other irregularities, if the first Prism had spread & dissipated every ray into an indefinite number of diverging parts, the second should in like manner have spread & dissipated every one of those parts into a further indefinite number, whereby the Image would have been still more dilated; contrary to the event.“** (Op. cit., 178); Newton verbindet dies mit einem Hinweis auf die Unabhängigkeit der verschiedenen Teile des ursprünglichen Strahls, sofern sie als wahre und vollständige Strahlen angenommen werden müssen analog dem zuvor existierenden einheitlichen Strahl, aus dem sie sich abgespalten haben; Grund: sie lassen sich jeder für sich unterbrechen;

→ weitere Bestätigung durch das Experiment mit den zwei senkrecht zueinander stehenden Prismen; wenn Hooke recht hätte, dann müßte das Bild des Spektrums nach beiden zueinander senkrecht stehen Brechungen eine (dreidimensionale) pyramidische Form erlangen, da die Streuung in zwei zueinander senkrecht stehenden Richtungen erfolge; dies widerspreche aber dem Versuchsergebnis → Hookes Annahme sei widerlegt; → Newtons Annahme sei richtig;

„And since the Image was equally inclined to both Prisms. & consequently the refractions alike in both, it argues that they were performed according to some constant law without any irregularity.“ (Op. cit., 179)

8) Daß es mehr als zwei ursprüngliche Farben gibt

Zur zweiten Frage: Hooke habe mit seinem Experiment mit den zwei keilförmigen Gefäßen, von denen eines mit einer gelb bis rot schimmernden Flüssigkeit von Aloe und das andere mit einer blau bis violett schimmernden Flüssigkeit einer Kupferlösung gefüllt war, sämtliche Farben erzeugen können, indem er die keilförmigen Gefäße sukzessive übereinander geschoben hatte [Cf. R. Hooke, *Micrographia: Or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies made by Magnifying Glasses. With Observations and Inquiries Thereupon*, Brüssel 1966 [London 1665], 73-75]; Newtons Einwand: die Farben der Flüssigkeiten waren kein reines Gelb und kein reines Blau, sondern ihrerseits bereits

zusammengesetzte Farben;

→ Hooke argumentierte, daß die verschiedenen Töne in den einzelnen Gefäßen nicht verschiedene Farben seien, sondern verschiedene Grade und Verdünnungen derselben Farbe; aber: Newton gibt an, es sei besser, den Sinnen zu vertrauen, die uns zeigen, daß Rot und Gelb verschiedene Farben seien und die 'Philosophische Frage' (oder das philosophische Problem) zu stellen, *warum* dieselbe Flüssigkeit in verschiedenen Dicken des Gefäßes verschieden erscheint; cf. Newton, Cor. I, 179: **„Certainly it is much better to beleive our senses informing us that Red & Yellow are divers colours, & to make it a Philosophicall Query, why the same Liquor doth according to ist various thicknesse appear of those divers colours, then to suppose them to be the same colour because exhibited by the same liquor.“**

→ Newton gibt nun eine Erklärung dieses Phänomens mithilfe seiner Theorie;

→ bedeutsam: Unterschied zwischen 'ursprünglichen' und 'zusammengesetzten' Farben; und: in der gewöhnlichen Erfahrung existieren keine ursprünglichen Farben; (op. cit., 180: „there being no liquor nor any other body in nature whose colour in day-light is wholly uncompound.“);

→ Newton weist darauf hin, daß man zwischen ursprünglichen Farben und Mischfarben auf dem Wege der unmittelbaren Sinneswahrnehmung nicht unterscheiden könne; (op. cit., 180: „the same colours to sense being in some cases compounded & in others uncompound.“); aber: sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften; Newton weist auf Experimente hin, wie man dies feststellen könnte;

9) Daß Weiß eine Mischung aus allen Farben darstellt

Antwort auf die dritte Frage: Hooke habe, so Newton, von seinem [Newtons] Experiment (Brechung des Lichts zunächst an einem Prisma und dann an einer konvexen Linse; schiebt man ein Blatt Papier, welches hinter die Linse plaziert wird, auf die Linse zu und wieder von der Linse weg, erkennt man zunächst das Farbspektrum, dann weißes Licht und schließlich wieder das Spektrum in umgekehrter Reihenfolge; cf. Newton, Cor. I, 101) keine Notiz genommen; insbesondere nicht von dem Umstand, daß, wenn man eine Farbe abdeckt, die anderen zusammen kein Weiß mehr ergeben;

Newton will zweierlei zeigen: a) wie Strahlen, die, bevor sie zusammengemischt werden, Farben zeigen, in ihrer Zusammenmischung dann Weiß zeigen (Bewegung des Blattes vor und zurück → Resultat: Entstehen und Verschwinden des Farbspektrums); b) wie an demselben Ort, wo die verschiedenen Strahlenarten für sich genommen zuvor verschiedene Farben zeigten, eine Mischung von allen Weiß ergibt (dies geschieht durch Fixie-

rung des Papiers und Abdeckung der Linse, so daß je nach Bedarf ein oder mehrere Strahlenarten beliebiger Farbe ein- und ausgeblendet werden können); (op. cit., 182); dies, so Newton, könne man unter Zugrundelegung von Hooke's Voraussetzungen nur schwer auf **mechanistische Art** erklären! Denn dann müsse man zeigen, wie die Strahlen mechanistisch aufeinander einwirkten; cf. op. cit., 182: **„And he that shall explicate this last case ~~mechanically~~ must conquer a double impossibility.“** → hier bezieht sich Newton auf die Uneinsehbarkeit des Hooke'schen Erklärungsmechanismus, wie z.B. ein einheitlicher Strahl gestört und in viele verschiedene Strahlen geteilt und wieder zusammengeführt werden könne; der Zweifel läßt sich jedoch nur durch weitere Variationen des Experiments ausräumen; tatsächlich bestehe aber keine Einwirkung der Strahlen untereinander; dies versucht Newton durch sein Zahnradexperiment zu verdeutlichen; **„But if there be yet any doubting, tis better to put the event on further circumstances of the experiment, then to acquiesce in the possibility of any Hypotheticall Explication.“** (Op. cit., 182);

→ Newtons Hinweis auf das Zahnradexperiment [in den *Optica* und später den *Opticks* führt Newton ein entsprechendes Experiment mit einem Kamm an; cf. *Opticks*, Buch I, Teil II, Prop. V, 139-142)]; Schlußfolgerung: es kann keine wechselseitige Einwirkung der Strahlen stattfinden; Grund: sie existierten nicht gleichzeitig (bzw. seien nicht zur gleichen Zeit am gleichen Ort);

„And that this whiteness is produced onely by a successive intermixture of the colours without their being assimilated or reduced to any uniformity, is certainly beyond all possibility of doubting, unlesse things that exist not at the same time may notwithstanding act on one another.“ (Op. cit., 182f.)

→ weitere Variationen der Versuchsbedingungen; Newton ist der Meinung, daß dieses Experiment [bzw. diese Experimente oder **Reihen** von Experimenten!] hinreichend sei, um die Kontroverse zu entscheiden; dennoch gesteht er zu, daß seine Behauptung paradox erscheine; daher möchte er noch andere Wege aufzeigen, wie Weiß aus verschiedenen (Farb)Mischungen hervorgehen kann;

„However I shall now proceed to show some other ways of producing whiteness by mixtures, since I perswade my selfe that this assertion above the rest appears Paradoxicall, & is with most difficulty admitted.“ (Op. cit., 183);

→ Newton zeigt noch andere Mischungsmöglichkeiten auf unter der Prämisse, daß Weiß,

Grautöne und Schwarz sich nur hinsichtlich der Quantität des Lichts, aber nicht hinsichtlich der Art unterscheiden; diese beziehen sich auf mechanische Farbmischungen (z. B. weißer Schaum, der aus farbigen Bläschen besteht; Mischung verschiedenfarbiger Pulver etc.), auf die Mischung der Beleuchtung eines Raums durch verschiedenfarbige Fenster (Kirchen, Kapellen), oder auf weitere Prismenversuche;

10) Daß das ‘experimentum Crucis’ auch ein solches sei

Hooke habe sein [Newtons] ‘experimentum crucis’ offenbar nicht zur Kenntnis genommen oder schlicht abgelehnt; „**On this I chose to lay the whole stresse of my discourse, which therefore was the principall thing to have been objected against.**“ (Op. cit., 187); [in einem späteren Memorandum vom 19.06. 1672 bestätigt Hooke einige von Newtons Prismaexperimenten, „wch seems at fist sight much to confirm Mr Newtons Theory of colours & light“; allerdings spricht er immer noch von der „Hypothesis of the differing refraction of Colours“ (Newton, Cor. I, 195)];

11) Einige Besonderheiten, die für weitere Betrachtungen empfohlen werden

Welche Besonderheiten meint Newton, auf die Hooke gar nicht eingegangen ist?

- i) die Unveränderlichkeit des Brechungsgrades einer bestimmten Strahlenart;
- ii) die „strikte Analogie“ zwischen Graden der Brechbarkeit und Farben;
- iii) die Unterscheidung zwischen zusammengesetzten und einfachen Farben;
- iv) die Beh., daß, wenn eine der prismatischen Farben unterbrochen wird, diese Farbe durch das verbleibende Licht durch keine weitere Brechung oder Reflexion wieder erzeugt werden kann;

12) Daß die Wissenschaft der Farben im eigentlichen Sinne eine mathematische Wissenschaft ist

Brief Hookes an Lord Brouncker (Juni 1672)

Dieser Brief ist eine Antwort Hookes auf Newtons Replik zu seiner Stellungnahme zu Newtons Farbenlehre; er scheint jedoch unvollständig und es ist unklar, ob Newton diesen Brief jemals bekommen hat; Hooke zeigt sich darin überrascht von Newtons Ärger:

„but I was soe far from imagining that Mr. Newton should be angy that I cannot yet beleive that he is or will be soe for any concerne in a philosophicall Dispute wherein certainly if any where a freedome & liberty of Discoursing and arguing ought to be Tollera- ted.“ (Newton, Cor. I, 198); weiter heißt es:

„And whereas Mr. Newton beleives that I am averse from his by a prepossession of my owne, I doe assure him I urged myne and might have urged any other, only to shew that

this or that hypothesis was not absolutely necessary which Mr. Newton did seem to suppose his corpuscular hypothesis to be.“ (Op. cit., 198); Hooke verweist auf die einschlägige Stelle von Newtons „New Theory“ und bemerkt dazu: „from this Discourse I confesse I did suppose that Mr. N. did beleive light to be a heterogeneous aggregate of bodys.“ (Op. cit., 200) [nur eine Seite weiter präzisiert Hooke seine Interpretation von Newtons Hypothese dahingehend, daß er davon spricht, dieser habe unter einem Lichtstrahl folgendes verstanden: „to suppose it a stream of bodys sent foth from the parts of a shining body with infinite Rapidity“ (op. cit., 201)]; weiter heißt es: „But ‘twas not to establish this or that hypothesis but to shew Mr. N. Corpuscular hypothesis of light & colours Not absolutely necessary.“ (Op. cit., 200);

→ Hooke ist nicht mit Newtons Ansicht einverstanden, daß es nicht angebracht sei, über Hypothesen zu disputieren; dies macht in seinen Augen gerade das wesentliche Geschäft der Naturforschung aus; und er glaubt sich damit in Übereinstimmung mit den Ansichten von Francis Bacon zu befinden: „I see noe reason why Mr. N. should make soe confident a conclusion that he to whome he writ did see how much it was besides the busness in hand to Dispute about hypotheses. for I judge there is noething conduces soe much to the advancement of Philosophy as the examining of hypotheses by experiments & the inquiry into Experiments by hypotheses, and I have the Authority of the Imcomparable Verulam to warrant me.“ (Op. cit., 202);

→ Hooke weist auf eine Schwäche von Newtons Hypothese hin, nämlich, daß er nicht zeigen kann, daß die Farbstrahlen in dem weißen Licht vorhanden waren, *bevor* sie das erste Mal gebrochen wurden; wenn dies aber nicht bewiesen werden kann, kann auch nicht ausgeschlossen werden, daß sie durch die Brechung erzeugt werden; Newtons Behauptung werde auch durch das ‘experimentum crucis’ nicht bewiesen: „All that he doth prove by his *Experimentum Crucis* is that the colourd Radiations doe incline to ye Ray of light wth Divers angles, and that they doe persevere to be afterwards by succeeding mediums dicersly refracted one from an other in the same proportion as at first, all wch may be, and yet noe colourd ray in the light before refraction“. (Op. cit., 202)

C. Briefwechsel mit Pardies

1. Brief von Pardies

Gleich zu Beginn des ersten Briefes (vom 30. 03. 1672; Oldenburg schickte ihn am 09. 04. 1672 an Newton) spricht Pardies von der „**ingeniosissimam Hypothesin de Lumine et Coloribus Clarissimi Newtoni**“ (Newton, Cor. I, 130); diese Hypothese hält Pardies für ganz außergewöhnlich; er faßt zunächst Newtons Theorie in einem kurzen Abschnitt zusammen; Pardies: Newtons Hypothese gründe sich vollständig auf das 1. Prismaexperiment; (1) Pardies’ Einwand: die Gestalt des Spektrums

müßte auch nach den herkömmlichen Regeln der Dioptrik länglich erscheinen; Grund: die Strahlen treffen nicht parallel, sondern mit einer leichten Neigung auf, die daherrührt, daß sie von verschiedenen Seiten der Sonnenscheibe kommen; → da sich die Gestalt des Spektrums mit den herkömmlichen Brechungsgesetzen erklären läßt, sei es nicht nötig, auf eine weitere Hypothese (nämlich die der ungleichen Brechbarkeit der Strahlen) zurückzugreifen; (2) auch das Resultat des 'experimentum crucis' lasse sich dadurch erklären, daß die Strahlen nicht mit gleichem Einfallswinkel (parallel) auf das Prisma auftreffen, sondern mit einem unterschiedlichen Einfallswinkel; weitere Schwierigkeiten: (3) Newtons Hypothese, daß die Strahlen, wenn sie untereinander vermischt werden, keine Farbe zeigten, sondern weißes Licht produzierten, werde nicht allen Phänomenen gerecht; Pardies nimmt an, Newton verstehe eine Mischung verschiedenfarbiger Strahlen im Sinne einer Mischung verschiedenfarbiger Körper; nun zeige sich aber, daß eine Mischung aus Pulvern sämtlicher Farben kein Weiß ergebe; (4) unter Bezug auf Hookes Experiment des Übereinanderhaltens von keilförmigen Gefäßen, die mit roter und blauer Flüssigkeit gefüllt sind und deren jedes für sich betrachtet durchsichtig erscheint, beide zusammen aber undurchsichtig sind, bemerkt Pardies, daß nicht nur die Mischung einer roten und blauen Flüssigkeit *in demselben Gefäß* eine Undurchsichtigkeit ergebe, sondern auch die Mischung verschiedener anderer Farben, welches mit der Erfahrung nicht übereinstimme;

1. Antwort von Newton (13. 04. 1672)

ad (1): Newton macht deutlich, daß bei Pardies ein Mißverständnis bezüglich des Prismaexperiments vorliegt; Newton hat nicht behauptet, daß sich nach dem herkömmlichen Brechungsgesetz *in keinem Fall* ein längliches Bild des Spektrums ergeben würde; sondern er hat zu zeigen versucht, daß es *in genau einem Fall* (nämlich dann, wenn das Prisma so positioniert ist, daß die Summe der Brechungswinkel für alle einfallenden Strahlen an beiden Seiten des Prismas ein Minimum ergibt) das Bild gemäß dem herkömmlichen Brechungsgesetz rund erscheinen müßte; tatsächlich erscheint es aber *in diesem Fall* länglich; also muß die Ursache eine andere sein;

ad (2): entsprechend habe Newton auch beim 'experimentum crucis' darauf geachtet, daß die Strahlen nicht mit einem Neigungswinkel, sondern (annähernd) parallel auf das Prisma fallen; daher kann auch das Ergebnis dieses Versuchs nicht durch die ungleichen Einfallswinkel erklärt werden;

ad (3): zur Mischung von Farbpulvern bemerkt Newton, daß Weiß, Schwarz und Grautöne sich nicht hinsichtlich der Spezies der Farbe, sondern nur hinsichtlich der Quantität des Lichts unterscheiden;

ad (4): Newton weist darauf hin, daß man die Mischung verschiedener Farben in einem Gefäß nicht mit der Übereinandersetzung verschiedener Gefäße mit jeweils einer Farbe gleichsetzen dürfe; denn: die verschieden gefärbten Flüssigkeiten können aufeinander einwirken und ihre Struktur verändern (chemische Reaktion); daher besteht bei ihnen die

Möglichkeit einer Form der Zusammensetzung, die von derjenigen der Zusammensetzung der Farben (in Form eines Aggregats) verschieden ist;

darüber hinaus weist Newton darauf hin, daß das von ihm (unter Prop. 12) angeführte Experiment von Hooke seine Lehre nicht beweisen, sondern nur illustrieren solle; cf.

Newton, Cor. I, 142: **„tum quod experimentum illud (sicut Iridis, Tincturae Nephriticae, et aliorum corporum naturalium phaenomena) non ad probandem sed ad illustrandam tantum doctrinam proposui.“** (Cf. Übersetzung I. B. Cohen, *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy and related Documents*, Harvard 1958, 92: „as the experiment (like the phaenomena of the iris, and the tincture of lignum nephriticum, and of other natural bodies) I proposed not to prove but only to illustrate the doctrine.“) [Diese Bemerkung ist merkwürdig, da die von Newton genannten Phänomene (wie aus anderen Äußerungen Newtons hervorgeht) eigentlich zu dem synthetischen Teil seiner Lehre gehören und die Synthesis gewissermaßen komplementär zur Analysis erfolgt und daher zu der Gewißheit der Lehre insgesamt beiträgt, ja sogar widerlegenden Charakter haben kann]; zum Abschluß schreibt Newton (Newton, Cor. I, 142):

„Quòd R. P. Theoriam nostram Hypothesin vocat, amicè habeo, siquidem ipsi nondum constet. Sed alio tamen consilio proposueram, & nihil aliud continere videtur quàm proprietates quasdam Lucis, quas jam inventas probare haud difficile existimo, et quas si non veras esse cognoscerem, pro futili et inani speculatione malle repudiare, quàm pro meâ Hypothesi agnoscere.“ (Cf. Übersetzung I. B. Cohen, *Isaac Newton's Papers and Letters*, 144: „I am content that the Reverend Father calls my theory an hypothesis if it has not yet been proved to his satisfaction. But my design was quite different, and it seems to contain nothing else than certain properties of light which, now discovered, I think are not difficult to prove, and which if I did not know to be true, I should prefer to reject as vain and empty speculations, than acknowledge them as my hypothesis.“)

2. Brief von Pardies (11.05.1672)

Pardies ist mit Newtons Erklärung zufrieden, verweist aber noch auf zwei weitere Hypothesen, die die Form des Spektrums erklären könnten: 1. Grimaldis Idee der Diffusion; 2. die Hypothese von Hooke; schließlich erwähnt Pardies noch seine eigene Theorie; er entschuldigt sich dafür, daß er Newtons Theorie eine Hypothese genannt habe; dies sei in keiner bestimmten Absicht geschehen, sondern nur das erste Wort gewesen, welches ihm in den Sinn gekommen sei;

2. Antwort Newtons an Pardies (28.05.1672)

Newton legt zunächst nochmals dar, inwiefern sich seine Lehre oder Theorie von einer Hypothese unterscheidet:

„Ut his respondeam, animadvertum est, quòd Doctrina illa, quam de Refractione et coloribus explicui, in quibusdam *Lucis Proprietatibus* solummodò constitit, neglectis *Hypothesibus* per quas *Proprietates* illae explicari debent. Optimus enim et tutissimus philosophandi modus videtur, ut imprimis rerum *Proprietates* diligenter inquiramus, et per experimenta stabiliamus, ac dein tardius contendamus ad *Hypotheses* pro earum explicatione. Nam *Hypotheses* ad explicandas rerum *proprietates* tantùm accommodari debent, et non ad determinandas usurpari, nisi quatenus experimenta subministrare possint. Et si quis ex solâ *Hypothesium* possibilitate de veritate rerum conjecturam faciat, non video quo pacto quicquam certi in ulla scientia determinare possit; siquidem alias atque alias *Hypotheses* semper liceat excogitare, quae novas difficultates suppeditare videbuntur. Quamobrem ab *Hypothesium* contemplatione, tanquam improprio argumentandi Loco, hîc abstinendum esse censui, et vim *Objectionis* abstrahendam esse, ut plenior et magis *generalem responsionem accipiat.*“ (Newton, Cor. I, 164; Übersetzung I. B. Cohen, *Isaac Newton's Papers and Letters*, 106: „In answer to this, it is to be observed that the doctrine which I explained concerning refraction and colours, consists only in certain properties of light, without regarding any hypotheses, by which those properties might be explained. For the best and safest method of philosophizing seems to be, first to inquire diligently into the properties of things, and establishing those properties by experiments and then to proceed more slowly to hypotheses for the explanation of them. For hypotheses should be subservient only in explaining the properties of things, but not assumed in determining them; unless so far as they may furnish experiments. For if the possibility of hypotheses is to be the test of the truth and reality of things, I see not how certainty can be obtained in any science; since numerous hypotheses may be devised, which shall seem to overcome new difficulties. Hence it has been here thought necessary to lay aside all hypotheses, as foreign to the purpose, that the force of the objection should be abstractedly considered, and receive a more full and general answer.“)

1. Schritt: Eigenschaften der Dinge sorgfältig untersuchen und bestimmen; 2. Schritt:

diese gefundenen Eigenschaften durch Experimente sichern und festigen; 3. Schritt: allmählich zu Hypothesen fortschreiten, um diese Eigenschaften zu erklären;

→ Hypothesen taugen nur dazu, die Eigenschaften der Dinge zu erklären, aber nicht, sie zu bestimmen (es sei denn, sie bieten den Anlaß zu Experimenten); die bloße *Möglichkeit* von Hypothesen kann nicht über die Wahrheit der Dinge entscheiden; denn: man kann sich viele Hypothesen ausdenken, die ihrerseits viele neue Probleme mit sich bringen; daher möchte Newton alle Hypothesen beiseite lassen, um den Einwand **abstrakt** zu betrachten und eine **allgemeine** Antwort geben zu können;

→ Newton definiert, was er unter Licht und einem Lichtstrahl versteht;

unter diesen Voraussetzungen versucht Newton, die **Diffusionstheorien** zu widerlegen; dazu führt Newton nochmals aus, welche zufälligen Umstände zu der Verlängerung des Spektrums führen könnten und warum sie ausgeschlossen werden können (bedeutsam: sein Experiment mit zwei parallelen Prismen, deren Effekte sich aufheben); schließlich führt er nochmals das 'experimentum crucis' an, diesmal mit einer schematischen Skizze (Newton, Cor. I., 166); Newton weist darauf hin, daß, wenn beide Prismen eine parallele Position haben, die Diffusion der (reinen) Farben wesentlich geringer ausfällt als bei weißem Licht; deshalb erscheint auf dem Schirm nach der zweiten Brechung ein annähernd rundes Bild; daraus schließt Newton: „**Id quod arguit diffusionem, de qua supra egimus, non ex contagione vel continuitate materiae undulantis aut celerrimè motae vel similibus causis ortam esse, sed ex certa refractionum cujusque generis radiorum lege.**“ (Newton, Cor. I, 167; cf. Übersetzung I. B. Cohen, *Isaac Newton's Papers and Letters*, 108: „This shows that the diffusion, above-mentioned, does not arise from the influence or continuity of the undulating matter, or matter put into a rapid motion, or any such like causes, but from a certain law of refractions for every species of rays.“)

→ Unveränderlichkeit einer Eigenschaft zeigt sich durch eine **Gesetzmäßigkeit**; **Gesetz** ⇔ **invariante Eigenschaft**; darüber hinaus gilt das Prinzip der **Unabhängigkeit** (Superposition) der Lichtstrahlen; → an dieser (als sicher feststehenden) Eigenschaft müssen nun die Hypothesen gemessen werden; wenn sie nicht mit den Phänomenen übereinstimmen, müssen sie zurückgewiesen werden; dies gilt offenbar auch für die in der Theorie festgestellten Eigenschaften; alle möglichen Hypothesen müssen an diese Eigenschaften angepaßt werden; dies hält Newton jedoch für keine schwere Aufgabe; dabei gibt Newton direkte Hinweise, wie z.B. die Cartesische oder die Hooke'sche Hypothese an die von ihm entdeckten Eigenschaften angepaßt werden können;

→ Newton stellt fest, daß die ungleiche Brechbarkeit der Strahlen und die für sie geltenden Gesetze „ein höchst notwendiges Gesetz“ und die *Bedingung jeglicher Hypothesen* sei; dies drücke sich in den Hypothesen (d.h. insbesondere mechanistischen Hypothesen), die davon ausgehen, daß die Körper aus kleinen Korpuskeln bestehen, darin aus, daß sie diese Ungleichheiten der Brechbarkeit der Strahlen durch entsprechende Unterschiede in der Bewegung oder Konstitution und Anordnung dieser Korpuskeln erklären wollen; durch die Voraussetzung des mechanistischen Weltbildes werden daher die Möglichkeiten der Hypothesenbildung zusätzlich eingeschränkt; bedeutsam: diese Einschränkung beruht offenbar nicht unmittelbar auf den Phänomenen, sondern zieht auch theoretische Erwägungen in Betracht; cf. dazu Newton, Cor. I, 168: **„Haec enim videtur esse summè necessaria Lex et Conditio Hypothesium, in quibus Naturalia corpora ponuntur constare ex quàm plurimis corpusculis acervatim contextis, ut à diversis lucentium corpusculis, vel ejusdem corpusculi diversis partibus (prout motu, figurâ, mole, aut aliis qualitatibus differunt) inaequales pressiones, motiones aut mota corpuscula per aethera quaquaversum trjiciantur, ex quibus, confusè mistis, lux constitui supponetur. Et nihil durius esse potest in istis Hypothesibus quàm contraria suppositio.“** (Cf. Übersetzung I. B. Cohen, *Isaac Newton's Papers and Letters*, 108: „For this seems to be the most necessary law and condition of hypotheses, in which natural bodies are supposed to consist of a multitude of corpuscles cohering together, and that from the different particles of lucid bodies, or from the different parts of the same corpuscle, (as they may happen to differ in motion, figure, bulk, or other qualities) unequal pressions, motions, or moved corpuscles, may be propagated every way through the aether, of the confused mixture of which light may be supposed to be constituted. And there can be nothing more difficult in these hypotheses than the contrary supposition.“)

Zum Abschluß bemerkt Newton, daß die Bezeichnung „Hypothese“ für seine Theorie wohl daher komme, daß es gängige Praxis geworden sei, alles, was in der Philosophie erläutert würde, „Hypothese“ zu nennen; er habe diesen Terminus deshalb nicht verwendet, um die Verbreitung eines Terminus zu verhindern, der den wahrhaft Philosophierenden als Vorurteil erscheinen könnte (Hypothesen = Vorurteile?); cf. Newton, Cor. I, 168: **„siquidem mos obtinuit ut quicquid exponitur in Philosophia dicatur Hypothesis. Et ego sane non alio consilio vocabulum istud reprehendi quàm ut nè invalesceret appellatio quae rectè Philosophantibus praejudicio esse posset.“** (Cf. Übersetzung I. B. Cohen, *Isaac Newton's Papers and Letters*, 109: „as a practice has arisen of calling by the

name hypothesis whatever is explained in philosophy: and the reason of my exception to the word, was to prevent the prevalence of a term, which might be prejudicial to true philosophy.“)

D. Briefwechsel mit Huygens

Briefe von Huygens

Am 9. April 1672 sandte Oldenburg Newton den Auszug eines Briefes von Huygens zu, in dem dieser zur „New Theory“ Stellung nimmt; in seiner Stellungnahme bestätigt Huygens den Streuungseffekt konvexer Linsen in Fernrohren (sphärische Aberration), nimmt allerdings irrtümlich an, Newton habe diesen Effekt der Form der Linsen zugeschrieben; im übrigen hält er Newtons Theorie für „ingenieuse“, bemerkt aber, es sei noch notwendig zu sehen, ob sie mit allen Experimenten übereinstimme (Newton, Cor. I, 135); → Huygens erwähnt die unterschiedliche Brechbarkeit der Strahlen, die zentrale These von Newtons Theorie, überhaupt nicht (vgl. A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, London 1967, 268f.);

nach einer erneuten Anfrage Oldenburgs sandte ihm Huygens am 1. Juli einen Brief zu, aus dem Oldenburg in seinem Brief an Newton vom 2. Juli Auszüge zitiert; darin macht Huygens einige Bemerkungen zur Konstruktion von Teleskopen; anschließend nimmt er kurz zu Newtons Theorie Stellung, die er als „sehr wahrscheinliche Hypothese“ bezeichnet, die durch das ‘experimentum crucis’ bestätigt werde; cf. Newton, Cor. I, 207: „J’avouë, que la nouvelle Theorie des Couleurs, avancée par M. Newton, me paroît jusques icy tres-vraysemblable; et l’*Experimentum crucis* (si je l’entends bien, car il est escrit un peu obscurement) la confirme beaucoup.“ Allerdings bezweifelt Huygens darin den von Newton angegebenen Wert für die chromatische Aberration einer konvexen Linse; bemerkenswert: auch in dieser Stellungnahme findet sich kein Hinweis von Huygens zu Newtons These von der unterschiedlichen Brechbarkeit der Strahlen;

anschließend, am 8. und am 29. Juli, sandte Oldenburg Huygens Kopien der ‘Transactions’ der Royal Society Nr. 84 und 85; diese enthielten den Briefwechsel von Newton mit Pardies sowie einen Fragenkatalog Newtons von 8 Fragen (cf. Newton, Cor. I, 209f.), die es erlauben sollten, seine Lehre „positiv und direkt“ aus den Experimenten abzuleiten;

→ Brief von Huygens an Oldenburg vom 27. September 1672 (cf. Newton, Cor. I, 235f.); darin bestätigt Huygens nochmals, daß die dort dargelegten Sachverhalte Newtons Theorie bestätigten; allerdings könne sich alles auch anders verhalten, so daß Newtons Theorie nur als eine „sehr wahrscheinliche Hypothese“ betrachtet werden könne; im übrigen bleibe die große Schwierigkeit, mithilfe der mechanistischen Physik die Unterschiede der Farben zu erklären, d.h. daß die Lichtstrahlen ursprünglich rote, blaue etc.

Strahlen enthielten; cf. op. cit., 235f.: „Ce que vous avez mis de Mr. Newton dans un de vos derniers Journaux confirme encore beaucoup sa doctrine des Couleurs. Toutefois la chose pourroit bien estre autrement, et il me semble qu’il se doit contenter que ce qu’il a avancé passe pour une hypothese fort vraisemblable. De plus quand il seroit vray que les rayons de lumiere, des leur origine fussent les uns rouges les autres bleus, &c. il resteroit encore la grande difficultè d’expliquer par la physique mechanique en quoy consiste cette diversitè de couleurs.“ (Noch immer verliert Huygens kein Wort über die unterschiedliche Brechbarkeit der Lichtstrahlen);

→ am 18. Januar 1673 schickt Oldenburg wiederum Auszüge von einem Brief von Huygens (vom 14. Jan.) an Newton (Newton, Cor. I, 255f.; Teile dieses Briefes wurden von Oldenburg ins Englische übersetzt und in den ‘Transactions’ abgedruckt; vgl. I. B. Cohen, *Isaac Newton’s Papers and Letters*, 136f.); Huygens hatte diesen Brief offenbar verfaßt, nachdem er Newtons Antwort an Hooke gelesen hatte (A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, London 1967, 270); darin erhebt Huygens vier konkrete Einwände gegen Newtons Theorie:

1) es sei hinreichend, von zwei (grundlegenden) Arten von Farben auszugehen; denn: a) diese reichten aus, um die restlichen Farben zu erklären (wie Hooke gezeigt habe); Gelb und Blau erzeugten Dunkelrot und Dunkelblau und aus diesen vier Farben könne man den Rest zusammensetzen; b) es sei einfacher eine Bewegungshypothese zu finden, welche den Unterschied zweier Farben erklären könne als eine solche, welche die Unterschiede von so vielen Farben erklären müßte;

2) Newton habe noch keine Hypothese gefunden, aufgrund deren er erklären könne, worin die Natur und der Unterschied der Farben bestehe; er habe lediglich das (durchaus bemerkenswerte, aber zufällige) Faktum der verschiedenen Brechbarkeit [an dieser Stelle erwähnt Huygens zum ersten Mal die zentrale These von Newtons Theorie] gefunden;

3) zur Erzeugung von Weiß seien nicht unbedingt alle Farben notwendig, wie Newton behauptet habe, sondern es könnten auch Gelb und Blau dafür ausreichen; dies könne man mithilfe des von Newton vorgeschlagenen Prismaexperiments zeigen; man müsse dabei nur die äußeren Farben Rot und Violett abdecken und sehen, ob die dazwischen liegenden Farben Gelb, Grün und Blau Weiß ergeben; wenn diese Experimente erfolgreich seien, könne man nicht mehr behaupten, daß alle Farben zur Erzeugung von Weiß notwendig seien; cf. Newton, Cor. I, 256: „Vouz voiez bien cependent, que, si ces Experiences succedent, l’on ne pourra plus dire, que toutes les couleurs sont necessaires pour composer le *Blanc*, et qu’il sera res-vraysemblable, que toutes les autres ne sont que des degrez du *Jaune* et *Bleu*, plus ou moins enfoncez.“ [Cf. dazu A. E. Shapiro, „The Evolving Structure of Newton’s Theory of White Light and Color“, in: *Isis* 71 (1980), 211-235, hier insbesondere 223-225; diese Behauptung von Huygens widersprach allen Meinungen über die Mischung von Farben im 17. Jahrhundert; z.B. hatte Boyle 9 verschiedene Arten von Mischungen von Gelb und Blau behandelt und jedesmal resultierte

eine grüne Farbe; op. cit., 223, Anm. 39];

4) Newtons Ausführungen über die unterschiedlichen Brechungen der Strahlen in Teleskopen stimmten nicht mit der Erfahrung überein;

1. Reaktion Newtons auf die Kritik von Huygens (3.4.1673)

Eine erste Reaktion auf Huygens' Kritik von Newtons Seite ist in einem Brief von Newton an Oldenburg vom 3. April 1673 enthalten;

→ Huygens habe nur mit bereits zusammengesetzten Farben gearbeitet, aber nicht mit einfachen; Newton schlägt eine Untersuchungsmethode vor, bei der das Licht zunächst künstlich in seine Farben zerlegt werden müsse, dann die Eigenschaften der Farben separat untersucht werden sollten, um schließlich die Effekte zu untersuchen, die entstehen, wenn man zwei oder mehrere von ihnen zusammensetzt; anschließend müßten sie wieder getrennt werden, um zu sehen, welche Veränderungen diese Mischungen und Trennungen in ihnen hervorgerufen hätten; aber: **„However I onely propound it, and leave every man to his own method.“** (Newton, Cor. I, 264);

→ Huygens' These, daß es einfacher und natürlicher sei, nur zwei verschiedene Grundfarben mithilfe einer Hypothese zu erklären als eine unbestimmte Vielheit von Grundfarben, ist nach Newtons Meinung falsch, da man in der Natur stets eine unbestimmte Mannigfaltigkeit von Formen und Bewegungen vorfinde: **„But to examin how colours may be thus explained Hypothetically is besides my purpose. I never intended to show wherein consists the nature and difference of colours, but onely to show that *de facto* they are originall & immutable qualities of the rays wch exhibit them, & to leave it to others to explicate by Mechanicall Hypotheses the nature & difference of those qualities; wch I take to be no very difficult matter. But I would not be understood as if their difference consisted in the different refrangibility of those rays. For that different refrangibility conduces to their production no otherwise then by separating the rays whose qualities they are. Whence it is that the same rays exhibit the same colours when separated by any other means; as by their different reflexivity; a quality not yet discoursed of.“** (Newton, Cor. I, 264f.)

Bei der Produktion von Weiß müsse man zwischen einfachen und zusammengesetzten Farben unterscheiden; in der Tat sei es möglich, Weiß aus zwei Farben zu erzeugen, aber dabei handele es sich nicht um einfache, sondern bereits zusammengesetzte Farben;

2. Reaktion Newtons auf Huygens' Kritik (23.6.1673)

Huygens geht auf Newtons Antwort vom 3. April 1673 in einem Brief vom 10. Juni ein, wobei er angibt, nicht weiter mit Newton diskutieren zu wollen; cf. Newton, Cor. I, 285: „mais voyant qu'il soutient sa doctrine avec quelque chaleur, je ne veux pas disputer.“ [entsprechend äußert sich Huygens in einem Brief an Oldenburg vom 14. Juni 1673; dort heißt es (Newton, Cor. I, 287: „Je ne crois pas, que vous enverriez a M. Newton ce que je vous ay escrit par ma derniere touchant les refractions; car je n'ay point fait de replique a sa response et ainsi il n'estoit pas besoin qu'il vist ce que je vous mande. C'estoit assez qu'il sceut, que je ne veux plus disputer“]; allerdings möchte er noch wissen, weshalb ein erfolgreicher Ausgang eines Experiments, welches aus zwei Farben Weiß erzeugte, nichts gegen Newton These, daß zur Erzeugung von Weiß alle Farben nötig seien, sagen könnte; diese Frage übermittelte Oldenburg an Newton, worauf dieser mit einer Neuformulierung der Grundlagen seiner Theorie reagierte;

Newton räumt zwar ein, daß das von Huygens aus zwei Farben erzeugte Weiß sich hinsichtlich der sinnlichen Wahrnehmung nicht von dem direkten weißen Licht der Sonne unterscheidet, wohl aber in seinen Eigenschaften; cf. Newton, Cor. I, 291: **„And those different properties would evince it to be of a different constitution: Insomuch that such a production of white would be so far from contradicting, that it would rather illustrate & confirm my Theory; because by ye difference of that from other whites it would appear that other whites are not compounded of onely two colours like that. And therefore if M. Hugins would prove any thing, it is requisite that he do not only produce out of two primitive colours a white wch to ye naked eye shall appear like other whites, but also shall agree wth them in all other properties.“**

→ Newton führt einen Versuch an, mithilfe dessen man die verschiedenen Arten von Weiß unterscheiden kann; er erklärt, weshalb Huygens den Eindruck gewinnen konnte, daß er seine Theorie mit zuviel Eifer verteidigt; denn: die Einwände, die Huygens vorgebracht habe, habe er bereits schon zuvor (etwa in seinem Brief an Hooke oder in der „New Theory“) beantwortet; um weitere Mißverständnisse zu vermeiden, legt Newton seine Theorie nochmals ausführlich in 5 Definitionen und 10 Propositionen dar;

Oldenburg hatte Newton am 25 Juni 1672 eine Bemerkung zukommen lassen, in der er sich fragte, ob die ungleiche Brechbarkeit der Lichtstrahlen nicht auch von winzigen Poren im Glas verursacht werden könnte; darauf antwortete Newton mit einem Brief vom 6. Juli 1672; er weist bezüglich der verschiedenen Grade der Brechbarkeit der Lichtstrahlen

darauf hin, „**there is so constant & strict an Analogy between these & the severall species of colours. [...] And further if colours were originated from refractions as is supposed in your inquiry, then all colours would be changeable by refractions, contrary to what I find by experience.**“ (Newton, Cor. I, 209); weiter heißt es bezüglich des richtigen Weges und der richtigen Methode, um die Wahrheit der Dinge herauszufinden: „[...] **that I cannot think it effectually for determining truth to examine the severall ways by which Phaenomena may be explained, unlesse where there can be a perfect enumeration of all those ways. You know the proper Method for inquiring after the properties of things is to deduce them from Experiments. And I told you that the Theory which I propounded was evinced to me, not by inferring it thus because not otherwise, that is not by deducing it only from a confutation of contrary suppositions, but by deriving it from Experiments concluding positively & directly. The way therefore to examine it is by considering whether the experiments which I propound do prove those parts of the Theory to which they are applied, or by prosecuting other experiments which the Theory may suggest for its examination. And this I would have done in a due Method; the Laws of Refraction being thoroughly inquired into & determined before the nature of colours be taken into consideration.**“ (Newton, Cor. I, 209);

Newton lehnt es ab, sich zunächst verschiedene Hypothesen auszudenken, mittels deren man die Phänomene erklären könnte; denn: solange man nicht eine endliche Zahl möglicher Hypothesen vollständig vorliegen hat, ist es nicht möglich, mit Gewißheit eine derselben durch ein sukzessives Ausschlußverfahren als die wahre Hypothese und damit als die wahre Erklärung auszuzeichnen; [entspricht dies der eliminativen Induktion von Bacon?]; Newton betont, daß er seine Theorie nicht dadurch gewonnen habe, daß er gezeigt habe, daß sie wahr sein muß, weil andere Hypothesen falsch seien; statt dessen habe er die Eigenschaften der Dinge **aus Experimenten deduziert** bzw. **aus Experimenten direkt und positiv erschlossen**; dies bedeutet konkret in bezug auf Newtons Theorie zuerst die **Brechungsgesetze** genau zu studieren und **danach** die **Natur der Farben** näher zu betrachten;

→ Newton schlägt eine Reihe von acht Queries vor, über die man experimentell entscheiden müsse (op. cit., 209f.);

1) Ob die Strahlen bei gleichem Einfallswinkel (bezüglich desselben Mediums) ungleiche Brechungen aufweisen und wie groß die Ungleichheiten der Brechung bei einem beliebigen Einfallswinkel sind?

2) Besitzt jeder Strahl einen bestimmten **Grad der Brechbarkeit** oder wird er ohne jede Gesetzmäßigkeit gebrochen? Wie sieht das **Gesetz** aus, gemäß dem jeder Strahl mehr oder weniger gebrochen wird, bzw. gilt für einen einzelnen Strahl das Sinusgesetz der Brechung)?

3) Gehört zu den Strahlen, die einen bestimmten Grad der Brechbarkeit besitzen, wenn sie separiert werden, auch konstant eine bestimmte Farbe? Nämlich zu den am wenigsten brechbaren Strahlen Scarlet (tiefes Rot) und zu den am meisten brechbaren Strahlen Violett; zu den mittleren dann in entsprechender Proportion die anderen Farben?

4) Kann die Farbe irgendeiner Strahlenart durch Brechung verändert werden?

5) Wenn Farben zusammenkommen, um eine neue Farbe zu erzeugen, verändern sie sich dabei gegenseitig oder geschieht dies nur durch (rein mechanische) Mischung?

6) Erzeugt eine angemessene Mischung von Strahlen, die sich aus der gesamten Vielheit aller Farben zusammensetzen, ein Licht, das dem der Sonne perfekt ähnelt und alle Eigenschaften desselben besitzt sowie dieselben Phänomene zeigt?

8) Ob durch Brechung irgendwelche anderen Farben erzeugt werden können als die Farben, die zu den unterschiedlich brechbaren Strahlen gehören und die durch die Brechung getrennt oder gemischt werden?

Bezüglich dieser Fragen stellt Newton am Ende des Briefes fest (op. cit., 210):

„To determin by experiments these & such like Queries wch involve the propounded Theory seemes the most proper & direct way to a conclusion. And therefore I could wish all objections were suspended, taken from Hypotheses or any other Heads then these two; Of showing the insufficiency of experiments to determin these Queries or prove any other parts of my Theory, by assigning the flaws & defects in my Conclusions drawn from them; Or of producing other Experiments wch directly contradict me, if any such may seem to occur. For if the Experiments, wch I urge be defective it cannot be difficult to show the defects, but if valid, then by proving the Theory they must render all other Objections invalid.“ [Cf. dazu auch Newton, *Opticks*, 131f.: **„And these Theorems being admitted into Opticks, there would be scope enough of handling that Science voluminously after a new manner, not only by teaching those things which tend to the perfection of Vision, but also by determining mathemati-**

cally all kinds of Phaenomena of Colours which could be produced by Refractions. For to do this, there is nothing else requisite than to find out the Separations of heterogeneous Rays, and their various Mixtures and Proportions in every Mixture. By this way of arguing I invented almost all the Phaenomena described in these Books, beside some others less necessary to the Argument; and by the successes I met with in the Trials, I dare promise, that to him who shall argue truly, and then try all things with good Glasses and sufficient Circumspection, the expected Event will not be wanting.“]

NEWTONS METHODENLEHRE

E. Die Hypothesis explaining the Properties of Light und der Discourse of Observations (1675)

1. An Hypothesis explaining the Properties of Light

Am 7. Dezember 1675 sandte Newton an Oldenburg seine Abhandlung *An Hypothesis explaining the Properties of Light discoursed in my severall Papers*; [I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull, J. F. Scott, A Rupert Hall, Laura Tilling, 7 Vols., Cambridge 1959-1977, Vol. I, 362-385 (im folgenden zitiert als: Newton, Cor. I); I. B. Cohen (ed.), *Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy and Related Documents*, Cambridge (Mass.) 1958, 178-199 (im folgenden zitiert als: I. B. Cohen, *Papers & Letters*)]; dem Brief an Oldenburg war neben den *Hypotheses* auch noch der *Discourse of Observations* beigelegt, in welchem Newton seine Beobachtungen zu den Phänomenen der Farben dünner Plättchen dargelegt hat; die in der Cor. I abgedruckte Fassung entspricht der im Register der Royal Society hinterlegten Fassung, die durch einen Vergleich mit Newtons handschriftlichem Exemplar der Portsmouth Collection (U.L.C. Add. 3970, fols. 538-547) ergänzt und korrigiert wurde; dieselbe Sammlung handschriftlicher Aufzeichnungen enthält insgesamt vier Entwürfe der *Hypotheses* und drei Entwürfe der *Observations*; cf. Newton, Cor. I, Anm. (1) des Herausgebers Turnbull, 386f.; Newtons Abhandlung wurde in zwei Sitzungen am 9. und am 16. Dez. vor der Royal Society verlesen; cf. op. cit., 387, Anm. 12;

In einem Vorwort (vermutlich an die Royal Society) vom 9. Dez. 1675 weist Newton darauf hin, daß es ihm vor allem darum ging, seine (abstrakte) Theorie zu illustrieren und damit allgemein verständlicher zu machen; er schreibt (I. B. Cohen, *Papers & Letters*, 178): **„Sir, I had formerly purposed never to write any hypothesis of light and colours, fearing it might be a means to engage me in vain disputes: [...]. And therefore considering, that such an hypothesis would much illustrate the papers I promised to send you; [...]. [...]; not considering myself, whether it shall be thought probable or improbable, so it do but render the papers I send you, and others sent formerly, more intelligible.“**

Zu Beginn seines Schreibens an Oldenburg bemerkt Newton, daß er seine **Theorie als einschränkende Bedingung** für den Entwurf *möglicher Hypothesen* zur Erklärung der von ihm experimentell ermittelten Eigenschaften des Lichts betrachte: **„In my Answer to Mr Hook you may remember I had occasion to say something of Hypotheses, where I gave a Reason, why all allowable**

Hypotheses in their genuine constitution should be conformable to my Theories“. (Newton, Cor. I, 362);

Newton begrüßt, daß Hooke von seiner ursprünglichen Auffassung, daß es nur zwei ursprüngliche Farben gebe, abgerückt sei; aufgrund dieser Korrektur sieht er in Hookes Hypothese eine recht plausible Erklärung: **„For this I take to be a more plausible Hypotheses than any other described by former Authors, because I see not, how the colours of thin transparent plates or skins can be hansomly explained, without haveing recourse to aethereall Pulses.“** (Newton, Cor. I, 363)

Dennoch möchte Newton eine eigene Hypothese vorstellen, von der er meint, daß sie noch besser zu seiner Theorie passe; er verweist in diesem Zusammenhang auf seine Ausführungen im 3. Abschnitt seines Briefes an Hooke vom 11. Juni 1672 (Newton, Cor. I, 174-176); Newton zählt auf, welche Phänomene eine solche Hypothese erklären müßte: 1) die Art der Brechung und 2) der Reflexion; 3) die Erzeugung von Wärme durch Sonnenstrahlen; 4) die Aussendung von Licht von brennenden und faulenden Körpern oder anderen Substanzen, auf deren Teile starke Einwirkungen stattfinden; 5) die Phänomene dünner, transparenter Plättchen und Bläschen; 6) die Oberflächenfarben von Körpern; 7) die Art und Weise des Sehens; 8) den Unterschied der Farben sowie ihre Harmonie und Disharmonie; (op. cit., 363);

anschließend erläutert Newton den Grund, der ihn zur Abfassung einer solchen **Hypo-**
these bewogen habe; zunächst möchte er sie so **allgemein** wie möglich entwickeln, so daß sie andere, ähnlich gelagerte Hypothesen umfasse; dafür wird bezüglich der Natur des Lichts nur die Annahme gemacht, daß es etwas ist, das fähig sei, gewisse Vibrationen in einem Äther zu erzeugen; **„Were I to assume an Hypothesis it should be this if propounded more generally, So as not to determin what Light is, farther then that it is something or other capable of exciting vibrations in the aether for thus it will become so generall & comprehensive of other Hypotheses as to leave little room for new ones to be invented.“** (Op. cit., 363)

Er habe bemerkt, daß die Köpfe vieler großer ‘Virtuosi’ dermaßen auf Hypothesen fixiert seien, als ob seine [Newtons] Abhandlungen danach verlangten, durch eine Hypothese erklärt zu werden; und er habe festgestellt, daß einige, die nicht verstanden haben, was er meine, wenn er von der Natur des Lichts und der Farben in einem abstrakten Sinne spreche, ihn vermutlich besser verstünden, wenn er seine Abhandlung **durch eine Hypo-**
these illustriere; vor allem zum Zweck einer solchen Illustration habe er seine Hypo-
these entwickelt: **„And therefore because I have observed the heads of some great virtuoso’s to run much upon Hypotheses, as if my**

discourses wanted an Hypothesis to explain by, & found, that some when I could not make them take my meaning, when I spake of the nature of light & colours abstractedly, have readily apprehended it when I illustrated my Discourse by an hypothesis; for this reason I have here thought fitt to send you a description of the circumstances of this Hypothesis as much tending to the illustration of the papers I herewith send you.“ (Op. cit., 363)

Darüber hinaus macht er deutlich, daß er selbst nicht diese oder eine andere Hypothese vertrete bzw. er es nicht für nötig halte, sich mit der Frage zu beschäftigen, ob die Eigenschaften des Lichts, die er entdeckt hat, sich durch Hookes Hypothese oder irgendeine andere Hypothese erklären lassen; dennoch habe er, um Weitschweifigkeiten zu vermeiden, seine Hypothese so dargestellt, **als ob** er sie selbst vertreten würde;

„And though I shall not assume either this or any other Hypothesis, nor thinking it necessary to concerne my selfe whether the properties of Light, discovered by me be explained by this or Mr Hook’s or any other Hypothesis capable of explaining them; yet while I am describing this, I shall sometimes to avoyde Circumlocution & so represent it more conveniently speak of it as if I assumed it & propounded it to be beleived.“ (Op. cit., 363f.)

Diese Erklärung wollte er vorausschicken, damit niemand diese Hypothese mit seinen anderen Abhandlungen verwechseln möge oder die Gewißheit der einen mit der anderen mißt; im übrigen wolle er sich nicht verpflichtet fühlen, auf Einwände gegen seine Schrift zu antworten: **„This I thought fitt to Expresse, that no man may confound this with my other discourses, or measure the certainty of one by the other, or think me oblig’d to answer objections against this script. For I desire to decline being involved in such troublesome & insignificant Disputes.**“ (Op. cit., 364)

Nun entwickelt Newton seine Ätherhypothese; dabei verweist er auch auf Erscheinungen wie Magnetismus, Elektrizität, Gravitation; dabei legt er folgende Annahmen zugrunde:

- (1) der Äther ist nicht homogen, sondern er besitzt eine unterschiedliche Dichte;
- (2) der Äther ist ein vibrierendes Medium in Analogie zur Luft; nur seien die Vibrationen schneller und kleiner;
- (3) dieser Äther durchdringt die Poren fester Körper, ist aber in diesen Poren wesentlich

dünnere als im freien Raum [Exkurs: Erklärung der Muskelbewegungen; Möglichkeit der Einwirkung des Willens bzw. der Seele auf den Körper (Muskeln); dieses Thema nimmt Newton 1713 am Ende des „Scholium Generale“ wieder auf, das er der zweiten Auflage der *Principia* hinzugefügt hat];

(4) das Licht sei aber weder mit dem Äther selbst noch mit den vibrierenden Bewegungen gleichzusetzen; es könne sich dabei a) um ein Aggregat peripatetischer Qualitäten, b) um eine Menge kleinster Korpuskeln, c) um eine körperliche Emanation, oder d) um einen Impuls oder eine Bewegung irgendeines Mediums oder aetherischen Geistes handeln; die von ihm entwickelte Hypothese sei in dem Sinne abstrakt, daß sie sich neutral gegenüber den hier aufgezählten Möglichkeiten verhalte: **„To avoyde dispute & make this Hypothesis generall, let every man here take his fancy.“** (Op. cit., 370) An dieser Stelle verweist Newton auch auf das „Prinzip der Fülle“, das er offenbar für ein wichtiges Prinzip der Natur hält: **„Onely whatever Light be, I would suppose, it consists of Successive rayes differing from one another in contingent circumstances, as bignes, forme or vigour, like as the Sands on the Shore, the waves of the Sea, the faces of men, & all other naturall things of the same kind differ, it being almost impossible for any sort of things to be found without some contingent variety.“** (Op. cit., 370)

Newton weist ausdrücklich darauf hin, daß er die **Phänomene dünner Schichten** insbesondere in ihrer periodischen Natur ohne die Annahme solcher Vibrationen nicht erklären kann; allerdings gibt er auch zu, bislang noch keine befriedigende Erklärung gefunden zu haben; (op. cit., 370f.);

(5) Licht und Äther vermögen wechselseitig aufeinander einzuwirken; Äther bricht das Licht, das Licht erwärmt den Äther; durch die unterschiedliche Dichte des Äthers wird die Brechung und Reflexion erklärt ebenso wie die Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit von Körpern.

In dem zweiten Teil, der am 16. Dez. verlesen wurde, erklärt Newton die **Farberscheinungen**; (op. cit., 376); er erläutert sie in Analogie zur Ausbreitung des Schalls und dessen Differenzierung in verschiedene Töne: **„so when the rayes of light, by impinging on the stif refracting Superficies excite vibrations in the aether, those rayes, what ever they be, as they happen to differ in magnitude, strength or vigour, excite vibrations of various bignesses“.** (Op. cit., 376); → Erklärung des **Farbsehens**; diese Vibrationen treffen auf die Retina, auf der sich die Enden von kleinsten Gefäßen des optischen Nervs befinden; diese Vibrationen pflanzen sich durch die Poren der Kapillargefäße fort

über die optischen Nerven, welche im 'Sensorium' enden und dort die Sinne mit verschiedenen Farben affizieren gemäß ihrer Größe und Mischung; die Funktion der Vibrationen des Äthers beim Sehens sind denen beim Hören analog, „**for the Analogy of Nature is to be observed**“ (op. cit., 376); → Analogie zwischen der Farbskala und der harmonischen Einteilung von Tönen in einer Tonleiter; [cf. I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, Buch I, Teil II, Prop. III, 125-129 (im folgenden zitiert als: Newton, *Opticks*); hier benutzt Newton die Einteilung des Spektrums durch genaue linienmäßige Begrenzungen, um die unterschiedliche Brechbarkeit der homogenen Strahlen zu bestimmen; die Analogie zur Toneinteilung wird eher beiläufig erwähnt]; ebenso postuliert er die Unveränderlichkeit der homogenen Strahlen: „**And because refraction onely severs them, & changes not the bignesse or strength of the ray, thence it is, that after they are once well severed, refraction cannot make any further changes in their colour.**“ (Op. cit., 377)

→ dann versucht Newton die **Reflexion an dünnen Schichten** zu erklären; Annahme: die Vibrationen des Äthers pflanzen sich schneller fort als die Strahlen; wenn der kondensierte Teil der ersten Welle den Strahl an der zweiten Oberfläche überholt, wird der Strahl reflektiert; ist die Dicke doppelt so groß, dann wird der Strahl von dem folgenden, dünneren Teil der Welle überholt und durchgelassen; → daraus entsteht ein periodisches Phänomen, bei dem der Strahl in bestimmten Intervallen durchgelassen und in bestimmten Intervallen reflektiert wird; (op. cit., 378); Newton unterscheidet dabei, ob die Ringe von uniformem bzw. homogenem Licht oder von zusammengesetztem Licht erzeugt werden (op. cit., 380); [in den *Opticks* spricht Newton von den „Fits of easy Reflexion“ und „Fits of easy Transmission“; er weist zwar auch dort auf die Möglichkeit einer Illustration des Sachverhalts vermittels einer wellenförmigen Vibration der Luft hin, bemerkt aber zugleich: „But whether this Hypothesis be true or false I do not here consider.“ (Newton, *Opticks*, 280f.)]

zur Erklärung der **Oberflächenfarben** von Körpern verweist Newton auf den „Discourse“; er erklärt sie in Analogie zu den Farben dünner Schichten; zum Abschluß erwähnt er noch eine „merkwürdige Erscheinung“ der Farben, auf die Hooke aufmerksam gemacht hatte; es ist das **Phänomen der Beugung**, das sich einstellt, wenn das Licht eine scharfe Ecke (Rasiermesser) oder Kante passiert; Newton kannte das Phänomen bereits; er hatte es bei Honoré Fabri (1607-1688), einem Jesuiten in Rom, nachgelesen, der es seinerseits von Grimaldi habe; Newton betrachtet die Beugung zunächst als eine besondere, Art der Brechung;

2. Der Discourse of Observations

Der Brief an Oldenburg enthielt neben der *Hypothesis of Light* auch den *Discourse of Observations* (I. B. Cohen, *Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy and Related Documents*, Cambridge (Mass.) 1958, 202-235; im folgenden zitiert als: I. B. Cohen, *Isaac Newton's Papers & Letters*); er wurde an drei Sitzungen der Royal Society verlesen; diese Abhandlung enthält drei Teile: (1) zunächst werden 24 Beobachtungen referiert (op. cit., 202-215); (2) dann werden diese benutzt, um die Ursachen der Oberflächenfarben von Körpern zu erklären, wobei vom Einfachen zum Zusammengesetzten vorgegangen wird [synthetische Methode?] (op. cit., 216-225); (3) schließlich legt Newton in neun Propositionen dar, in welcher Beziehung die Phänomene dünner Schichten zu denen aller anderen natürlichen Körper stehen; [alle diese Ausführungen wurden als Teil I, II und III des zweiten Buches der *Opticks* wieder abgedruckt; dabei hat Newton seine früheren Ausführungen gelegentlich noch ergänzt];

Die Vorstellung der *Hypothesis of Light* sowie des *Discourse of Observations* in den Sitzungen der Royal Society provozierte wiederum Hooke zu einer Reaktion; einerseits war er der Meinung, daß Newton in der *Hypothesis* lediglich die von ihm [Hooke] entworfene Hypothese wiedergegeben hätte; andererseits meinte er, daß die unterschiedliche Farbe der Strahlen ebenso auf die unterschiedliche Geschwindigkeit der Impulse zurückgeführt werden könnte (cf. I. B. Cohen, *Isaac Newton's Papers & Letters*, 225); darauf antwortet Newton in einem Brief an Oldenburg vom 15. 02. 1676 (Newton, Cor. I, 417-420); dort heißt es (op. cit., 417f.): **„But if this be their meaning, they propound not an objection but an Hypothesis to explain my Theory. For ye better understanding of this I shall desire you to consider that I put not ye different refrangibility of rays to be ye internal or essential cause of colours, but only the means whereby rays of different colours are separated. Neither do I say what is that cause, either of colour or of different refrangibility, but leave these to be explained by Hypotheses, & only say that rays wch differ in colour, differ also in refrangibility, & yt different refrangibility conduces to ye production of colour not other way then by causing a different refraction & thereby a separation of those rays wch had different colours before, but could not appear in their own colours till they were separated.“**

Beispiel: es werden verschiedene rote und blaue Farbkügelchen gemischt; die resultierende Farbe wird weder rot noch blau, sondern eine Mischfarbe sein; wenn man diese Kü-

gelchen nun in Wasser gibt, dann ist die Funktion des Wassers analog zur Funktion des Prismas bei der Sonderung der Farben; sofern die roten Kugeln schwerer sind als die blauen, werden sie im Wasser vermöge der Gravitation weiter hinuntersinken als die blauen; dadurch erfolgt eine Trennung und die roten Kugeln werden aus der Mischung abgetrennt und *aufgrund dieser* Trennung manifestieren sie ihre rote Farbe, während die blauen Kugeln ihre blaue Farbe zeigen; dennoch könne man nicht sagen, daß die unterschiedliche Schwere der Kugeln im eigentlichen Sinne die Ursache der Farbe sei: **„In like manner where I make different reflexivity ye cause of colours (as in ye case of thin transparent plates) I say not that it is their internal cause but only the means of their separation. For I apprehend that all ye Phaenomena of colours in ye world result from nothing but separations or mixtures of difform rays & that different refrangibility & reflexivity are only ye means by wch those separations or mixtures are made“** (Op. cit., 418)

→ Newton spricht davon, daß die ungleiche Brechbarkeit der Strahlen als die „accidental cause“ (op. cit., 419) oder die „instrumental cause“ (op. cit., 419) der Farben betrachtet werden könne im Rahmen einer Hypothese, welche beispielsweise die unterschiedliche Geschwindigkeit der Impulse als „true essential cause“ (op. cit., 418) annehme; er weist insbesondere daraufhin, daß sich beides nicht widersprechen müsse: **„Yea so far is this Hypothesis from contradicting me that if it be supposed it infers all my Theory.“** (Op. cit., 419);

Anschließend versucht Newton, seine Position zum Verhältnis seiner Theorie zu verschiedenen möglichen Hypothesen zusammenzufassen und in einer Art allgemeinen Regel darzulegen; diese lautet (op. cit., 419f.): **„That in any Hypothesis whence ye rays may be supposed to have any originall diversities, whether as to size or figure or motion or force or quality or any thing els imaginable wch may suffice to difference those rays in colour & refrangibility, there is no need to seek for other causes of these effects then those original diversities.“**

→ in jeder beliebigen Hypothese muß das Licht entweder als a) homogen oder b) heterogen angenommen werden;

Fall b): das Licht wird in der Hypothese als heterogen angenommen; dann stimmt sie mit der Theorie überein bzw. fällt unter die genannte Regel; dann kann sie auch seiner Theorie nicht widersprechen;

Fall a): wenn der erste Fall angenommen wird, dann wird der Brechung die Fähigkeit zugeschrieben, das Licht zu modifizieren im Sinne einer Veränderung seiner Farbqualifi-

zierung und Brechbarkeit; dies widerspricht jedoch der Erfahrung; [genauer seiner Theorie, die er aber als von der Erfahrung abgeleitet bzw. „deduziert“ betrachtet].

F. Spätere unveröffentlichte Manuskripte Newton (1690-1718)

Als Newton die zweite Ausgabe (1713) der *Principia* vorbereitete, änderte er insbesondere den Anfangsteil des dritten Buches; diesen hatte er mit einer Reihe von „Hypothesen“ eröffnet; er benannte sie jedoch in ‘Regulae Philosophandi’ und ‘Phaenomena’ um; in diesem Zusammenhang fertigte er eine Reihe von Entwürfen an, die u.a. gewisse Definitionen und methodologische Vorgaben enthalten; diese sind zum größten Teil noch unveröffentlicht; sie stammen mit großer Wahrscheinlichkeit aus dem Zeitraum 1712/13; einige davon sind in folgendem Aufsatz publiziert worden: Anita M. Pampusch, „‘Experimental’, ‘Metaphysical’, and ‘Hypothetical’ Philosophy in Newtonian Methodology“, in: *Centaurus* 18 (1974), 289-300 (im folgenden zitiert als: Pampusch 1974);

„Argumentum Inductionis ab experimentis & sensibilibus observationibus desumptum, in quo Philosophia experimentalis fundatur, ad entia vel hypothetica vel metaphysica quae Phaenomena non sunt, applicare non potest nisi per hypothesim: ideoque quae de corporibus vi Inductionis in hoc Libro dicuntur ad ejusmodi entia nil spectant. De solis sensibilibus et eorum partibus hic agitur, eo quod Argumentum Inductionis in ijs solis locum habent. Reliqua quae non sentiuntur sed per hypothesim tamen a nunullis corpora nominantur, in Metaphysica et Philosophia hypothetica rectius tractanda sunt. A Phaenomenis incipiendum est. In his tractandis Philosophia experimentalis consistit. Ab hac Philosophia ad causas efficientes & causas finales & Philosophiam hypotheticam peragendum est.“ (Ms. Add. 3965 (17) folio 641; zitiert nach Pampusch 1974, 298f.; cf. op. cit., 289f.: „The argument of induction taken from experiments and the observations of the senses on which experimental philosophy is founded cannot apply to hypothetical or metaphysical entities which are not phenomena except through hypotheses: therefore, nothing which is determined about bodies by means of induction in this book refers to those entities. Here it is a question only of sensible things and their parts because the argument of induction concerns these alone. The rest which are perceived only through hypotheses yet are called ‘bodies’ by some are more properly treated in Metaphysics and Hypothetical Philosophy. We begin from phenomena. Experimental Philosophy consists in treating them. From this philosophy we work through to efficient and final causes and hypothetical philosophy.“)

„Argumentum Inductionis ab experimentis et sensibilibus observationibus desumptum, in quo Philosophia experimentalis fundatur, ad entia vel hypothetica vel metaphysica quae Phaenomena non sunt, applicari non potest nisi per hypothesim, ideoque quae de corporibus vi Inductionis in hoc libro dicuntur, ad ejusmodi entia nil spectant. De solis sensibilibus et eorum partibus hic agitur propterea quod argumentum Inductionis in ijs solis locum habeat. Reliqua quae non sentiuntur sed per hypothesin tamen a nonnullis corpora nominantur in Metaphysica et Philosophia hypothetica rectius tractanda sunt. A phaenomenis Philosophia incipit. In his tractandis Philosophia experimentalis consistit. A Philosophia experimentalis ad rerum causas efficientes & finales, & ab his omnibus ad naturam rerum insensibilium & ultimo ad Philosophiam hypotheticam transeundum est.“ (Ms. Add. 3965 (13), folio 422; zitiert nach Pamusch 1974, 299; cf. op. cit., 290: „The argument of induction taken from experiments and the observations of the senses on which experimental philosophy is founded is not able to be applied to hypothetical or metaphysical entities which are not phenomena except through hypotheses: therefore, nothing which is said about bodies by means of induction in this book refers to those entities. Here it is a question only of sensible things and their parts because the argument of induction concerns these alone. The rest which are perceived only through hypotheses yet are called ‘bodies’ by some are more properly treated in Metaphysics and Hypothetical Philosophy. Philosophy begins from phenomena. Experimental Philosophy consists in treating them. From experimental philosophy we pass to efficient and final causes of things and from all of these to the nature of insensible things and ultimately to hypothetical philosophy.“)

„--- propterea quod argumentum Inductionis in ijs solis locum habeat. Ideoque quae vi Inductionis de universali corporum gravitate hic affirmantur, ad Quintessentias, & Materias primas, et orbis solidos, et Materias subtiles quae phaenomena non sunt, nil spectant. Quae non sentiuntur sed per hypothesim tamen a nonnullis corpora nominantur, in Metaphysica et Philosophia hypothetica rectius tractanda sunt. A phaenomenis Philosophia per argumentum Inductionis incipit. In his trac-

tandis Philosophia experimentalis consistit. A philosophia experimentalis ad rerum causas finales & efficientes, & ab his omnibus ad naturam rerum insensibilium, & ultimo ad Philosophiam hypotheticam transeundem est.“ (Ms. Add. 3965 (13), folio 430; zitiert nach Pampusch 1974, 299; cf. op. cit., 290: „--- because the argument of induction refers to these things alone. Therefore what is here affirmed inductively about the universal gravity of bodies does not refer to quintessences and prime matters and solid orbs and subtile matters which are not phenomena. Things which are perceived only through hypotheses yet are called bodies by some are more properly treated in Metaphysics and hypothetical philosophy. Philosophy begins from phenomena through the argument of induction. Experimental philosophy consists in treating these things. From experimental philosophy we pass to final and efficient causes of things and from all of these to the nature of insensible things, and, ultimately, to hypothetical philosophy.“)

An einer Stelle gibt Newton eine Definition dessen, was er unter Hypothesen versteht:

„Hypothesim voco opinionem omnem quae nec demonstratur nec Phaenomenon est neque ex Phaenomenis per Argumentum Inductionis deducitur.“ (Ms. Add. 3965 (13), folio 420; zitiert nach Pampusch 1974, 299, Anm. 9; statt „deducitur“ spricht Newton an anderer Stelle auch von „derivatur“ (vgl. Pampusch 1974, 291); [„Eine Hypothese nenne ich jede Meinung, die weder bewiesen wird, noch ein Phänomen ist, noch aus den Phänomenen durch ein induktives Argument deduziert wird.“]).

Zum Verhältnis von Metaphysik und Hypothesen (bzw. hypothetischer Philosophie):

„Nor are we here to regard Metaphysical Principles unless so far as they are founded upon experience. For all Metaphysics not founded upon experience is Hypothetical: And so far as metaphysical Propositions are founded upon experience they are part of experimental philosophy. Even that celebrated Proposition *Ego cogito ergo sum* is known to us by experience. We know that we think by an inward sensation of our thoughts. And therefore from that Proposition we cannot conclude that anything more is true than what we deduce from experience.“ (Ms. 3970, folio 621v; zitiert nach Pampusch 1974, 294)

Es existieren Entwürfe zu einem vierten Buch der *Opticks*, das Newton jedoch nie vollendet hat; sie stammen vermutlich aus der Zeit zu Beginn der 90er Jahre, da Newton 1694

den ursprünglichen Plan aufgegeben hatte und eine neue Konzeption der *Opticks* entwickelt hatte [diese neue Konzeption stellte Newton David Gregory vor, als dieser ihn im Mai 1694 besuchte. Vgl. dazu R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge 1980, 523.]; einer dieser Entwürfe listet 20 Propositionen und 5 Hypothesen auf; die Hypothesen werden als Konklusionen zu den Propositionen dargestellt; im Anschluß an die zweite Hypothese finden sich folgende Ausführungen Newtons:

„And if Nature be most simple and fully consonant to herself she observes the same method in regulating the motions of smaller bodies which she doth in regulating those of the greater. This principle of nature being very remote from the conceptions of Philosophers I forebore to describe it in that book [Principia] least I should be accounted an extravagant freak and so prejudice my readers against all those things which were the main design of the book [...] but (torn:-) the design of that book being secured by the approbation of Mathematicians, I [have not] scrupled to propose this principle in plane words. The truth of this hypothesis I assert not because I cannot prove it but I think it very probable because a great part of the phenomena of nature do easily flow from it which seem otherwise inexplicable.“ (Ms. 3970, folios 338r, 338v; zitiert nach Pampusch 1974, 296); cf. Pampusch 1974, 295: „Examining Newton’s writings for comments on hypotheses takes us back all the way to the papers on optics of the 1670’s.“ Cf. dazu auch Westfall, *Never at Rest*, Cambridge 1980, 520-522. Westfall zitiert dieselbe Passage, allerdings noch ausführlicher. So führt Newton im Anschluß noch eine Reihe von Phänomenen auf, die sich aufgrund der angesprochenen Hypothese von der Analogie der Gesetze des Mikro- und Makrokosmos leichter erklären lassen. Vgl. op. cit., 522: „such as are chymical solutions precipitations philtrations, detonizations, volatizations, fixations, rarefactions, condensations, unions, separations, fermentations; the cohesion texture firmness fluidity & porosity of bodies, the rarity & elasticity of air, the reflexion & refraction of light, the rarity of air in glass pipes & ascention of water therein, the permiscibility of some bodies and impermiscibility of others, the conception & lastingnesse of heat, the emission & extinction of light, the generation & destruction of air, the nature of fire & flame, ye springinesse or elasticity of hard bodies.“

Im Zuge der Prioritätsstreitigkeiten mit Leibniz veröffentlichten die Newtonianer unter der Federführung John Keills (und der ständigen Mithilfe Newtons) eine Zusammenfassung ihrer Sicht der Dinge unter dem Titel *Commercium Epistolicum*; sie erschien anonym in

den *Philosophical Transactions* der 'Royal Society' im Januar/Februar 1715; (cf. Westfall, *Never at rest*, 769); Newton schrieb dazu ein anonymes Vorwort in Gestalt einer 'recensio'; von dieser 'recensio' existieren mehrere Entwürfe; in einem davon heißt es (zitiert nach I. B. Cohen, „The First English Version of Newton's *Hypotheses non fingo*“, in: *Isis* 53 (1962), 379-388, insbes. S. 384 [C.U.L., Ms. Add. 3968/41, fol. 26]):

„The Philosophy which Mr. Newton in his Principles & Opticks has pursued is experimental, & it is not the business of experimental Philosophy to teach the causes of things any farther then they can be proved by experiments [...] For this reason Mr. Newton in his Optiques distinguished those things wch were made certain by experiments from those things wch remained uncertain & wch he therefore proposed in the end of his Opticks in the form of Queres. For this reason in the Preface to his Principles, when he had mentioned the Motions of the Planets Comets Moon & Sea as deduced in this book from gravity, he added [...] And in the end of his Opticks: Qua causa efficiente hae attractiones, [sc. gravitas visque magnetica et electrica aliaque] peragantur, hic non inquiri [...].“

Es gibt eine Reihe von Entwürfen zu einem Vorwort für eine geplante Neuauflage der *Principia* nach der zweiten Auflage von 1713; diese Entwürfe, in denen Newton seine synthetische Darstellungsweise zu rechtfertigen versucht, gehen insbesondere auf die Methoden der Analyse und Synthese und ihren Ursprung ein; sie stammen aller Wahrscheinlichkeit nach aus den Jahren 1716-1718, sind jedoch mit Sicherheit nicht vor 1716 verfaßt worden [dieses Datum ergibt sich aus dem Umstand, daß der ausgereifteste dieser Entwürfe auf einem Blatt niedergeschrieben ist, welches Notizen und Anmerkungen zu einem Buch enthält (Jakob Hermann, *Phoronomia, sive de Viribus et Motibus Corporum Solidorum et Fluidorum Libri Duo*, Amsterdam 1716), das 1716 erschienen ist; cf. dazu I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, ed. by D. T. Whiteside, Vol VIII: 1696-1722, Cambridge UP 1981, 443, Anm. 2]; im Zusammenhang mit der Diskussion dieser mathematischen Methoden kommt Newton auch auf den Hypothesenbegriff zu sprechen; die entsprechende Passage lautet (Newton, *Mathematical Papers*, VIII, 452, Anm. 34):

„Sufficit si vires sint qualitates manifestae licet causae earum nos lateant, & occultae dicantur. In libris duobus primis ubi de viribus ad centrum tendentibus agitur, & species virium non-

dum innotescunt, easdem generali nomine centripetas vocavi. In libro tertio quamprimum didici Lunam gravitare in Terram et gravitate sua retineri in Orbe, vim centripetam Lunae et reliquorum Planetarum coepi nominare gravitatem. Eodem modo si vires electricae vel magneticae deprehendantur esse causae aliquorum phaenomenon: haec phaenomena per vires illas recte explicari possunt etiamsi causae virium nos lateant. Aliàs nulum omnino phaenomenon per causam suam recte explicari posset nisi causa hujus causae, & causae prioris redderetur & sic deinceps usque donec ad causam primam deventum sit.

Gravitatis causam mechanicam D. Fatio olim excogitavit, sed veram esse non probavit. Hypothesis erat, & in Philosophia experimentalis hypotheses non considerantur. Argumenta hic desumuntur ab experimentis per Inductionem. Et argumentum ab inductione, licet Demonstratio perfecta non sit tamen fortius est quam argumentum ab Hypothesi sola, et quo plura sint experimenta vel Phaenomena a quibus deducitur eo fortius evadit. Hypotheses igitur in hoc Tractatu non fingimus inde desumimus, cum cedant argumentis ab inductione.“

[(eigene) Übersetzung: „Es genügt, wenn die Kräfte offensichtliche Eigenschaften sind, wenn uns auch ihre Ursachen verborgen sind und als okkult bezeichnet werden. In den ersten beiden Büchern, wo von den Kräften gehandelt wird, die zu einem Zentrum hin gerichtet sind, und die Arten der Kräfte noch nicht bekannt geworden sind, habe ich dieselben mit dem Gattungsnamen der Zentripetalkräfte benannt. Im dritten Buch habe ich sobald wie möglich erforscht, daß der Mond zur Erde gravitiert und durch seine Gravitation in seiner Umlaufbahn gehalten wird, und habe ich angefangen, die Zentripetalkraft des Mondes und der übrigen Planeten Gravitation zu nennen. Wenn auf dieselbe Weise elektrische oder magnetische Kräfte als Ursachen irgendwelcher anderer Phänomene erkannt werden, dann können diese Phänomene durch jene Kräfte richtig erklärt werden, auch wenn die Ursachen der Kräfte uns verborgen sind. Sonst kann überhaupt keines der Phänomene durch seine Ursache richtig erklärt werden, wenn nicht die Ursache der Ursachen und die früheren Ursachen angegeben werden und auf diese Weise der Reihe nach immer weiter bis man schließlich zur ersten Ursache gelangt ist.

D. Fatio hat einst eine mechanische Ursache der Gravitation ausgedacht, aber er hat nicht bewiesen, daß sie wahr ist. Sie war eine Hypothese und in der Experimentalphilosophie werden keine Hypothesen erwogen. Hier werden die Beweisgründe vermittels der

Induktion von Experimenten hergenommen. Und ein Argument, das auf Induktion beruht, ist, auch wenn es kein vollkommener Beweis ist, dennoch stärker als ein Argument, das nur von einer Hypothese abgeleitet ist, und je zahlreicher die Experimente oder Phänomene sind, von denen es deduziert wurde, umso stärker fällt es aus. Daher erdichten wir in dieser Abhandlung keine Hypothesen und stützen uns dann darauf, weil die Argumente sich der Induktion unterordnen.“]

In einem weiteren Entwurf aus dieser Zeit (ca. 1716-1718) geht Newton nochmals auf methodologische Fragen ein. Dort heißt es (Newton, *Mathematical Papers*, VIII, 459, Anm. 49):

„Qui leges et effectus Virium electricarum pari successu et certitudine eruerit, philosophiam multum promovebit, etsi forte causam harum Virium ignoraverit. Phaenomena primo observanda sunt, dein horum causae proximae, & postea causae causarum eruendae: ac tandem a causis causarum per phaenomena stabilitis, ad earum effectus, argumentando a priori, descendere licebit. Philosophia naturalis non in opinionibus Metaphysicis, sed in Principiis propriis fundanda est; & haec [?Principia ex Phaenomenis deducanda sunt ...].

Quod in Metaphysica docetur, si a revelatione divina deducitur, religio [...] est; si a Phaenomenis per sensus quinque externos, ad Physica pertinet; si a cognitione actionum internarum mentis nostrae per sensum reflexionis, philosophia est de sola mente humana & ejus ideis tanquam Phaenomenis internis & ad Physicam item pertinet. De Idearum objectis disputare nisi quatenus sunt phaenomena somnium est. In omni Philosophia incipere debemus a Phaenomenis, & nulla admittere rerum principia nullas causas nullas explicationes nisi quae per phaenomena stabiliuntur. Et quamvis tota philosophia non statim pateat, tamen satius est aliquid indies addiscere quam hypotheseon praejudicijs mentes hominum praeoccupare.“

[(eigene) Übersetzung: „Wer die Gesetze und Wirkungen der elektrischen Kräfte gleichermaßen mit Erfolg und Gewißheit ausfindig machte, brächte die Philosophie bedeutend voran, wenn er auch möglicherweise die Ursache dieser Kräfte nicht kennte. Zuerst müssen die Phänomene beobachtet werden, hierauf sind ihre nächsten Ursachen und später die Ursachen der Ursachen herauszufinden: sodann wird es schließlich erlaubt

sein, von den durch die Phänomene abgesicherten Ursachen der Ursachen zu ihren Wirkungen herabzusteigen, indem man a priori argumentiert. Die Naturphilosophie darf nicht auf die Ansichten der Metaphysiker, sondern muß auf eigene Prinzipien gegründet werden und diese [? Prinzipien müssen aus den Phänomenen deduziert werden ...].

Was in der Metaphysik gelehrt wird, ist Religion, wenn es von der göttlichen Offenbarung abgeleitet ist; wenn es von den Phänomenen durch die fünf äußeren Sinne abgeleitet ist, gehört es zur Physik; wenn [es] von der Wahrnehmung [(Kenntnis)] der inneren Tätigkeiten unseres Geistes durch den Sinn der Reflexion [abgeleitet ist], ist es Philosophie, die allein von dem menschlichen Geist ausgeht, dessen Ideen [(Vorstellungen)] gleichsam als innere Phänomene gleichfalls zur Physik gehören. Über die Objekte der Ideen zu disputieren ist Träumerei, soweit es keine Phänomene sind. In der Philosophie insgesamt müssen wir mit den Phänomenen beginnen und wir dürfen keine Prinzipien, keine Ursachen, keine Erklärungen der Dinge zulassen, wenn sie nicht durch Phänomene abgesichert sind. Und sowenig auch die gesamte Philosophie sogleich zugänglich ist, ist es gleichwohl besser, tagtäglich wenigstens etwas hinzuzulernen als durch die Vorurteile der Hypothesen die Geister der Menschen einzunehmen.“]

Newtons Bemühungen aus der Zeit zwischen 1716 und 1718, das Verhältnis von Metaphysik und Physik genauer zu fassen sowie seine Insistenz auf dem Kriterium der „Deduktion aus den Phänomenen“ für akzeptable Vorstellungen sowohl der Metaphysik als auch der Physik stehen offenbar auch in engerem Zusammenhang mit seiner Auseinandersetzung sowohl mit der cartesischen als auch mit der leibnizschen Metaphysik; neben dem Briefwechsel zwischen Leibniz und Clarke, der 1715/16 stattfand und in den auch Newton direkt involviert war, war bereits zuvor, im Jahre 1713, die zweite Auflage der Schrift *Essai d'Analyse sur les Jeux de Hazard* von Pierre Rémond de Montmort, einem Leibnizianer, erschienen; sie enthielt eine Zurückweisung von Newtons philosophischen Vorstellungen, wie sie dieser in der zweiten Auflage der *Principia* zum Ausdruck gebracht hatte; Rémond setzte sich mit der Theorie des Leeren, der Theorie der Attraktion sowie mit methodologischen Fragen auseinander und stellt sich dabei auf einen strikt mechanistischen Standpunkt; Newton versuchte, ca. im Jahre 1714, eine Antwort darauf zu formulieren, von der einige Entwürfe erhalten sind; diese waren die Grundlage eines Briefes des Newtonianers John Keill. U. a. heißt es dort in bezug auf den Begriff der Metaphysik:

„Metaphysics certainly is founded on ideas, ideas and all true philosophy is founded on phenomena & Newton begins from phenomena. Momortus contends that ideas must not be deduced from phenomena but formed with closed eyes and from dreams of this kind. He contends further that we must proceed from ideas to phenomena the eyes being opened again so that we

may by the help of ideas see the phenomena clearly and distinctly.“ (Ms. Add. 3968 (41), folio 69r; zitiert nach der englischen Übersetzung von J. E. McGuire, „Body and Void and Newton’s De Mundi Systemate: Some New Sources“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 3 (1966/67), 206-248, hier insbesondere 236).

Dieser Hinweis auf Rémond gibt Anlaß zu der Vermutung, daß Newtons Bemerkung im zuvor zitierten, aus einer späteren Zeit stammenden, Fragment („De Idearum objectis disputare nisi quatenus sunt phaenomena somnium est.“) ebenfalls in einem sachlichen Zusammenhang mit dieser Auseinandersetzung, die die Klärung des Metaphysikbegriffs und ihr Verhältnis zur Experimentalphilosophie zum Gegenstand hat, steht; diese Klärungsversuche von Newtons Seite wiederum lassen sich nicht von seinen jahrzehntelangen Bemühungen trennen, einen Materiebegriff zu entwickeln, der seinen physikalischen Entdeckungen gerecht wird; insbesondere spielte dabei die Möglichkeit eines leeren Raumes analog zu einer atomistischen Konzeption sowie der Unterschied zwischen räumlicher Ausdehnung und materieller Erfüllung des Raumes eine zentrale Rolle [cf. dazu beispielsweise Newtons Aufzeichnungen in einem seiner Notizbücher, die er während seiner Studienzeit in Cambridge angefertigt hat; sie tragen den Titel „Questiones quaedam Philosophicae“ und stammen etwa aus der Zeit zwischen Herbst 1663 und Frühjahr 1665; der Text liegt inzwischen in einer kommentierten Transkription vor (J. E. McGuire/M Tamny (eds.), *Certain Philosophical Questions: Newton’s Trinity Notebook*, Cambridge UP 1983) und enthält viele Eintragungen zu Problemen des Materiebegriffs und der atomistischen Konzeption des Vollen und Leeren; cf. op. cit., 337-345; 348-352; 420-425; cf. dazu den Kommentar von McGuire und Tamny, op. cit., 26-126; diese Reflexionen zu Beginn seines wissenschaftlichen Lebens setzten sich bis in seine späteren Jahre fort; cf. dazu J. E. McGuire, „Body and Void and Newton’s De Mundi Systemate: Some New Sources“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 3 (1966/67), 206-248].

In einem Entwurf für die vierte Regel der ‘Regulae Philosophandi’, die Newton den drei Regeln der zweiten Auflage in der dritten Auflage von 1726 noch hinzugefügt hat, findet sich folgende Bemerkung:

„In experimental philosophy [...] Hypotheses ought not to be allowed to oppose arguments gathered from experiments by induction, in order that [...] experimental philosophy may not be confused with hypothetical. Geometrical demonstrations are universal. Arguments based on induction [...] are not demonstrations, yet they are stronger than hypotheses; and ought to be reckoned general, except in so far as exceptions gathered from experiment may be met with: accordingly when no objec-

tions of this kind are met with they ought to be stated as of general application.“ (ULC. Add. 3965 (13), fol. 428r; zitiert in englischer Übersetzung nach J. E. McGuire, „Body and Void and Newton’s De Mundi Systemate: Some New Sources“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 3 (1966/67), 240f.).

Zum Begriff des „**phaenomenon**“ bei Newton:

Bereits aus seiner Studienzeit findet man in Newtons Notizbuch, welches die „*Questiones quaedam philosophicae*“ (sie stammen aus dem Zeitraum zwischen Herbst 1663 und Frühjahr 1665) enthält, einen Eintrag unter dem Titel „Philosophy“ (der ursprüngliche Titel „*Occult Qualities*“ wurde durchgestrichen):

„The nature of things is more securely and naturally deduced from their operations one upon another than upon our senses. And when by the former experiments we have found the nature of bodies, by the latter we may more clearly find the nature of our senses. But so long as we are ignorant of the nature of both soul and body we cannot clearly distinguish how far an act of sensation proceeds from the soul and how far from the body.“ (J. E. McGuire/M Tamny (eds.), *Certain Philosophical Quenstions: Newton’s Trinity Notebook*, Cambridge UP 1983, 376f.)

McGuire und Tamny verweisen hier auf Hobbes’ *Elements of Philosophy. The First Section. Concerning Body*, London 1656, p. 52-54; dies entspricht der Ausgabe von W. Molesworth (ed.), *The English Works of Thomas Hobbes*, Vol. I, London 1839 [Reprint Aalen 1966], Chapter VI: Of Method, §6, 70-73; an dieser Stelle erläutert Hobbes die Anwendung der Methoden der Analyse und Synthese in den Naturwissenschaften; dieser Paragraph 6 des Methodenkapitels bei Hobbes bezieht sich auf die Synthesis; auch Newton unterschlägt in seinem Exzerpt den synthetischen Teil; cf. dazu McGuire/Tamny 1983, 219: „Thus, by the method of analysis, we proceed from the things that are better known to us (i.e., sensible effects) to their causes; once these are established, the order is reversed, and the effects are explained in virtue of their causes. This is precisely the character of Newton’s argument: Once ‘we have found the nature of bodies [by proceeding from their effects], by the latter we may more clearly find the nature of our senses.’ Newton’s formulation of the Hobbesian argument is not immediately clear, because he has suppressed the analysis side of the procedure.“

Nach der Publikation der zweiten Auflage der *Principia* finden sich bei Newton einige Entwürfe mit Definitionen der wichtigsten Grundbegriffe, die in seiner Naturphilosophie eine wichtige Rolle spielen, wie z.B. „Hypothese“, „Regel“, „Körper“, „Vakuum“ etc.; sie stammen vermutlich aus der Zeit kurz nach 1713; auf drei verschiedenen Blättern defi-

niert er den Begriff des „Phenomenon“; diese Definitionen unterscheiden sich inhaltlich nicht; eine davon lautet:

„Phenomena I call whatever can be seen and is perceptible whatever things can be perceived, either things external which become known by the five senses, or things internal which we contemplate in our minds by thinking. As fire is hot and water is wet, and gold is heavy, and sun is light, I am and I think. All these are sensible things and can be called phenomena in a wide sense; but those things are properly called phenomena which can be seen, but I understand the word in a wider sense.“ (ULC. Add. 3965 (13), fol. 422v; zitiert in englischer Übersetzung nach J. E. McGuire, „Body and Void and Newton’s De Mundi Systemate: Some New Sources“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 3 (1966/67), 238f.).

Diese Definition stimmt im wesentlichen mit der folgenden überein, die in etwa auch aus der gleichen Zeit stammen soll; allerdings wird hier der Zusammenhang mit dem Hypothesenbegriff nicht erwähnt; Newton scheint hier, wie er selbst auch explizit gemacht hat, einen Phänomenbegriff zu definieren, wie er aus der Alltagserfahrung geläufig ist; allerdings fallen nicht nur die irdischen, unmittelbar wahrnehmbaren Gegenstände und Sachverhalte der Alltagserfahrung unter seinen Phänomenbegriff, sondern auch die Himmelskörper, die ja nicht unmittelbar wahrnehmbar sind; in einem kurzen unvollendeten Aufsatz mit dem Titel „Cosmography“ schreibt er bezüglich der Himmelskörper:

„The Universe consists of three sorts of great bodies, Fixed Stars, Planets and Comets, and all these have a gravitating power tending towards them by which their parts fall down to each of them after the same manner as stones and other parts of the earth do here towards the earth and by means of this gravity it is that they are all spherical.“ (ULC. Ass. 4005, fol. 21f.; zitiert in englischer Übersetzung nach J. E. McGuire, „Body and Void and Newton’s De Mundi Systemate: Some New Sources“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 3 (1966/67), 238) [cf. McGuire 1966/67 (op. cit.), 238: „But the heavenly bodies are phenomena because their parts come together by the power of gravity into spherical masses they either emit or reflect light, and they are subsumable under the laws of motion.“].

Neben einer Reihe von Entwürfen für das ‘Scholium Generale’ fand man in Newtons Nachlaß (Portsmouth Collection) auch den Entwurf für eine Regel V der ‘Regulae Philosophandi’, die Newton allerdings nicht gedruckt hat; diese Regel ist vermutlich nach 1713 geschrieben worden; denn: die zweite Ausgabe der *Principia* von 1713 enthält nur drei Regeln; die vierte Regel findet sich auf einer durchgeschossenen Seite einer Kopie der

zweiten Auflage (I. B. Cohen, *Introduction to Newton's 'Principia'*, Harvard 1971, 30):

„Reg. V. Pro hypothesis habenda sunt quaecunque ex rebus ipsis vel per sensus externos, vel per sensationem cogitationum internarum non derivantur. Sentio utique quod Ego cogitem, id quod fieri nequiret nisi simul sentirem quod ego sim. Sed non sentio quod Idea aliqua sit innata. Et pro Phaenomenis habeo, non solum quae per sensus quinque externos nobis innotescunt, sed etiam quae in mentibus nostris intuemur cogitando: Ut quod, Ego sum, Ego credo, Ego intelligo, Ego recordor, Ego cogito, volo, nolo, sitio, esurio, gaudeo, doleo etc. Et quae ex Phaenomenis nec demonstrando nec per argumentum Inductionis consequuntur, pro Hypothesis habeo.“

[„Rule V. Whatever things are not derived from objects themselves, whether by the external senses or by the sensation of internal thoughts, are to be taken for hypotheses. Thus I sense that I am thinking, which could not happen unless at the same time I were to sense that I am. But I do not sense that some idea is innate. And I do not take for phenomena only things which are made known to us by the five external senses, but also those which we contemplate in our minds when thinking: such as, I am, I believe, I understand, I remember, I think, I wish, I am unwilling, I am thirsty, I am hungry, I am happy, I am sad, etc. And those things which follow from the phenomena neither by demonstration nor by the argument of induction, I hold as hypotheses.“]

Bedeutsam: die Definitionen von Phänomenen, die Newton hier gibt, beziehen sich eher auf Sachverhalte als auf Objekte; dies gilt insbesondere für die sechs Phänomene, die Newton in der zweiten Auflage der *Principia* dem dritten Buch vorangestellt hatte; diese sechs Phänomene sind jedoch nicht direkt oder unmittelbar wahrnehmbare Sachverhalte, sondern sind aus astronomischen Daten vermittels mathematischer Kalkulationen abgeleitet [cf. dazu P. Achinstein, „Newton's Corpuscular Query and Experimental Philosophy“, in: P. Bricker/R.I.G. Hughes (eds.), *Philosophical Perspectives on Newtonian Science*, Cambridge(Mass.)/London 1990, 138: „Newton does not say what sorts of inferences to the phenomena are allowable. The important point seems to be that whatever the nature of such inferences, they are ‘from observations’ and they are sufficiently strong to establish the facts in question.“]; darüber hinaus sind für Newton nicht nur solche Sachverhalte Phänomene, die schlicht wahrgenommen werden können, sondern primär solche, deren Existenz von niemandem angezweifelt wird; es handelt sich dabei um aus Beobachtungsdaten mit mathematischer Gewißheit abgeleitete Sätze oder um beobachtete Resultate von Experimenten, denen jeder, der diese Kalkulationen und Experi-

mente durchführt, zugeben *muß*.

NEWTONS METHODENLEHRE

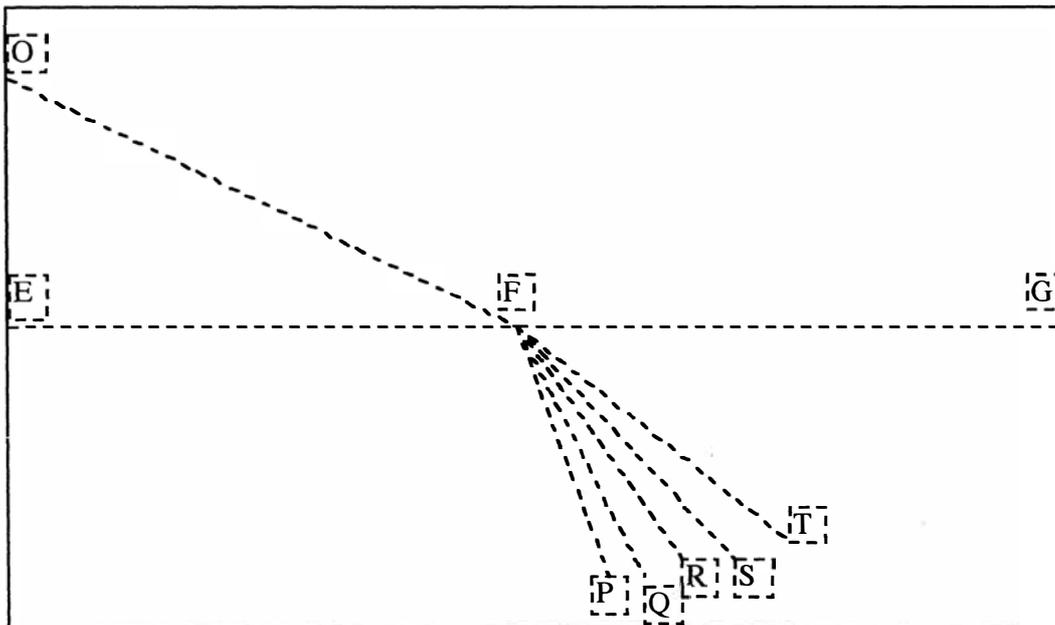
III. NEWTONS DEFINITION DES LICHTSTRAHLS

1. Newtons Vorlesungen zur Optik

Zu Beginn der ersten Vorlesungsreihe, den *Lectiones Opticae*, formuliert Newton als Ziel seiner Untersuchungen: die (physikalischen) Prinzipien der Optik zu erforschen; diese gründen sich auf Eigenschaften in der Natur des Lichts (I. Newton, *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, ed. by A. E. Shapiro, Cambridge 1984, 48: „**de natura lucis proprietatem**“; im folgenden zitiert als: Newton, *Optical Papers I*);

bedeutsam: Newton will keine besonderen Hypothesen über die Natur oder das Wesen des Lichts zugrunde legen, d.h. ob es eine Wellennatur oder eine korpuskulare Natur aufweise; seine entscheidende Entdeckung in diesem Zusammenhang ist die folgende: die Strahlen des (weißen) Lichts unterscheiden sich hinsichtlich der „Quantität der Brechung“ („**quantitatem refractionis**“; op. cit., 48);

Was ist damit gemeint? Newton erläutert seine These anhand einer Graphik:



Entlang der Linie OF treffen Lichtstrahlen an dem Punkt F auf die Begrenzungsfläche zweier Medien EFG; das Licht fällt von einem dünneren in ein dichteres Medium; gemäß der herkömmlichen Auffassung müßten sämtliche einfallenden Strahlen dieselbe Brechung erfahren; er habe jedoch die gegenteilige Beobachtung gemacht: „**At contrarium compertum habeo; scilicet quòd postquam refringuntur, di-**

vergent ab invicem; quasi quidam refringerentur in lineam FP, alij in lineam FQ, & alij in lineas FR, FS, & FT; ac alij etiam innumeri per spatia istis intermedia, ut et ultra citraque nonnulli pervagantes; prout radius quilibet ad refractionem majorem minoremve patiendam sit aptus.“ (Op. cit., 50; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 51: „But I have discovered the contrary; that is, after they are refracted, they will diverge from one another, just as if some were refracted in the line FP, some in the line FQ, other in the lines FR, FS, and FT, and still innumerable others through the spaces between them, while some extend on both sides as well, insofar as any ray is disposed to undergo a greater or smaller refraction.“)

Problem: was versteht Newton unter einem „Lichtstrahl“? [cf. dazu insbesondere A. E. Shapiro, „Newton’s Definition of a Light Ray and the Diffusion Theories of Chromatic Dispersion.“ In: *Isis* 66 (1975), 194-210]; wörtlich spricht er an dieser Stelle **„radios solares per istam lineam OF sibi continuo successivos fluere“** (op. cit., 48; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 49: „along this line OF solar rays flow in continual succession to one another“); diese Stelle ließe vermuten, daß damit sukzessiv eintreffende Kopuskeln angesprochen werden; in der zweiten Vorlesungsreihe, *den Optica*, weist Newton jedoch ausdrücklich darauf hin, daß man sich unter Strahlen nicht nur Entitäten, die sukzessive und kontinuierlich auftreffen, vorstellen könne, sondern auch parallele Strahlen, die einen unendliche kleinen Abstand voneinander aufweisen; dort heißt es: **„Vel si mavis, finge parallelos radios indefinitè parùm distare ab OF, et incidere in puncta ipsi F vicinissima.“** (Op. cit., 48, Anm. 9; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 48, Anm. 9: „Or, if you prefer, imagine parallel rays to be an indefinitely small distance from OF and to fall on the points in the immediate vicinity of F.“);

→ ein physikalischer Lichtstrahl wird in den Vorlesungen offenbar als idealisierter mathematischer Begriff unter Zuhilfenahme von nicht formalisierten infinitesimalen Annahmen konzipiert; in diesem Zusammenhang macht Newton auch vom Kontinuitätsprinzip Gebrauch; er legt Wert auf eine Formulierung, die sich neutral gegenüber allen besonderen Annahmen über die Natur des Lichts verhält (sei es Wellen- oder Teilchennatur);

In seiner zweiten Antwort auf Pardies’ Einwände vom 10. Juni 1672 gibt Newton folgende Definition des Lichts und des Lichtstrahls:

„Itaque per Lumen intelligo quodlibet Ens vel entis potestatem (sive sit substantia, sive quaevis ejus vis, actio, vel qualitas) quod à corpore lucido rectà pergens aptum sit ad excitandam visionem; et per radios Luminis intelligo minimas vel quaslibet

indefinitè parvas ejus partes, quae ab invicem non dependent, quales sunt illi omnes radij, quos lucentia corpora vel simul vel successivè secundùm rectas lineas emittunt. Nam illae tum collaterales tum successivae partes luminis sunt independentes; siquidem unae absque aliis intercipi possint, et in quaslibet plagas seorsim reflecti vel refringi.“ (I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull, J. F. Scott, A Rupert Hall, Laura Tilling, 7 vols., Cambridge 1959-1977, Vol. I, Cambridge 1959, 164; im folgenden zitiert als: Newton, Cor. I; cf. Übersetzung Turnbull, op. cit., 169: „I understand light to be any entity or power of an entity (whether substance or some force, action or quality possessed by it) which proceeds directly from a bright body and is adapted to excite vision: and I understand rays of light to be the least, or the indefinitely small parts of it, which are mutually independent, as are all rays which luminous bodies emit along straight lines either synchronously or in succession. For those parts are independent, be they collateral or successive, as they can be intercepted singly and apart from others, and be reflected in any direction.“) [Shapiro bemerkt dazu (Newton, *Optical Papers I*, 116, Anm. 4: „This definition embodies the operation of intercepting or stopping (intercipias or sistas) rays of any color both ‘collaterally’ with small opaque obstacles (as in this article) or with opaque screens with small holes (...), and also ‘successively’ with rotating toothed wheels (...). Although Newton’s idea of light ray may have originated in his atomism (...), the concept underlying this definition derives directly from his theory of color: the principle of the independence of rays of different color.“]

In den *Opticks* lautet die erste von insgesamt acht Definitionen:

„By the Rays of Light I understand its least Parts, and those as well Successive in the same Lines, as Contemporary in several Lines.“ (I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 1; im folgenden zitiert als: Newton, *Opticks*); denn: es sei offensichtlich, daß das Licht aus Teilen bestehe, sowohl i) sukzessive als auch ii) gleichzeitig; ad i): man könne am selben Ort den Teil stoppen, der in einem Augenblick ankommt und den Teil durchlassen, der unmittelbar darauf ankommt; ad ii): zur selben Zeit könne man an einem Ort einen Strahl stoppen, während man an einem anderen Ort einen Teil durchläßt;

„The least Light or Part of Light, which may be stopp’d alone without the rest of the Light, or propagated alone, or do or suffer any thing alone, which the rest of the Light doth not or suffers not, I call a Ray of Light.“ (Newton, *Opticks*, 2).

Diese Definition des Lichtstrahls hängt offensichtlich mit einer fundamentalen Operation zusammen, die Newton in seinen optischen Experimenten häufig angewandt hat, nämlich einen Lichtstrahl durch Abdeckung zu unterbrechen und ihn dann durch Entfernen der Abdeckung wieder durchzulassen; [cf. Newton, *Optical Papers I*, 116-119; cf. insbesondere den Kommentar von Shapiro, op. cit. 116, Anm. 4: „This simple technique of stopping rays of any color while allowing the others to pass by and exhibit their own colors and other physical properties is one of the fundamental operations in Newton’s theory of color.“]

Shapiro verweist auch auf Newtons Definition des Lichtstrahls in dem Fragment *Fundamenta Opticae*, das inhaltlich in etwa dem ersten Buch der *Opticks* entspricht und ca. aus dem Jahre 1694 stammt; dort heißt es:

„Per lucis verò radios intelligo minimas ejus partes tam successive per easdem lineas quam simul per diversas a corporibus lucidis propagatas. Lucem enim ex partibus tam successivis quam collateralibus constare manifestum est quia lux eodem tempore in uno loco sisti et in corpore nigro suffocari in alio illaesa pergere potest et in eodem loco nunc sisti et in corpore nigro suffocari mox sublato corpore illaesa propagari [...] Minimam igitur lucem vel lucis partem quae sola sine reliqua luce suffocari vel sola propagari potest vel sola aliquid agere aut pati quod reliqua lux non agit aut non patitur, Radium lucis appello.“ (Manuskript ULC Add. 3970, f. 415r; op. cit., 117f., Anm. 4; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 117, Anm. 4: „By rays of light I understand its least parts, propagated from lucid bodies both successively through the same line and simultaneously through different lines. For it is manifest that light consists of both successive and collateral parts, because at the same time light can be stopped in one place and stifled in a black body, while at another place it can proceed unimpaired; and in the same place it can at one time be stopped and stifled in a black body and afterward, by removing the body, be propagated unimpaired [...] Therefore the least light or part of light that can be stifled alone without the rest of the light, or be propagated alone, or do or suffer anything alone that the rest of the light does not do or suffer, I call a ray of light.“

Die Strahlen des einfallenden Lichts (siehe obige Skizze) haben alle denselben Einfallswinkel; trotzdem unterscheiden sie sich hinsichtlich ihres Brechungswinkels; die herrschende Theorie der geometrischen Optik (Brechungsgesetz: Snell, Descartes) sagt: dann müßte auch für alle Strahlen der Brechungswinkel gleich sein, wir z.B. die Linie FR; aber: die Beobachtungen zeigen das Gegenteil; beispielsweise werden einige entlang der

Linie FP, andere entlang der Linie FQ und andere in den Linien FR, FS und FT gebrochen; in den Zwischenräumen werden noch unzählige („innumeri per spatia istis intermedia“) andere Strahlen gebrochen; [Vor.: (1) es sind unendlich viele Strahlen; und: (2) die Linien reihen sich kontinuierlich aneinander; beide Annahmen sind mathematische Extrapolationen; sie lassen sich nicht unmittelbar den Beobachtungen entnehmen]; weitere Entdeckung: die Strahlen, die am stärksten gebrochen werden (FP), „produzieren“ („producunt“) violette Farben („colores purpureos“), die Strahlen, die am wenigsten gebrochen werden (FT), produzieren rote Farben („colores rubros“); die Strahlen, die zwischen diesen beiden Extremen liegen, produzieren die „colores intermedios“, nämlich Blau, Grün und Gelb; sofern die Strahlen so disponiert sind („apti sunt“), daß einige stärker und stärker gebrochen werden als andere, erzeugen sie („generant“) in der folgenden Ordnung die Farben Rot Gelb, grün, Blau und Violett sowie alle Dazwischenliegenden, wie man es beim Regenbogen beobachten kann; (cf. Newton, *Optical Papers I*, 50); daraus werde die Produktion der Farben beim Prisma und beim Regenbogen „leicht offenbar“ („patebit facile“); die Betrachtung über Farben soll jedoch zurückgestellt werden.

Newton's These ist auch das Ergebnis einer Reihe von Experimenten, die sowohl in seinem „Trinity Notebook“ als auch in seiner vermutlich 1665/66 abgefaßten Schrift *Of Colours* [ULC add. 3975, in: J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 466-489] dokumentiert sind; seine Schrift *Of Colours* ist das einzige Dokument seiner Farbenlehre, das zwischen 1666 und 1669/70 bis zur Abfassung der *Lectiones Opticae* erhalten ist; Shapiro bemerkt dazu: „There is no statement of the theory and little theoretical interpretation, but cautiously reading backward from the later accounts, especially the *Optical Lectures*, it is clear that he already had the main features of his theory, since the essay contains many of the fundamental experiments of the *Optical Lectures*.“ (I. Newton, *The Optical Papers of Isaac Newton*, Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, ed. by A. E. Shapiro, „Introduction“, 13).

In seinen Vorlesungen verfährt Newton darüber hinaus so, daß er eine allgemeine Behauptung an den Anfang stellt und diese dann überprüft; dies geschieht vermutlich in Analogie zur geometrischen Methode Euklids, der bei seinen Sätzen ebenfalls die allgemeine Behauptung an den Anfang stellte (protasis); wenn diese allgemeine Behauptung nun am Anfang steht, dann erhalten die **Experimente**, die sie erhärten sollen, die Funktion einer **Überprüfung** bzw. einer **Verifikation**; darüber hinaus betrifft die allgemeine Behauptung kein mathematisches Gesetz oder eine mathematische Eigenschaft, sondern eine *physikalische Eigenschaft* des Lichts; d.h. hier geht es um die Behauptung einer *allgemeinen Eigenschaft* eines Naturgegenstands; wie

läßt sich diese mit Gewißheit und Sicherheit behaupten? [Boyle, der ebenfalls mit dem Prisma experimentiert hat, war der Auffassung, daß die Farben keine realen Qualitäten sind, sondern nur modifiziertes Licht; obwohl Boyle die gängige Unterscheidung zwischen realen (an den Oberflächen der Körper sichtbar) und erscheinenden Farben (durch das Prisma erzeugte) abschaffen wollte, betrachtete er offenbar die Prismenfarben doch nur als scheinbare Farben, d.h. als zufällige Erscheinungen; Newton hingegen wollte zweierlei zeigen: 1) daß die Brechung des weißen Lichts nicht gleichförmig ist, woraus folgt, daß die Annahme über die homogene physikalische Natur des weißen Lichts offensichtlich falsch ist; und 2) daß die im Spektrum des Prismas erscheinenden Farben keine „scheinbaren“ Farben oder nur zufällige Erscheinungen sind, sondern reale physikalische Eigenschaften]; wie läßt sich die Realität einer physikalischen Eigenschaft zeigen? Cf. dazu M. Mamiani, *Isaac Newton filosofo dellanatura. Le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo newtoniano*, Firenze 1976, 98: „Possiamo quindi, per la prima volta, vedere intrecciati i processi induttivi e deduttivi nella filosofia naturale di Newton, e constatarne l’effettiva equivalenza nella reciproca implicazione.“ („Wir können also zum ersten Mal die Verflechtung induktiver und deduktiver Prozesse in Newtons Naturphilosophie sehen und deren faktische Äquivalenz in der wechselseitigen Implikation feststellen.“)

Weitere Beobachtungen zu Newtons Begriff des **Lichtstrahls**:

Newton führte zur Bestätigung seiner Theorie auch Experimente an, die er mit dem Licht der Venus gemacht habe; er weist darauf hin, daß die Lichtstrahlen, die von der Venus kommen, nicht exakt in einer geometrischen Linie liegen; aber da dem Prisma eine konvexe Linse vorgeschaltet ist, treffen sie (annähernd) parallel auf das Prisma; dann führt Newton eine **Analogie** an: anstatt sich einzelne Strahlen vorzustellen, die einer geraden Linie folgten, müsse man sich ein Bündelchen („penicillum“ = Pinsel, Bürste, infinitesimales Strahlenbündel) von Strahlen vorstellen, die dieselbe Achse und denselben Schnittpunkt bzw. Focus besitzen; sofern einige dieser Bündelchen stärker gebrochen werden als andere, fallen deren Brennpunkte nicht mehr zusammen, sondern bilden eine Linie;

„Etenim pro singulis radijs in eâdem rectâ pergentibus, debes tantùm concipere tot radorum penicillos, qui omnes habent eundem axem et idem punctum concursûs: Et quòd istorum penicillorum alij magis alijs a Primate refringuntur, ita ut eorum puncta concursus sive foci qui priùs concidêre, jam singuli cadant seorsim, lineam rectam conficientes. Ac proinde quod axes penecillorum qui, radijs puta successivis, eousque coincidabant donec attigêre Prisma, ibi per variam refractionem sint effecti divergentes, ut ad focos penicillorum in lineâ rectâ

jacentes pergant.“ (Newton, *Optical Papers I*, 72; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 73: „For instead of individual rays proceeding in the same straight line, you should imagine just as many pencils of rays all having the same axis and the same point of intersection; and because some of those pencils are refracted by the prism more than others, their points of intersection, or foci, that previously coincided, now each fall separately and form a straight line. Consequently, because the axes of the pencils coincided with the rays, which are to be assumed successive, until they reached the prism, where they were made to diverge by the varying refraction, they proceed to the foci of the pencils that lie in a straight line.“)

Cf. op. cit., 72f., Anm. 23: Shapiro weist darauf hin, daß der Begriff „penicillum“ in bezug auf Lichtstrahlen erstmals von Kepler eingeführt wurde (Kepler, *Dioptrice*, § XLV, 17); Newton habe den Begriff jedoch eher von David Gregory übernommen; dieser hat in seinem Werk *Optica promota, seu abdita reflexorum et refractorum mysteria, geometrice enucleata* (London 1663) in der Definition 8 den Begriff „convergent rays“ als „pencil“ erklärt; Shapiro stellt darüber hinaus fest, daß Newton mit Gregory eine atomistische Auffassung des Lichtstrahls teile; Gregory hat von „fiery corpuscles“ („corpuscula ignea“) gesprochen, die einer geraden Linie folgten; bei Newton sei der Atomismus allerdings eher implizit vorhanden; dennoch sei deutlich, daß Newton unter einem Lichtstrahl keine mathematische Linie verstehe, sondern eine physikalische Entität; cf. dazu auch Newton, *Optical Papers I*, 120; an dieser Stelle ist im Zusammenhang mit der Erklärung der Entstehung des weißen Lichts aus der Überlagerung verschiedenfarbiger Strahlen mehrfach von einem „penicillum“ resp. „radiatorum penicilli“ die Rede;

in der 7. Vorlesung der ersten Vorlesungsreihe (*Lectiones Opticae*) wiederholt Newton das erste Prismaexperiment, um die Erzeugung aufgrund der zuvor entwickelten Prinzipien (Analyse) zu erklären; dabei läßt er einen **Lichtstrahl** auf ein Prisma fallen; zur Konzeption dieses Strahls erklärt er:

„Plures autem radios in eâdem rectâ successivos siquis aegrè concipiat: vice lineae OF cogitet exiguum spatium in rebus physicis aequipollens lineae, in quo plures paralleli radij fluant, sed indefinitè parùm distantes, ut quoad sensum pro coincidentibus habeantur.“ (Newton, *Optical Papers I*, 144/46; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 145/147: „If, however, someone has difficulty conceiving of several successive rays in the same straight line, let him imagine in place of the line OF a small space (in a physical sense equivalent to the line) in which many parallel but indefinitely close rays flow, so that they may be considered as sensibly coincident.“)

2. Bemerkungen zur Natur des Lichts in der 'New Theory about Light and Colours'

„These things being so, it can be no longer disputed, whether there be colours in the dark, nor whether they be the qualities of the objects we see, no nor perhaps, whether Light be a Body. For, since Colours are the *qualities* of Light, having its Rays for their intire and immediate subject, how can we think those Rays *qualities* also, unless one quality may be the subject of and sustain another; which in effect is to call it *substance*.“ (Newton, Cor. I, 100.)

D.h., wenn man die von ihm genannten Propositionen zugestehe, dann könne es keinen Zweifel mehr geben, daß

- a) Farben im Dunkeln existierten,
- b) daß sie Qualitäten der Objekte seien, die wir sehen,
- c) daß das Licht ein Körper (körperlicher Natur) sei;

denn: Farben seien die Qualitäten des Lichts, wobei ihre vollständigen und unmittelbaren Objekte die Strahlen seien; (Strahl ~ Farbe \equiv Subjekt (Substanz) ~ Eigenschaft); wenn also die Farben Eigenschaften der Strahlen sind, dann können die Strahlen ihrerseits nicht Eigenschaften von etwas anderem sein; denn dann müßte eine Eigenschaft oder Qualität einer anderen Eigenschaft oder Qualität zugrunde liegen bzw. deren Subjekt (Objekt) sein; dann wäre sie aber nicht Qualität, sondern Substanz:

„We should not know Bodies for substances, were it not for their sensible qualities, and the Principal of those being now found due to something else, we have as good reason to believe that to be a substance also.“ (Op. cit., 100.)

Newton bemerkt, daß man Körper nicht an und für sich als Substanzen erkennen kann, sondern nur durch deren sinnliche Qualitäten (Locke); die Farben sind demnach die sinnlichen Qualitäten, anhand deren man die Strahlen qua Substanzen erkennen und identifizieren kann; die hauptsächlichsten Gattungen von Strahlen erkennt man aufgrund der hauptsächlichsten Gattungen von Farben, die sie erzeugen; [Newton spielt in diesem Zitat mit „Principal“ offenbar nicht auf einzelne Farbstrahlen an, sondern auf deren Gattungen; denn die Farbe eines einzelnen Strahls läßt sich nicht sinnlich wahrnehmen]; und: es sei auch nicht denkbar, daß irgendeine Qualität ein solches heterogenes Aggregat sein könne, als was sich das Licht erwiesen hat: **„Besides, who ever thought any quality to be a *heterogeneous* aggregate, such as Light is discovered to be.“** (Op. cit., 100.)

Damit, so Newton, sei aber noch nicht die Frage beantwortet, was Licht sei, in welcher Weise es gebrochen werde (bzw. welcher Mechanismus dahinter stehe) oder auf welche Art und Weise es in unserem Geist die Farbvorstellungen hervorruft; darüber könne man nur **Vermutungen** anstellen, die nicht mit **Gewißheiten** verwechselt werden dürfen; → hier erkennt man ebenfalls, daß Newton einen deutlichen Unterschied zwischen seiner Theorie („**Doctrine**“) und **Hypothesen** oder Vermutungen macht;

Diese Ausführungen bzgl. der Frage, ob Farben Qualitäten oder Substanzen seien, hat Newton mit drei Fußnoten versehen, deren Text für das Gesage aufschlußreich ist; die dritte Fußnote ist allerdings unleserlich geworden;

1. Fußnote (= Anmerkung c) im Text): Newton verweist darauf, daß innerhalb der „mechanistischen Hypothesen“ i) einige Wissenschaftler das Licht als Körper betrachten, während ii) andere das Licht primär als Aktion eines Körpers ansehen; im ersten Falle werden Körper (Teilchen) durch ein Medium gesandt, während im zweiten Falle eine Bewegung oder ein Druck durch das Medium fortgepflanzt wird; Newton hält diese Unterscheidung nicht für angemessen; denn: sowohl in dem einen als auch in dem anderen Fall sei das Licht gleichermaßen ein Körper und die Aktion eines Körpers; wörtlich heißt es:

„If you call its rays the bodies trajected in the former case, then in the latter case they are the bodies which propagate motion from one to another in right lines till the last strike the sense. The only difference is, that in one case a ray is but one body, in the other many. So in the latter case, if you call the rays motion propagated through bodies, in the former it will be motion continued in the same bodies. The bodies in both cases must cause vision by their motion.“ (Newton, Cor. I, 106, Anm. 30.)

Newton macht deutlich, daß er nicht in bezug auf diese Unterscheidung, die innerhalb der mechanistischen Philosophie gemacht wird, von der **körperlichen Natur des Lichts** gesprochen habe, sondern in Abgrenzung von den **Peripatetikern**; die Peripatetiker haben jedoch die Körperlichkeit nicht im Gegensatz zur Bewegung gesehen, sondern im Gegensatz zu einer **Qualität**; → die Frage, ob das Licht eine Qualität oder ein Körper sei, war zwischen den Auffassungen von Peripatetikern und der mechanistischen Philosophie ein gängiger Streitpunkt; Newton bezieht sich auf den Streit zwischen diesen beiden Auffassungen; um seinen Standpunkt in dieser Frage zu verdeutlichen, benutzt er deren Terminologie; die Peripatetiker argumentierten mit solchen Ausdrücken wie „Qualität“, „Subjekt“, „Substanz“ und „sinnlichen Qualitäten“, während die Mechanisten

von „Körper“, „Modus“ oder „Aktion“ sprachen; dabei wolle er die Art und Weise der Aktionen, vermöge deren das Licht in unserem Geist die Farbvorstellungen produziere, unbestimmt lassen; dies könnte durch Druck, Stöße, oder Schläge geschehen;

2. **Fußnote** (= Anmerkung d) im Text): Newton macht nochmals deutlich, daß er hier nur pro forma die peripatetische Terminologie verwende, daß er aber keineswegs die Meinung vertrete, daß die Farben Qualitäten des Lichts seien:

„For I do not myself esteem colours the qualities of light, or of anything else without us, but modes of sensation excited in our minds by light. Yet because they are generally attributed to things without us, to comply in some measure with this notion, I have in other places of these letters, attributed them to the rays rather than to bodies, calling the rays from their effect on the sense, red, yellow, & c. whereas they might be more properly called rubriform, flaviform, & c.“ (Newton, Cor. I, 106, Anm. 31.)

3. Brief an Oldenburg vom 6. Juli 1672

Oldenburg hatte Newton am 25 Juni 1672 eine Bemerkung zukommen lassen, in der er die Vermutung anklingen ließ, ob die ungleiche Brechbarkeit nicht von winzigen Poren im Glas verursacht werden könnte; darauf antwortete Newton mit einem Brief vom 6. Juli 1672;

Newton betont darin bezüglich der verschiedenen Grade der Brechbarkeit der Lichtstrahlen: **„there is so constant & strict an Analogy between these & the severall species of colours. [...] And further if colours were originated from refractions as is supposed in your inquiry, then all colours would be changeable by refractions, contrary to what I find by experience.“** (Newton, Cor. I, 209);

weiter heißt es bezüglich des richtigen Weges und der richtigen Methode, die Wahrheit der Dinge herauszufinden:

„[...] that I cannot think it effectually for determining truth to examine the severall ways by which Phaenomena may be explained, unlesse where there can be a perfect enumeration of all those ways. You know the proper Method for inquiring after the properties of things is to deduce them from Experiments. And I told you that the Theory which I propounded was evinced to me, not by inferring tis thus because not otherwise, that is not by deduc-

ing it onely from a confutation of contrary suppositions, but by deriving it from Experiments concluding positively & directly. The way therefore to examin it is by considering whether the experiments wch I propound do prove those parts of the Theory to wch they are applyed, or by prosecuting other experiments wch the Theory may suggest for its examination. And this I would have done in a due Method; the Laws of Refraction being throughly inquired into & determined before the nature of colours be taken into consideration.“ (Newton, Cor. I, 209);

Newton lehnt es also ab, sich zunächst verschiedene Hypothesen auszudenken, vermittels deren man die Phänomene erklären könnte; denn: solange man nicht eine endliche Zahl möglicher Hypothesen *vollständig* vorliegen hat, ist es nicht möglich, mit Gewißheit eine derselben durch ein sukzessives Ausschlußverfahren als die wahre Hypothese und damit als die wahre Erklärung auszuzeichnen; er betont darüber hinaus, daß er seine Theorie nicht dadurch gewonnen habe, daß er gezeigt habe, daß sie wahr sein muß, weil andere Hypothesen falsch seien; statt dessen habe er die Eigenschaften der Dinge **aus Experimenten deduziert** bzw. **aus Experimenten direkt und positiv erschlossen**; dies beinhaltet für Newton u.a., daß zuerst die **Brechungsgesetze** genau studiert werden müssen [dies sind offenbar die Eigenschaften der Dinge, die aus Experimenten direkt gefolgert werden können] und **erst danach die Natur der Farben** näher betrachtet werden können;

→ Newton schlägt eine Reihe von acht **Queries** vor, über die vermittels Experimenten entschieden werden müsse (op. cit., 209f.);

- 1) Ob die Strahlen bei gleichem Einfallswinkel auf dasselbe Medium ungleiche Brechungen aufweisen und wie groß die Ungleichheiten der Brechung bei einem beliebigen Einfallswinkel sind?
- 2) Besitzt jeder Strahl einen bestimmten **Grad der Brechbarkeit** oder wird er ohne jede Gesetzmäßigkeit gebrochen (was ist das **Gesetz**, gemäß dem jeder Strahl mehr oder weniger gebrochen wird bzw. gilt für einen einzelnen Strahl das Sinusgesetz der Brechung?)?
- 3) Gehört zu den Strahlen, die einen bestimmten Grad der Brechbarkeit besitzen, wenn sie separiert werden, auch konstant eine bestimmte Farbe? Nämlich zu den am wenigsten brechbaren die Farbe Scarlet (tiefes Rot), zu den am stärksten brechbaren die Farbe Violett und zu den mittleren dann in entsprechender Proportion die anderen Farben?
- 4) Kann die Farbe irgendeiner Strahlenart durch Brechung verändert werden?
- 5) Wenn Farben zusammenkommen, um eine neue Farbe zu erzeugen, verändern sie sich dabei gegenseitig oder geschieht dies nur durch (rein mechanische) Mischung?

6) Erzeugt eine angemessene Mischung von Strahlen, die die gesamte Mannigfaltigkeit aller Farben enthält, ein Licht, das dem der Sonne perfekt ähnelt und alle Eigenschaften desselben besitzt sowie dieselben Phänomene zeigt?

8) Ob durch Brechung irgendwelche anderen Farben erzeugt werden können als die Farben, die zu den unterschiedlich brechbaren Strahlen gehören und die durch die Brechung getrennt oder gemischt werden?

Bezüglich dieser Fragen stellt Newton am Ende des Briefes fest:

„To determin by experiments these & such like Queries wch involve the propounded Theory seemes the most proper & direct way to a conclusion. And therefore I could wish all objections were suspended, taken from Hypotheses or any other Heads then these two; Of showing the insufficiency of experiments to determin these Queries or prove any other parts of my Theory, by assigning the flaws & defects in my Conclusions drawn from them; Or of producing other Experiments wch directly contradict me, if any such may seem to occur. For if the Experiments, wch I urge be defective it cannot be difficult to show the defects, but if valid, then by proving the Theory they must render all other Objections invalid.“ (Op. cit., 210.)

NEWTONS METHODENLEHRE

IV. DIE FUNDAMENTE DER FARBENLEHRE

Newton hat bereits in seinen frühen Vorlesungen zur Optik versucht, die **Fundamente** oder **physikalischen Prinzipien** seiner Farbenlehre zu entwickeln; diese sind zentral für drei methodische Aspekte seiner Theorie: a) sie werden vermittelt der Analyse aus den Phänomenen abgeleitet, b) aus ihnen werden via Synthese die Erscheinungen erklärt, c) sie bilden die Grundlage für eine mathematische Behandlung der Farbenlehre; Newtons Schriften zeigen jedoch, daß er diese Grundlagen nicht als einen fixen Kanon betrachtet hat, sondern er hat sie im Laufe der Entwicklung seiner Theorie sukzessive verändert; hier sollen vier Stationen dieser Änderungen von 1669 - 1673 genauer verfolgt werden.

A) 1. Vorlesungsreihe (1670/71): *Lectiones Opticae*

Im Herbst 1669 wurde Newton Nachfolger von Isaac Barrow auf dem Lucasischen Lehrstuhl an der Universität Cambridge; dort begann er seine erste Vorlesungsreihe über Optik im Januar 1670; am Anfang (bzw. in der dritten Vorlesung) hat er die Grundlagen seiner Theorie der Farben in **vier Propositionen** zusammengefaßt (I. Newton, *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, ed. by A. E. Shapiro, Cambridge 1984, 86/87; im folgenden zitiert als: Newton, *Optical Papers I*):

(1) Er habe entdeckt, daß die Strahlen, die bei gleichem Einfallswinkel am stärksten gebrochen werden, 'Purple' oder violette Farben hervorbringen („efficiunt“). Diejenigen, die am wenigsten gebrochen werden, bringen rote Farben hervor; alle Strahlen, deren Brechungsgrad dazwischen liegt, bringen Blau, Grün und Gelb hervor;

(2) Umkehrung: die Strahlen, die 'Purple' oder violette Farben hervorbringen, werden bei gleichem Einfallswinkel am stärksten gebrochen, und diejenigen, die rote Farben hervorbringen, werden am wenigsten gebrochen; diejenigen, die blaue, grüne und gelbe Farben hervorbringen/erzeugen („generant“), liegen mit ihrer Brechungsstärke dazwischen;

Allgemein: Newton verbindet **zwei kontinuierliche Reihen** mit einer **eindeutigen Zuordnung**, nämlich a) die **Quantität der Brechung** (der bei gleichem Einfallswinkel einfallenden Strahlen) wird als kontinuierlich zunehmende (positive, reelle) Zahlenreihe gedacht, die sich über ein gewisses Intervall erstreckt; b) die (Disposition der Strahlen, die) **kontinuierliche Farbreihe** von Rot, Gelb, Grün, Blau und Violett zusammen mit allen sukzessiven Abstufungen und Zwischenfarben (zu erzeugen) [es gibt unendlich viele davon];

(3) Aus verschiedenen Mischungen dieser (einfachen, homogenen) Strahlen werden alle anderen Farben hervorgebracht; die Farben Weiß, Grau und Schwarz setzen sich aus konfusen Mischungen aller Strahlen zusammen;

(4) Die **Oberflächenfarben** von Körpern kommen durch eine gewisse Disposition der Körper zustande, einige Strahlen zu reflektieren und alle anderen zu absorbieren („intromittant“); ein weißer Körper reflektiere fast alle Strahlen, während ein schwarzer Körper fast alle Strahlen absorbiere und nur ganz wenige reflektiere;

→ Zum Beweis dieser grundlegenden Propositionen: (1) wird nicht mehr ausdrücklich bewiesen, sondern Newton verweist auf die Ergebnisse der ersten beiden Lektionen; (2) beweist er in der dritten Lektion; (3) wird in zwei Teile aufgespalten: (3.1): er zeigt, daß weißes Licht aus allen Arten von Farben zusammengesetzt werden kann (Lektionen 4-5); (3.2): er zeigt, daß das Sonnenlicht deshalb weiß ist, weil in ihm eine Mischung aus allen Farben latent enthalten ist (Lektion 6); der Beweis von (4) fehlt in der ersten Vorlesungsreihe und wird erst in der zweiten Vorlesungsreihe nachgeholt.

B) 2. Vorlesungsreihe (1671/72): *Optica*

Diese zweite Vorlesungsreihe, die eine Überarbeitung der ersten darstellt, wurde vermutlich im Februar 1672 endgültig fertiggestellt; die Statuten verlangen, daß Newton ein Manuskript seiner Vorlesungen in der Universitätsbibliothek zu hinterlegen hatte; dies tat er im Oktober 1674;

→ Änderungen gegenüber der ersten Version: die *Optica* sind um ca. 45% länger als die *Lectiones Opticae*; (letztere umfaßten nur 18 Vorlesungen, während die *Optica* 31 Vorlesungen umfassen); beides stimmt allerdings inhaltlich in ca. 85% überein; die wichtigsten Änderungen sind folgende:

- i) Inhalte, die in den *Lectiones Opticae* bereits angekündigt, aber nicht mehr ausgeführt wurden, werden nun nachgeliefert; dies betrifft insbesondere den Beweis der 4. Proposition über die Oberflächenfarben von Körper und die Erklärung des Regenbogens;
- ii) neue Themen kommen hinzu: z.B. das Prinzip der Unveränderlichkeit der Farben und die Analogie des Farbspektrums zur Harmonie der Töne in der Musik;
- iii) neue Experimente und Argumente werden angeführt;
- iv) die Stellung des mathematischen Teils innerhalb der Vorlesungsreihe wird verändert; er wird nun **vor** der Abhandlung über die Farben eingefügt und nicht mehr am Schluß; die *Optica* zerfallen in zwei Teile; in Teil I (15 Vorlesungen) handelt er zu Beginn in den ersten drei Vorlesungen das erste Prismaexperiment und die Interpretation des länglichen Spektrums ab; dann folgt in den Vorlesungen 4-15 der mathematische Teil; Teil II (16 Vorlesungen) wendet sich dann der Farbenlehre und dem experimentellen Teil zu; hier wird eine eigenständige Vorlesung über die Unveränderlichkeit monochromatischer Farben neu eingefügt; neu ist auch die 11. Vorlesung des zweiten Teils, die die Analogie von Farben und Tönen behandelt; die Lektionen 12-16 enthalten eine Ausweitung des synthetischen Teils von Newtons Lehre, d.h. der Anwendung von zuvor entwickelten Funda-

menten oder Prinzipien auf die Phänomene, der ab der 10. Vorlesung beginnt; in der Erweiterung kommen auch Experimente zur Sprache, die sich mit Bildern befassen, die nicht auf einen Schirm projiziert werden, sondern direkt durch das Prisma betrachtet werden; diesen Teil der (synthetischen) Anwendungen seiner Theorie hatte er in der ersten Vorlesungsreihe zwar angekündigt, aber dann zugunsten des mathematischen Teils unterdrückt; die Lektionen 14-16, die den Schlußteil der *Optica* bilden, enthalten Phänomene der Farberzeugung durch Brechungen an gekrümmten Oberflächen (Linsen, Auge, Regentropfen);

v) Newton nimmt eine Änderung an den Fundamenten der Farbenlehre vor; er erweitert die Zahl der Grundsätze oder Propositionen auf 5; unverändert übernommen wird lediglich der erste Grundsatz sowie der fünfte, der zuvor als vierter Grundsatz fungierte; neu sind insbesondere Grundsätze der Unveränderlichkeit der „Disposition oder Form“ eines (monochromatischen) Strahls sowie der Begriff der „ursprünglichen Farbe“;

Fundamente und Ursprünge der Farben in fünf Propositionen (Newton, *Optical Papers I*, 436/438):

(1) Unterschiedlich brechbaren Strahlen korrespondieren („competare“ = zusammenfallen, entsprechen, zukommen) unterschiedliche Farben; stärkste Brechbarkeit: Violett, schwächste Brechbarkeit: Rot; dazwischen liegen folgende Farben nach der (zunehmenden) Quantität ihrer Brechbarkeit geordnet: Gelb, Grün, Blau sowie alle (kontinuierlich) dazwischenliegenden Grade und Zwischenfarben; (Umkehrung wird nicht eigens als Proposition aufgeführt);

(2) Die „**Form**“ oder „**farberzeugende Disposition**“ („forma sive dispositio colorifica“) kann bei keiner Art („genus“) von Strahlen verändert werden, weder durch Brechung noch durch andere Ursachen; sondern: jeder „Form“ oder „Disposition“ kommt eine und nur eine einheitliche Farbe, die ihr eigentümlich ist;

(3) Die Farben **Weiß** und **Schwarz**, sowie alle dazwischenliegenden Grautöne, kommen durch eine **Mischung von (monochromatischen) Strahlen aller übrigen Farben** zustande; ähnlich gilt auch für alle anderen Farben, die nicht ursprünglich sind, daß sie durch verschiedene Mischungen von (monochromatischen) Farben zustande kommen;

(4) **Primitive** oder **ursprüngliche Strahlen** zeichnen sich dadurch aus, daß sie aus einer Mischung der sie jeweils begrenzenden (monochromatischen) Strahlen hervorgehen; z.B. Grün aus Gelb und Blau, Gelb aus Blau und Orange etc.; unter „**primitiven Farben**“ versteht Newton nicht nur die fünf Hauptfarben, sondern jede andere Farbe, die als eigentümliche Disposition einer bestimmten Art von Strahlen zukommt;

(5) Die **Farben** der sichtbaren **Körper** kommen durch eine bestimmte Disposition dieser Körper zustande, gewisse Strahlen zu reflektieren und andere zu absorbieren;

[völlig neu ist die vierte Proposition, die das definiert, was eine „primitive“ oder „ursprüngliche“ Farbe bedeutet; zwar kommt bereits innerhalb der *Lectiones Opticae* (Newton, *Optical Papers I*, 100) der Begriff der „einfachen Farben“ („colores simplices“) vor, aber Newton gibt keine Erklärung oder Definition derselben; in der *New Theory about Light and Colours* spricht Newton von „original“, „simple“ und „primary“ Farben; in seiner Antwort an Hooke (11.06.1672) sowie in der Reformulierung seiner Theorie für Huygens bezieht er die Einfachheit nicht mehr auf die Farben (denn: einfache und zusammengesetzte Farben erscheinen beide gleich, zwischen beiden gibt es keinen sinnlich wahrnehmbaren Unterschied), sondern auf die Gleichheit der Brechbarkeit der 'farberzeugenden' Strahlen; er nennt diese Strahlen dann auch „homogen“; dieser Begriff wird ebenfalls in die *Opticks* übernommen, und zwar als Definitionen VII und VIII (I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 4; im folgenden zitiert als: Newton, *Opticks*);

Beweis von (1): cf. *Lectiones Opticae*, Lektionen 1-3 (Newton, *Optical Papers I*, 47-99);

Beweis von (2): Unveränderlichkeit der Strahlen (Invarianz) siehe *Optica*, Teil II, Lektion 3, (Newton, *Optical Papers I*, 452-461);

[die Bedeutung dieser Proposition wurde Newton in den *Lectiones Opticae* klar, als er die Zusammengesetztheit des Sonnenlichts aus allen Strahlenarten beweisen wollte; die Schwierigkeiten, die Newton der Beweis dieses Invarianzprinzips machte, führten dazu, daß er in fast jedem Neuansatz der Fundamente seiner Farbenlehre diese Proposition neu formulierte; z.B. i) in der *New Theory about Light and Colours* von 1672 (Prop. 3) verknüpfte er die Unveränderlichkeit der Farben mit dem Grad der Brechbarkeit; ii) in seinem Brief an Huygens (23.06.1673) löste er dieses Prinzip in drei Propositionen auf, die sich auf die Unveränderlichkeit von Strahlen hinsichtlich 1. einer wechselseitigen Einwirkung, 2. durch Brechung, 3. durch angrenzenden Schatten beziehen; iii) in den *Opticks*, Buch I, Teil II, Prop. II (Newton, *Opticks*, 122), verknüpft er das Prinzip der Unveränderlichkeit der Farben mit der Korrespondenz von Farbe und Grad der Brechbarkeit; eine eingeschränkte Version des Unveränderlichkeitsprinzips findet sich bereits bei zwei von Newtons Vorgängern: a) Robert Boyle, b) Marcus Marci];

zum Beweis der Proposition verweist Newton auf das Experiment mit den zwei senkrecht zueinander stehenden Prismen; darüber hinaus erinnert er an seine Interpretation der länglichen Form des Spektrums; die Farben, die man dort sehe, seien durchgängig heterogene Farben; um die einfachen Farben zu erhalten, müßten diese erst durch weitere Brechungen getrennt werden (Newton, *Optical Papers I*, 454); wie geht Newton beim Beweis

vor?

a. in einem ersten Schritt versucht er so gut es geht die Farben zu separieren;

nun ergeben sich zwei Möglichkeiten: 1. die Farben werden durch Brechungen in ihrer inneren Konstitution verändert → je mehr Brechungen sie unterworfen werden, umso größer muß die Veränderung bei jeder weiteren Brechung ausfallen (Verstärkung der verändernden Effekte); oder (im Gegenteil, „contra“) 2. die Farben werden durch Brechung nicht in ihrer inneren Konstitution verändert, sondern lediglich aus einer Mischung mit anderen Farben getrennt → je mehr Brechungen sie unterworfen werden, um so geringer muß die Veränderung bei jeder weiteren Brechung ausfallen; denn: nach jedem Schritt würden „einfachere“ Farben als Resultat herauskommen, die weniger mit anderen Farben gemischt sind; also müßte der Effekt der Entmischung und zunehmenden Reinheit der Farben nach jeder Brechung immer klarer zum Ausdruck kommen; [Grenzwertbetrachtung: irgendwann werden die Veränderungen so klein sein, daß sie unter die Wahrnehmungsschwelle fallen und die Farben daher konstant erscheinen];

→ Newton hat zwei klare, einander ausschließende Alternativen formuliert, zwischen denen eine experimentelle Entscheidung herbeigeführt werden kann; er konstatiert nun, daß seine diesbezüglichen Experimente (er gibt an, bis zu vier aufeinanderfolgende Brechungen eines Lichtstrahls durchgeführt zu haben, wobei schon bei der dritten Brechung keine Veränderungen mehr wahrnehmbar gewesen seien (cf. Newton, *Optical Papers I*, 456);

[in den *Opticks* teilt er den Beweis der Unveränderlichkeit der monochromatischen Lichtstrahlen in zwei Teile auf: a) Problem der Trennung der einzelnen Farben: Buch I, Teil I, Prop. IV (Newton, *Opticks*, 64-72); b) Beweis der Unveränderbarkeit der Farben: Buch I, Teil II, Prop. II (op. cit., 122-124)];

er gibt noch eine weitere Methode an, um die Farben zu trennen: man macht die Einfallsöffnung der Lichtstrahlen kleiner, so daß beim entstehenden Spektrum das Verhältnis von Länge zu Breite sich entsprechend vergrößert; dann überlagern sich die Arten der individuellen Farbstrahlen weniger;

→ Newton verweist zusätzlich auf eine weitere Variante des Experiments mit den zwei rechtwinklig zueinander versetzten Prismen; wenn das Licht des ersten Prismas mit einer Linse gebündelt auf eine kleine Öffnung des zweiten Prismas gelenkt wird, dann beobachtet man ein rundes Spektrum ein und derselben Farbe, das lediglich gewisse Abstufungen dieser Farbe aufweist (cf. Newton, *Optical Papers I*, 458: **„Atque adèo nil dubitandum esse censeo quin colores evaderent prorsus immutabiles, si modo (per indefinitam parvitatem foraminum F et N) in simplices discerni possent.“** Cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 459: „Hence I think that it must not be doubted that colors would certainly prove to be

immutable if only they could be separated into simple ones through indefinitely small holes F and N.“)

Darüber hinaus hat Newton statt der runden Öffnung für den einfallenden Lichtstrahl auch eine dreieckige Öffnung gewählt; dann ergab sich ein Spektrum, bei dem sich entlang einer Achse unendlich viele Dreiecke überlagerten; dabei zeigte sich, daß die Überlagerung an den Grundseiten am größten war, zu den Spitzen hin jedoch abnahm; daher zeigten die obersten Spitzen alle einfache Farben, ohne jede Überlagerung durch andere; abschließend erwähnt er noch, daß er auch eine Reihe von weiteren Experimenten durchgeführt hat, um Farbbänderungen durch Reflexion herbeizuführen; diese seien alle mit einem Resultat ausgegangen;

[cf. Kommentar Shapiro, *Optical Papers*, 461-463, Anm. 18: Newton habe später erkannt, daß er hier nur bewiesen habe, „that colors are immutable only after they have been refracted once and separated from one another - or for what he calls ‘secondary’ refractions - and not that they are so in the case of the sun’s direct light - or for the ‘primary’ refraction.“ (Op. cit., 461) Später habe er gesehen, daß es unmöglich sei, das Unveränderlichkeitsprinzip für die „primäre“ Brechung experimentell zu beweisen; denn: vor und nach der ersten Brechung des weißen Sonnenlichts erfahren die Strahlen in der Tat eine (sinnlich wahrnehmbare) Veränderung; Newton ist sich dieses Problems erstmals in seiner Antwort an Huygens vom 23.06.1673 voll bewußt geworden; dort hat er das Unveränderlichkeitsprinzip in drei Propositionen aufgelöst und versucht, die Unveränderlichkeit der Strahlen nach der primären Brechung auf das Prinzip der Superposition zu gründen, welches besagt, daß kein Strahl auf einen anderen eine Wirkung ausüben könne; dies gelte insbesondere für alle Strahlen, aus denen sich das weiße Sonnenlicht zusammensetzt;

Newton hat diesen und auch andere Beweise des Prinzips der Unveränderlichkeit der Farbstrahlen für die primäre Brechung später in dem Fragment *Fundamentum Opticae*, das im wesentlichen einen Entwurf (auf Latein) des ersten Buches der späteren *Opticks* enthält und etwa aus dem Jahre 1694 stammt, weiter verfolgt und zwar in der Prop. 12, der letzten Proposition desselben; (Manuskript Add. 3970, f. 418r; cf. dazu A. E. Shapiro, „The Evolving Structure of Newton’s Theory of White Light and Color“, in: *Isis* 71 (1980), 211-235 (im folgenden zitiert als: Shapiro 1980); insbes. 231f.; dort beschreibt Shapiro vier Beweisversuche, die Newton für das ‘starke Unveränderlichkeitsprinzip’, nämlich daß die *heterogenen* Strahlen des direkten Sonnenlichts durch Brechung oder Reflexion nicht verändert werden können, unternommen hat;

1. Beweisversuch: die „individuellen farberzeugenden Qualitäten“ („singulae qualitates colorificae“) korrespondieren individuellen Graden der Brechbarkeit + der Grad der Brechbarkeit ist unveränderlich → die farberzeugenden Qualitäten sind unveränderlich; die zweite Prämisse, nämlich daß der Grad der Brechbarkeit jedes einzelnen Strahls un-

veränderlich sei, ist eine Voraussetzung des Beweises des Sinusgesetzes der Brechung für jeden einzelnen Strahl [cf. Newton, *Opticks*, Buch I, Teil I, Prop. VI, 75: „**That every Ray consider'd apart, is constant to it self in some degree of Refrangibility, is sufficiently manifest out of what has been said.**“]; wenn man diese Prämisse zugibt, scheint der Beweis schlüssig; dennoch gibt es ein Problem: die Korrespondenz zwischen Brechbarkeit und Farbe konnte experimentell nur bestätigt werden, *nachdem* das Sonnenlicht in seine Spektralfarben zerlegt worden war; diese Korrespondenz kann nicht ohne weiteres auf das direkte Sonnenlicht ausgedehnt werden, also *bevor* die Farben durch Brechung sichtbar gemacht worden sind; denn: Newton behauptet ausdrücklich nicht, daß es sich bei der Beziehung von Farbe und Grad der Brechbarkeit um eine notwendige oder kausale Beziehung handele (Shapiro 1980, 231); darüber, so Newton, könne er nur Hypothesen aufstellen, die noch nicht hinreichend bewiesen seien; (dennoch hat er in der *Hypothesis of Light* von 1675 sowie in der Einleitung in die *Lectiones Opticae* die Vermutung geäußert, daß Farbe und Brechbarkeit eine gemeinsame Ursache hätten);

2. Beweisversuch: hier beruft sich Newton auf die allgemeine Übereinstimmung der Philosophen, daß es nach der ersten Brechung keine weiteren Modifikationen der Strahlen geben könne, es sei denn, sie kämen durch die Begrenzung von Licht und Schatten zustande; daß diese Art von Modifikationen aber ausgeschlossen sind, habe er bereits hinreichend gezeigt; also sind alle Modifikationen ausgeschlossen; also sind die individuellen Farbstrahlen unveränderlich; [dieses Argument, so Shapiro, sei nicht ernst zu nehmen, da es an Autoritäten appelliere, die sich in einem Fall nachweislich getäuscht hatten; warum sollten sie sich nicht auch in andern Fällen täuschen (op. cit., 232)];

3. Beweisversuch: hier bezieht er sich auf den Beweisversuch, den er für Huygens entworfen hatte; er verweist dabei auf Prop. VIII der *Fundamentum Opticae* (die entsprechende Proposition findet sich in den *Opticks* an folgender Stelle: Newton, *Opticks*, Buch I, Teil II, Prop. II, 122: das homogene Licht hat seine eigentümliche Farbe, die seinem Grad der Brechbarkeit korrespondiert und diese Farbe könne durch Reflexion und Brechung nicht verändert werden); auch mit diesem Beweis war Newton unzufrieden, da er eine der Voraussetzungen des Beweises, nämlich das Superpositionsprinzip oder die Nichteinwirkungsmöglichkeit der Strahlen aufeinander, nicht beweisen konnte;

4. Beweisversuch: ist nicht erhalten; er beginnt wie der dritte Beweisversuch, bricht aber auf der letzten Seite des *Fundamentum Opticae* ab;

schließlich hatte Newton erwogen, das Unveränderlichkeitsprinzip in Gestalt des Superpositionsprinzips zu einem Axiom zu erheben; dies zeigt der Entwurf eines beabsichtigten Axioms 4 der *Opticks* (Add. 3970, f. 392r), der etwa aus dem Jahr 1694 stammt; darin heißt es:

„The effect of reflection or refraction upon any light is the same

whether that light be alone or whether it be mixed wth any other light. Tis as much refracted alone as in a mixture & its colour and properties are the same whether any other light do any where cross it or not. Tis true that by mixing two lights of several colours a new colour may be compounded but this is done not by changing the properties of either light but only by intermixing their actions in ye sensorium, much after ye manner that yellow & blew pouders ground well together do by intermixing the actions of their lights in the sensorium appear green to the naked eye. For the particles of the mixture still continue blew & yellow as may be seen by viewing them through a good Microscope. The production therefore of a new colour by mixing of two or more sorts of light is no argument of any real change of colour made in ye lights. For when the lights by crossing & diverging separate from one another they appeare severally of ye very same colours they had before they entered ye mixture.“

(Zitiert nach Shapiro 1980, 233; dieses Axiom hat er später jedoch in den *Opticks* wieder weggelassen; in den *Opticks* erkannte er, daß das starke Unveränderlichkeitsprinzip nicht bewiesen werden kann und er hat sich dort auf den Beweis des ‘schwachen Unveränderlichkeitsprinzips’ beschränkt, welches sich auf den einzelnen, *homogenen* Strahl *nach* der ersten Brechung des weißen Sonnenlichts bezieht);

Beweis von (3): (Newton, *Optical Papers I*, 462-506)

Newton bemerkt dazu, daß die Wahrheit dieser Behauptung aus der vergangenen Proposition „manifest sei“; denn: die Farben, die nicht zu den primitiven Farben zählten, seien notwendigerweise durch Komposition verschiedener anderer Farben erzeugt (op. cit., 462); dennoch wolle er dies noch ausführlicher und ausgedehnter („fusius“) beweisen, indem er zeige, daß, wenn alle die Farben, die ein Prisma erzeuge, richtig gemischt werden, das Resultat eine weiße Farbe sei; damit solle „sicher feststehen“ („certissime constat“), daß das Licht, das der Farbe Weiß korrespondiere, aus heterogenen Strahlen sowohl hinsichtlich der Brechbarkeit als auch hinsichtlich der farberzeugenden Qualität zusammengesetzt sei;

Beweis von (4): (Newton, *Optical Papers I*, 506-508)

Newton gibt Beispiele für die Mischung von einfachen, primitiven Farben aus den ihnen an jeder Seite des Spektrums benachbarten Farben; später benutzte er den Farbkreis, um die Mischungen beliebiger (nicht nur benachbarter) Farben erklären zu können;

Beweis von (5): (Newton, *Optical Papers I*, 508-510)

Auch diese Proposition, so Newton, folge aus dem bereits Bewiesenen („tanta necessitate et evidentia consequitur“), so daß kein eigenständiger Beweis mehr nötig sei; denn: **„utpote cùm ostensum sit quòd nullius generis uniformium radiorum color per reflexionem a corpore physico mutari possit, sed unumquodque colore radiorum tinctum apparet quibuscum illuminatur.“** (Op. cit., 508; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 509: „since it was shown that the color of no kind of uniform rays could be changed by reflection from a physical body, but that one and the same body appeared colored with the color of the rays that illuminate it.“)

Unmittelbar nachdem Newton seine Bemerkungen zu dem Beweis dieser Proposition beendet hat, verweist er auf einige Erscheinungen, die aus seinen Prinzipien mit Notwendigkeit folgten und die ohne diese sehr schwer erklärbar seien; offensichtlich folgt hier ein Teil, den Newton sonst der **Synthese** zurechnen würde (Newton, *Optical Papers I*, 510-516).

C) New Theory about Light and Colours (Februar 1672)

Nachdem Newton den Grundsatz hergeleitet hat, daß das Sonnenlicht aus Strahlen von unterschiedlicher Brechbarkeit besteht, legt er seine Theorie („Doctrine“) der Farben in Gestalt von 13 Propositionen dar; diese Propositionen sollen seine Theorie zusammenfassen („comprehend“) und veranschaulichen („illustrate“); bedeutsam ist, daß sich hier zwischen dem, was Newton in den Vorlesungen zur Optik als **Fundamente** oder **Prinzipien** seiner Lehre bezeichnete, und den **Erklärungen von Erscheinungen** aufgrund dieser Prinzipien, eine analoge Zweiteilung der 13 Propositionen ergibt: die Propositionen 1 - 8 legen die Fundamente oder Prinzipien seiner Theorie dar (gefunden durch **Analyse**), während die Propositionen 9 - 13 Anwendungen seiner Prinzipien auf Erscheinungen enthalten (Bestätigung durch **Synthese**); daher sollen zum Vergleich der Fundamente der Theorie nur die ersten acht Propositionen herangezogen werden (cf. I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull, J. F. Scott, A Rupert Hall, Laura Tilling, 7 vols., Cambridge 1959-1977, Vol. I, Cambridge 1959, 97f.; im folgenden zitiert als: Newton, Cor. I):

(1) so wie die Lichtstrahlen in ihren Graden der Brechbarkeit differieren, so differieren sie in ihrer Disposition, eine bestimmte Farbe hervorzurufen; **Farben** sind keine ‘Qualifizierungen des Lichts’ („Qualifications of Light“), [Newton meint vermutlich Modifikationen], die von Brechungen oder Reflexionen an natürlichen Körpern herrühren, sondern **„ursprüngliche und eingeborene Eigenschaften“** („*Original and connate properties*“), die unterschiedlichen Strahlen auf jeweils genuine Weise eigentümlich sind;

dies gilt nicht nur für die Hauptfarben, sondern auch für alle (im Prinzip unendlich viele) Zwischengrade; [in den Vorlesungen hat Newton diesen Sachverhalt als allgemeine Grundlage seiner Theorie behandelt und nichts eigens als Proposition ausgezeichnet];

(2) es gibt eine eindeutige **Korrespondenz zwischen Grad der Brechbarkeit und Farbe**; die Strahlen mit geringster Brechbarkeit korrespondieren der roten Farbe, die Strahlen mit größter Brechbarkeit korrespondieren der violetten Farbe; alle Zwischenfarben korrespondieren in einer kontinuierlichen Reihe den Zwischengraden der Brechbarkeit; Newton spricht davon, daß diese **Analogie** zwischen Farben und Brechbarkeit sehr „präzise und strikt“ („very precise and strict“) sei; [entspricht den Prop. 1 + 2 der *Lectioes Opticae* und der Prop. 1 der *Optica*];

(3) **Unveränderlichkeitsprinzip: Die Farbgestaltung und der Grad der Brechbarkeit**, die einer besonderen Strahlenart zukommt, ist weder durch Brechung noch durch Reflexion noch durch eine andere Ursache veränderbar; [diese Proposition tauchte in den *Lectioes Opticae* noch nicht auf, wurde aber in der *Optica* als zweite Proposition aufgeführt; Newton hat ihre Bedeutung für den Beweisversuch der Zusammengesetztheit des weißen Lichts vor der ersten Brechung erkannt; allerdings bezieht sich dort die Unveränderlichkeitsbehauptung nicht auf den Grad der Brechbarkeit, sondern auf die „Form“ oder „farberzeugende Disposition“ eines Strahls];

(4) **Farben** können nur dann verändert werden, wenn sie aus einer **Mischung heterogener Strahlen** bestehen; wird eine solche farbig erscheinende Mischung gebrochen, werden die in der Mischung enthaltenen Strahlen separiert; dann erscheinen Farben, die von der Ausgangsfarbe abweichen; diese werden aber nicht neu erzeugt, sondern nur (durch die Brechung und damit verknüpfte Separierung) als latent vorhandene zur Erscheinung gebracht; [dies ist kein Grundsatz im eigentlichen Sinne, sondern nur die Beschreibung einer Erscheinung, die zeigt, daß es zwei Arten von Farben gibt, die sinnlich nicht unterschieden werden können];

(5) es gibt zwei Arten von Farben: a) **ursprüngliche, einfache Farben**, b) solche, die aus ursprünglichen und einfachen Farben **zusammengesetzt** sind; ursprüngliche Farben sind: Rot, Gelb, Grün, Blau, Violett + Orange und Indigo + unendlich viele Zwischengrade (d.h. es gibt im Prinzip unendlich viele ursprüngliche Farben); [diese Proposition fehlt ebenfalls in den *Lectioes Opticae*, aber sie taucht in den *Optica* als Prop. 4 auf; in seiner Antwort auf Hookes Einwände definiert Newton den Unterschied folgendermaßen: „**That colour is primary or originall wch cannot by any art be changed, & whose rays are all alike refrangible; & that compounded which is changeable into other colours, & whose rays are not alike refrangible.**“ (Newton, Cor. I, 180)];

(6) jede **ursprüngliche Farbe** kann durch eine **Mischung aus den ihr benachbarten Farben** erzeugt werden; [dies entspricht der Prop. 4 der *Optica*];

(7) um **Weiß** zu erzeugen, ist eine **Mischung aus allen ursprünglichen Farben** notwendig; wenn man alle Prismenfarben zusammenführt und die Mischung wiederherstellt, die *vor* dem Auftreffen auf das Prisma vorhanden war, dann erkenne man ein perfektes Weiß, das von dem Weiß des direkten Sonnenlichts durch Wahrnehmung nicht zu unterscheiden sei; [dies entspricht der Prop. 3 der *Lectioes Opticae* und der Prop. 3 der *Optica*; in den Vorlesungen verweist Newton noch darauf, daß dies auch für Schwarz und alle Grautöne gelte];

(8) **Erklärung** dafür, daß **Weiß** die **gewöhnliche Farbe des Lichts** sei; denn: das Licht sei ein Aggregat von Strahlen, die die Disposition zu allen Farben besäßen, sofern sie von den verschiedensten Teilen leuchtender (farbiger) Körper ausströmten; [diese Proposition ist gewissermaßen ein Anhang zur Prop. 7 der *New Theory*; sie kommt in den Vorlesungen nicht als eigenständiger Satz vor; darüber hinaus gehört sie fast schon dem Teil der „Synthese“ an, da sie aufgrund der Prop. 7 eine Erklärung eines Phänomens, nämlich der weißen Farbe als gewöhnlicher Farbe des Lichts, zu geben versucht].

Nachdem Newton diese Grundsätze entwickelt hat, fügt er weitere 5 Proposition (9-13) an, in denen er mithilfe der zuvor entwickelten Grundsätze gewisse Phänomene zu erklären versucht; diese entspräche dem synthetischen Teil der Methode; allerdings hatte er zuvor erklärt, daß er sich eine Ausführung des experimentellen Teils, der diese Grundsätze beweisen soll, erspart hat und statt dessen nur paradigmatisch ein oder zwei Beispiele für diesbezügliche Experimente geben wolle: **„To continue the historicall narration of these experiments would make a discourse too tedious & confused, & therefore I shall rather lay down the Doctrine first, and then, for its examination, give you an instance or two of the Experiments, as a specimen of the rest.“** (Newton, Cor. I, 97.)

Am Ende stellt Newton fest: „the discourse it self will lead to divers Experiments sufficient for its examination“ (op. cit., 100); eines davon wolle er zum Schluß noch näher beschreiben; dies ist eine Variante des ersten Experiments; lediglich wird zwischen Prisma und dem Schirm, auf dem das Spektrum erscheint, eine Linse gesetzt; [cf. dazu auch Newton, *Optical Papers I*, 114; hier benutzt er dasselbe Experiment um zu zeigen, daß sich weißes Licht aus Strahlen unterschiedlicher Farbe zusammensetzt; cf. auch Newton, *Opticks*, Buch I, Teil II, Prop. V, Exp. 10, 135-142; hier dient das Experiment zum Beweis der Behauptung, daß die Farbphänomene, die bei Reflexionen und Brechungen auftreten, nicht durch neue Modifikationen verursacht werden, die gemäß den verschiedenen Begrenzungen von Licht und Schatten erfolgen]; in der *New Theory* benutzt Newton das Experiment im Sinne der *Lectioes Opticae*; es soll gezeigt werden, daß sich das weiße

Licht aus allen Strahlen zusammensetzt; ausgehend von dem beschriebenen Versuchsaufbau gibt er Hinweise für weitere Experimente, anhand deren man weitere Propositionen überprüfen kann, wie z.B. die Unveränderlichkeit der Farben; Voraussetzung dafür sei jedoch, daß die Farben hinreichend scharf getrennt würden.

D) Brief an Oldenburg vom 23. 06. 1673

Newton hat in seiner Reaktion auf die Kritik von Huygens die Grundlagen seiner Theorie 1673 nochmals reformuliert (Newton, Cor. I, 292-294):

I. Definitionen:

- 1) Homogenes, ähnliches oder gleichförmiges Licht** = Licht, dessen Strahlen gleich gebrochen werden;
- 2) Heterogenes Licht** = Licht, dessen Strahlen ungleich gebrochen werden; es gebe drei Zustände („affections“) des Lichts, hinsichtlich derer sich die Strahlen unterscheiden: Brechbarkeit, Reflektierbarkeit und Farbe; stimmten sie in der Brechbarkeit überein, dann auch in den beiden anderen Zuständen; Newton weist darauf hin, daß man gewöhnlich die Dinge **homogen** nennt, die in allen **Qualitäten** übereinstimmen, **die unserem Wissen zugänglich** sind; in anderen Qualitäten, die sich unserem Wissen entziehen, mögen sie heterogen sein; [hier handelt es sich eindeutig um eine *erkenntnistheoretische* Deutung der Definition und nicht um eine ontologische];
- 3) Einfache oder homogene Farben** = Farben, die von homogenem Licht herrühren;
- 4) Zusammengesetzte oder heterogene Farben** = Farben, die von heterogenem Licht herrühren;
- 5) Verschiedene Farben** = nicht nur die fünf bedeutendsten Arten Rot, Gelb, Grün, Blau und Violett, sondern alle anderen kleinsten Grade;

II. Propositionen:

Zunächst legt Newton fünf grundlegende Propositionen dar; die ersten beiden davon bezeichnet er als „Matters of fact“:

- 1)** das Sonnenlicht besteht aus Strahlen, die sich durch unbestimmt viele Grade der Brechbarkeit unterscheiden;
- 2)** Strahlen, die sich, wenn sie voneinander getrennt werden, hinsichtlich ihrer Brechbarkeit unterscheiden, unterscheiden sich entsprechend hinsichtlich der Farben, die sie zeigen;
- 3)** es gibt so viele einfache oder homogene Farben wie es Grade der Brechbarkeit gibt; Beweis: folgt aus Prop. 2 + Def. 1 & 3;

4) weißes Licht, das in allen Hinsichten dem unmittelbaren Sonnenlicht und den gewöhnlichen Objekten unserer Sinne gleicht, kann nicht nur aus zwei einfachen Farben zusammengesetzt werden; Beweis: folgt aus Def. 1 & 3 → eine solche Komposition aus zwei Farben kann nur zwei Grade der Brechbarkeit enthalten; → das daraus zusammengesetzte Licht kann nicht dem Sonnenlicht oder dem Licht gewöhnlicher weißer Objekte entsprechen nach Prop. 1;

5) weißes Licht, das in allen Hinsichten (Eigenschaften) dem Sonnenlicht gleicht, kann nur aus einer unbestimmten Anzahl einfacher Farben zusammengesetzt sein; Beweis: für eine solche Komposition sind Strahlen nötig, die mit allen unbestimmt vielen Graden der Brechbarkeit ausgestattet sind nach Prop. 1; und daraus folgen entsprechend viele einfache Farben nach Def. 1 & 3 und Prop. 2 & 3;

Dann folgen weitere fünf ergänzende Propositionen zur Erläuterung:

[Propositionen **6**) - **8**) sollen die Unveränderlichkeit der einfachen, homogenen Strahlen mittels des Prinzips der Superposition beweisen]

6) Die Lichtstrahlen üben keine Wirkung aufeinander aus, wenn sie durch dasselbe Medium verlaufen; Beweis: Newton verweist dazu auf Passagen seiner Antwort an Hooke (Abschnitt 10: Daß Weiß eine Mischung aus allen Farben ist) und meint, es gebe dafür auch noch weitere Beweise;

7) Die Lichtstrahlen erfahren durch die Brechung keine Veränderung ihrer Qualitäten;

8) Die Lichtstrahlen werden auch durch das sie begrenzende Medium in ihren Qualitäten nicht verändert; [Prop. 8 richtet sich gegen die Diffusionstheorien von Hooke, Grimaldi und Pardies];

Beweis der Propositionen 7 und 8: beide Propositionen manifestieren sich *de facto* in homogenem Licht; denn es zeigt sich, daß dessen Farbe und Brechbarkeit durch Brechung nicht verändert werden kann; wenn dies für homogenes Licht gelte, dann auch für heterogenes Licht, denn letzteres setzt sich aus ersterem zusammen und die Strahlen können nicht aufeinander einwirken (Prop. 6); diese beiden Propositionen könnten auch noch durch eine Reihe weiterer Experimente bewiesen werden;

9) aus weißem Licht können durch Brechung keine homogenen Strahlen abgesondert werden, die nicht zuvor darin enthalten waren; Beweis: folgt aus Prop. 7 & 8; die Brechung verändert nicht die Qualitäten der Lichtstrahlen, sondern separiert nur die Strahlen, die unterschiedliche Qualitäten aufweisen;

10) das Sonnenlicht ist ein Aggregat aus einer unbestimmten Mannigfaltigkeit homogener Farben; Beweis: folgt aus Prop. 1, 3 & 9; daher werden die homogenen Farben auch primitive und ursprüngliche Farben genannt.

NEWTONS METHODENLEHRE

V. IDEE EINER MATHEMATISCHEN NATURLEHRE

A. Newtons Vorlesungen zur Optik (1670-1672)

In der dritten Lektion der ersten Vorlesungsreihe 1670/71 *Lectiones Opticae* (die zweite Vorlesungsreihe von 1671/72 wird im folgenden, dem Sprachgebrauch von Shapiro folgend, *Optica* genannt) stellt Newton die Ursprünge der Farben sowie die Fundamente seiner Farbenlehre in Gestalt von vier Propositionen vor; diese, so verspricht Newton, sollen nicht nur **hypothetisch** und als **bloß wahrscheinlich** erörtert werden, sondern durch **Experimente** oder auf **beweisende Art**;

→ genau an diesem Punkt führt er erstmals seine Idee einer **mathematischen Wissenschaft** von den **Farben** ein (cf. I. Newton, *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: *The Optical Lectures 1670-1672*, ed. by A. E. Shapiro, Cambridge 1984, 86/88; im folgenden zitiert als: Newton, *Optical Papers I*); er verweist dabei auf andere Beispiele einer (erfolgreichen?) mathematischen Behandlung einer physikalischen Wissenschaft; dazu zählen 1) Astronomie (Himmel), 2) Geographie (Erde), 3) Navigation (Meer), 4) Optik (Licht), 5) Mechanik (Ortsbewegung);

[Shapiro bemerkt dazu in seiner 'Synopsis' (Newton, *Optical Papers I*, 28: „Newton [...] makes a powerful plea for mathematical natural science, while offering his new, mathematical theory of color as an example of the value of mathematics in natural philosophy. Thus, at the beginning of his career he had already clearly formulated a program for the reform of natural science that would come to full fruition in his *Philosophiae naturalis principia mathematica*, that is, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*.“]

Newton bekräftigt nochmals seinen Standpunkt, eine physikalische Wissenschaft von den Farben zu liefern, d.h. eine Wissenschaft, die sich mit der „Natur der Farben“ („naturam colorum“) befaßt; diese, so könne man meinen, gehöre nicht zur Mathematik;

aber: die **Affinität** zwischen den **Eigenschaften der Brechung** und den **Eigenschaften der Farben** sei so groß, daß beides nicht separat behandelt werden könne; wer eines von beiden hinreichend untersuchen möchte, muß notwendigerweise das andere untersuchen;

die Erzeugung der Farben enthalte so viel Geometrie und ihre Erkenntnis wird durch so viel Evidenz bestätigt, daß man die Grenzen der Mathematik erweitern müsse:

„Sic etiamsi colores ad Physicam pertineant, eorum tamen scientia pro Mathematicâ habenda est, quatenus ratione mathematicâ tractantur. Imò verò cùm horum accurata scientia videatur ex difficillimis esse quae Philosophus desideret; spero me quasi exemplo monstraturum quantum Mathesis in Philosophiâ naturali valeat; et exinde ut homines Geometras ad examen Na-

turæ strictiùs aggrediendum, & avidos scientiæ naturalis ad Geometriam priùs addiscendam hortet: ut nè priores suum omninò tempus in speculationibus humanæ vitæ nequaquam profuturis absumant, neque posteriores operam præposterâ methodo usque navantes, a spe suâ perpetuò decidant: Verùm ut Geometris philosophantibus & Philosophis exercentibus Geometriam, pro conjecturis et probabilitibus quæ venditantur ubique, scientiam Naturæ summis tandem evidentijs firmatam nanciscamur.“ (Newton, *Optical Papers I*, 86/88; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 87/89: „Thus although colors may belong to physics, the science of them must nevertheless be considered mathematical, insofar as they are treated by mathematical reasoning. Indeed, since an exact science of them seems to be one of the most difficult that philosophy is in need of, I hope to show - as it were, by my example - how valuable mathematics is in natural philosophy. I therefore urge geometers to investigate nature more rigorously, and those devoted to natural science to learn geometry first. Hence the former shall not entirely spend their time in speculations of no value to human life, nor shall the latter, while working assiduously with an absurd method, perpetually fail to reach their goal. But truly with the help of philosophical geometers and geometrical philosophers, instead of the conjectures and probabilities that are being blazoned about everywhere, we shall finally achieve a natural science supported by the greatest evidence.“)

Zu Beginn der 9. Lektion der *Lectiones Opticæ* (op. cit., 168/169) macht Newton eine Unterscheidung zwischen **reiner Mathematik** („mathematica pura“) und **Physik**; in diesem Sinne rechnet er die **Brechungsgesetze** der reinen Mathematik zu; sie liefert offenbar Sätze, die denselben Gehalt haben wie die der geometrischen Optik; [lassen sich die Sätze der reinen Mathematik mit unterschiedlichen physikalischen Prinzipien bzw. mathematischen Prinzipien der Physik kombinieren?];

In der 9. Vorlesung der ersten Vorlesungsreihe wendet sich Newton auch dem Brechungsgesetz zu; bis einschließlich der 11. Lektion befaßt er sich mit den Maßen der Brechungen; dabei formuliert er sein Dispersionsgesetz, das die Grundlage für seine restlichen Vorlesungen bildet; er gibt zu, daß dieses Gesetz ein rein theoretisches Konstrukt darstellt, für das er keine experimentellen Beweise habe;

[cf. A. E. Shapiro, „Experiment and mathematics in Newton’s theory of color“, in: *Physics Today* 37 (1984), 34-42; (im folgenden zitiert als: Shapiro 1984) auf S. 37 heißt es: „Besides the intrinsic problem that in Newton’s day the study of color was simply not ready for a unified mathematical treatment, perhaps the major weakness of his attempted mathematical theory of color was that it was only loosely related to his experimental the-

ory or, for that matter, to any experiment or observation.“ Cf. op. cit., 38: „Newton’s plan to develop a mathematical science of color was neer more than a program, and it must be reconstructed from his *Optical Lectures*.“]

Newton ging dabei in folgenden Schritten vor:

(a) Grundlage war die Eigenschaft der Brechbarkeit und der Brechungsindex, von dem er annahm, daß er jeweils einer bestimmten Farbe korrespondiert;

(b) auf dieser Grundlage stellte er fest, daß das Brechungsgesetz von Snell und Descartes für jede einzelne Farbe isoliert gilt; er schlägt eine experimentelle Verifikation vor, hält sie aber für unnötig;

(c) um die Variation des Brechungsgrades mit der Farbe zu beschreiben, d.h. die Dispersion, konstruiert Newton ein Modell der Brechung, das demjenigen von Descartes sehr ähnlich ist, bei dem die kleinsten Teilchen einen Impuls beim Durchgang durch eine brechende Oberfläche erhalten; allerdings gilt dies nur implizit; in den *Lectiones Opticae* hat Newton alle mechanistischen Spuren getilgt und dies Gesetz als rein mathematisches Gesetz dargestellt; (→ Z. Bechler, „Newton’s Search for a Mechanistic Model of Colour Dispersion: A Suggested Interpretation“, in: *Archive for History of Exact Science* 11 (1973), 1-37); das Modell unterstellt, daß bei einem nur sehr kleinen Einfallswinkel in jedem beliebigen Medium Strahlen (Korpuskeln?) aller Farben denselben Geschwindigkeitszuwachs rechtwinklig zur brechenden Oberfläche erhalten; dies nennt Shapiro (op. cit., 38) das „quadratische Dispersionsgesetz“;

$$\frac{\Delta n}{\Delta n'} = \frac{(\frac{1}{n})(n^2 - 1)}{(\frac{1}{n})(n'^2 - 1)}; \Delta n \text{ bedeutet hier die Dispersion bzw. die Differenz der Brechungsindexe}$$

für die extremen roten und extrem violetten Strahlen in einem gegebenen Medium; n ist der mittlere Brechungsindex (grüne Strahlen), während die Kennzeichnung durch den Strich auf ein zweites Medium verweist; Shapiro 1984, 38: „[...] we should note that implicit in it is the simple but erroneous assumption that dispersion is independent of the nature of the refracting substance and is solely a property of light.“

Wenn die Parameter dieses Modells (in nur drei Messungen für eine Substanz) festgelegt sind, dann reicht ein Wert eines Brechungsindex’ für eine Substanz aus, um alle Brechungen darin zu bestimmen;

Insgesamt beruht Newtons Versuch der Entwicklung **einer rationalen (mathematischen) Farbenlehre** auf **drei Prinzipien**:

(1) Das **Sinusetz** der Brechung: es legt die Brechung jedes Strahls für jeden beliebigen Einfallswinkel für ein gegebenes Medium fest,

(2) Das **Dispersionsgesetz**: es legt den Brechungsindex der Strahlen von jeder beliebigen Farbe fest, wenn man denjenigen einer einzigen (beliebigen) Farbe kennt;

(3) Das **Gesetz der relativen Brechungsindices**: dies Gesetz war bereits bekannt, aber Newton hat es auf Strahlen von unterschiedlicher Brechbarkeit ausgedehnt; dies Gesetz erlaubt, den Brechungsindex für zwei beliebige Medien ohne weitere Messungen

anzugeben, wenn deren Brechung jeweils im Verhältnis zu einem gemeinsamen Medium, z.B. Luft, bekannt ist;

Shapiro 1984, 38: „Thus, Newton developed a theory in which the barest minimum of measurements are needed to describe the refractions of any color in every medium.“

Newton gibt zu (Newton, *Optical Papers I*, 201), daß er seine Theorie nicht aus Experimenten hergeleitet habe; er habe aber keinen Zweifel, daß dies möglich sei und daher unterstelle er es als gültig ohne weitergehenden Beweis;

→ aus dem Entwurf eines Briefes von Newton an Robert Hooke geht hervor, daß diese drei Prinzipien der Brechung die Grundlage seiner mathematischen Behandlung der Farbenlehre bildeten; Shapiro meint (Shapiro 1984, 39), daß Newtons Ansatz eher dem der **geometrischen Optik** ähnele, aber nicht dem einer physikalischen Optik, da das **Ziel** seiner mathematischen Wissenschaft der Optik in der **Beschreibung des Verhaltens von farbigem Licht** bestehe, aber nicht in der **Erforschung** von dessen **Ursachen** (??);

→ die restlichen Teile der *Lectiones Opticae* bestehen darin, aus diesen drei genannten Prinzipien der Brechung weitere Propositionen abzuleiten, die den Inhalt seiner mathematischen Wissenschaft der Farben bilden sollten; Shapiro: fast alle dieser Propositionen seien falsch, da sie auf dem quadratischen Dispersionsgesetz beruhten; Problem: Newton hat diese Sätze nicht mehr experimentell überprüft; erst in den *Opticks* hat er dann einen Teil der Irrtümer korrigiert;

→ in seiner Revision der *Lectiones Opticae* hat er gravierende Umstellungen vorgenommen: hier geht der mathematische Teil, der über die Brechung handelt, dem Teil über die Farbenlehre voraus; allerdings waren damit keine wesentlichen Änderungen weder im experimentellen Teil noch im mathematischen Teil verbunden; indes hat er einen brillanten Abschnitt über die polychromatische Strahlung hinzugefügt: er behandelt die chromatische Aberration einer Linse und die Breite eines Regenbogens;

weitere Änderung: **Analogie** zwischen **Farben** und **Tönen**; diese Analogie führte ihn zu einem zweiten (linearen) Dispersionsgesetz:

$$\frac{\Delta n}{\Delta n'} = \frac{(n-1)}{(n'-1)}; \text{ dieses Gesetz taucht auch in dem Entwurf seines Briefes an Robert Hooke auf; (Shapiro 1984, 40); These Shapiros: rein quantitativ differierten beide Gesetze nur wenig; allerdings hätten beide ganz unterschiedliche und miteinander unvereinbare physikalische Implikationen; denn: das erste (quadratische) Dispersionsgesetz hat Newton aus einer dynamischen Theorie der Brechung (Kräfte) abgeleitet, so wie er sie später in den } \textit{Principia} \text{ entwickelt hat; das zweite (lineare) Dispersionsgesetz hingegen fußt ausschließlich auf Prinzipien seiner Farbenlehre (Unveränderlichkeit der Farbe und des Brechungsgrades); er habe beide Gesetze nicht weiter empirisch überprüft; in den } \textit{Opticks} \text{ habe er später das zweite, lineare Dispersionsgesetz akzeptiert; in dem später an Hooke abge-$$

schickten Brief ist von den mathematischen Dispersionsgesetzen keine Rede mehr; These von Shapiro (op. cit., 40): „[...] for Newton’s mathematical theory was founded upon his three principles of refraction, as he explained in the draft of his reply to Hooke, and not upon the ‘physicall principles’ of his experimental theory.“

→ de facto hätten seine physikalische und seine mathematische Theorie lediglich ein und ein halbes Prinzip gemeinsam: 1. Sonnenlicht besteht aus Strahlen von unterschiedlicher Brechbarkeit; 2. es gibt eine Korrespondenz zwischen Grad der Brechbarkeit und (monochromatischer) Farbe (dies wird nur qualitativ gezeigt);

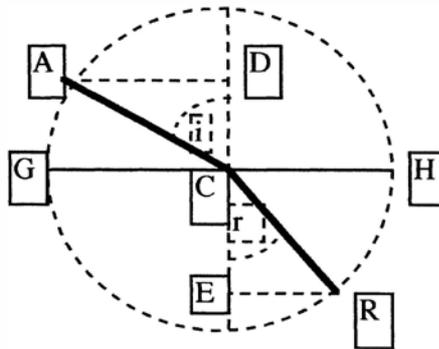
Problem: Warum hat Newton den Gewißheitsanspruch seiner Theorie Hooke gegenüber abgeschwächt? Antwort Shapiros (op. cit., 40): „The immediate cause, of course, was Hooke’s objection, which compelled him to ponder more carefully the nature of scientific theories, and in particular, the methodology and formal structure of his own.“

→ Newton hat in allen weiteren Darstellungen seiner Optik den mathematischen Teil weggelassen; dies gilt schon für die *New Theory about Light and Colours*; offenbar hatte er eine zeitlang die Veröffentlichung einer Schrift über die Optik geplant, die in den 70er Jahren erscheinen sollte; aber er ist dann (vielleicht im Gefolge der Kontroversen?) von einer solchen Publikation abgerückt; in den *Opticks* hat Newton auf einen eigenständigen mathematischen Teil ganz verzichtet und lediglich einige Berechnungen aus seinen damaligen optischen Vorlesungen übernommen.

In der 9. Vorlesung der *Lectiones Opticae* (entspricht der 4. Vorlesung des Teils I der *Optica*) behandelt Newton auch zwei frühere Versionen des Sinusgesetzes der Brechung; a) die Version „der Alten“; sie hatten angenommen [wörtlich nennt es Newton „suppositio“ in den *Lectiones Opticae*, „hypothesis“ in den *Optica*], daß das Verhältnis des Einfallswinkels, den ein Strahl mit der Senkrechten zu der Oberfläche des brechenden Mediums bilde, zu dem Ausfallswinkel näherungsweise konstant sei; [vermutlich hat Newton seine Kenntnis dieses Gesetzes aus Keplers *Dioptrice*, sei es direkt oder aus zweiter Hand]; dies, so Newton, sei aber völlig ungenau; daher eigne sich dieses Gesetz nicht als Fundament der Dioptrik;

b) die zweite Version sei das Gesetz, das Descartes zuerst erfunden habe (in den *Principia* schreibt Newton dieses Gesetz Snell zu), nämlich daß das Verhältnis der Sinuswerte dieser Winkel stets in einem konstanten Verhältnis sei;

[Newton hatte die Kenntnis dieses Sinusgesetzes der Brechung von Descartes; das Sinusgesetz wurde jedoch zuerst 1601 von Harriot entdeckt; Harriot hatte es allerdings nicht publiziert, sondern es kursierte nur in einer kleinen Zahl von Manuskripten; in den 1620er Jahren hatte es Snell wiederentdeckt, aber ebenfalls nicht veröffentlicht; zur selben Zeit kamen auch Descartes und Claude Mydorge auf dieses Gesetz; es hat folgende Form:



Der Winkel $\angle ACD = i$ und der Winkel $\angle RCE = r$, dann gilt: $\sin \angle ACD = AD/AC$ und $\sin \angle RCE = RE/RC$; daher ist das Verhältnis $\sin i : \sin r = AD : RE = \text{konstant}$];

c) Newton modifiziert das Cartesische Gesetz wie folgt:

„Cujus rei veritatem Author non ineleganter demonstrasset modò de causis physicis quas assumpsit nullum dubitandi locum reliquisset. Ut ut, quoniam instrumentis in istum finem accuratè constructis examinârunt aliqui, et veritati (quoad sensum) exactè convenientem adinvenêrunt: non dubitamus pro fundamento statuere; hoc solùm adhibito moderamine, quòd cùm is de quibuslibet radijs indifferenter affirmaverit, quasi omnium persimilis fuisset refractionis; nos tantùm affirmamus de singulis eorum generibus, ponendo quòd radiorum aequè refrangibilium sinus refractionis sunt ut sinus incidentiae.“

(Newton, *Optical Papers I*, 170; cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 171: „The author would have demonstrated not inelegantly the truth of this, if only he had not left room for doubt concerning the physical causes that he assumed. Since, however, some have tested this with instruments accurately constructed for that purpose and have found it to agree exactly with the truth (at least as to sense), we will not hesitate to consider it as a foundation, subject only to this qualification: Whereas he had asserted this about every ray without distinction, as if the refraction of all of them was identical, we assert this about only the individual kinds of them and assume that the sines of refraction of equally refrangible rays are proportional to the sines of incidence.“ Cf. dazu auch op. cit., 310/312.)

Kurz darauf spricht Newton von „Descartes’ Hypothese“ (op. cit, 172; 314); Problem: bezieht sich diese Bezeichnung auf das mathematische Sinusgesetz der Brechung oder auf die physikalischen Ursachen, die Descartes irrtümlich unterstellt hat? Für die

erste Lesart spricht, daß er auch das mathematische Brechungsgesetz „der Alten“ als Hypothese bezeichnet (zumindest in den *Optica*); dies paßte zu einem Hypothesenbegriff, der ein mathematisches Gesetz als Hypothese bezeichnet, sofern es sich als nicht exakt gültig erwiesen hat; andererseits sprechen drei Gründe dagegen: 1) Newton verweist zu Beginn seiner Vorlesungen darauf, daß die geometrische Optik, der das Brechungsgesetz ja angehört, mit einer **falschen physikalischen Hypothese** arbeite; dies entspricht der Sache nach Newtons Kritik an Descartes' Brechungsgesetz - dessen Beweis er ansonsten sogar als elegant ansieht - , das er wegen der **zweifelhaften physikalischen Ursachen** angreift; dies legt es nahe, seine Redeweise von der 'Descartesschen Hypothese' auf diese physikalischen Ursachen zu beziehen und nicht auf das mathematische Gesetz; (evtl. Ironie, da nach Descartes alles, was zweifelhaft sei, als falsch betrachtet werden müsse) 2) in den *Lectiones Opticae* spricht Newton ausschließlich in bezug auf Descartes' Brechungsgesetz von Hypothesen, aber nicht in bezug auf das mathematische Brechungsgesetz „der Alten“, das er dort noch „suppositio“ nennt; das spricht dagegen, daß er ein solches (ungenau) mathematisches Gesetz per se als Hypothese bezeichnet; 3) nur wenig später (op. cit.) bezeichnet Newton das mathematische Sinusgesetz von Descartes auch als „Regel Descartes“; dies deutet ebenfalls darauf hin, daß er einen Unterschied zwischen **mathematischer Regel** und **physikalischer Hypothese** macht; die erste gehört in den Bereich der reinen Mathematik, die zweite in den Bereich der Physik;

→ bedeutsam: Newton unterstellt nicht wie viele seiner Vorgänger als ein allgemeines Axiom, daß die Natur per se mathematisch strukturiert sei (cf. dazu M. Mamiani, *Isaac Newton filosofo della natura. Le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo newtoniano*, Firenze 1976, 107f.); daher komme für Newton den mathematischen Bestimmungen an sich keine Bedeutung für die Naturerkenntnis zu; um mathematische Bestimmungen auf die Natur anwenden zu können, sei vielmehr nötig, **zuvor** eine **allgemeine physikalische Eigenschaft** zu entdecken (dies geht nur vermittelt durch Experimente), die zur **Natur des zu untersuchenden physikalischen Gegenstands** gehört; erst aufgrund einer solchen Eigenschaft, die die Entwicklung **mathematischer Prinzipien physikalischer** Gegenstandsbereiche ermöglicht, ist die Anwendung der Mathematik auf die Natur überhaupt möglich; entscheidend ist, daß eine solche Korrespondenz zwischen mathematischen Begriffen und physikalischen Prinzipien nicht apriori gegeben ist, sondern von Fall zu Fall aufgrund experimenteller Untersuchungen, deren Ergebnis von der Erfahrung abhängt, erforscht und etabliert werden muß; [darin liegt das Unzureichende der geometrischen Optik, die ohne weitere Untersuchung implizit eine physikalische Eigenschaft hypothetisch unterstellt, um mit ihrer Hilfe allein aufgrund von geometrischen Gesetzen allgemeine Aussagen über die Natur des Lichts macht]; cf. op. cit., 108: „Senza l'esperimento, la matematica perdeva ogni valore conoscitivo e non era in grado di rivelare nessuna struttura od operazione della natura.“ Newton deutet die Korrespondenz

zwischen Grad der Brechbarkeit und Farbe als „Erweiterung der Grenzen der Mathematik“ auf ein spezielles physikalisches Gebiet; Mathematik wird hier als Instrument betrachtet, welches die Erkenntnisse von der Natur zu erweitern vermag, aber nicht als Anzeichen für eine „Mathematisierung der Welt“; die mathematische Struktur der Welt ist nicht apriori notwendig, sondern hängt von (kontingenten) experimentellen Untersuchungen ab.

B. Die *New Theory about Light and Colours* (1672)

In der *New Theory* bemerkt Newton im Zusammenhang mit dem Hypothesenbegriff:

„A naturalist would scarce expect to see ye science of those [colours] become mathematicall, & yet I dare affirm that there is as much certainty in it as in any other part of Opticks. For what I shall tell concerning them is not an Hypothesis but most rigid consequence, not conjectured by barely inferring ‘tis thus because not otherwise or because it satisfies all phaenomena (the Philosophers universall Topick,) but evinced by ye mediation of experiments concluding directly & wthout any suspicion of doubt“ (I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull, J. F. Scott, A Rupert Hall, Laura Tilling, 7 vols., Cambridge 1959-1977, Vol. I, 96f.; im folgenden zitiert als: Newton, Cor. I).

→ Sabra kommentiert diese Passage im Sinne einer Zurückweisung der **hypothetisch-deduktiven Methode** und sieht darin zugleich eine Nähe zu den Gedanken von **Bacon**; cf. A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, London 1967, 248: „He [Newton] already repudiates a method of hypothetico-deductive explanation which he finds to be common among philosophers (‘the Philosophers universall Topick’), a method in which hypotheses are merely conjectured to account for all the relevant phenomena. In contrast to this objectionable method, he claims to have directly deduced his theory of colours from experiments; in other words, his theory is a (proved) conclusion, not a (conjectured) assumption. Now all this sounds very Baconian.“

In seiner Antwort auf die Begutachtung seiner Theorie durch Hooke reagiert Newton auf einen Vorwurf Hookes, daß sein [Newtons] vermeintlicher Absolutheitsanspruch für seine Hypothese verfehlt sei; denn dann müßte er zeigen können, daß sie die einzige (einzig mögliche?) sei (Newton, Cor. I, 113); dies sei aber nicht möglich; denn es erforderte offenbar, daß sie so sicher bewiesen sei, wie dies bei einem mathematischen Beweis der Fall sei; darauf antwortet Newton, daß ihm damit ein größerer Gewißheitsanspruch

unterstellt würde, als er selbst postuliert habe, nämlich daß er für seine Theorie der Farben die Gewißheit mathematischer Beweise beanspruche; aber:

„I said indeed that the *Science of Colours was Mathematicall & as certain as any other part of Optiques*; but who knows not that *Optiques & many other Mathematicall Sciences depend as well on Physicall Principles as on Mathematicall Demonstrations*: And the absolute certainty of a Science cannot exceed the certainty of its Principles. Now the evidence by wch I asserted the Propositions of colours is in the next words expressed to be from *Experiments & so but Physicall*: Whence the Propositions themselves can be esteemed no more then *Physicall Principles* of a Science. And if those Principles be such that on them a Mathematician may determin all the Phaenomena of colours that can be caused by refraction, & that by computing or demonstrating after what manner & how much those refractions doe separate or mingle the rays in wch severall colours are originally inherent; I suppose the *Science of Colours will be granted Mathematicall & as certain as any part of Optiques*.“ (Newton, Cor. I, 187f.).

Zunächst werden **physikalische Prinzipien experimentell** bestimmt; diese bilden offenbar die Grundlage einer physikalischen Wissenschaft; diese physikalische Wissenschaft kann nur so sicher sein wie ihre Prinzipien (deduktives Gebäude; wenn die Voraussetzungen falsch sind, dann auch die Folgerungen); Beispiel: die von ihm genannten Propositionen haben den Status physikalischer Prinzipien (Fundamente, Grundlagen) einer Wissenschaft;

→ **jede mathematische Behandlung von Naturgegenständen setzt solche physikalischen Prinzipien voraus**; aufgrund dieser Prinzipien bestimmt der Mathematiker nun die Farbphänomene, die durch Brechungen erzeugt werden [werden die physikalischen Prinzipien dann zu mathematischen Prinzipien, wenn man auf sie Berechnungen stützen kann; z.B. durch Etablierung einer Metrik?]; es läßt sich **berechnen** oder **beweisen**, in welcher Art und in welchem Ausmaß diese Brechungen die Strahlen, denen die verschiedenen Farben inhärent sind, separieren und mischen; [in einem ersten Entwurf des Briefes an Hooke folgte hier die Darstellung von zehn Experimenten, die größtenteils aus seinen Vorlesungen zur Optik stammten; vgl. Newton, Cor. I, Komm. Turnbull, 190-193].

C. Der *Discourse of Observations* (1675)

In seinem *Discourse of Observations* vom Dez. 1675 legt Newton seine Beobachtungen zu den Farben dünner Plättchen resp. dünner Schichten dar; er entwickelt Tabellen und Verfahren, die Farbabfolge und -mischung der Schichten unterschiedlicher Dicke sowie unterschiedlicher Medien (Luft, Wasser, Glas) mathematisch zu bestimmen; dazu heißt es:

„For confirmation of all this, I need alledge no more, than that it is mathematically demonstrable from my former principles. But I shall add, that they, which please to take the pains, may by the testimony of their senses be assured, that these explications are not hypothetical, but infallibly true and genuine: [...] And by the same method the truth of the explications of the other observations is to be examined.“ (I. B. Cohen, *Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy and Related Documents*, Cambridge (Mass.) 1958, 223; im folgenden zitiert als: Cohen, *Papers & Letters*);

[Die entsprechende Parallelstelle der *Opticks* lautet wie folgt: **„Now as all these things follow from the properties of Light by a mathematical way of reasoning, so the truth of them may be manifested by Experiments. [...] And by the same method the truth of the Explication of other Observations may be examined.“** (I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, Buch II, Teil II, 240; im folgenden zitiert als: Newton, *Opticks*);

An dieser Stelle beschreibt Newton seine Verfahrensweise wie folgt:

- 1) Zunächst werden die Eigenschaften des Lichts ermittelt (= Prinzipien); [in dem *Discourse* spricht er noch von „Prinzipien“, während er in den *Opticks* von Eigenschaften redet];
- 2) dann werden eine Reihe von Phänomenen in ihren verschiedensten Umständen und Bedingungen genau untersucht und beschrieben;
- 3) diese Phänomene werden anschließend in mathematischer Form dargelegt (Tabellen, Messungen etc.);
- 4) aufgrund dieser Messungen werden die Phänomene aus den bereits zuvor ermittelten Eigenschaften des Lichts erklärt; [sie folgen „aus den Eigenschaften des Lichts durch eine mathematische Form der Ableitung“; sie werden aus den Prinzipien „mathematisch bewiesen“];
- 5) die Wahrheit der Erklärungen wird in einem letzten Schritt durch Beobachtungen und

Experimente überprüft [hier haben Experimente offenbar auch eine didaktische Funktion, um andere von der Richtigkeit seiner Behauptung zu überzeugen]

In dem *Discourse of Observations* stellt Newton weiterhin die Farberscheinungen dünner Plättchen bzw. dünner Schichten vor (Newtonsche Ringe) und will sie aufgrund der zuvor entwickelten Eigenschaften des Lichts erklären; umgekehrt werden die vorausgesetzten Prinzipien durch die Richtigkeit der Erklärung der Phänomene bestätigt; u. a. nennt Newton auch die folgende Eigenschaft des Lichts:

es besteht eine konstante Beziehung zwischen Farben und Brechbarkeit; **Art der Farben** \Leftrightarrow **Grad der Brechbarkeit**; eine entsprechende konstante Beziehung besteht ebenfalls zwischen Farben und Reflektierbarkeit (Violett wird an der dünnsten Stelle eines dünnen Plättchens reflektiert, Rot an der dicksten); **Art der Farbe** \Leftrightarrow **Grad der Reflektierbarkeit**;

→ **Mathematisierung der Farbenlehre:**

„whence it follows, that the colorific dispositions of rays are also connate with them, and immutable; and by consequence, that all the productions and appearances of colours in the world are derived, not from any physical change caused in light by refraction or reflection, but only from the various mixtures or separations of rays, by virtue of their different refrangibility or reflexibility. And, in this respect it is, that the science of colours becomes a speculation more proper for mathematicians than naturalists.“ (Cohen, *Papers & Letters*, 225)

Das entsprechende Zitat findet sich auch in Newton, *Opticks* am Ende von Buch II, Teil II, 244; die Stelle **„whence it follows [...] by virtue of their different refrangibility or reflexibility“** stimmt wörtlich mit der Stelle in dem *Discourse* überein. Lediglich der letzte Satz ist verändert und dazu ein neuer Satz hinzugefügt; der Schluß lautet: **„And in this respect the Science of Colours becomes a Speculation as truly mathematical as any other part of Opticks. I mean, so far as they depend on the Nature of Light, and are not produced or alter'd by the Power of Imagination, or by striking or pressing the Eye.“** [Damit meint Newton, daß die Farben hier als objektives Phänomen angesprochen werden, das nicht von Bedingungen subjektiver Vorstellungskraft abhängig ist.]

NEWTONS METHODENLEHRE

VI. DIE METHODEN DER ANALYSE UND SYNTHESE

A. Newtons Äußerungen zur Methode der Analyse und Synthese (resolutio und compositio) in seinen publizierten Werken

1) 1687 a): Innerhalb von Newtons veröffentlichten Schriften gibt es nur spärliche Äußerungen zu methodologischen Fragen der Naturwissenschaften. Die erste findet sich im „Vorwort des Autors an den Leser“ zur ersten Edition der *Principia* von 1687. Dort heißt es:

„Omnis enim philosophiae difficultas in eo versari videtur, ut a phenomenis motuum investigemus vires naturae, deinde ab his viribus demonstramus phaenomena reliqua.

Et huc spectant propositiones generales, quas libro primo & secundo pertractavimus. In libro autem tertio exemplum hujus rei proposuimus per explicationem systematis mundani. Ibi enim, ex phaenomenis coelestibus, per propositiones in libris prioribus mathematice demonstratas, derivantur vires gravitatis, quibus corpora ad solem & planetas singulos tendunt. Deinde ex his viribus per propositiones etiam mathematicas, deducuntur motus planetarum, cometarum, lunae & maris.

Utinam caetera naturae phaenomena ex principiis mechanicis eodem argumentandi genere derivare liceret. Nam multa me movent, ut nonnihil suspicer ea omnia ex viribus quibusdam pendere posse, quibus corporum pariculae per causas nondum cognitae vel in se mutuo impelluntur & secundum figuras regulares cohaerent, vel ab invicem fugantur & recedunt: quibus viribus ignotis, philosophi hactenus naturam frustra tentarunt. Spero autem quod vel huic philosophandi modo, vel veriori alicui, principia his posita lucem aliquam praebunt.“ (I. B. Cohen/A. Koyré (eds.), *Isaac Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. The third edition (1726) with variant readings, 2 vols., Cambridge 1972, 16).

„Die gesamte Schwierigkeit der Physik scheint [mir] darin zu liegen, daß wir die

Kräfte der Natur aus den Bewegungserscheinungen aufspüren müssen und anschließend aus diesen Kräften die übrigen Naturerscheinungen herleiten [(demonstrieren)] müssen.

Hierauf beziehen sich die allgemeinen Propositionen, die wir im ersten und zweiten Buch eingehend behandelt haben. Im dritten Buch aber haben wir durch die Erklärung des Weltsystems eine Anwendung von diesen Dingen vorgelegt. Dort werden nämlich aus den Himmelserscheinungen mit Hilfe der in den vorangegangenen Büchern auf mathematischem Wege bewiesenen Propositionen die Kräfte der Schwere hergeleitet, infolge deren die Körper zur Sonne und den einzelnen Planeten hinzustreben versuchen. Ferner werden aus diesen Kräften mit Hilfe der mathematischen Propositionen auch die Bewegungen der Planeten, der Kometen, des Erdmondes und des Meeres hergeleitet.

Möge es doch auch gelingen, die übrigen Naturerscheinungen aus den mechanischen Prinzipien auf die gleiche Argumentationsweise herzuleiten. Denn vieles veranlaßt mich durchaus zu der Vermutung, daß sie möglicherweise alle von gewissen Kräften abhängen, infolge deren sich die Teilchen der Körper durch noch nicht bekannte Ursachen entweder gegenseitig zueinander hin stoßen und in regelmäßigen Figuren Halt und Beistand haben oder sich gegenseitig voneinander vertreiben und entfernen. Nach diesen unbekanntem Kräften haben die Physiker die Natur bislang vergeblich durchforscht. Ich hoffe aber, daß die hier aufgestellten Prinzipien entweder in diese Art und Weise, die Natur zu erforschen, oder in irgendeine wahrere etwas Licht bringen werden.“ (I. Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, übersetzt u. hgg. v. Volkmar Schüller, Berlin/New York 1999, 3f.).

Diese allgemeinen methodischen Bemerkungen im Vorwort der ersten Auflage der *Principia* legen eine Differenzierung in drei Stufen nahe. Auf der ersten Stufe wird eine allgemeine Schwierigkeit und damit auch eine allgemeine Aufgabe der (Natur)Philosophie überhaupt formuliert. Diese umfaßt zwei Schritte bzw. zwei Richtungen: aus den Bewegungsphänomenen sollen die Naturkräfte erforscht werden und vermittels dieser Kräfte die „übrigen Erscheinungen“ erklärt werden. Auf der zweiten Stufe wird die spezielle Durchführung dieses allgemeinen Programms in bezug auf die Himmelsmechanik beschrieben. Der erste Schritt, nämlich die Erforschung der Naturkräfte auf der Grundlage der Bewegungsphänomene, erhält die besondere Form, aus den Phänomenen der Himmelsbewegungen die Schwerkraft abzuleiten. Dies geschieht im dritten Buch, wobei die in den ersten beiden Büchern bewiesenen mathematischen Sätze als Hilfsmittel dienen. Der zweite Schritt besteht darin - ebenfalls mithilfe dieser mathematischen Sätze - die Bewegungen der Planeten, Monde, Kometen sowie die Bewegung von Ebbe und Flut zu erklären. Allerdings stellt sich hier die Frage, inwieweit sich die Phänomene der Himmelsbewegungen, aus denen Newton die Naturkräfte, in diesem besonderen Fall die Schwerkraft, die für ihn mit der Zentripetalkraft identisch ist, abgeleitet hat, nicht mit den Bewegungserscheinungen identisch sind, die vermittels der Schwerkraft erklärt werden sollen. Liegt hier also ein Zirkel vor? Die dritte Stufe dieser methodischen Bemerkungen

schließlich betrifft einen Ausblick auf zukünftige Forschungen. Newton formuliert hier gewissermaßen ein Forschungsprogramm, dessen Durchführung bislang noch nicht gelungen ist, das er aber dennoch für erfolversprechend hält. Alle Naturerscheinungen sollen demgemäß auf zwei Grundkräfte zurückgeführt bzw. aus zwei Grundkräften erklärt werden können, nämlich aus anziehenden und abstoßenden Kräften. Diese Kräfte seien bislang zwar noch unbekannt, aber Newton hofft, daß seine Forschungsergebnisse bezüglich der Prinzipien der Himmelsmechanik eine Grundlage zur weiteren Erforschung dieser allgemeinen Grundkräfte dienen können. Was wäre mit dem Aufweis solcher Grundkräfte gewonnen? Erstens hätte man eine *einheitliche* Erklärungsgrundlage für eine Reihe ganz unterschiedlicher Phänomene: Phänomene der Optik (Brechung, Reflexion, Beugung), Phänomene der Himmelserscheinungen (Bewegungen von Planeten, Monde, Kometen, Ebbe und Flut), sowie Phänomene der Kohäsion, chemische und biologische Phänomene. Dies sind allesamt Erscheinungen, mit denen sich Newton zeit seines Lebens beschäftigt hat. Zweitens ließen sich die in den genannten Phänomenen wirksamen Kräfte als besondere Fälle von allgemeineren, übergreifenden Kräften explizieren. Man wäre also bei den Erklärungen auf einer *allgemeineren Stufe von Prinzipien oder Axiomen* gelangt. Diese letzte Bemerkung zeigt deutlich, daß Newton seine Forschungen zur Himmelsmechanik als Teil eines umfassenderen Forschungsprogramms der Erklärung aller Naturerscheinungen durch anziehende und abstoßende Kräfte versteht. Newton war sich offenbar auch dessen bewußt, daß die Durchführung dieses Programms noch viele Forscher oder sogar Forschergenerationen in Anspruch nehmen werde.

2) **1687 b**): Weitere Anmerkungen zur Methode findet man in dieser ersten Auflage der *Principia* von 1687 noch zu Beginn des dritten Buches. Dort führt Newton insgesamt neun Hypothesen auf, von denen die ersten drei methodischen Charakter besitzen.¹ Allerdings haben sie eher den Charakter allgemeiner metaphysischer Voraussetzungen und verraten wenig über methodische Vorgehensweisen des Naturwissenschaftlers.²

1713: Die zweite Auflage der *Principia* enthält drei Änderungen, die mit Bezug auf Newtons methodologische Haltung von Interesse sind.

3) **1713 a**): Erstens hat der Herausgeber Roger Cotes im Einvernehmen mit Newton ein Vorwort verfaßt, das insbesondere auf methodologische Fragen in allgemeinverständlicher Weise eingehen sollte. Cotes schreibt dazu in einem Brief an Newton vom 18. Feb. 1713: „I think it will be proper besides the account of the Book & its improvements, to

¹ Vgl. dazu I. B. Cohen, „Hypotheses in Newton’s Philosophy“, in: *Physis* 8 (1966), 163-184, insbes. 168.

² Die ersten beiden Hypothesen sind im wesentlichen identisch mit den ersten beiden Regeln der „Regulae Philosophandi“ der ersten und dritten Auflage der *Principia*. Die dritte Hypothese, die die Transformation eines Körpers in einen Körper anderer Art postuliert, wird in den späteren Auflagen fallengelassen. Vgl. dazu auch I. B. Cohen/A. Koyré (eds.), *Isaac Newton’s Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. The third edition (1726) with variant readings, 2 vols., Cambridge 1972, 550f.

add something more particularly concerning the manner of Philosophizing made use of & wherein it differs from that of Descartes and Others, I mean in first demonstrating the Principle it employs. This I would not only assert but make evident by a short deduction of the Principle of Gravity from the Phaenomena of Nature in a popular way that it may be understood by ordinary readers & may serve at ye same time as a specimen to them of the Method of ye whole Book.“ (J. Edleston (ed.), *Correspondence of Sir Isaac Newton and Professor Cotes*, London 1850, 151). Das Vorwort von Cotes ist vermutlich vor der endgültigen Publikation noch von Newton (und auch Bentley) gegengelesen worden. Nachdem Cotes zu Beginn des Vorworts die Methoden der scholastischen Philosophie und die der cartesischen Philosophie (allerdings ohne Descartes namentlich zu erwähnen) kritisch referiert hat, expliziert er die Methode der „Experimental Philosophy“, der sich Newton bedient hat, wie folgt:

„Es bleibt noch die dritte Gruppe übrig, die sich ausdrücklich zu der experimentellen Physik bekennt. Zwar sind auch sie der Meinung, daß die Ursachen für alle Dinge aus den einfachsten Prinzipien, mit denen das möglich ist, abgeleitet werden müssen, aber sie lassen nichts als Prinzip gelten, was noch nicht aufgrund der Naturerscheinungen [als zutreffend] bestätigt worden ist. Sie denken sich Hypothesen nur aus, um die Frage nach ihrer Wahrheit zu erörtern, und nehmen sie auch nur mit dieser Absicht in die Physik auf. Daher gehen sie nach einer in zwei Teile, einen analytischen und einen synthetischen Teil, zerfallenden Methode vor. Mit Hilfe der Analyse leiten sie aus bestimmten ausgewählten Naturerscheinungen die Kräfte der Natur und die einfacheren Gesetze für die Kräfte ab, aufgrund deren sie dann mit Hilfe der Synthese die Beschaffenheit der übrigen [Naturerscheinungen] angeben. Dies ist die bei weitem beste Methode, die Natur zu erforschen, von welcher unser hochberühmter Autor ganz zu Recht der Meinung war, daß ihr gegenüber den anderen der Vorzug gegeben werden müsse.“ (Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, 7).

Hier ist von zwei Teilschritten einer Methode die Rede, wobei der erste Teilschritt, den Cotes als analytische Methode bezeichnet, die Ableitung der Naturkräfte (sowie deren Gesetze) aus „gewissen Erscheinungen“ zum Ziel hat, während die synthetische Methode diese Naturkräfte und ihre Gesetze als (empirisch fundierte) Voraussetzungen zugrundelegt und auf dieser Grundlage die Beschaffenheit der übrigen Erscheinungen darlegt. Ein Vergleich mit Newtons „Vorwort an den Leser“ macht deutlich, daß Cotes hier auf die zwei von Newton genannten Schritte, nämlich 1. aus den Bewegungserscheinungen die Kräfte der Natur abzuleiten und 2. mittels der auf diese Weise ermittelten Kräfte die „übrigen“ Erscheinungen zu beweisen, Bezug nimmt. Neu ist hingegen, daß er den ersten Schritt mit der analytischen Methode und den zweiten Schritt mit der synthetischen Methode in Verbindung bringt. Was bedeuten hier „analytische“ und „synthetische“ Methode? Im weiteren Verlauf des Vorworts erläutert Cotes zwar die Ableitung des Prinzips der allgemeinen Gravitation, er kommt aber auf die Eigentümlichkeit und den Ursprung die-

ser Methoden nicht mehr zurück.

4) **1713 b)**: Die zweite methodisch relevante Änderung aus dieser Zeit betrifft die neun Hypothesen, die Newton dem dritten Buch vorangestellt hatte. Davon findet sich in der zweiten Auflage noch eine einzige wieder, nämlich die Hypothese IV der ersten Auflage.³ Die Hypothesen I und II hat er als die ersten zwei Regeln unter der Überschrift „Regulae Philosophandi“ aufgeführt, wobei er noch eine dritte Regel hinzugefügt, die in der ersten Auflage noch nicht vorhanden war. Die Hypothesis III wird in der zweiten Auflage weggelassen. Die Hypothese V der ersten Auflage taucht in der zweiten Auflage als erstes Phänomen unter der Überschrift „Phaenomena“ wieder auf und die Hypothesen VI - IX als Phänomene III - VI. Der zweiten Auflage neu hinzugefügt hat Newton das Phänomen II, welches die Gültigkeit des zweiten und dritten Keplerschen Gesetzes für die Monde des Saturn konstatiert.

Die entscheidende Frage ist hier, was hat Newton zu dieser Änderung veranlaßt? Warum vermeidet er die Bezeichnung „Hypothesen“ und spricht statt dessen von „Regulae Philosophandi“ und „Phaenomena“? I. B. Cohen vermutet, daß der Auslöser in einer im *Journal des Sçavans* anonym erschienen Rezension (dessen Autor übrigens nie ermittelt wurde) bestand, in der die Bezeichnung „Hypothesen“ für die zu Beginn des dritten Buches angeführten Sätze zum Anlaß genommen wurde, Newton vorzuhalten, sein Weltsystem stütze sich lediglich auf eine Anzahl willkürlicher Hypothesen, die keine geeignete Grundlage für eine „wahre Physik“ liefern könnten. (I. B. Cohen, *Introduction to Newton's 'Principia'*, Harvard UP 1971, 156f.). Cohen hat die Bedeutung und Entwicklung des Hypothesenbegriffs bei Newton in verschiedenen Arbeiten dokumentiert.⁴ Allerdings bestehen bis heute große Unklarheiten über die Funktion von Hypothesen innerhalb von Newtons Methodologie. Dies hängt auch damit zusammen, daß heute die sogenannte hypothetisch-deduktive Methode als methodisches Standardvorgehen innerhalb der Naturwissenschaften weitgehend akzeptiert wird. Sie wird beispielsweise von dem Physiker Richard Feynman in knapper Form wie folgt beschrieben: „In general we look for a new law by the following process. First we guess it. Then we compute the consequences of the guess to see what would be implied if this law that we guessed is right. Then we compare the result of the computation to nature, with experiment or experience, compare it directly with observation, to see if it works. If it disagrees with experiment it is wrong.“

³ Sie lautete: „Hypoth. IV. Centrum Systematis Mundani quiescere.“ Vgl. *Principia*, ed. Cohen/Koyré, 550. Newton hat sie in der zweiten Auflage als Hypothesis I zwar beibehalten, aber aus dem früheren Zusammenhang gelöst und als Proposition XI. Theorem XI des dritten Buches aufgestellt.

⁴ Vgl. dazu I. B. Cohen, *Franklin and Newton*, Cambridge (Mass.) 1956, 127-145, Appendix One, 575-583. Vgl. ebenfalls I. B. Cohen, „Hypotheses in Newton's Philosophy“, in: *Physis* 8 (1966), 163-184; in dieser Arbeit vertritt Cohen die These, daß bei Newton eine Entwicklung zu beobachten sei, die von anfänglicher Toleranz gegenüber gewissen Arten von Hypothesen bis hin zu einer völligen Ablehnung jedweder Hypothesen geprägt sei. Vgl. ebd., 163: „Rather we must see Newton's thought in its development as he progressed from a tolerance of certain types of hypotheses, especially speculations as to the cause of phenomena, to an alleged abhorrence of them all.“

In that simple statement is the key to science.“⁵ Umso überraschender muß Newtons Stellungnahme zur Rolle von Hypothesen ausfallen, die sich in dem „Scholium Generale“ findet, das er am Ende der zweiten Auflage der *Principia* hinzugefügt hat.

5) 1713 c): Die Hinzufügung des „Scholium Generale“ stellt die dritte wesentliche Änderung der ersten Auflage der *Principia* dar, die für methodologische Fragen interessant ist. Dort findet sich erstmals die folgende Passage, in der Newton seine Ablehnung gegenüber Hypothesen in der Wissenschaft dokumentiert. Dort heißt es:

„Rationem vero harum gravitatis proprietatum ex phaenomenis nondum potui deducere, & hypotheses non fingo. Quicquid enim ex phaenomenis non deducitur, hypothesis vocanda est; & hypotheses seu metaphysicae, seu physicae, seu qualitatum occultarum, seu mechanicae, in philosophia experimentalis locum non habent. In hac philosophia propositiones deducuntur ex phaenomenis, & redduntur generales per inductionem. Sic impenetrabilitas, mobilitas, & impetus corporum & leges motuum & gravitatis innotuerunt. Et satis est quod gravitas revera existat, & agat secundum leges a nobis expositas, & ad corporum caelestium & maris nostri motus omnes sufficiat.“ (*Principia*, Cohen/Koyré, 764).⁶ (Cf. Übersetzung Schüller in: Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, 516: „Den Grund für diese Eigenschaften der Schwere konnte ich aber aus den Naturerscheinungen noch nicht ableiten, und Hypothesen erdichte ich nicht. Nämlich alles, was sich nicht aus den Naturerscheinungen ableiten läßt, muß als *Hypothese* bezeichnet werden, und Hypothesen, gleichgültig ob es metaphysische, physikalische, mechanische oder diejenige von den verborgenen Eigenschaften sind, haben in der *experimentellen Physik* [(Philosophie)] keinen Platz. In der hier in Rede stehenden Physik [(in dieser Philosophie)] leitet man [(deduziert)] die Aussagen [(Propositionen)] aus den Naturerscheinungen her und macht

⁵ Zitiert nach P. Achinstein, „The Method of Hypothesis: What Is It Supposed to Do, and Can It Do It?“ In: P. Achinstein/O. Hannaway (eds.), *Observation, Experiment, and Hypothesis in Modern Physical Science*, Cambridge (Mass.)/London 1985, 127-145, Zitat 127.

⁶ Die Passage von „Quicquid [...] bis [...] sufficiat“ hat Newton in einem Brief vom 28. März 1713 an Roger Cotes mitgeteilt. Sie wurde unverändert in die Endfassung der zweiten Auflage der *Principia* übernommen. In diesem Brief erläutert Newton seinen Hypothesenbegriff wie folgt: „that as in Geometry the word Hypothesis is not taken in so large a sense as to include the Axiomes & Postulates, so in Experimental Philosophy it is not to be taken in so large a sense as to include the first Principles or Axiomes wch I call the laws of motion. These Principles are deduced from Phaenomena & made general by Induction: wch is the highest evidence that a Proposition can have in this philosophy. And the word Hypothesis is here used by me to signify only such a Proposition as is not a Phaenomenon nor deduced from any Phaenomena but assumed or supposed without any experimental proof.“ J. Edleston, *Correspondence of Sir Isaac Newton and Professor Cotes*, London 1850, 154f.

sie durch Induktion zu allgemeinen Aussagen. So entdeckte man die Undurchdringbarkeit, die Bewegbarkeit und den *impetus* der Körper, die Gesetze für die Bewegungen und die Schwere. Es genügt, daß die Schwere wirklich existiert, entsprechend den von uns dargelegten Gesetzen wirkt und für [die Erklärung] alle[r] Bewegungen der Himmelskörper und unseres Meeres ausreicht.“)

Die Details dieser Passage werfen eine Reihe von Fragen auf.

„Rationem vero harum gravitatis proprietatum ex phaenomenis nondum potui deducere, & hypotheses non fingo.“

An dieser Stelle taucht erstmals Newtons berühmt gewordener Ausspruch „Hypotheses non fingo“ auf.⁷ Gelegentlich ist der Versuch unternommen worden, die Bedeutung dieser Behauptung aus der Wortwahl zu erschließen. So manifestiert die Bedeutung von „fingo“ (englisch: „to feign“) den negativen Beigeschmack von Verstellung, Täuschung und Fälschung. Eine solche Wortwahl würde zwar das leichtfertige und unbegründete „Fingieren“ von Hypothesen verwerfen, gleichwohl aber das Aufstellen und Prüfen experimentell begründeter Hypothesen im Sinne der hypothetisch-deduktiven Methode erlauben.⁸ Allerdings zeigen verschiedene unveröffentlichte Entwürfe des „Scholium Generale“, daß Newtons Wortwahl keineswegs eindeutig war. Dort verwendet er z.B. mehrfach den Ausdruck „hypotheses [...] fugio“⁹, der viel weniger abwertend klingt. Was nun speziell diese Stelle im „Scholium Generale“ betrifft, so ist zu beachten, daß Newtons Behauptung nicht als isolierter Satz oder isolierte Forderung aufgestellt wird, sondern im Kontext eines anderen Teilsatzes steht, in dem es um die Bemühung geht, den Grund (ratio) für die Eigenschaften der Gravitation herauszufinden. Diese Eigenschaften selbst - d.h. die universelle wechselseitige Attraktion von Materie qua Mate-

⁷ Vgl. I. B. Cohen, „The First English Version of Newton's *Hypotheses non fingo*“, in: *Isis* 53 (1962), 379-388, insbesondere 379: „The sentence, *Hypotheses non fingo*, which appears for the first time in the concluding Scholium Generale in the revised second edition (1713) of the *Principia*, is unquestionably the most famous of Newton's dicta.“

⁸ In diese Richtung gehen die Untersuchungen von Cohen in: I. B. Cohen, „The First English Version of Newton's *Hypotheses non fingo*“, in: *Isis* 53 (1962), 379-388.

⁹ Vgl. A. R. Hall/M. B. Hall (eds.), *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*, Cambridge 1962, 350: „Nam hypotheses seu metaphysicas seu physicas seu mechanicas seu qualitatum occultarum fugio. Praejudicia sunt et scientiam non pariunt.“ Vgl. dazu auch ebd., 356. Auf diese Entwürfe sowie noch weitere Formulierungen Newtons, wie z.B. „Hypotheses non sequor“, weist auch Cohen hin. Vgl. : I. B. Cohen, „The First English Version of Newton's *Hypotheses non fingo*“, in: *Isis* 53 (1962), 382. In diesem Zusammenhang ist eine Parallele zur Konzeption und Ausdrucksweise Francis Bacons interessant. Im zweiten Buch des *Novum Organum* erklärt Bacon, daß eine „Interpretation“ der Natur zwei Teile umfasse, nämlich erstens die Ableitung von Axiomen aus der Erfahrung („de educendis aut excitandis axiomatibus ab experientia“) und zweitens die Deduktion von neuen Experimenten aus den Axiomen („de deducendis aut derivandis experimentis novis ab axiomibus“). Die Grundlage des ersten Teils bestehe in einer umfassenden und präzisen „*Historia Naturalis et Experimentalis*“, an die die Ableitung der Axiome stets geknüpft werden müsse, um zu vermeiden, daß die Axiome „fingiert oder ausgedacht“ werden („neque enim fingendum aut excogitandum, sed inveniendum, quid natura faciat aut ferat“). Vgl. dazu F. Bacon, *Neues Organon*, hg. v. W. Krohn, lat.-dt., Teilbände 1+2, Darmstadt 1990, 300. Mir scheint, daß Bacon mit seiner Forderung, das „Fingieren“ von Axiomen durch Rückbindung der Untersuchungen an experimentelle und erfahrungsmäßig abgesicherte Sachverhalte zu vermeiden, der Sache nach nichts anderes meint als Newton mit seiner Forderung „hypotheses non fingo“.

rie sowie die entsprechenden mathematischen Gesetzmäßigkeiten dieser Wirkungsweise - beansprucht Newton aus den Phänomenen abgeleitet zu haben. Davon zu unterscheiden ist jedoch die Frage nach dem Grund oder den Ursachen dieser Eigenschaften, mithin nach dem Grund der universellen Gravitation.¹⁰ Diesen Grund bzw. diese Ursache hat er offenbar noch nicht „aus den Erscheinungen deduzieren“ können. Da ihm diese Ableitung noch nicht gelungen ist, wären alle Propositionen oder Prinzipien, die er nach seinem gegenwärtigen Forschungsstand dazu angeben könnte, nicht in den Erscheinungen selbst begründet und könnten *daher* nur „fingierte“ Hypothesen sein. Bedeutsam ist, daß sich der Hypothesenbegriff hier nicht auf die Eigenschaften von Phänomenen selbst, sondern auf den Grund oder die Ursache dieser Eigenschaften bezieht. Vermittels der Eigenschaft der universellen Gravitation ist Newton in der Lage, eine Reihe von Phänomenen erklären zu können. Aber die Erklärung dieser Eigenschaft selbst liegt auf einer höheren Stufe. Es handelt sich gewissermaßen um die „Erklärung der Erklärung“ bzw. um das zweite Glied einer Erklärungs- oder Ursachenkette. Diese höherstufige Ursache ist zwar allgemeiner als die Eigenschaften der Gravitation qua Ursache der Phänomene selbst, aber sie muß dennoch in gleicher Weise aus den Erscheinungen abgeleitet werden können, wie diese Eigenschaften. Welche Konsequenzen hat dies für den Hypothesenbegriff? Mit Hypothesen sind unterschiedslos sowohl die Eigenschaften von Phänomenen als auch die höherstufigen Ursachen dieser Eigenschaften angesprochen, sofern sie nicht „aus den Phänomenen deduziert“ sind.

Was ist mit „Deduktion aus den Phänomenen“ gemeint? Darüber besteht in der gegenwärtigen Diskussion noch weitgehend Unklarheit. Hughes weist darauf hin, daß bei dem gewöhnlichen Verständnis von „Deduktion“, welches eine logische Ableitung aus einem geschlossenen System von Axiomen und Voraussetzungen impliziert, ein „proof by experiment“ „a contradiction in terms“ enthalte.¹¹ Harris verweist darauf, daß bei Newton eine systematische Verknüpfung von Phänomenen, Definitionen und Axiomen vorliege, die sich einerseits von einem rein formalen Axiomensystem unterscheidet, die es aber andererseits gestatte, neu entdeckte Phänomene in einen solchen Zusammenhang zu integrieren. Sofern dies möglich sei, könne man durchaus von einer „Deduktion aus den Phänomenen“ sprechen.¹² Eine andere Interpretation findet sich bei Achinstein. In seiner Lesart umfassen „deductions from the phenomena“ sowohl Deduktionen im gewöhnlichen Sinne (d.h. in Form einer streng logischen oder mathematischen Ableitung) als auch induktive

¹⁰ Bereits 20 Jahre zuvor, machte Newton in seinem Briefwechsel mit Richard Bentley 1692/93 folgendes Zugeständnis: „You sometimes speak of Gravity as essential and inherent to Matter. Pray do not ascribe that Notion to me; for the Cause of Gravity is what I do not pretend to know, and therefore would take more Time to consider of it.“ I. B. Cohen (ed.), *Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy and Related Documents*, Cambridge (Mass.) 1958, 298.

¹¹ Hughes, „Reason and Experiment in Newton's *Opticks*: Comments on Peter Achinstein“, in: Bricker/Hughes (eds.), *Philosophical Perspectives on Newtonian Science*, Cambridge(Mass.)/London 1990, 175-184, Zitat 178.

¹² Vgl. dazu E. E. Harris, *Hypothesis and Perception. The Roots of Scientific Method*, London/New York 1970, 122f., 154-166.

Vorgehensweisen und „kausale Vereinfachungen“ (als Konsequenz der Regeln 1+2 der ‚Regulae Philosophandi‘).¹³

„Quicquid enim ex phaenomenis non deducitur, hypothesis vocanda est; & hypotheses seu metaphysicae, seu physicae, seu qualitatum occultarum, seu mechanicae, in philosophia experimentalis locum non habent.“

Newton erläutert hier nochmals die bereits im ersten Satz implizit enthaltene Bestimmung dessen, was er unter einer Hypothese versteht, nämlich alles (Propositionen, Prinzipien, Axiome), was nicht aus den Phänomenen abgeleitet ist. Darüber hinaus erfolgt eine Aufzählung verschiedener möglicher Arten von Hypothesen. Es gibt demnach metaphysische Hypothesen, physikalische Hypothesen, Hypothesen bezüglich verborgener oder „okkulten Qualitäten“ und mechanische Hypothesen. Mechanische Hypothesen sind vermutlich solche, die alle Phänomene aufgrund mechanistischer Prinzipien erklären wollen, ohne daß sie in ihrer Allgemeinheit aus den Phänomenen selbst abgeleitet werden können. Ein Beispiel dafür wäre Descartes' Wirbeltheorie oder seine Erklärung des Lichts und der Farben. Physikalische Hypothesen sind offenbar solche, die allgemeine Eigenschaften von Naturdingen betreffen, ohne daß sie Newtons Kriterium der Ableitbarkeit aus den Erscheinungen genügen. Sie sind jedoch vermutlich nicht auf mechanistische Prinzipien eingeschränkt, sondern können auch auf der Grundlage anderer Annahmen entwickelt werden. Möglicherweise wäre eine unzureichend begründete Proposition über fernwirkende Kräfte ein Beispiel für eine solche physikalische Hypothese. Die Hypothese der okkulten Qualitäten bezieht sich auf die scholastische Theorie der substantiellen Formen, die Newton bereits im „Vorwort des Autors an den Leser“ als obsoletere Art der Erklärung zurückgewiesen hatte. Er befand sich mit dieser Beurteilung in Übereinstimmung mit den meisten Naturforschern des 17. Jahrhunderts, die die Annahme substantieller Formen als leere, nichtssagende und tautologische Erklärungsversuche zurückwiesen. Ein Beispiel für eine solche Hypothese wäre etwa die Erklärung, daß der Magnet deshalb Eisen anziehe, weil er eine „anziehende Form“ besitzt. Schließlich nennt Newton auch noch metaphysische Hypothesen. Daß er auch diese Art von Hypothesen ablehnt, hat eine interessante Konsequenz; denn das bedeutet, daß seiner Ansicht nach auch metaphysische Grundsätze, die als Grundlage umfassender philosophischer Systeme stets über den Bereich möglicher Erfahrung hinausgehen, das Kriterium der „Deduktion aus den Phänomenen“ erfüllen müssen. In dieser Hinsicht erkennt Newton also keinen prinzipiellen Unterschied zwischen physischen und metaphysischen Grundsätzen an. Damit ist ein gradueller Unterschied nicht ausgeschlossen, sofern die metaphysischen Grundsätze stets

¹³ P. Achinstein, „Newton's Corpuscular Query and Experimental Philosophy“, in: Bricker/Hughes (eds.), *Philosophical Perspectives on Newtonian Science*, Cambridge(Mass.)/London 1990, 144. Vgl. dazu auch Horan, „Inference to the unobservable: Newton's experimental philosophy“, in: Achinstein/Snyder (eds.), *Scientific Methods: Conceptual and Historical Problems*, 2-5.

allgemeiner sein werden und umfassendere Phänomenbereiche betreffen werden als die physischen Grundsätze. Daraus ergibt sich die Frage, wie stellt sich Newton das Verhältnis von Physik und Metaphysik vor? Welche Rolle spielen metaphysische Grundsätze in seiner „Experimentalphilosophie“? Denn, dies fügt Newton am Schluß dieses Satzes noch an, alle hier aufgezählten Arten von Hypothesen, mithin auch metaphysische, hätten keinen Ort in der „Experimentalphilosophie“, als deren Verfechter er sich versteht.

„In hac philosophia propositiones deducuntur ex phaenomenis, & redduntur generales per inductionem.“

Nachdem Newton das Kriterium für den Ausschluß aller Arten von Hypothesen für seine Experimentalphilosophie entwickelt hat, konstatiert er es nochmals explizit in einem positiven Sinne als grundlegende methodische Verfahrensweise. Alle zu akzeptierenden Sätze müssen aus den Erscheinungen deduziert sein und durch Induktion verallgemeinert werden. Eine Frage, die sich hier stellt, ist die, ob Newton hier zwei aufeinanderfolgende Schritte beschreibt, nämlich 1. Deduktion einer Proposition aus den Phänomenen und 2. ihre Verallgemeinerung durch Induktion, oder ob die „Deduktion“ aus den Erscheinungen bereits Verfahrensweisen induktiver Verallgemeinerung einschließt. Neben die bereits konstatierte Unklarheit, was unter „Deduktion“ in diesem Zusammenhang zu verstehen ist, tritt die zweite Frage, wie das Verhältnis von deduktiven und induktiven Momenten in Newtons wissenschaftlicher Methode beschaffen ist. Wenn das Ergebnis der „Deduktion aus den Erscheinungen“ Propositionen sind, dann muß ihnen als solchen bereits ein höherer Allgemeingrad zukommen als einzelnen Erscheinungen, die an einen bestimmten Ort und an eine bestimmte Zeit gebunden sind. Dann ist an dieser Stelle die Funktion der Induktion unklar, sofern die Verallgemeinerung auf ihr Konto gehen soll.

„Sic impenetrabilitas, mobilitas, & impetus corporum & leges motuum & gravitatis innotuerunt.“

Hier nennt Newton eine Reihe von Beispielen für solche Propositionen, die offenbar seinen methodischen Kriterien genügen, um in die Experimentalphilosophie aufgenommen zu werden. Was läßt sich über diese Beispiele sagen? Gehen wir sie mal im einzelnen durch.

a) *Undurchdringlichkeit der Körper*. In der für die zweite Auflage der *Principia* neu konzipierten dritten Regel der „Regulae Philosophandi“ zählt Newton die Undurchdringlichkeit der Körper unter die Eigenschaften, die im Sinne dieser Regel an allen beobachteten Körpern vorkommen, weder vermehrt noch vermindert werden können und daher als allgemeine Eigenschaften aller Körper gelten können. Bei seiner Begründung weist Newton darauf hin, daß die Undurchdringlichkeit der Körper nicht vermittels des Verstandes oder der Vernunft abgeleitet werden kann, sondern nur vermittels der Sinne. Da wir aber an allen Körpern, die wir vermittels der Sinne wahrnehmen, die Eigenschaft der Undurchdringlichkeit feststellen, müssen wir sie als Eigenschaft aller Körper betrachten. Diese Art der Begründung kommt dem sehr nahe, was wir heute unter induktiver Verall-

gemeinerung verstehen. Man beobachtet, daß eine Eigenschaft für eine Teilmenge von Gegenständen zutrifft, d.h. für solche, die wir unmittelbar wahrgenommen haben, und verallgemeinert diese Eigenschaft daraufhin auf alle möglichen Gegenstände.¹⁴ Bemerkenswert ist an dieser Stelle auch, daß Newton hier auf keine wissenschaftlichen Experimente Bezug nimmt, sondern sich mit dem Verweis auf die Alltagserfahrung begnügt. Die gewöhnlichen induktiven Verallgemeinerungen der Alltagserfahrung stellen für Newton daher zumindest eine Kategorie von Grundlagen für die Wissenschaft dar.

b) *Beweglichkeit der Körper*. Unter dieselbe Kategorie wie die Undurchdringlichkeit fällt für Newton auch die Eigenschaft der Beweglichkeit. Auch diese Eigenschaft zählen wir zu den Eigenschaften von körperlicher Materie überhaupt, weil jeder von uns tagtäglich bewegliche Gegenstände wahrnimmt. Im Unterschied zur Undurchdringlichkeit, bei der der Tastsinn eine entscheidende Rolle spielt, ist hier vor allem der Gesichtssinn angesprochen.¹⁵

c) *Der 'impetus' der Körper*. Der Begriff des „impetus“, der ansonsten in Newtons Begriffssystem keine Rolle mehr spielt, taucht in den *Principia* noch an einer weiteren Stelle auf, nämlich in der Erläuterung zur Definition III. Newton definiert dort die „vis insita“ der Materie als ‘Widerstandsvermögen’, aufgrund dessen jeder Körper - sofern er sich selbst überlassen ist - im Zustand der Ruhe oder geradlinig-gleichförmigen Bewegung verharre. Diese Kraft, die er auch als „vis inertiae“ bezeichnet, ist als eine Disposition eines Körpers zu verstehen, die nur dann wirksam wird, wenn er auf einen anderen Körper trifft. In dem Moment äußert sich diese Disposition in zwei Hinsichten, nämlich sowohl als Widerstand als auch als „impetus“, was man vielleicht am besten als „Stoßkraft“ oder „Bewegungskraft“ übersetzt. Als Widerstand, sofern er einer Veränderung seines Bewegungszustands widersteht und als „impetus“, sofern er bestrebt ist, den Bewegungszustand des anderen Körpers zu verändern.¹⁶

¹⁴ Vgl. *Principia*, Cohen/Koyré, 553: „Corpora omnia impenetrabilia esse non ratione sed sensu colligimus. Quae tractamus, impenetrabilia inveniuntur, & inde concludimus impenetrabilitatem esse proprietatem corporum universorum.“ Newtons Zuweisung der Undurchdringlichkeit zu dem Verbund der allgemeinen Qualitäten der Körper unterscheidet ihn auch von Descartes, der nur die Ausdehnung als wesentliche Eigenschaft der Körper betrachtete. Diese Differenz wird von Newton bereits in einer etwa 1668-1670 erschienenen Frühschrift *De gravitatione et aequipondio fluidorum* hervorgehoben. Dort ist Newton allerdings noch so vorsichtig, nicht von der faktischen Körperwelt zu sprechen, sondern von einer von Gott erschaffenen möglichen Welt, die sich hinsichtlich der Wahrnehmbarkeit von unserer Welt nicht unterscheidet. In dieser Welt hat Gott dasjenige, was wir als körperlich wahrnehmen, nicht nur mit den Eigenschaften der Ausdehnung und Beweglichkeit ausgestattet, sondern auch mit der Eigenschaft der Undurchdringlichkeit. Vgl. I. Newton, *Über die Gravitation ... Texte zu den philosophischen Grundlagen der klassischen Mechanik*, übersetzt und hg. v. G. Böhme, Frankfurt a.M. 1988, 54-57.

¹⁵ Vgl. *Principia*, Cohen/Koyré, 553f.: „Corpora omnia mobilia esse, & viribus quibusdam (quas vires inertiae vocamus) perseverare in motu vel quiete, ex hisce corporum visorum proprietatibus colligimus.“ Newton spricht hier nicht nur die Beweglichkeit von Körpern schlechthin an, sondern zugleich die in der dritten Definition erläuterte Eigenschaft der „vis insita“, vermöge deren die Materie in ihrem jeweiligen Bewegungszustand zu verharren bestrebt ist. Damit ist auch mittelbar das erste Axiom oder Gesetz der Bewegung angesprochen. Da Newton sowohl die dritte Definition als auch die Gesetze der Bewegung noch explizit anspricht, soll an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden.

¹⁶ Vgl. *Principia*, Cohen/Koyré, 41f. Der Begriff des „impetus“ wird von Newton noch in seinem Entwurf

Auch diese Eigenschaft des „impetus“ kann man als induktive Verallgemeinerung von Alltagsbeobachtungen ansehen, wenn man sie als Disposition eines bewegten Körpers ansieht, aufgrund dessen er, wenn er auf ein materielles Hindernis trifft, dieses Hindernis in irgendeiner Form zu überwinden trachtet. Allerdings handelt es sich hier nicht um einen allgemeinen Satz oder ein Theorem, sondern um eine Definition, die die Grundlage einer Theorie bildet. Da der „impetus“ nur als besonderer Aspekt der hier zu definierenden Eigenschaft der „vis insita“ betrachtet werden muß, ist die Sachlage insofern komplizierter, als eine solche „innere“ oder „eingepflanzte Kraft“ selbst kein Gegenstand möglicher Erfahrung ist. Sie kann nur aufgrund eines beobachteten Verhaltens bewegter Körper *erschlossen* werden. Daher trifft auf diese Eigenschaft nicht zu, was Newton für die Eigenschaften der Undurchdringlichkeit und Beweglichkeit konstatiert hatte, nämlich daß sie nur durch die Sinne und nicht durch den Verstand festgestellt werden können. Bereits hier ist erkennbar, daß bei der „Deduktion aus den Phänomenen“ sowohl induktive als auch deduktive Momente zusammenwirken müssen.¹⁷

d) *Die Gesetze der Bewegung*. Dabei handelt es sich zweifellos um die „Axiomata sive leges motus“, die zusammen mit den Definitionen das Fundament der *Principia* ausmachen. Für sie erhebt Newton demnach den Anspruch, daß sie Propositionen darstellen, die „aus den Phänomenen deduziert“ und „durch Induktion verallgemeinert“ wurden.¹⁸ Am Beispiel des ersten Axioms oder Gesetzes der Bewegung, welches die Trägheit materieller Körper postuliert, läßt sich leicht einsehen, daß es nicht durch alltägliche induktive Verallgemeinerungen beobachtbarer Ereignisse gewonnen werden kann. Denn die Alltagserfahrung zeigt eigentlich genau das Gegenteil von dem, was das Trägheitsaxiom behauptet, nämlich daß jeder Körper, der sich in Bewegung befindet, nach einer Weile in den Ruhezustand übergeht. Dies legte eher einen dynamischen Unterschied zwischen ruhenden und bewegten Körpern nahe, so wie dies Aristoteles konzipiert hatte. Statt dessen beruht das Trägheitsaxiom auf einer Reihe *kontrafaktischer*, ideeller Bedingungen, die als solche prinzipiell nicht realisierbar sind, wie z.B. die Bedingung, daß sich ein Körper isoliert im unendlichen leeren Raum befände. Daher kann eine unendlich andauernde, geradlinig-gleichförmige Bewegung nicht auf einer induktiven Verallgemeinerung beobachtbarer Tatsachen beruhen. Statt dessen bedarf es zur Ableitung des Trägheitsgesetzes eines komplexen Zusammenspiels von Beobachtungen, Experimenten, Gedan-

zu *De gravitatione* explizit definiert. Vgl. I. Newton, *Über die Gravitation ...* Texte zu den philosophischen Grundlagen der klassischen Mechanik, übersetzt und hg. v. G. Böhme, Frankfurt a.M. 1988, 76: „Def. 7. Impetus est vis quatenus in aliud imprimitur.“

¹⁷ Auf die innere Schwierigkeit des Begriffs einer „Trägheitskraft“, die darin liegt, daß Newton die Trägheitsbewegung als Bewegung ohne jede bewegende Kraft konzipiert, möchte ich an dieser Stelle nicht näher eingehen.

¹⁸ Dies hat Newton in dem bereits zitierten Brief an Cotes vom 28.3.1713 auch explizit festgestellt. Vgl. J. Edleston, *Correspondence of Sir Isaac Newton and Professor Cotes*, London 1850, 154f.: „that [...] the word Hypothesis is not taken in so large a sense as to include [...] in Experimental Philosophy [...] the first Principles or Axiomes wch I call the laws of motion. These Principles are deduced from Phaenomena & made general by Induction: wch is the highest evidence that a Proposition can have in this philoso-

kenexperimenten, Schlußfolgerungen und mathematischen Berechnungen, um zu erkennen, wie sich unter seiner Voraussetzung insbesondere die Bewegungen der Himmelskörper erklären und mathematisch berechnen lassen. Auch in diesem Fall wird man wieder auf eine Wechselbeziehung zwischen induktiven und deduktiven Momenten geführt, die sich dem einfachen Schema einer induktiven Anhäufung von Einzelbeispielen entziehen. Entsprechendes ließe sich auch für die übrigen beiden Axiome sagen.¹⁹

e) *Das Gravitationsgesetz*. Die Ableitung des Gravitationsgesetzes ist das letzte Beispiel für die Anwendung der Methode der experimentellen Philosophie, welche eine „Deduktion aus den Phänomenen“ und eine „Verallgemeinerung durch Induktion“ beinhaltet. Roger Cotes führt in seiner Vorrede zur zweiten Auflage der *Principia* gerade das Gravitationsgesetz und die darauf beruhende Erklärung des Weltsystems als eine erfolgreiche Anwendung der analytischen und synthetischen Methode an. Vermittels der analytischen Methode wird demnach der Grundsatz der universellen Gravitation hergeleitet und mittels dieses Grundsatzes werden die Phänomene der Himmelsbewegungen erklärt. Daraus kann man schließen, daß erstens die Verfahren, aufgrund deren Newton den Gravitationsgrundsatz ableitet, und die sowohl eine „Deduktion aus den Phänomene“ als auch eine „Verallgemeinerung durch Induktion“ beinhalten, *Teile* oder *Momente* der analytischen Methode sind. Zweitens geht aus der Skizze der analytischen Ableitungsweise dieses Grundsatzes, die Cotes in den folgenden Abschnitten seiner Vorrede dargelegt hat, hervor, daß es sich wiederum um ein komplexes Zusammenspiel von empirischen Beobachtungen und Experimenten, mathematischen Berechnungen, Definitionen, Axiomen, Analogieschlüssen und Gedankenexperimenten handelt, das sich kaum mit einer induktiven Verallgemeinerung im modernen Sinne identifizieren läßt (vgl. *Principia*, Wolfers, Vorrede Cotes, 5-11)²⁰.

phy.“

¹⁹ In diesem Zusammenhang ist nicht uninteressant, daß Roger Cotes im Rahmen seiner Vorbereitungen der zweiten Auflage Newton darauf hingewiesen hatte, daß das dritte Axiom der Wechselwirkung in seiner speziellen Anwendung auf das Problem der wechselseitigen Gravitation zweier Körper nicht ohne weiteres mit Erfahrung und Beobachtung im Einklang stünde und daher durchaus als Hypothese angesehen werden könne. J. Edleston, *Correspondence of Sir Isaac Newton and Professor Cotes*, London 1850, 152f. Newton antwortete ihm mit einem Gedankenexperiment und dem Hinweis auf das erste Axiom. Ebd., 153: „If a body attracts another body contiguous to it & is not mutually attracted by the other: the attracted body will drive the other before it & both will go away together with an accelerated motion in infinitum, as it were by a self moving principle, contrary to ye first law of motion, whereas there is no such phaenomenon in all nature.“ Vgl. dazu auch *Principia*, Cohen/Koyré, 69-71.

²⁰ Derselbe Befund ergibt sich, wenn man Newtons Beweis der Proposition VII des dritten Buches der *Principia* näher analysiert, die konstatiert, daß die Gravitation allen Körper zukomme und der Menge der Materie jedes einzelnen proportional sei. Vgl. *Principia*, Cohen/Koyré, 576: „Gravitatem in corpora universa fieri, eamque proportionalem esse quantitati materiae in singulis.“ Der Beweis läßt sich nicht als einfache induktive Verallgemeinerung aus den Phänomenen rekonstruieren, sondern er stützt sich auf die Definitionen und Axiome (insbesondere das dritte), auf eine postulierte Analogie zwischen Zentripetalkräften und Zentralkörpern (ebd., Buch I, Sectio XI, Prop. LXIX, 296) die ‘Regulae Philosophandi’ sowie die sechs „Phaenomena“, die er im Anschluß daran konstatiert. Bei diesen ‘Phaenomena’ handelt es sich im übrigen nicht um ‘reine Beobachtungsdaten’, sondern um mithilfe mathematischer Kalkulationen aus Beobachtungen *abgeleitete* Sätze, die die Gültigkeit der Keplerschen Gesetze (insbesondere des zweiten und dritten) für die Systeme Erde-Mond, Sonne-Planeten und Planeten (Jupiter, Saturn)-Trabanten aussprechen.

„Et satis est quod gravitas revera existat, & agat secundum leges a nobis expositas, & ad corporum caelestium & maris nostri motus omnes sufficiat.“

Abschließend legt Newton dar, *was* er durch die zuvor geschilderte Methode der Experimentalphilosophie bewiesen zu haben glaubt. Die Resultate, die aus der Anwendung dieser Methode hervorgegangen sind, besitzen für ihn größtmögliche Gewißheit und unterscheiden sich dadurch deutlich von Hypothesen. Dennoch stellen sie lediglich einen relativen Haltepunkt, aber noch keinen Endpunkt der Forschung dar, solange zum einen die Ursache der Gravitation noch nicht gefunden wurde und zum anderen das Verhältnis der Gravitationskraft zu den übrigen (elektrischen, magnetischen, chemischen, Kohäsionskräften) Kräften der Natur ungeklärt ist. Dessenungeachtet haben sie in Newtons Augen den epistemischen Status (vermittels Beobachtungen, Experimenten und mathematischen Ableitungen) bewiesener Sätze, die als Ausgangspunkt weiterer Forschungen dienen können. Er zählt insgesamt drei Sachverhalte auf, die er für hinreichend bewiesen hält: 1. Die Eigenschaft der universellen Gravitation *existiert*, d.h. die Gravitation ist als eine Eigenschaft aller materieller Körper anzusehen. 2. Die mathematischen Gravitationsgesetze gelten für alle materiellen Körper. Dabei handelt es sich um folgende Gesetzmäßigkeiten: a. die Gravitation eines Körpers ist seiner Menge der Materie direkt und b. dem Quadrat des Abstandes (von seinem Schwerpunkt) umgekehrt proportional. 3. Vermittels der Annahme der Existenz der Gravitation und der an sie geknüpften Gesetze können *alle* Bewegungen der Himmelskörper (d.h. der Planeten, Monde und Kometen) und das irdische Phänomen von Ebbe und Flut erklärt werden.

1717: Im Jahre 1717 erfolgte die zweite englische Ausgabe der *Opticks*. Die *Opticks* erschienen zuerst in englischer Sprache im Jahre 1704. Zwei Jahre später, 1706, besorgte Samuel Clarke die erste lateinische Ausgabe. Der ersten englischen Auflage von 1704 hatte Newton 16 Queries hinzugefügt.²¹ Die Liste der Queries wurde in der lateinischen Version von 1706 um sieben weitere Fragen (Nummer 17-23) verlängert. Der zweiten englischen Auflage von 1717 fügte Newton acht weitere Fragen an, die aber nicht an die

Vgl. dazu auch P. Achinstein, „Newton’s Corpuscular Query and Experimental Philosophy“, in: Bricker, Philipp/Hughes, R.I.G. (eds.), *Philosophical Perspectives on Newtonian Science*, Cambridge(Mass.)/London 1990, 135-173, insbes. 137f.

²¹ Ursprünglich hatte Newton geplant, zusätzlich zu den tatsächlich publizierten drei Büchern der *Opticks* noch ein viertes Buch hinzuzufügen. Dieses sollte Überlegungen „concerning the nature of light & the power of bodies to refract & reflect it“ enthalten. Es sollte mit etwa 20 Propositionen beginnen und anschließend eine Reihe von Hypothesen anfügen, wurde aber nie vollendet. Vgl. dazu A. R. Hall, *All was Light: An Introduction to Newton’s ‘Optics’*, Oxford 1995, 86-89; R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge UP 1980, 521f. Eine dieser Hypothesen ist insofern interessant, als sie die Analogie zwischen Mikro- und Makrokosmos postuliert (ähnlich spricht auch die Regel III der „Regulae Philosophandi“ von der „analogia naturae“): „Hypothesis 2 As all the great motions in the world depend upon a certain kind of force (which in this earth we call gravity) whereby great bodies attract one another at great distances: so all the little motions in the world depend upon certain kinds of forces whereby minute bodies attract or disperse one another at little distances.“ Zit. nach Westfall 1980, 521 (Add. MS 3970.3, ff. 336).

Frage 23 der lateinischen Ausgabe angehängt wurden, sondern an die Frage 16 der ersten englischen Ausgabe. Fragen 17 bis 23 der lateinischen Ausgabe wurden in der zweiten englischen Ausgabe als Fragen 25 bis 31 numeriert.²² Innerhalb der Queries 28 und 31 dieser Ausgabe von 1717 finden sich jeweils verstreute Bemerkungen Newtons zu methodologischen Fragen.

6) 1717 a): In der Query 28 (dies entspricht der Query 20 der lateinischen Ausgabe von 1706) diskutiert Newton die Frage, ob es einen leeren Raum gebe oder nicht. Er führt die nahezu ungestörten und andauernden Bewegungen der Himmelskörper als Argument gegen die Hypothese eines ätherhaften Mediums an. In diesem Zusammenhang führt er auch die Autoritäten der alten griechischen und phönizischen Philosophen an, die das Leere und die Atome sowie die Schwere der Atome als erste Prinzipien ihrer Philosophie angenommen hätten. Weiter heißt es:

„Later Philosophers banish the Consideration of such a Cause out of natural Philosophy, feigning Hypotheses for explaining all things mechanically, and referring other Causes to Metaphysics: Whereas the main Business of natural Philosophy is to argue from Phaenomena without feigning Hypotheses, and to deduce Causes from Effects, till we come to the very first Cause, which certainly is not mechanical; and not only to unfold the Mechanism of the World, but chiefly to resolve these and such like Questions.

What is there in places almost empty of Matter, and whence is it that the Sun and Planets gravitate towards one another, without dense Matter between them? Whence is it that Nature doth nothing in vain; and whence arises all that Order and Beauty which we see in the World? To what end are Comets, and whence is it that Planets move all one and the same way in Orbs concentrick, while Comets move all manner of ways in Orbs very excentrick; and what hinders the fix'd Stars from falling upon one another?“ (I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 369).²³

²² Vgl. dazu D. Gjertsen, *The Newton Handbook*, London/New York 1986, 519-521.

²³ In der lateinischen Ausgabe der Query 20 findet sich an der entsprechenden Stelle folgende Version: „Cujus quidem *Causae* Physici Recentiores, in rebus Naturae speculandis, nullam rationem habuerunt; hypothesium commenta confingentes, quibus Phaenomena omnia sine ejusdem ope explicarent; & contemplationem ejus, in Metaphysicam rejicientes“. Zitiert nach I. B. Cohen, „The First English Version of

An dieser Stelle bezieht sich Newton ausdrücklich auf Hypothesen mechanistischer Art, d.h. insbesondere solche, die beispielsweise Gravitationserscheinungen oder die Ausbreitung des Lichts mittels eines materiellen Athers erklären wollten, wie Descartes oder Huygens. Die Annahme eines solchen Athers widerspricht nach Newtons Auffassung aber den Phänomenen der Himmelsbewegungen, die keinen nennenswerten Widerstand durch eine solche Materie erfahren. Interessant an dieser Äußerung ist aber noch etwas. Die Aufgabe der „Natural Philosophy“ (an späterer Stelle spricht Newton von „Experimental Philosophy“) sie es „Ursachen aus den Wirkungen zu deduzieren“. Dabei unterstellt er implizit, daß es sich nicht um einem einmaligen Vorgang handelt, sondern um eine Ursachenkette, an deren Anfang die erfahrbaren Phänomene stehen. Zunächst müssen von diesen die Ursachen ermittelt werden. Dann kann man nach den „Ursachen der Ursachen“ fragen usw. bis man auf eine „erste Ursache“ kommt. Von dieser behauptet Newton, daß sie nicht mechanischer Natur sein werde.

7) 1717 b): In der Query 31 der *Opticks* (dies entspricht der Query 23 der lateinischen Ausgabe von 1706) die der zweiten englischen Ausgabe hinzugefügt wurde, finden sich folgende Ausführungen Newtons:

„As in Mathematicks, so in Natural Philosophy, the Investigation of difficult Things by the Method of Analysis, ought ever to precede the Method of Composition. This Analysis consists in making Experiments and Observations, and in drawing general Conclusions from them by Induction, and admitting of no Objections against the Conclusions, but such as are taken from Experiments, or other certain Truths. For Hypotheses are not to be regarded in experimental Philosophy. And although the arguing from Experiments and Observations by Induction be no Demonstrations of general Conclusions; yet it is the best way of arguing which the Nature of Things admits of, and may be looked upon as so much the stronger, by how much the Induction is more general. And if no Exception occur from Phaenomena, the Conclusion may be pronounced generally. But if at any time afterwards any Exception shall occur from Experiments, it may then begin to be pronounced with such Exceptions as occur. By this way of Analysis we may proceed from Compounds to Ingredients, and from Motions to the Forces producing them; and in general, from Effects to their Causes, and from particular

Newton's *Hypotheses non fingo*“, in: *Isis* 53 (1962), 381.

Causes to more general ones, till the Argument end in the most general. This is the Method of Analysis: And the Synthesis consists in assuming the Causes discover'd, and establish'd as Principles, and by them explaining the Phaenomena proceeding from them, and proving the Explanations.“ (Newton, *Opticks*, 404f.)

Dabei handelt es sich um eine der ausführlichsten Stellen in Newtons publizierten Werken, an denen er sich dezidiert zu methodologischen Fragestellungen äußert. Es erscheint daher lohnenswert, sich die einzelnen Passagen einmal im Detail anzusehen.

„As in Mathematicks, so in Natural Philosophy, the Investigation of difficult Things by the Method of Analysis, ought ever to precede the Method of Composition.“

Zunächst stellt Newton eine Analogie her zwischen den Methoden in der Mathematik und der Naturphilosophie bezüglich der Untersuchungen „schwieriger Sachverhalte“. Dabei dient die Methode der Mathematik offenbar als Vorbild, deren Anwendung er auch für naturwissenschaftliche Untersuchungen empfiehlt. Zugleich geht daraus hervor, daß sich die dort angesprochene Methode entweder aus zwei Methoden zusammensetzt oder aber eine einheitliche Methode darstellt, die sich in zwei Teilschritte gliedert. Diese zwei Methoden oder Teilschritte nennt er „Methode der Analyse“ und „Methode der Komposition.“ Entscheidend für die Anwendung der Methoden ist die Reihenfolge. Die Methode der Analyse muß stets der Kompositionsmethode vorangehen.

Dabei stellen sich folgende Fragen: 1. Was ist mit der Methode der Analysis und der Methode der Komposition gemeint, die offenbar in der Mathematik Anwendung finden und die Newton auf naturwissenschaftliche Untersuchungen übertragen möchte? 2. Was versteht er unter „schwierigen Sachverhalten“?

„This Analysis consists in making Experiments and Observations, and in drawing general Conclusions from them by Induction, and admitting of no Objections against the Conclusions, but such as are taken from Experiments, or other certain Truths. For Hypotheses are not to be regarded in experimental Philosophy.“

Zunächst erfolgt eine Erläuterung der Methode der Analysis, allerdings ohne auf ihren Ursprung in der Mathematik näher einzugehen. Ihre Bedeutung wird unmittelbar in bezug auf naturwissenschaftliche Sachverhalte erklärt. Dabei lassen sich drei Schritte unterscheiden: a. Es werden Experimente durchgeführt und Beobachtungen gemacht. b. Aus diesen Experimenten und Beobachtungen werden allgemeine Folgerungen gezogen. Das Ziehen dieser Folgerungen erfolgt mittels der Induktion. c. Diese allgemeinen Folgerungen sind jedoch möglichen Einwänden ausgesetzt. Solche Einwände können jedoch

nur auf der Basis von Experimenten oder „sicheren Wahrheiten“ erhoben werden. Diese Vorgehensweise - wobei die Gesamtheit aller drei Schritte angesprochen wird - wird als wesentlich für eine bestimmte Art von Philosophie angesehen, nämlich der „experimentellen Philosophie“. Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, daß Hypothesen innerhalb dieser experimentellen Philosophie nicht die Funktion haben können, daß aus ihnen stichhaltige Einwände gegen die gemäß der Methode der Analyse abgeleiteten allgemeinen Schlußfolgerungen gezogen werden können.

Interessant sind hier vor allem zwei Punkte. Zum einen wird die Frage aufgeworfen, was Newton unter Induktion versteht. Denn die Induktionsmethode wird hier als Teilschritt einer offenbar übergeordneten Methode der Analyse expliziert. Zweitens taucht hier explizit Newtons kritische Haltung gegenüber Hypothesen auf, aber nicht in dem allgemeinen Sinne eines „Hypotheses non fingo“, wie in dem Scholium Generale zur zweiten Auflage der *Principia* von 1713, sondern in einem bestimmten methodologischen Kontext. Es geht darum, daß die auf Beobachtungen und Experimenten beruhenden und induktiv abgeleiteten allgemeinen Schlußfolgerungen zwar durchaus möglichen Einwänden und gegenteiligen Evidenzen ausgesetzt sein können, daß solche Einwände oder Evidenzen aber nicht Hypothesen entnommen werden können.²⁴ Der enge sachliche Zusammenhang, in dem beide Äußerungen hier stehen, macht deutlich, daß Newtons vieldiskutierte Ablehnung des Hypothesenbegriffs vor dem Hintergrund eines bestimmten methodologischen Vorgehens verstanden werden muß, das seiner „experimentellen Philosophie“ eigentümlich ist. Dabei stellt sich auch die Frage, welcher Art diese „allgemeinen Schlußfolgerungen“ sind, die durch die Methode der Analyse gewonnen werden. Handelt es sich um Prinzipien, Axiome, Definitionen, Sätze oder Gesetze? Und was versteht Newton darunter, wenn er davon spricht, daß diese allgemeinen Schlußfolgerungen auch keinen „gewissen Wahrheiten“ widersprechen dürfen. Handelt es sich dabei ebenfalls um Prinzipien, Axiome, Definitionen, Sätze oder Gesetze, die aus irgendeinem Grund als sicher bewiesen gelten können? Oder handelt es sich um allgemeine logische Gesetze des Denkens oder der Vernunft?

„And although the arguing from Experiments and Observations by Induction be no Demonstrations of general Conclusions; yet it is the best way of arguing which the Nature of Things admits of, and may be looked upon as so much the

²⁴ Der ausdrückliche Bezug auf diese mögliche Funktion von Hypothesen findet sich in der ersten publizierten Version dieser Passage in der Query 23 der ersten lateinischen Version der *Opticks* von 1706 noch nicht, sondern ist erst der zweiten englischen Ausgabe dieses Werkes von 1717 (diesmal in der Query 31) hinzugefügt worden. Vgl. dazu Henry Guerlac, „Newton and the Method of Analysis“, in: ders., *Essays and Papers in the History of Modern Science*, Baltimore/London 1977, 193-216, insbes. 194; vgl. dazu ebenfalls I. B. Cohen, „The First English Version of Newton's *Hypotheses non fingo*“, in: *Isis* 53 (1962), 379-388. Denselben Sachverhalt hatte Newton in der dritten Auflage der *Principia* (1726) als Regel IV der 'Regulae Philosophandi' in einer eigenständigen methodischen Regel formuliert, „ne argumentum inductionis tollatur per hypotheses“ (*Principia*, Cohen/Koyré, 555).

stronger, by how much the Induction is more general.”

In dieser Passage wird zunächst konstatiert, daß die durch die Schritte eins und zwei der Analyse - d.h. durch Beobachtung, Experiment und Induktion - gewonnenen allgemeinen Schlußfolgerungen noch nicht als „bewiesen“ gelten können. Was versteht Newton hier unter „demonstration“? Eine naheliegende Erklärung wäre die, daß er an dieser Stelle auf den epistemologischen Unterschied zwischen streng bewiesenen Aussagen, die notwendig und allgemein gelten, und wahrscheinlichen Aussagen, die das Ergebnis einer unvollständigen induktiven Verallgemeinerung darstellen, aufmerksam machen möchte. Beispiele für streng bewiesene Aussagen im ersten Sinne liefert die Mathematik. Demnach weist Newton hier auf den Unterschied zwischen streng bewiesenen Aussagen in der Mathematik und nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit gültigen Aussagen der Naturwissenschaften hin. Dies wird noch durch die Fortsetzung des Arguments verstärkt, welche ein solches induktives Vorgehen als die beste methodische Vorgehensweise beschreibt, die für „Naturgegenstände“ möglich ist. D.h. für Naturgegenstände ist prinzipiell keine den mathematischen Gegenständen analoge Gewißheit möglich. Allerdings läßt die Art der Ableitung allgemeiner Schlußfolgerungen vermittels der Induktion noch graduelle Unterschiede zu. Die Rechtfertigung dieser allgemeinen Schlußfolgerungen gewinnt an Kraft, wenn die Induktion „allgemeiner“ sei. Was ist damit gemeint? Bedeutet dies, daß eine Ausweitung in extensionaler Hinsicht erfolgt, d.h. daß die allgemeine Schlußfolgerung durch einen größeren Bereich von Phänomenen gestützt wird? Oder bedeutet dies, daß die auf Induktion beruhende Schlußfolgerung einen vergleichsweise höheren Allgemeinheitsgrad gegenüber der vorherigen allgemeinen Schlußfolgerung besitzt? Ein weiteres Problem ist auch darin zu sehen, daß auf diese Weise gewonnene induktive Verallgemeinerungen kaum von dem, was wir heute „gut bestätigte wissenschaftliche Hypothesen“ nennen würden, zu unterscheiden sind. Wie verträgt sich eine solche Interpretation aber mit der im vorigen Satz ausgesprochenen Maxime, daß Hypothesen in der Experimentalphilosophie keinen Platz haben? Weiterhin stellt sich die Frage, weshalb Newton dann angesichts des prinzipiellen Unterschieds hinsichtlich des Wesens mathematischer und naturwissenschaftlicher Gegenstände der Naturphilosophie die analytische und die resolutive Methode der Mathematik zur Nachahmung empfehlen kann?

„And if no Exception occur from Phaenomena, the Conclusion my be pronounced generally. But if at any time afterwards any Exception shall occur from Experiments, it may then begin to be pronounced with such Exceptions as occur.“

Damit wird der im zweiten Satz bereits angedeutete dritte Schritt der Analyse näher ausgeführt. Die in den Schritten eins und zwei gewonnene allgemeine Schlußfolgerung ist demnach einer weiteren Prüfung zu unterziehen. Diese Prüfung besteht offenbar in der Suche nach möglichen Ausnahmen. Wenn im Bereich der Phänomene keine Ausnahmen gefunden werden, dann könne man die betreffende Folgerung allgemein konstatieren.

Newton drückt sich hier sehr vorsichtig aus. Er spricht keineswegs davon, daß dann die Folgerung als bewiesen gelten kann. Das deutet darauf hin, daß er die Behauptung, man habe keine Ausnahmen dieser allgemeinen Folgerung innerhalb der Phänomene finden können, im Sinne einer faktisch erfolgten Feststellung versteht. D.h. sie beinhaltet nicht die weitergehende Aussage, daß man auch später prinzipiell keine Ausnahmen mehr finden könnte. Sie ist somit als eine vorläufige allgemeine Folgerung zu verstehen, die prinzipiell durch zukünftige experimentelle Resultate korrigierbar ist. Diese Interpretation wird auch durch den unmittelbar darauf folgenden Satz nahegelegt, der explizit die Möglichkeit solcher Ausnahmen, die sich auf experimentelle Resultate „at any time afterwards“ gründen, in Betracht zieht. Aber wie ist auf solche Ausnahmen zu reagieren? Interessanterweise plädiert Newton an dieser Stelle nicht dafür, diese gegenteiligen Evidenzen als Widerlegungen der zuvor induktiv entwickelten allgemeinen Schlußfolgerung anzusehen. Sie falsifizieren diese nicht. Statt dessen schlägt Newton vor, die allgemeine Folgerung zunächst beizubehalten, sie aber stets in Verbindung mit den experimentellen Ausnahmen zu konstatieren. Offenbar hat Newton dabei die folgende Überlegung im Sinn. Die vermittle der Schritte eins und zwei der Analyse entwickelte allgemeine Folgerung wird durch die Ausnahmen nicht widerlegt, sondern lediglich in ihrer Allgemeinheit eingeschränkt. Dann bestünde die Aufgabe darin, sie so zu verallgemeinern, daß die Ausnahmen mit eingeschlossen werden. Dies schlosse demnach eine Verallgemeinerung in zweierlei Hinsichten ein. Zum einen würde der Bereich der in Betracht zu ziehenden Phänomene ausgedehnt. Man hätte es mit einer extensionalen Erweiterung des Anwendungsbereichs zu tun. Zum anderen muß die Verallgemeinerung der Folgerung auch in intensionaler Hinsicht erfolgen. Damit ist gemeint, daß sich ihre inhaltlichen Bestimmungen so ändern müssen, daß sie nach der Korrektur auch mit den zuvor als Ausnahmen angesehenen experimentellen Resultaten vereinbar ist. Man könnte diesen dritten Schritt der Analyse daher als einen Schritt der Modifikation und zugleich Stabilisierung der zuvor vermittle der Induktion gewonnenen allgemeinen Schlußfolgerungen verstehen. Bedeutsam ist hier, daß es sich dabei nicht nur um einen rein logischen Prozeß der extensionalen und intensionalen Vertiefung, sondern auch um einen Prozeß des Fortschreitens in der Zeit handelt. Darüber hinaus wird dieser Prozeß noch als Teil der Methode der Analyse verstanden. Dies wird unmittelbar im nächsten Satz deutlich, in dem - die zuvor unterschiedenen Schritte zusammenfassend - die Richtung des Fortschreitens der Methode der Analysis in allgemeiner Weise beschrieben wird.

„By this way of Analysis we may proceed from Compounds to Ingredients, and from Motions to the Forces producing them; and in general, from Effects to their Causes, and from particular Causes to more general ones, till the Argument end in the most general.“

Newton beschreibt hier die Richtung des Fortschreitens mittels der Methode der Analyse zunächst anhand zweier Beispiele, nämlich zum einen von dem Zusammengesetzten zu den Bestandteilen und zum anderen von den Bewegungen zu den Kräften. Bei den Beispielen gemeinsam ist die Bestimmung, daß der Weg von den Wirkungen zu den Ursachen führt. Dieser Weg wird in der zweiten Beschreibung bereits angedeutet, sofern die Kräfte die Bewegungen „hervorbringen“. Es liegt auf der Hand, daß Newton hier an seine Theorie der Gravitation denkt, bei der er die universelle Gravitationskraft, die der Materie qua Materie zukommt, als Ursache der Planetenbewegungen, des Fallens schwerer Körper auf die Erde, der Erscheinungen von Ebbe und Flut, der wechselseitigen Störungen der Himmelskörper etc. zu explizieren versucht. In analoger Weise müßten dann im ersten Beispiel die Bestandteile als Ursache der Erscheinungen des Zusammengesetzten dargestellt werden können. Ein solches Beispiel bietet sich dar in Gestalt von Newtons Farbenlehre, bei der die Erscheinungen des weißen Lichts und der Farben auf die Zusammensetzung der (homogenen) monochromatischen Strahlen zurückgeführt werden. Die Eigenschaften der wahrnehmbaren Farberscheinungen beruhen auf den Eigentümlichkeiten, Unterschieden und Gesetzmäßigkeiten dieser monochromatischen Strahlen.

Aber Newtons Beschreibung ist damit noch nicht zu Ende. Vielmehr ist es jederzeit möglich, von den partikulären Ursachen zu allgemeineren fortzuschreiten. Dahinter steht die Frage: was sind die Ursachen der (bereits erforschten) Ursachen? Was ist die Ursache der Gravitation? Was ist die Ursache der unterschiedlichen Brechbarkeit der monochromatischen Strahlen? Diese Ursachenkette läßt sich so weit fortsetzen, bis man bei den „most general“ Ursachen angelangt ist. Aber wann ist man dort angekommen? Welche Kriterien gibt es, die einem Wissenschaftler sagen, daß er nicht mehr sinnvoll nach weiteren Ursachen fragen kann? Darauf geht Newton an dieser Stelle nicht näher ein. Jedenfalls ist soviel deutlich geworden, daß die Methode der Analysis letztlich auf eine solche Stufenfolge von Ursachen führt, die in ihrem Allgemeinheitsgrad aufsteigen und bei gewissen „allgemeinsten“ Ursachen endet. Dabei muß diese Verallgemeinerung als ein zeitlicher Forschungsprozeß verstanden werden, der sich über mehrere Menschenleben oder sogar Epochen hinziehen kann. Darüber hinaus kann sie nur auf der Grundlage von „gewissen Wahrheiten“ einerseits und von Phänomenen, d.h. durch Beobachtungen, Experimente und induktiver Verallgemeinerung, andererseits erfolgen.

„This is the Method of Analysis: And the Synthesis consists in assuming the Causes discover'd, and establish'd as Principles, and by them explaining the Phaenomena proceeding from them, and proving the Explanations.“

Nachdem Newton die Methode der Analyse verhältnismäßig ausführlich geschildert hat, handelt er die „method of composition“ oder die „Synthesis“, wie er sie an dieser Stelle noch bezeichnet, sehr kurz ab. Zunächst werden die mittels der Analyse entdeckten Ursachen, die als Prinzipien festgesetzt wurden, als Erklärungsgrundlage ange-

nommen. Ursachen sind für Newton demnach auch als Prinzipien zu verstehen, vermittelt derer eine Erklärung ermöglicht wird. Erklärt werden aufgrund der Prinzipien bestimmte Phänomene mit der Einschränkung, daß es sich um solche Phänomene handelt, die „aus den Prinzipien hervorgehen“. Das deutet darauf hin, daß es sich um einen besonderen eingegrenzten Phänomenbereich handelt. Darüber hinaus kommt der Synthesis noch die Aufgabe zu, die aufgrund der unterstellten Prinzipien zustande gekommenen Erklärungen „zu prüfen“ oder „zu beweisen“, je nachdem, wie strikt man das „proving“ interpretieren möchte. Die Synthesis hat demnach einerseits die Funktion, gewisse Erscheinungen aufgrund der von der Analyse gelieferten Ursachen oder Prinzipien zu erklären und gleichzeitig andererseits die Funktion, solche Erklärungen zu überprüfen. Sofern von dieser Prüfung (oder diesem Beweis) natürlich auch die von der Analyse entdeckten Prinzipien betroffen sind, da sie die Erklärungsgrundlage darstellen, stellt die Synthese einen weiteren Test für diese Prinzipien dar.

Diese Stelle wirft eine Reihe von Fragen auf. Was versteht Newton unter einer „Erklärung“ von Phänomenen aufgrund von Prinzipien? Inwiefern können Erklärungen, deren Prinzipien aus bestimmten Phänomenen abgeleitet sind, anhand dieser Phänomene überprüft werden? Beinhaltet dies nicht einen Zirkel? In welchem Verhältnis steht die Synthese zur vorangegangenen Analyse?

8) **1726:** Im Herbst 1723 wurde damit begonnen, eine dritte Auflage der *Principia* vorzubereiten. Newton hatte damit Henry Pemberton, ein junges Mitglied der *Royal Society*, beauftragt. Die Neuauflage erschien im Jahre 1726. Die wichtigste Änderung unter dem Gesichtspunkt der Äußerungen zu methodischen Fragestellungen betrifft den Zusatz einer vierten Regel zu den ‘Regulae Philosophandi’. Diese vierte Regel, die in der ersten und zweiten Auflage nicht auftaucht, lautet:

„In philosophia experimentalī, propositiones ex phaenomanis per inductionem collectae, non obstantibus contrariis hypothesibus, pro veris aut accurate aut quamproxime haberi debent, donec alia occurrerint phaenomena, per quae aut accuratiores reddantur aut exceptiones obnoxiae. - Hoc fieri debet ne argumentum inductionis tollatur per hypotheses.“

(*Principia*, Cohen/Koyré, 555; cf. Übersetzung Schüller in Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, 381: „In der experimentellen Physik muß man die durch Induktion aus den Naturerscheinungen erschlossenen Propositionen trotz widersprechender Hypothesen solange entweder für vollkommen oder annähernd wahr halten, bis einem andere Naturerscheinungen begegnet sind, durch welche sie entweder noch genauer werden oder durch welche sie Einschränkungen unterworfen werden. - Dies muß so sein, damit ein Induktionsschluß nicht durch Hypothesen entkräftet werden kann.“ [Modifizierte eigene

Übersetzung dieser Stelle: „In der Experimentalphilosophie müssen die durch Induktion aus den Phänomenen erworbenen (zusammengefaßten, gefolgerten) Propositionen, ungeachtet entgegengesetzter Hypothesen, entweder genau oder so nahe wie möglich für wahr gehalten werden, solange bis andere Phänomene aufgetreten sein mögen, durch welche sie entweder genauer gemacht oder Einschränkungen unterworfen werden. - Dies muß geschehen, damit das Induktionsargument nicht durch Hypothesen aufgehoben wird.“²⁵)

Bei dieser vierten Regel handelt es sich um eine genuin methodologische Regel. Während sich die ersten drei Regeln auf grundlegende Annahmen über die Natur im allgemeinen (Einfachheit der Natur und Übereinstimmung der Verhältnisse im Großen und im Kleinen) stützen, geht es in dieser Regel um die Absicherung induktiv gewonnener Propositionen. Unklar ist, ob diese Sätze vermittels der analytischen Methode gewonnen wurden, von der die Induktion - neben der „Deduktion aus den Erscheinungen - ja nur einen Teil oder ein Moment ausmacht. Newton stellt fest, daß es für die Experimentalphilosophie ganz wesentlich ist, daß ihre Sätze, die sie mit ihren eigentümlichen Methoden abgeleitet hat, nur zwei Arten von Veränderung unterworfen sein können. Erstens können später auftretende Phänomene (und nur solche), die bei der Formulierung der Proposition noch nicht berücksichtigt werden konnten, weil sie zu diesem Zeitpunkt noch unbekannt waren, von denen aber klar ist, daß sie hätten berücksichtigt werden müssen, dazu führen, daß entweder die besagte Proposition mit größerer Genauigkeit formuliert wird (wie z.B. durch genauere quantitative Messungen) oder aber, daß sie gewissen einschränkenden Bedingungen unterworfen werden muß. In beiden Fällen wird sie nicht vollkommen falsifiziert, sondern lediglich in ihrer Geltung eingeschränkt. Dies entspricht auch den Angaben, die Newton in der Query 31 der *Opticks* gemacht hat.²⁵ Mögliche Änderungen an induktiv (oder vermittels der analytischen Methode?) gewonnenen Propositionen können nur in der Entdeckung von Phänomenen ihren Ursprung haben, die mit dieser Proposition nicht oder nicht genau übereinstimmen, d.h. die nicht unter die allgemeine Aussage der Proposition subsumiert werden können, obwohl sie als ein Anwendungsfall derselben erkannt worden sind. Damit ist ausgeschlossen, daß sie insbesondere durch widersprechende Hypothesen widerlegt werden könnten. Hypothesen sind für Newton insbesondere solche Sätze, die nicht aus den Erscheinungen deduziert und induktiv verallgemeinert worden sind. Damit wird, anders gewendet, auch gesagt, daß als mögliche Hypothesen nur solche zugelassen werden dürfen, die mit den Sätzen der Experimentalphilosophie im Einklang stehen.

²⁵ Vgl. Newton, *Opticks*, 404: „And if no Exception occur from Phaenomena, the Conclusion my be pronounced generally. But if at any time afterwards any Exception shall occur from Experiments, it may then begin to be pronounced with such Exceptions as occur.“

NEWTONS METHODENLEHRE

B. Newtons Äußerungen zur Methode der Analyse und Synthese (resolutio und compositio) in seinen Vorlesungen zur Optik, Frühschriften und späteren unveröffentlichten Manuskripten

1. Problem der Deutung von Analyse und Synthese

Hall z.B. interpretiert Analyse und Synthese im Sinne der Zerlegung des Lichts durch Brechung und der Zusammensetzung der Strahlen zu weißem Licht; vgl. A. R. Hall, *All was Light: An Introduction to Newton's 'Optics'*, Oxford 1993, 101: „For clearly refraction both modifies and splits the incident white beam. This modification - call it analysis to suit Newton's interpretation - is clearly subtle, as is its converse, the synthesis of white light from the spectral rays, since Newton proved that white light can be constituted which has different properties from sunlight.“

Auch Shapiro deutet Newtons Anwendung der Methode der Analyse in diesem Sinne; cf. A. E. Shapiro, „The Evolving Structure of Newton's Theory of White Light and Color“, in: *Isis* 71 (1980), 211-235; op. cit., 222: „To determine whether a color is simple or compound one need only pass its rays through a prism to see whether or not they are all refracted alike. This definition reflects the essence of Newton's approach to the nature of light and color, the method of analysis, or decomposition into irreducible elements: 'That colour is primary or original wch cannot by any art be changed.' His tool for decomposition is refraction, which merely separates the rays, though he also uses reflection which gives an identical decomposition.“ Cf. op. cit., 223: „Since Newton took the method of analysis as his principal conceptual tool, he was not bothered by nature's profligate use of an infinite number of colors when two or three would apparently suffice.“

Andere Auffassungen:

→ cf. P. Achinstein, „Newton's Corpuscular Query and Experimental Philosophy“, in: Bricker, Philipp/Hughes, R.I.G. (eds.), *Philosophical Perspectives on Newtonian Science*, Cambridge(Mass.)/London 1990, 135-173; cf. 152: „Although Newton does not use the phrase 'deduction from phenomena' in this passage, I take it that in 'Analysis' one provides such 'deductions'. From the results of experiments and observations one proceeds to draw general conclusions by induction; and 'it is the best way of arguing which the Nature of Things admits of'.“ But Newton also speaks here of the method of composition or synthesis [cf. Newton, *Opticks*, 404f.]. His idea seems to be that once we have 'deduced' some proposition from the phenomena, we can then use that proposition in explaining phenomena 'proceeding from' it. He also speaks of 'proving the Explanations', although he does not say what this means or how it is to be done.“

→ B. L. Horan, „Inference to the Unobservable: Newton's Experimental Philosophy“,

in: Achinstein, P./Snyder, L.J. (eds.), *Scientific Methods: Conceptual and Historical Problems*, Malabar 1994, 1-19; cf. 3: „Newton’s experimental proofs proceeded in two stages. In the first, inductive stage, one employed what was called the ‘method of analysis’. Analysis consisted in inferring or ‘deducing’ propositions from the phenomena, and then generalizing these propositions by induction. Newton was not explicit about what type of arguments would qualify as a ‘deduction from the phenomena’, and his use of the term ‘deduction’ to describe a diverse set of inferences, some of which have an inductive character, is confusing.“ Bezogen auf Newtons 4. Regel der ‘Regulae Philosophandi’ heißt es (op. cit., 5): „Here again Newton’s terminology is confusing. Although he used the term ‘induction’ in stating Rule 4, his expression ‘induction from the phenomena’ should be understood as referring to the reasoning outlined by the method of analysis, that is, to what he otherwise calls ‘deduction from the phenomena’. [...] Newton used his experimental method - analysis followed by synthesis - to prove the existence of unobservable entities.“

→ Hughes Kritik an Achinstein; R. I. G. Hughes, „Reason and Experiment in Newton’s *Opticks*: Comments on Peter Achinstein“, in: Bricker, Philipp/Hughes, R.I.G. (eds.), *Philosophical Perspectives on Newtonian Science*, Cambridge(Mass.)/London 1990, 175-184; Hughes wendet sich insbesondere gegen Achinsteins These, daß Newton unter ‘proofs by experiment’ dasselbe verstanden hat, wie ‘deductions from phenomena’; denn: in den *Opticks* spricht er - im Gegensatz zu seinen Frühschriften zur Optik (Vorlesungen, New Theory, Auseinandersetzungen um die New Theory) - nicht mehr von ‘deduction from phenomena’, sondern nur noch von ‘proof by experiment’; cf. op. cit., 179: „I think, however, that this ignores the distinction, already remarked on, between analysis and synthesis, the two conceptually distinct phases of theory construction. The propositions that are ‘proved by experiment’ are those appearing as theorems of the formally presented theory after synthesis has been effected. Some of these propositions will have been ‘deduced from phenomena’ in analysis, but not all.“ Hughes weist insbesondere darauf hin, daß Analyse und Synthese zwei Momente der Theoriebildung für Newton darstellen; unter Hinweis auf Newtons Beschreibung der Methoden in dem unveröffentlichten Vorwort zu den *Opticks* (von ca. 1703) weist er darauf hin, daß die zwei Schritte der Analyse und Synthese eine Vereinfachung eines „more intricately dialectical process“ (op. cit., 177) darstellten; die Notwendigkeit des zweiten Moments der Synthese deutet er so, daß Newton damit die methodische Forderung verbinde, daß „the propositions of science must be set out not as an unordered collection of inductive generalizations but in a way that establishes the logical connections between them. To use an anachronism, only when we do this do we have a *theory*.“

In den *Opticks*, Buch I, Teil I, Prop. VI, 75-82, will Newton die Gültigkeit des Sinusgesetzes der Brechung in seiner modifizierten Form beweisen, nämlich daß das Gesetz für alle einfachen, homogenen oder ursprünglichen Strahlen gilt, sofern sie isoliert betrachtet

werden; Hughes hält diese gesamte Passage für sehr aufschlußreich; zum einen benutzt Newton für seine Ableitung die (falsche) Prämisse von Descartes, daß die Geschwindigkeit des Lichts wächst, wenn es von einem dünneren in ein optisch dichteres Medium eintritt; zum anderen ist hier seine Idee einer mathematischen Behandlung der Farbenlehre von Bedeutung; cf. op. cit., 180f.: „To understand Newton here we have to go back to his early insistence that his ‘science of colors was mathematical’. This claim must be separated from the suggestion made in the *Opticks* (p. 404) that the proper methods of natural philosophy, the methods of analysis and of composition, are analogues of the methods of mathematics, from which indeed they take their names. This has often been thought a false analogy; it is relevant here only because the method of composition yields a theory laid out *more geometrico*, and this is the sense in which Newton thought of his science as mathematical. The method of composition displays the logical relations between a theory’s propositions, and thus brings systematicity and unity to the theory: it shows that the truth of an individual proposition cannot be separately challenged. This mode of presentation is, however, possible only if the phenomena the theory deals with can be represented in a way that makes the methods of mathematical demonstration appropriate. In the case of Newton’s ‘science of colors’, optical phenomena are at first modeled within geometry; then, with the ‘supposition’ of Proposition VI, Theorem V, this geometry becomes a geometrized kinematics.“

→ Mamiani, Maurizio, *Isaac Newton filosofo della natura. Le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo newtoniano*, Firenze 1976; Mamianis Interpretation der Methoden der Analyse und Synthese; Mamiani weist darauf hin, daß Newton die Bezeichnungen dieser Methoden zwar von der Antike übernommen habe, aber er habe ihre Bedeutung im Rahmen der Naturphilosophie völlig verändert; insbesondere verweist Mamiani auf die enge wechselseitige Beziehung der Prozesse der Induktion und Deduktion bei Newton; cf. op. cit., 98-101.

2. Analyse und Synthese in Newtons Vorlesungen zur Optik

Nachdem Newton die ersten sechs Lektionen der *Optical Papers I* beendet hat, zieht er ein Resümee; diese ersten sechs Lektionen sollten die Grundlagen einer physikalischen Optik liefern; ihnen stellt er **vier Propositionen** voran, die er beweisen wollte:

- (1) er habe entdeckt, daß die Strahlen, die bei gleichem Einfallswinkel am stärksten gebrochen werden, ‘Purple’ oder violette Farben hervorbringen („efficiunt“). Diejenigen, die am wenigsten gebrochen werden, bringen rote Farben hervor; alle Strahlen, deren Brechungsgrad dazwischen liegt, bringen Blau, Grün und Gelb hervor;
- (2) Umkehrung: die Strahlen, die ‘Purple’ oder violette Farben hervorbringen, werden bei gleichem Einfallswinkel am stärksten gebrochen, und diejenigen, die rote Farben hervorbringen, werden am wenigsten gebrochen; diejenigen, die blaue, grüne und gelbe

hervorbringen/erzeugen („generant“), liegen mit ihrer Brechungsstärke dazwischen;

Allgemein: Newton verbindet **zwei kontinuierliche Reihen** mit einer **eindeutigen Zuordnung**, nämlich a) die **Quantität der Brechung** (der bei gleichem Einfallswinkel einfallenden Strahlen) wird als kontinuierlich zunehmende (positive, reelle) Zahlenreihe gedacht, die sich über ein gewisses Intervall erstreckt; b) die (Disposition der Strahlen, die) **kontinuierliche Farbreihe** von Rot, Gelb, Grün, Blau und Violett zusammen mit allen sukzessiven Abstufungen und Zwischenfarben (zu erzeugen) [es gibt unendlich viele davon];

(3) Aus verschiedenen Mischungen dieser [einfachen, homogenen (?)] Strahlen werden alle anderen Farben hervorgebracht; die Farben Weiß, Grau und Schwarz setzen sich aus konfusen Mischungen aller Strahlen zusammen;

(4) Die Oberflächenfarben von Körpern kommen durch eine gewisse Disposition der Körper zustande, einige Strahlen zu reflektieren und alle anderen zu absorbieren („intromittant“); ein weißer Körper reflektiere fast alle Strahlen, während ein schwarzer Körper fast alle Strahlen absorbiere und nur ganz wenige reflektiere;

[cf. I. Newton, *The Optical Papers of Isaac Newton*, ed. by A. E. Shapiro, Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 86f. (im folgenden zitiert als: Newton, *Optical Papers I*); von diesen vier Propositionen hat Newton in der ersten Vorlesungsreihe, nämlich den *Optical Papers I*, nur die ersten drei bewiesen; die vierte beweist er später in der zweiten Vorlesungsreihe, den *Optica*];

zu Beginn der 7. Vorlesung der *Optical Papers I* findet man einen Schnitt; Newton beginnt mit der Bemerkung, daß die **Fundamente (Prinzipien)** nun errichtet seien, aufgrund deren man die „gewöhnlichen Erscheinungen der Farben“, die durch Prismen hervorgerufen werden, nun erklären könne; an verschiedenen Stellen habe er sehr klar die **Ursachen** (der Farberscheinungen an Prismen) eingeführt und dargelegt;

→ also hätte es nun eigentlich keinen Sinn mehr, diese (Farberscheinungen an Prismen) noch weiter zu behandeln; aber: man wolle an der „vorgeschlagenen Methode“ festhalten; diese beinhalte folgende zwei Schritte:

(1) Die **Fundamente (Prinzipien, Eigenschaften)** gewisser Phänomene herauszufinden, die die Grundlage der Unterschiede und **Ursachen** derselben bilden; [dabei handelt es sich um (reale) physikalische Prinzipien; Newton hatte dies zuvor als die höchste Aufgabe/Pflicht der (Natur-)Philosophen hervorgehoben];

cf. Newton, *Optical Papers I*, 144: „**Hucusque fundamenta struximus, quibus apparentiae vulgares colorum prismetibus effectorum certissime possunt explicari. [...] horum etiam causas tam apertè passim insinuavimus et declaravimus, [...].**“ (cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 145: „Thus far we have erected the foundations whereby the common

appearances of colors produced by prisms can be most certainly explained. [...] at various places we have also clearly introduced and demonstrated their causes [...].“)

(2) Nachdem nun die **Prinzipien** oder **Fundamente** eines Bereichs von Erscheinungen etabliert sind, sollen in einem zweiten Schritt die **Ursachen** der Phänomene aufgrund dieser Prinzipien „auf wissenschaftliche Weise bestimmt“ werden;

cf. Newton, *Optical Papers I*, 144: „ **eas [apparentiae vulgares colorum prismatibus effectorum causas] nempe ex principiis antè monstratis scientificè determinandi.**“ (cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 145: „to determine them (the causes of the common appearances of colors produced by prisms) scientifically from principles previously demonstrated.“)

zu Beginn der Vorlesung 9 (Newton, *Optical Papers I*, 168/69) erklärt Newton, er wolle das **Maß der Brechungen** genauer studieren; Ziel: die Wissenschaft der optischen Instrumente, welche das Sehen perfektionieren, zu verbessern; alsdann seien viele **Propositionen** zu deduzieren, die sich auf diese Art der Genesis der Farben stützen und erklärt werden müssen; → **synthetische Methode**: diese **Erklärung** wolle er aber nur in der Weise liefern, daß er sich dabei auf die **Prinzipien** stütze, die er zuvor beweisen habe, wie dies in der **Geometrie** üblich sei;

Newton, *Optical Papers I*, 168: „**et multae sint exinde deducendae propositiones quibus hujusmodi colorum genesis innitur et explicari debet, modò ex solis principiis antecedenter demonstratis (ut in geometria solet fieri) velim determinare.**“ (cf. Übersetzung Shapiro, op. cit., 169: „and next many propositions are to be deduced upon which the origin of colors of this kind depends and must be explained, provided that I intended to determine them solely from principles previously demonstrated (as is usual in geometry)“. [Bedeutsam: hier findet man die **synthetische Methode** beschrieben und zwar mit einem direkten Hinweis auf die **Geometrie** bzw. auf das methodische Vorgehen in der Geometrie; statt „determinare“ hatte Newton ursprünglich „demonstrare“ geschrieben, es dann aber wieder ausgestrichen; vermutlich aus stilistischen Gründen, da sonst im selben Satz das Wort „demonstrare“ zweimal auftaucht];

3. Analyse und Synthese im *Discourse of Observations*

In seinem *Discourse of Observations* vom Dezember 1675 legt Newton seine Beobachtungen zu den Farben dünner Plättchen dar; anschließend will er aufgrund dieser Beobachtungen die Oberflächenfarben natürlicher Körper erklären; dabei will er zunächst von den einfachsten ausgehen und anschließend die komplexeren erklären; cf. I. B. Cohen (ed.), *Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy and Related Docu-*

ments, Cambridge (Mass.) 1958 (im folgenden zitiert als: Cohen, *Isaac Newton's Papers & Letters*), 216: „**Having given my observations of these colours, before I make use of them to unfold the causes of the colours of natural bodies, it is convenient, that, by the simplest of them, I first explain the more compounded; such as are the second, third, fourth, ninth, twelfth, eighteenth, twentieth, and twenty-fourth.**“ (Cf. auch I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 225; im folgenden zitiert als: Newton, *Opticks*);

Newton stellt dabei Tabellen und Berechnungen vor, aus denen die Abfolge und das Mischungsverhältnis der farbigen Ringe bestimmt werden kann; darüber hinaus will er die Dicke der Plättchen oder der Schichten genau bestimmen, an der eine bestimmte Farbe sichtbar wird; er tut dies für die verschiedenen Medien von Luft, Wasser und Glas; (Cohen, *Isaac Newton's Papers & Letters*, 216-219); er hat sogar die Idee, aufgrund der Farbart und -abfolge die Größe der kleinsten Teilchen natürlicher Körper zu bestimmen (op. cit., 220): „**There are also other uses for this table; for by its assistance the thickness of the bubble, in the nineteenth observation, was determined by the colours, which it exhibited. And so the bigness of the parts of natural bodies may be conjectured at by their colours, as shall be hereafter shown.**“ (Cf. dazu Newton, *Opticks*, 232/234).

4. Analyse und Synthese in späteren unveröffentlichten Manuskripten (1700-1719)

Weitere Bemerkungen zu den Methoden der Analyse und Synthese und ihrer Anwendung in den *Principia* finden sich auf losen Blättern und Manuskripten, die etwa aus den Jahren 1716-1718 stammen (cf. I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, ed. by D. T. Whiteside, Vol. VIII: 1697-1722, Cambridge 1981, Komm. Whiteside, 443, Anm. 2; im folgenden zitiert als: Newton, MP VIII); sie waren vermutlich als Vorwort für eine dritte Auflage der *Principia* gedacht; sie stehen auch im Zusammenhang mit dem Prioritätsstreit zwischen Leibniz und Newton um die Entdeckung der Infinitesimalrechnung; auf einem ersten Blatt lautet eine Version, die Newton später durchgestrichen hat:

„**Veteres in resolutione Problematum primo colligebant ex datis quicquid occurreret, & in hunc finem Euclides Libros Datorum et Porismatum & Contactuum et Locorum Planorum et Apollonius libros de sectione rationis & sectione spatij & c scripserunt. Si hac methodo quaesitum colligere potuerunt**

resoluebatur Problema, sin minus assumebant quaesitum tanquam datum ut inde datum aliquod tanquam quaesitum colligerent et ex [originally 'nexu'] relatione inter datum et quaesitum deducerent quaesitum regrediendo. Recentiores relationem illam per computationem Arithmetica ad quantitates geometricas applicatam colligere didicerunt." (Newton, MP VIII, 444, Anm. 3; Übersetzung Whiteside (op. cit., 444f.): „The ancients in the resolution of problems used first to gather from the givens whatever might come to ensue, and to this end Euclid wrote his books of *Data, Porisms, Contacts, and Plane Loci*, and Apollonius his books *On cutting off a ratio* and *On cutting off a space*, and so on. If by this method they were able to collect what was sought, the problem was resolved; but if not, they used to assume what was sought as though it were a given in order that they might thence gather some given as though it were sought, and so from the (connection) relationship between given and sought deduce the sought by going back. Those more recent have learnt how to collect that relationship by means of an arithmetical computation applied to geometrical quantities.“)

Die Verbesserung dieser Stelle lautet dann folgendermaßen:

„Analysis Veterum Geometrarum in deductione consequentiarum ex datis donec quaesitum prodiret constituisse videtur. In hunc finem Euclides libros *Datorum et Porismatum et Locorum Planorum* et Apollonius libros *de Sectione Rationis & Sectione Spatij* scripserunt. Ubi vero Quaesitum ex datis non facile consequeretur, vel quaerebant Lemmata aut P[_o]rismata [ursprünglich: 'Propositiones'] per quae Datum aliquod novum colligere possent vel assumebant ignota tanquam data ut inde datum aliquod tanquam ignotum colligerent, [ursprünglich: 'ut quod inde consequeretur viderent' = 'so that they see what might ensue'] ac tandem ex relatione quacunque inter data et quaesitum invertendo ordinem argumentationis quaesitum deducerent.

Analysis recentiorum ex Arithmetica originem habuit, et nihil aliud est quam Arithmetica Universalis ad quantitates seu Geometricas seu alias quascunque applicata. Qui utuntur hac *Analysi perraro Propositiones suas componunt.*" (Newton, MP VIII, 442/444; cf. Übersetzung Whiteside (op. cit., 443/445): „The analysis of the ancient geometers seems to have consisted in the deduction of consequences from givens until the

thing sought should result. To this end Euclid wrote his books of *Data*, *Porisms* and *Plane loci*, and Apollonius his books *On cutting off a ratio* and *On cutting off a space*. Where, however, the thing sought would not easily ensue from the givens, they either looked for lemmas or porisms through which some new given might be gatherable, or assumed unknowns as givens so that thereby they might gather some given as though it were unknown, [so that they see what might ensue] and at length by inverting the sequence of argument deduce the thing sought from whatever relationship between the givens and the sought. - The analysis of those more recent has taken its origin from arithmetic, and is nothing else than universal arithmetic applied to quantities, be they geometrical ones or others whatever. Those who employ this analysis very rarely compose their propositions.“)

→ gemäß dieser Beschreibung war die Analysis eine Methode der Problemlösung; Newton folgt hier offenbar der Beschreibung von Pappos, wie später deutlich wird; allerdings ist die einschlägige Stelle bei Pappos vieldeutig; cf. H.-J. Engfer, *Philosophie als Analysis. Studien zur Entwicklung philosophischer Analysiskonzeptionen unter dem Einfluß mathematischer Methodenmodelle im 17. und frühen 18. Jahrhundert*, Stuttgart/Bad Cannstatt 1982, 79f., wo die entsprechende Stelle bei Pappos (zu Beginn des 7. Buches der *Collectio* von Pappos) zitiert wird; sie läßt im wesentlichen zwei Interpretationen zu: 1) **Analysis** ist die Methode, aus dem **Gesuchten**, das als zugestanden (gegeben) betrachtet wird, **Konsequenzen abzuleiten**, um dabei auf etwas zu stoßen, das in der **Synthesis** bereits zugestanden wurde; in dieser Interpretation bestünde die Analysis in einem **Fortschreiten** (etwa von dem zu prüfenden Satz) **zu Folgerungen**; 2) **Analysis** ist die Methode, in der das Gesuchte als gegeben angenommen wird, und das ins Auge gefaßt, **woraus** sich dieses ergibt; dabei wird zu den Bedingungen weiter zurückgegangen, bis man bei etwas landet, was als erkannt gilt bzw. was als Prinzip (arche) angenommen wurde; in dieser Bedeutung ist Analysis der Weg des **Aufstiegs zu immer höheren Bedingungen**, bis man schließlich bei Prinzipien landet;

→ der Interpretation 2) haben sich Cornford [F. M. Cornford, „Mathematics and Dialectic in the ‘Republic’ VI.-VII.(I).“ *Mind* 41 (1932), 37-52] sowie Hintikka und Remes [J. Hintikka/U. Remes, *The Method of Analysis. Its Geometrical Origin and Its General Significance*, Dordrecht 1974] angeschlossen; die Interpretation 1) vertreten hingegen Heath [T. L. Heath, *A History of Greek Mathematics*, 2 vols., Oxford 1921 (Reprint New York/Dover 1981)], Robinson [R. Robinson, „Analysis in Greek Geometry.“ *Mind* 45 (1936), 464-473], Cherniss [H. Cherniss, „Plato as Mathematician.“ *The Review of Metaphysics* 4 (1951), 395-425] und Rehder [W. Rehder, „Die Analysis und Synthesis bei Pappos.“ *Philosophia naturalis* 19 (1982), 350-370];

→ vergleicht man diese vieldeutige Beschreibung von Pappos mit seiner geometrischen Praxis, dann findet man, daß dort gerade nicht nach den Bedingungen eines infrage ste-

henden Satzes gesucht wird, sondern vielmehr dieser Satz als zugestanden betrachtet wird, um daraus Folgerungen abzuleiten (cf. A. Behboud, „Greek Geometrical Analysis.“ In: *Centaurus* 37 (1994), 52-86; cf. dazu auch Engfer 1982, 83); allerdings werden diese Folgerungen nicht allein aus dem Gesuchten abgeleitet, sondern unter der weiteren Annahme von grundlegenden geometrischen Prinzipien sowie gegebenen Beziehungen geometrischer Objekte im Rahmen einer bestimmten Konfiguration, zu der auch die gesuchte Beziehung gehört; dabei zeigen sich zwei Teilschritte der Analysis: i) die Transformation (impliziert Einführung von Hilfskonstruktionen; besitzt erfindende Kraft) und ii) die Resolution (soll zeigen, daß ein aus dem zu beweisenden Satz als Konsequenz abgeleiteter Satz *ausschließlich* aus bereits zugestandenem Voraussetzungen ableitbar ist; diese besitzt beweisende Kraft; denn: wenn dieser Satz falsch ist, der als Konsequenz aus dem zu beweisenden Satz abgeleitet wurde, dann muß auch der zu beweisende Satz falsch sein nach dem apagogischen Beweis); tritt in der Resolution kein Widerspruch auf, dann ist noch nicht die Wahrheit des zu beweisenden Satzes gezeigt; vielmehr ist dazu die Synthese nötig, die zeigt, daß das Gesuchte ausschließlich aus bereits Bekanntem und Zugestandenem abgeleitet werden kann;

→ allerdings kann sich die Interpretation 2), welche die geometrische Analysis im Sinne des Aufstiegs zu immer höheren Bedingungen und letzten Prinzipien versteht, auf eine Reihe von wichtigen Vorläufern in der Antike stützen; so z.B. auf Platon und Aristoteles; auch Proklos interpretiert die Analyse in diesem Sinne; allerdings wird hier die **geometrische Analyse** immer mehr zu einer **logischen Analyse** umgedeutet (cf. Engfer 1982, 87);

[in bezug auf Newton behauptet Engfer, er folge ebenfalls der Interpretation 2) und identifiziere sie mit dem Methodenmodell von Zabarella; cf. Engfer 1982, 100: „In der Vorrede zur ersten Auflage eben dieses durch seinen axiomatischen Aufbau bestimmten Werkes [der *Principia*] beschreibt Newton die benutzte Methode ganz im Sinne Zabarellas bloß als resolutiven Aufstieg von den Phänomenen zu den Kräften der Natur und als demonstrativen Abstieg von diesen Kräften zu den übrigen Phänomenen und läßt den axiomatischen Aufbau seines Werkes und seine mathematischen Ableitungen völlig unerwähnt.“ Ebenso (op. cit., 101) sieht Engfer in der Bemerkung Newtons in der Frage 31 der *Opticks* „eine präzise Paraphrase des Methodenmodells von Zabarella“];

→ einiges deutet allerdings darauf hin, daß Newton auch die Interpretation 1) im Sinn haben könnte, denn: ihm ist klar, daß die Ableitung von Konsequenzen aus der als gegeben (datum) angenommenen zu beweisenden Beziehung (Proposition) nicht nur diese Beziehung (Proposition) unterstellt, sondern auch noch weitere Voraussetzungen in Betracht zieht;

Newton: wenn aus der Analyse eine Proposition resultiert (bzw. ein Problem gelöst wurde), dann darf diese Proposition nicht sofort in die Geometrie eingeführt werden, sondern

zuvor muß deren Beweis (via Synthesis) geführt werden (Newton, MP VIII, 444): **„Nam Geometriae vis & laus omnis ab ejus certitudine, certitudo autem a Demonstrationibus syntheticis dependet.“** (eigene Übersetzung: „Denn all die Kraft und das Ansehen der Geometrie hängt von ihrer Gewißheit und die Gewißheit aber von ihren synthetischen Beweisen ab.“) Newton weist darauf hin, daß die Alten ihre analytischen Erfindungen und Kunstgriffe vor der Öffentlichkeit verborgen haben; statt dessen haben sie nur die synthetischen Beweise präsentiert; [Newton spricht erst von „per compositionem“, ersetzt diesen Ausdruck aber dann durch „synthetice“]: **„Eadem de causa et nos Propositiones per Analysis nostram inventas demonstravimus synthetice ut in Geometriam admitterentur & Philosophia [Newton schrieb zunächst „theoria“] Coelorum quae in Libro tertio habetur fundaretur in Propositionibus Geometrice demonstratis.“** (Op. cit., 444; cf. Übersetzung Whiteside, op. cit., 445: „For the same reason we, too, synthetically demonstrated the propositions found out through our analysis so that they might be admitted into geometry, and that the philosophy of the heavens which is delivered in the third book be founded on propositions geometrically demonstrated.“)

Newton betont in diesem Zusammenhang, daß er seine Propositionen vermittels der „Methode der Fluxionen und Momente“ (op. cit., 446: „ex methodo fluxionum & momentorum“), von denen die Methode der „ersten und letzten Verhältnisse“ ein Teil sei, **analytisch** gefunden und **synthetisch** bewiesen habe;

→ **Analysis** besitzt **erfindende Kraft** (ars inveniendi), **Synthesis** hingegen **beweisende Kraft** (ars demonstrandi); daher sind für Newton beide Methoden untrennbar miteinander verbunden; Newton war der Meinung, daß jeder in der Mathematik Geübte aus seinen synthetischen Beweisen die analytische Findung derselben herauslesen könne.

Dieses erste fragmentarische Manuskript wird durch eine zweite Version ersetzt [ULC. Add. 3968.9: 107r]; dort heißt es:

„Veteres duplici methodo tractabant res Geometricas, Analysis scilicet et Synthesi, seu Resolutione et Compositione ut ex Pappo liquet. Per Analysis investigabant Propositiones suas et per Synthesin demonstrabant inventas ut in Geometriam admitterentur. Laus enim Geometriae in ejus certitudine consistit, ideoque nihil in ipsam prius admitti debet quam reddatur certissimum. Haec certitudo oritur ex demonstrationibus et Veterum Demonstrationes omnes erant

syntheticae. Algebra nihil aliud est quam Arithmetica ad res Geometricas applicata, et ejus operationes complexae sunt & erroribus nimis obnoxiae & a solis Algebrae peritis legi possunt. Propositiones autem in Geometria sic proponi debent ut a plurimis legantur, et mentem claritate sic maxime afficiant, ideoque synthetice demonstrandae sunt. Utilis est Analysis ad veritates inveniendas, sed certitudo inventi examinari debet per compositionem Demonstrationis & quam fieri potest perspicua clara & omnibus manifesta reddi: praesertim cum Propositio quae non demonstratur synthetice, ex mente Veterum non demonstratur, ideoque in Geometriam admitti non debet. Problemata quoque quorum constructiones innotescunt tantum per Analysis, | nondum soluta sunt sed tantum resoluta, nec prius soluta dici debent quam eorum Constructiones demonstrantur synthetice.“ (Newton, MP VIII, 448/450; cf. Übersetzung Whiteside, op. cit., 449/451: „The ancients treated geometrical matters by a dual method, namely analysis and synthesis, or resolution and composition, as is clear from Pappus. Through analysis they discovered their propositions and through synthesis, once they were found, they demonstrated them so that they might be admitted into geometry. For the glory of geometry consists in its absolute certainty, and consequently nothing ought to be admitted into it before it is rendered wholly certain. This certainty arises from the demonstrations, and the ancients’ demonstrations were all synthetical. Algebra is nothing other than arithmetic applied to geometrical matters, and its operations are complicated and excessively susceptible to errors, and can be understood by the learned in algebra alone. Propositions in geometry, however, ought to be propounded in such a way that they may be appreciated by the great majority and thus most impress the mind with their clarity, and they need consequently to be synthetically demonstrated. Analysis is useful for finding out truths, but the certainty of a finding ought to be attested through the composition of a demonstration, and so made as transparent, clear and manifest to all as it is possible; particularly so when a proposition which is not demonstrated synthetically is, in the ancients’ understanding, not proven and consequently ought not to be admitted into geometry. Problems, also, whose constructions are ascertained merely | through analysis are not yet solved but merely resolved nor ought to be said to be solved before their constructions shall be demonstrated synthetically.“)

Auf einem weiteren losen Blatt, das zusammen mit dem ersten gefunden wurde, findet sich folgender Text:

„Veteres in rebus Mathematicis [ursprünglich stand dort der Ausdruck „Geometricis“] methodum duplicem colebant, Analysin et Synthesin seu Resolutionem et Compositionem: per Anylsin Propositiones investigabant, per Synthesin demonstrabant inventas, & nondum demonstratas non admittebant in Geometriam. Laus enim Geometriae in rerum certitudine constabat. Ideoque in Libris seuquentibus Propositiones per Analysin inventas composui ut certissimae redderentur, & ob certitudinem dignae essent quae admitterentur in Geometriam. Sensu enim latiore Geometriam hic voco quae magnitudines tam motu locali quam alia quacunque ratione descriptas ac definitas mensurare docet. Analysis speciosa nihil aliud est quam Arith- | metica ad res Geometricas applicata. In calculis hujus generis errores facile admittuntur. At si Propositiones sic inventae demonstrantur synthetice hae duplicem acquirunt certitudinem, et illa quae ex calculo Arithmetico haberi potest et illam quae ex demonstratione Geometrica producitur, et per talem demonstrationem certitudinem Geometricam acquirunt, et absque certitudine Geometrica in Geometriam admitti non debent. Hic non tam brevitati verborum et computationum, quam rerum evidetiae et certitudini consulendum est.“ (Newton, MP VIII, 450/452; cf. Übersetzung Whiteside, op. cit., 451/453: „The ancients used in mathematical matters to practice a dual method, analysis and synthesis, or composition and resolution. Through analysis they discovered propositions, and through synthesis they demonstrated them once found - and when these were not yet demonstrated they did not admit them into geometry; for geometry’s title to praise lay in the utter certainty of its matters. And on that account I have in the books which follow composed the propositions found out by analysis in order to render them absolutely certain and so, because of their certainty, worthy to be admitted into geometry. In a rather broad sense, to be sure, I here call geometry that which instructs how to measure magnitudes described and defined not only by local motion but in any other manner whatever. ‘Specious’ analysis is nothing other than arithmetic applied to geometrical matters. In calculations of this kind errors are easily introduced. But if the propositions so found out be demonstrated synthetically, then these acquire a dual certainty, both that which can be had from arithmetical calculation and that which is produced from geometrical demonstration; through such demonstration they acquire geometrical certainty, and without geometrical certainty they ought

not to be admitted into geometry. Here regard must be paid not only to the brevity of words and computations, but also to the evidence and certainty of things.”)

Es existiert ein weiterer Auszug von Newtons unvollendeter letzter Version seines beabsichtigten Vorwortes zu den *Principia* (bzw. der dritten Auflage); er findet sich in ULC. Add. 3968.9: 109r-109v:

„Geometrae Veteres quaesita investigabant per Analysin, inventa demonstrabant per Synthesin, demonstrata edebant ut in Geometriam reciperentur. Resoluta [ursprünglich: „Problematum resolutiones“] non statim recipiebantur in Geometriam: opus erat solutione per compositionem demonstrationum. Nam Geometriae vis et laus omnis in certitudine rerum, certitudo in demonstrationibus luculenter compositis constabat. In hac scientia non tam brevitati scribendi quam certitudini | rerum consulendum est. Ideoque in sequenti Tractatu Propositiones per Analysin inventas demonstravi synthetice.

Geometria Veterum versabatur quidem circa magnitudines; sed Propositiones de magnitudinibus nonnunquam demonstrabantur mediante motu locali: ut cum triangulorum aequalitas in Propositione quarta libri primi *Elementorum* Euclidis demonstraretur transferendo triangulum alterutrum in locum alterius. [...] Si tempora, vires, motus et velocitates motuum exponantur per lineas areas solida vel angulos, tractari etiam possunt hae quantitates in Geometria.“ (Newton, MP VIII, 452/454; cf. Übersetzung Whiteside, op. cit., 453/455: „The ancient geometers investigated things sought through analysis, demonstrated them when found out through synthesis, and published them when demonstrated so that they might be received into geometry. Once analysed they were not straightaway received into geometry; there was need of their solution through composition of their demonstrations. For the force of geometry and its every merit lay in the utter certainty of its matters, and that certainty in its splendidly composed demonstrations. In this science regard must be paid not only to the conciseness of writing but also to the certainty of | things. And on that account I in the following treatise synthetically demonstrated the propositions found out through analysis.

The geometry of the ancients had, of course, primarily to do with magnitudes, but propositions on magnitudes were from time to time demonstrated by means of local motion: as, for instance, when the equality of the triangles in Proposition 4 of Book I of

Euclid's *Elements* were demonstrated by transporting either one of the triangles into the other's place. [...] If times, forces, motions and speeds of motion be expressed by means of lines, areas, solids or angles, then these quantities too can be treated in geometry.“)

Es findet sich unter Newtons Manuskripten ein weiterer Entwurf zu einem Vorwort für eine weitere Ausgabe der *Principia*; der Entwurf stammt etwa aus dem Jahre 1719; dort heißt es (Newton, MP VIII, 647f.):

„In Mathematical Sciences the Ancients had two Methods which they called Synthesis & Analysis or Composition & Resolution. By the Method of Analysis they found their inventions & by the Method of Synthesis they composed them for the publick. The Mathematicians of the last age have very much improved Analysis, but stop there & think they have solved a Problem when they have only resolved it, & by this means the method of Synthesis is almost laid aside. The Propositions in the following Book were invented by Analysis: but considering that the Ancients (so far as I can find) admitted nothing into Geometry before it was (for the greater certainty) demonstrated by composition, I composed what I invented by Analysis, to make it Geometrically authentic & fit for the publick. And this is the reason why this Book was written in words at length after the manner of the Ancients without Analytical Symbols & Calculations. But if any man who understands Analysis, will reduce the Demonstrations of the Propositions from their composition back into Analysis (wch is easy to be done) he will see by what Method of Analysis the Propositions were invented. And by this means the Marquess de l'Hospital was able to affirm that this Book was (*presque tout de ce calculé*) almost wholly of the infinitesimal Analysis.“

In einem Entwurf zu einem Vorwort der *Opticks*, der vermutlich um 1700 entstanden ist, bemerkt Newton:

„The method of Resolution consists in trying experiments & considering all the Phaenomena of nature (...) relating to the subject in hand (& drawing conclusions from them) & examining

the truth of those conclusions by new experiments & drawing new conclusions (...) from those experiments & so proceeding alternately from experiments to conclusions & from conclusions to experiments untill you come to the general properties of things. (And when you) [& by experiments & phaenomena have established the truth of those properties] Then assuming those properties as Principles of Philosophy you may (...) by them explain the causes of such Phaenomena as (depend upon them &) follow from them: wch is the method of Composition.“ (J. E. McGuire, „Newton’s ‘Principles of Philosophy’: An Intended Preface for the 1704 *Opticks* and a Related Draft Fragment“, in: *The British Journal for the History of Science* 5 (1970), 185 [Manuskript U.L.C. Add. 3970.3. Folio 480v]).

Ein etwas ausführlicheres, aber wörtlich fast identisches Zitat führt Henry Guerlac an; vgl. H. Guerlac, „Newton and the Method of Analysis“, in: ders., *Essays and Papers in the History of Modern Science*, Baltimore/London 1977, 205f. [Manuskript U.L.C. Add. 3970.5.]; dort heißt es:

„As Mathematicians have two Methods of doing things wch they call Composition & Resolution & in all difficulties have recourse to their method of resolution before they compound so in explaining Phaenomena of nature the like methods are to be used & he that expects success must resolve before he compounds. For the explications of Phaenomena are Problems much harder then those in Mathematics.

The method of Resolution consists in trying experiments & considering all the Phaenomena of nature relating to the subject in hand & drawing conclusions from them & examining the truth of those conclusions by new experiments & drawing new conclusions (if it may be) from those experiments & so proceeding alternately from experiments to conclusions & from conclusions to experiments untill you come to the general properties of things. Then assuming those properties as Principles of Philosophy you may by them explain the causes of such Phaenomena as follow from them: wch is the method of Composition.

But if without deriving the properties of things from Phaenomena you feign Hypothesis & think by them to explain all nature, you may make a plausible systeme of Philosophy for getting your self a name, but your systeme will be little better than a Romance. To explain all nature is too difficult a task for any one man or even for any one age. [...] Tis much better to do a little with certainty & leave the rest for others that come after you then to explain all things by conjecture without making sure of any thing.“

5. Anhang: Analyse, Synthese und Induktion in Sandersons Logikkompodium

Zum Verhältnis der Teilschritte der Methoden der Analyse und Synthese zur Induktion ist ein Kompodium der Logik interessant, das Newton zu Beginn seines Studiums gelesen hat und von dem er nachweislich ein Exemplar besaß; es handelt sich um das Buch: Robert Sanderson, *Logicae artis compendium*, Oxford 1631 (Erstauflage 1615; das Werk erlebte acht weitere Auflagen im 17., 3 im 18. und noch eine weitere im 19. Jahrhundert; Newton besaß offenbar die dritte Auflage von 1631); dieses Buch gehörte zum Curriculum und wurde allen Studenten in Cambridge zu Beginn ihres Studiums empfohlen (cf. dazu R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge 1980, 82f., sowie J. E. McGuire / M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 24); [Sanderson lebte von 1587-1663; er war 'Lecturer' am Lincoln College in Oxford; später wurde er Bischof von Lincoln];

Sanderson, der eine aristotelische Position vertrat, aber durchaus Kompromisse mit der seinerzeit populären Auffassung des Reformers Petrus Ramus suchte, entwickelte eine Methodenlehre, die zwei Verfahrensweisen involvierte, nämlich die „method of invention“ und die „method of doctrine“; er setzte sich dabei von Ramus insofern ab, als Ramus seine Methodenlehre vor allem auf Fragen der Disputation und rhetorischer Geschicklichkeit ausrichtete; Sanderson wollte dies insofern korrigieren, als er die Methode auch auf die Naturforschung auszudehnen versuchte, um den neuen wissenschaftlichen Interessen des 17. Jahrhunderts gerecht zu werden; während die „method of invention“ dazu diente, neue Wahrheiten zu entdecken, diente die „method of doctrine“ dazu, das Entdeckte darzustellen und zu lehren; im Gegensatz dazu hatte Ramus lediglich den letzteren Aspekt im Auge gehabt; die „method of doctrine“ teilte Sanderson in zwei Verfahren ein, nämlich eines, was er „kompositiv“ und eines, was er „resolutiv“ nannte; es handelte sich dabei jedoch um zwei voneinander unabhängige Verfahren, wobei eines (das kompositive Verfahren) den theoretischen Wissenschaften und das andere (das resolute Verfahren) den praktischen Künsten zugeordnet wurde, eine Zuordnung, die zu dieser Zeit nicht unüblich

war; in bezug auf die „method of invention“ bemerkte er, daß sie in vier Stufen von der Sinneswahrnehmung zu allgemeinen Sätzen und Konklusionen aufsteige:

„The method of invention has four means, and as it were four stages through which we ascend. First is perception, by the help of which we assemble some notion of individual things. Second is observation or seeing accurately, in the course of which we collect and arrange what we have assimilated at different times by perception. Third is the proof by experiment wherein we subject the multitude of assembled observations to fixed tests. Fourth and last is induction, in which we summon the multitude of collected and tested proofs so as to make up a universal conclusion.“

(Zitiert nach Wilbur Samuel Howell, *Logic and Rhetoric in England: 1500-1700*, Princeton 1961 [1. Aufl. 1956], 307; Howell zitiert die zweite Auflage des Werkes von 1618; die zitierte Passage findet sich in dieser Ausgabe auf S. 226f.; vgl. ebenfalls W. S. Howell, *Eighteenth-Century British Logic and Rhetoric*, Princeton 1971, 20; cf. dazu auch H. Guerlac, „Newton and the Method of Analysis“, in: ders., *Essays and Papers in the History of Modern Science*, Baltimore/London 1977, 205); Howell kommentiert diese Passage wie folgt (Howell 1961, 306f.): „Invention conceived as the discovery of new precepts may have been suggested to Sanderson by Bacon’s *Advancement of Learning*, for Bacon in that work speaks influentially of such a concept. At any rate, the idea is an important development in the history of logic, and it points to the thesis that Descartes was to enunciate in his *Discours de la Méthode*. It might even be said that, while John Stuart Mill’s canons of induction were a long way ahead when Sanderson wrote his *Logic*, Sanderson’s work, nevertheless, is spiritually closer to Mill than to Ramus, so far as it conceives of a distinctive formula for the discovery of knowledge.“

[Sanderson war neben Francis Bacon offenbar einer der ersten, die versucht haben, die Methode der Induktion aus dem Kontext der Rhetorik herauszulösen und auf die Naturwissenschaften zu übertragen; überdies ist Sandersons Buch noch fünf Jahre vor dem *Novum Organum* Bacons erschienen; Howell vermutet, Sanderson habe Anregungen aus Bacons Erstlingswerk *Proficiency and Advancement of Learning Divine and Humane*, das 1605 veröffentlicht wurde; es war enzyklopädisch angelegt mit dem Versuch, die Ideen seiner neuen wissenschaftlichen Methode auf alle Gebiete des Wissens anzuwenden (Politik, Religion, Geschichte, Poesie, Rhetorik, Moralphilosophie und Recht)];