

„Hypotheses non fingo“

Newtons wissenschaftliche Methodenlehre

Band I

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 I

1. Brigitte Falkenburg: Abschlußbericht
2. Karl-Norbert Ihmig (2003a): ‚Hypotheses non fingo‘: Newtons wissenschaftliche Methodenlehre. Zusammenfassung der Resultate.
3. Karl-Norbert Ihmig (2003b): Die Bedeutung der Methoden der Analyse und Synthese für Newtons Programm der Mathematisierung der Natur.
4. Karl-Norbert Ihmig (2003c): Bacon, Newton und die Methode der Induktion.
5. Brigitte Falkenburg (2004): Extending Physical Reality. [Entwurf des 2.Kapitels zu: Brigitte Falkenburg: *Particle Metaphysics. A Critical Account of Subatomic Reality*. Berlin: Springer 2007] (Hier nicht enthalten.)

Abschlußbericht zur Sachbeihilfe „Newtons Methodenlehre“

1. Allgemeine Angaben

DFG-Geschäftszeichen: Fa 261/5-1

1.1 Antragstellerin

Prof. Dr. Dr. Brigitte Falkenburg
Fakultät Humanwissenschaften und Theologie (14)
Institut für Philosophie
Universität Dortmund
44221 Dortmund
e-mail: brigitte.falkenburg@udo.edu

1.2 Thema

„Hypotheses non fingo“: Newtons wissenschaftliche Methodenlehre

1.3 Kennwort

Newtons Methodenlehre

1.4 Förderungs- und Berichtszeitraum

1.1.2002 — 31.12.2003

1.5 Skripten und Publikationen

1.5.1 Skripten:

- Ihmig 2003a: „Hypotheses non fingo“: Newtons wissenschaftliche Methodenlehre. Zusammenfassung der Resultate. Typoskript, 19 S.
- Ihmig 2003b: Die Bedeutung der Methoden der Analyse und Synthese für Newtons Programm der Mathematisierung der Natur. Typoskript, 44 S.
- Ihmig 2003c: Bacon, Newton und die Methode der Induktion. Typoskript, 87 S.
- Ihmig 2003d: Textdokumentationen zu Newtons Vorlesungen zur Optik. Typoskript, 182 S.
- Falkenburg 2004: Extending Physical Reality. Erscheint in: *Particle Metaphysics. The Reality of the Subatomic Domain*. Heidelberg und Berlin: Springer; Publ. in Vorbereitung (vollst. überarb. engl. Ausgabe von: *Teilchenmetaphysik*, Heidelberg: Spektrum 1995).

1.5.2 Publikationen:

- Ihmig 2004a: Die Bedeutung der Methoden der Analyse und Synthese für Newtons Programm der Mathematisierung der Natur. In: *Philosophiegeschichte und logische Analyse 7, Schwerpunkt: Geschichte der Naturphilosophie*, hrsg. von U.Meixner und A.Newen, Paderborn: Mentis, 91-119. (Sonderdruck als Anlage)
- Ihmig 2004b: Newton's Program of Mathematizing Nature. 22 Seiten, im Druck. Erscheint in: M. Hoffmann, J. Lenhard, F. Seeger (eds.), *Activity and Sign - Grounding Mathematics Education. Festschrift für Michael Otte*, Dordrecht: Kluwer.

2. Arbeits- und Ergebnisbericht

2.1 Ausgangsfragen und Zielsetzungen

Im Projekt **Fa 261/5-1** sollte Newtons wissenschaftliche Methodenlehre unter Einbeziehung der Frühschriften und Vorlesungen zur Optik aus den Jahren 1670-1675 untersucht werden. Es sollten drei Schwerpunkte gesetzt werden:

1. das Verhältnis von Induktion und analytisch-synthetischer Methode,
2. Newtons Konzeption der Mathematisierung der Natur,
3. Newtons Verhältnis zu Francis Bacon, Isaac Barrow und Thomas Hobbes.

Die Resultate sollten zunächst Aufschluß geben über Newtons methodologische Maximen und sodann als historische Fallstudie zu allgemeineren wissenschaftstheoretischen Fragen ausgewertet werden.

2.2 Durchgeführte Arbeiten

Das Projekt konnte im Bewilligungszeitraum (2 Jahre anstelle der beantragten 3 Jahre) nicht abgeschlossen werden. Insbesondere konnten die Bezüge zwischen Newton und Barrow bzw. Hobbes nicht mehr untersucht werden, und die wissenschaftstheoretische Auswertung gelang aus Zeitgründen ebenfalls erst ansatzweise.

Es wurde keine Verlängerung beantragt und das Projekt ist trotz umfangreicher Ergebnisse bislang ein Torso. Dies hat folgenden Grund: Anfang 2004 ging der wissenschaftliche Mitarbeiter PD Dr. Karl-Norbert Ihmig aufgrund der veränderten Hochschulgesetzgebung und des nahenden Ablaufs der 12-Jahres-Frist in den Schuldienst, da er keine Dauerstellung in Aussicht hatte. Angesichts der Lage des wissenschaftlichen Nachwuchses in der Philosophie müssen sich heute hochqualifizierte Projektmitarbeiter rechtzeitig anders – und d.h. meist: außerakademisch – orientieren, wenn der Bewilligungszeitraum kürzer ist als die Antragszeit und die Fortführung eines Projekts nicht gesichert ist.

2.2.1 Textdokumentation

Herr Ihmig erarbeitete sich zunächst Newtons Frühschriften zur Optik, die späteren Entwürfe und Manuskripte sowie die publizierten Texte (*Principia*, *Opticks*) im Hinblick auf Newtons methodologische Äußerungen. Hierzu erstellte er eine umfangreiche Textdokumentation (Ihmig 2003d; vgl. dazu Ihmig 2003a, 1-5). Diese Materialsammlung gliedert sich wie folgt:

- 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

2.2.2 Analytisch-synthetische Methode und Mathematisierung der Natur

Anschließend hat Herr Ihmig das erarbeitete Material im Hinblick auf die ersten beiden Ziele des Projekts ausgewertet. Das Material zeigte insbesondere, wie eng die induktive Methode sowie das Verfahren der Analyse und Synthese bei Newton mit der Mathematisierung der

Natur zusammenhängen. Herr Ihmig analysierte die Ursprünge dieses Mathematisierungsprogramms in Newtons Optik-Vorlesungen; er untersuchte die Methode der Analyse und Synthese sowie ihre Herkunft aus der Mathematik anhand Newtons Textquelle (Pappos' *Synagoge*); er zeigte detailliert, inwiefern sie mit Newtons Induktionsbegriff zusammenhängt, und verfolgte, wie Newton sie in der Optik auf naturwissenschaftliche Probleme anwandte. Aus diesen Untersuchungen ging das Skript *Die Bedeutung der Methode der Analyse und Synthese für Newtons Programm der Mathematisierung der Natur* (Ihmig 2003b) hervor; es liegt den beiden Publikationen (Ihmig 2004a,b) zugrunde.

2.2.3 Bacon, Newton und die Induktion

Die philosophiegeschichtliche Einordnung von Newtons Methodenlehre konnte wenigstens teilweise vorgenommen werden. Vorrangig war die Untersuchung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Induktionsauffassungen von Bacon und Newton. Hierzu entstand ein weiteres umfangreiches Skript *Bacon, Newton und die Methode der Induktion* (Ihmig 2003c), aus dessen Inhalten allerdings bislang noch keine Publikation zustande kam. Nach einer Problemskizze wird darin Bacons Induktionsbegriff ausführlich diskutiert; anschließend wird die komplexe Funktion der Induktion in Newtons wissenschaftlicher Methode erörtert. Es wird eingehend untersucht, was Newton unter naturwissenschaftlichen Phänomenen sowie unter allgemeinen Prinzipien verstand; auf dieser Basis wird geklärt, wie die Induktion nach Newton von Phänomenen zu Prinzipien führt. Dabei wird insbesondere das Wechselspiel von experimentellem Vorgehen und Theorienbildung in der Optik eingehend behandelt.

2.2.4 Wissenschaftstheoretische Auswertung

Die detailreichen historischen Einsichten von Herrn Ihmig konnten aus Zeitgründen noch nicht in eine wissenschaftstheoretische Fallstudie umgesetzt werden, aber es zeigt sich jetzt schon, daß sie genügend Stoff hierfür bieten (siehe 2.3). Insbesondere entsprechen sie in vielem den Ergebnissen einer parallel durchgeführten Studie der Antragstellerin (Falkenburg 2004), die systematisch untersucht, in welchem Sinne die neuzeitliche Physik durch den Gebrauch mathematischer und experimenteller Methoden wissenschaftliche Objektivität konstituiert, um die empirische Wirklichkeit zu erweitern. Die Idealisierungen, die seit Galilei und Newton für die mathematische und experimentelle Physik charakteristisch sind, werden dort im Anschluss an zentrale Merkmale der analytisch-synthetischen Methode prototypisch herausgearbeitet; dabei wird diskutiert, inwieweit sie mit Annahmen eines wissenschaftlichen Realismus verträglich sind. Diese Studie hebt nur sehr grundsätzliche Punkte des durch Galilei und Newton begründeten analytisch-synthetischen Vorgehens in der Physik heraus. Ihre wissenschaftstheoretischen Einsichten zu den empirischen und konstruktiven Aspekten der experimentellen Methode müssen noch separat auf die detaillierten Ergebnisse von Herrn Ihmig bezogen werden.

2.3 Arbeitsergebnisse

Die zentralen wissenschafts- und philosophiehistorischen Zielsetzungen des Projektantrags wurden erreicht. Da die Projektergebnisse noch weitgehend unpubliziert sind, planen wir, zur wissenschaftstheoretischen Auswertung im nächsten Jahr noch eine größere Publikation in Form eines Sammelbands zu erstellen, der Herrn Ihmigs unpublizierte Resultate enthält und

systematisch ausgewertet. Herr Ihmig hat allerdings vor Abschluß seines Refendariats im 2. Halbjahr 2005 keinerlei Zeit für weitere wissenschaftliche Arbeit.

2.3.1 Wissenschafts- und philosophiehistorische Ergebnisse

Herrn Ihmigs zentrale Ergebnisse sind (vgl. die ausführliche Zusammenfassung in Ihmig 2003a, 5 ff.): Newton wendet die Methode der Analysis und Synthesis in der Mechanik und in der Optik auf einheitliche Weise an, wobei die Induktion mit dem analytischen Teil dieser Methode identisch ist. Dabei ist Newtons Induktionsbegriff demjenigen von Bacon stark verwandt. Bei Bacon wie bei Newton handelt es sich um ein komplexes Verfahren, das auch deduktive Teilschritte umfaßt, weshalb Newton die Induktion auch als „deduction from the phenomena“ bezeichnet. Die Induktion ist für ihn ähnlich wie für Bacon keine simple empirische Verallgemeinerung (in diesem Sinne mißverstehet noch Achinstein 1990 Newtons Vorgehen in den *Opticks*), sondern ein oszillierender Prozeß des Schließens, der zwischen Besonderem und Allgemeinem, experimentellen Phänomenen und physikalischen Prinzipien hin- und hergeht: „Das bedeutet, daß die Induktion keine Einbahnstraße im Sinne der Richtung von den Phänomenen zu den Eigenschaften oder Prinzipien darstellt, sondern daß sie auch die Gegenrichtung von den Prinzipien zu den Phänomenen einschließt.“ (Ihmig 2003a, 14) Bacons und Newtons Auffassungen der Induktion bzw. Analysis unterscheiden sich allerdings darin, daß Newton an die antike Geometrie (Pappos) und Bacon an die medizinische Tradition (Galen) anknüpft, woraus sich eine sehr unterschiedliche Sicht von Axiomen ergibt.

Mit diesen Resultaten wird erstmals ein tiefgreifendes und umfassendes Verständnis von Newtons Methode der Analysis und Synthesis, ihrer mathematischen Herkunft und ihrer Anwendung auf naturwissenschaftliche Phänomene erzielt; und es wird deutlich, wie facettenreich Newtons Gebrauch dieser Methode in der Optik war. Herrn Ihmigs Beiträge zu unserem Projekt gehen insbesondere darin über die bisherige Literatur zu den analytisch-synthetischen Methodenidealen der Neuzeit hinaus, daß sie sich mit den mathematischen Aspekten *und* mit der Anwendung dieser Methode in der Physik befassen und dabei auf vorschnelle wissenschaftstheoretische Kategorisierungen verzichten.

Die Untersuchungsergebnisse von Herrn Ihmig werfen auch Licht auf krude terminologische Mißverständnisse im Verhältnis von Wissenschaftstheorie und Physik des 20. Jahrhunderts, wie sie kürzlich in Bezug auf Popper hervorgehoben wurden (Davies 2003). Im Anschluß an Machs einflußreiche Arbeiten (Mach 1886, 1926) wurde Newton oft in die empiristische Schublade eingeordnet. In Mills induktiver Logik (Mill 1881) oder in Machs Buch *Erkenntnis und Irrtum* (Mach 1926) führt der moderne empiristische Induktionsbegriff jedoch noch eine friedliche Koexistenz mit der traditionellen Newtonschen Sicht der Analyse. Niels Bohr, dem sowohl Machs als auch Newtons Schriften geläufig waren, sprach in seiner Version der Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik oft davon, daß man in der subatomaren Physik auf Grenzen der „experimentellen Analyse“ stößt (Falkenburg 1998). Wer aus der neueren Wissenschaftstheorie kommt, ohne auch noch die naturphilosophische Tradition zu kennen, versteht diesen Sprachgebrauch nicht mehr — und wundert sich über Bohrs „idiosynkratischen“ Sprachgebrauch (so Faye 1991, 148, in seiner sonst vorzüglichen Studie zu Bohrs philosophischem Hintergrund).

In der Tat eröffnet erst der Verzicht auf die Einordnung von Newtons Vorgehen in eine bestimmte wissenschaftstheoretische Sicht des physikalischen Theorienbildungsprozesses den Blick auf den systematischen Wert der Projektergebnisse. Herr Ihmig zeigt paradigmatisch an Newtons Vorgehen in der Optik, wie Experimente und ihre Variation die mathematische Physik empirisch verankern, während zugleich umgekehrt das mathematische Denken die Planung, Durchführung und Auswertung der Experimente strukturiert. Dieses Vorgehen und seine physikalischen Resultate gehen nicht in einer empiristischen, rationalistischen oder konstruktivistischen Sicht der Physik auf. Jede dieser Richtungen greift zu kurz, um Newtons Methode zu verstehen — denn sie *verschränkt* empirische und konstruktive Aspekte mit Annahmen eines wissenschaftlichen Realismus, der übrigens weniger metaphysikträchtig ist, als man Newton oft unterstellt (siehe unten 2.3.2 (3)).

2.3.2 Wissenschaftstheoretischer Ertrag

Angesichts der Bedeutung von Newton für die theoretische und experimentelle Physik führen die Projektergebnisse zu differenzierten Einsichten grundsätzlicher Natur darüber, wie in der neuzeitlichen Physik die Mathematik auf die Phänomene angewandt wird. Oder in anderen Worten: Herr Ihmig legt methodologische Studien nicht nur zur *Genesis*, sondern auch zur *Geltung* der neuzeitlichen Physik vor — einer wissenschaftlichen Disziplin, die durch die Verschränkung von mathematischer und experimenteller Methode gekennzeichnet ist. Aus Sicht der Antragstellerin tragen die Forschungsergebnisse entscheidend dazu bei, die epistemischen Ansprüche und Geltungsbedingungen der neuzeitlichen Physik zu klären.

Die von Herrn Ihmig untersuchten Beispiele aus Newtons Schriften zur Optik machen nämlich prototypisch deutlich, worum es dem Begründer der mathematischen Physik primär ging: um die *Konstitution wissenschaftlicher Objektivität*. Newton verschränkte in seiner analytisch-synthetischen Methode auf komplexe Weise experimentelle und mathematische Vorgehensweisen, um *apodiktische Gewißheit in der Naturerkenntnis* zu erreichen. Die methodologischen Regeln, die er dabei befolgte, zielen auf die kausale Analyse der Naturerscheinungen. Die kausale Modellierung der Phänomene wurde im Anschluß an Mills induktive Logik auch von der empiristischen Wissenschaftstheorie aufgegriffen (vgl. etwa Mackie 1974 und Cartwright 1989). Allerdings bleibt hierbei die spezifische Weise unerfaßt, in der die Physik mittels der experimentellen Methode die Phänomene mathematisch strukturiert. Zentral für Newtons analytisch-synthetische Methode ist der experimentelle Eingriff in die Natur — und zwar die systematische Durchführung von umfassenden *Versuchsreihen*, die darauf zielen, einzelne kausale Agenten in der Natur zu isolieren *und* zugleich mathematische Invarianten von deren Beschreibung zu identifizieren (vgl. Ihmig 2003b, 30 ff., sowie Falkenburg 2004, 55 ff.). Dieses Vorgehen findet man grundsätzlich schon bei Galilei, der zum Studium des freien Falls die Versuche mit der schiefen Ebene durch Versuche mit dem Pendel ergänzte, während vor Galilei physikalische Experimente höchstens Messungen zur Bestimmung funktionaler Abhängigkeiten umfaßten, nicht aber systematische Versuchsreihen (vgl. etwa Schramm 1998). Wenn der Empirismus zu kurz greift, so scheint dieses Vorgehen interventionistische Konzeptionen der Kausalität und konstruktivistische Kategorien naheulegen; auch dies führt allerdings nicht weiter. Newtons Methodologie geht nicht in Kategorien der gegenwärtigen Wissenschaftstheorie auf. Hierfür ist sie zu komplex.

Newtons analytisch-synthetische Methode blieb wegweisend für die neuzeitliche Physik bis heute. Sie knüpft nicht nur an Bacons Induktionsbegriff, sondern auch an Galileis kompositiv-resolutive Methode an, wobei die Bezüge zwischen Newton und Galilei noch gesondert untersucht werden müssten. Im 20. Jahrhundert reicht ihre Wirkungsgeschichte bis zu Planck, Bohr und Eddington, wie die Antragstellerin in ihrer Studie zur experimentellen Erweiterung der empirischen Wirklichkeit zeigt (Falkenburg 2004). Da die wissenschaftstheoretische Auswertung noch nicht geleistet werden konnte, wird im folgenden kurz skizziert, welche Projektergebnisse aus dieser Sicht wissenschaftstheoretisch besonders interessant sind.

(1) Induktion und analytisch-synthetische Methode

Herr Ihmig arbeitet heraus, daß sich weder Newtons noch Bacons Induktionsbegriff auf die Induktion im modernen Sinne einer empirischen Verallgemeinerung reduzieren lassen. Der moderne Induktionsbegriff, der im wesentlichen auf Mill und Mach zurückgeht, ist verglichen mit Bacon und Newton ziemlich arm. Er simplifiziert die Gewinnung physikalischer Gesetze aus experimentellen Beobachtungen zu einem stufenweisen Verfahren, das von Einzelfällen zu Phänomenen, von Phänomenen zu empirischen bzw. phänomenologischen Gesetzen und von Gesetzen zu allgemeinen Theorien aufsteigt. Mill und Mach selbst hatten allerdings solche primitiven Vorstellungen der physikalischen Erkenntnis *nicht*, sie standen Newtons physikalischer Methodologie noch wesentlich näher als die Wissenschaftstheorie des 20. Jahrhunderts. Bei Bacon wie bei Newton ist die Induktion ein sehr komplexes Verfahren, das auch deduktive Teilschritte umfaßt — ein oszillierender Prozeß des Schließens, der vielfach zwischen Besonderem und Allgemeinem, Phänomenen und Prinzipien, Experimenten und mathematischen Konstruktionen hin- und hergeht (Ihmig 2003b, 29 ff., 36 ff.). Dieser Prozess führt in vielen Schritten vom „Gegebenen“, den experimentellen Phänomenen, zum „Gesuchten“, den physikalischen Eigenschaften, die als kausal relevante Faktoren identifiziert werden können (Ihmig 2003b, 31). Das Gegebene sind dabei keine Daten im empiristischen Sinne, sondern wie in der Geometrie „etwas bewußt Erzeugtes und Konstruiertes“ (ebd.).

Newton ersinnt in diesem Prozess immer wieder neue optische Experimente, mit denen er systematisch die Versuchsbedingungen variiert, um Invarianten der mathematischen Naturbeschreibung herauszufinden (Ihmig 2003b, 33 f.); und er identifiziert die Induktion mit dem Teilschritt der Analyse im analytisch-synthetischen Verfahren (Ihmig 2003c, 41 ff., 46 ff.). Newtons Induktion, oder „deduction from the phenomena“, ist nicht nur ein komplexes Verfahren, sondern sie hat auch komplexe Ziele: Sie zielt auf die kausale Analyse der Naturerscheinungen, auf die Erkenntnis von wesentlichen physikalischen Eigenschaften der Dinge, auf deren Metrisierung sowie auf die Aufstellung mathematischer Naturgesetze. Das vielfältige Hin- und Hergehen zwischen Phänomenen und Prinzipien hat dabei die Funktion, vorschnelle Verallgemeinerungen zu vermeiden und so die Ergebnisse der Induktion mit größtmöglicher Gewißheit abzusichern (Ihmig 2003a, 14).

(2) Wechselspiel von Theorie und Experiment

Das Gegebene der analytischen Methode sind im Wechselspiel von Theorie und Experiment die experimentell erzeugten Phänomene; das Gesuchte sind kausal relevante physikalische Eigenschaften sowie die Prinzipien ihrer Mathematisierung (Ihmig 2003b, 31; 2003b, 12 f.).

Ziel der experimentellen Analyse in der Optik ist die Klärung der Zusammensetzung des Lichts, analog zur Auffindung der Kräfte, die Bewegungen verursachen, in der Mechanik. In den Experimenten zur Lichtbrechung mit dem Prisma ist die untersuchte physikalische Eigenschaft die Beschaffenheit des Lichts. Die Variation der Versuchsbedingungen zielt auf die qualitative und quantitative Untersuchung der Frage, ob weißes Licht homogen ist oder nicht. Dabei faßt Newton die Zusammensetzung des Lichts, die er experimentell und mathematisch analysiert, als metrisierbare Eigenschaft auf (Ihmig 2003b, 34 ff.) und versucht eine Farbmeterik zu etablieren (ebd., 38). Quantitativ geht es um den Brechungswinkel, qualitativ um die Disposition, eine bestimmte Farbe zu manifestieren. Die Frage nach den Konstituenten des Lichts spielt bei den Experimenten keine Rolle. Sie wird erst in *Query 29* der *Opticks* als spekulative Hypothese erörtert.

Wie im Projektantrag vermutet, entspricht Newtons Verfahren, zwischen Phänomenen und Prinzipien sowie Experimenten und mathematischen Konstruktionen hin- und herzugehen, recht genau Duhems These, daß die Experimentiertätigkeit im Hin- und Hergehen zwischen einem idealen und dem tatsächlich durchgeführten Experiment besteht (Duhem 1908, 238 ff.). Daneben bestätigt sich (entgegen Worrall 2000) Duhems These, daß es kein isoliertes *experimentum crucis* gibt — erst im Zusammenhang einer umfassenderen Versuchsreihe, im Kontext anderer Experimente unter variierten Versuchsbedingungen, bekommt das einzelne Experiment seine Aussagekraft. Newtons Vorgehen, Versuchsbedingungen zu modifizieren und neue Experimente zu ersinnen, ist dabei völlig im Einklang Machs Darstellung der experimentellen Methode (Mach 1926, 201 ff.), die ebenfalls hervorhebt, daß die Variation der Versuchsbedingungen zentral für die experimentelle Methode ist. Allerdings simplifiziert Mach Newtons Vorgehen bei den optischen Experimenten grob im Sinne eines schlichten hypothetisch-deduktiven Verfahrens und im Sinne der Suche nach *stofflichen* Bestandteilen des Lichts (ebd., 271). Nach Mach dienen die Gesetze der Physik nur einer möglichst ökonomischen Beschreibung der empirischen Phänomene. Nach Newton dagegen zielen die Experimente der Physik darauf, die „wahren Ursachen“ der Naturerscheinungen ausfindig zu machen. Diese „wahren Ursachen“ sind jedoch — anders als Newton meist unterstellt wird — *keine* hypothetisch angenommenen Träger physikalischer Eigenschaften. Daß Newton die Annahme einer bestimmten Art von Medium, mit dem sich das Licht ausbreitet (Teilchen, Äther), in den Bereich spekulativer Hypothesen verweist, entgeht Mach völlig.

(3) Die „wahren Ursachen“ der Phänomene

Die „wahren Ursachen“, deren Auffindung das Ziel der Induktion ist, sind nach Newton teils *physikalische Wesenseigenschaften* der Dinge (wie etwa die Trägheit oder die universelle Gravitation, vgl. Ihmig 2003c, 56 ff.) und teils *mathematische Invarianten*, die sich in den optischen Experimenten als unveränderlich gegenüber der Variation des Versuchsaufbaus erweisen. Die Variation der Versuchsbedingungen zielt auf die Auffindung von *beiden* sowie die Metrisierung der ersteren.

Anders als Mach und Duhem, anders aber auch als Cassirer ist Newton also Vertreter eines wissenschaftlichen Realismus im Sinne von Max Planck (Planck 1908; vgl. Falkenburg 2004, 50 f.). Er sieht die physikalische Realität in konstanten mathematischen Invarianten, die den veränderlichen Erscheinungen zugrundeliegen. Dies entspricht der philosophischen Position eines *Strukturenrealismus* (vgl. Psillos 1999, 146 ff.), wie ihn um 1900 neben Planck auch

Poincaré vertrat (Poincaré 1905). Zugleich zielt die Variation der Versuchsbedingungen bei Newton auf die kausale Analyse der Naturerscheinungen in *dem* Sinne, daß die kausal relevanten Faktoren isoliert werden sollen, die einem experimentellen Phänomen zugrunde liegen. Dies entspricht einem *kausalen Realismus* (Cartwright 1983; Hacking 1983).

Anders als bei den heutigen Positionen eines kausalen Realismus oder Strukturenrealismus lassen sich dabei kausale Analyse und Suche nach mathematischen Invarianten allerdings nicht voneinander trennen, beide zielen *primär* auf die metrisierbaren *Eigenschaften* der Phänomene. Newton unterscheidet *nicht* explizit zwischen physikalischen Eigenschaften, Prinzipien und Ursachen (Ihmig 2003c, 59). Sein wissenschaftlicher Realismus bezieht sich primär auf physikalische Größen und deren mathematische Beziehungen, und höchstens sekundär auf die Träger der experimentell untersuchten physikalischen Eigenschaften. Die Träger dieser Eigenschaften — etwa der Äther, den Hookes' Vibrationstheorie des Lichts zugrundelegt (Ihmig 2003b, 10 f.), oder die Annahme von Lichtteilchen, mit der Newton selbst in den *Queries* seiner *Opticks* sympathisiert — sind für ihn Gegenstand experimentell unabgesicherter, spekulativer Hypothesen; und die will er bekanntlich nicht willkürlich a priori vorgeben.

Newtons metaphysische Zurückhaltung bezüglich der Gegenstände von Hypothesen (vgl. Ihmig 2003b, 7 ff.) favorisiert einen Realismus physikalischer Eigenschaften, wie ihn die Antragstellerin vorschlägt, um dem physikalischen Größenbegriff und seiner Extrapolation über alle Größenskalen und inkommensurablen Theorien hinweg gerecht zu werden (Falkenburg 1997). Der Schritt von gemessenen physikalischen Eigenschaften auf deren nicht-beobachtbare Träger, insbesondere auf mikroskopische Teilchen, kann erst gemacht werden, wenn zusätzlich die 2. und 3. Regel des Philosophierens angewandt werden. Diese sind nun in der Tat empirische Generalisierungsregeln (Horan 1994, 4 ff.; Falkenburg 2000, 42 ff.) — aber Newton wendet sie nicht auf die Zusammensetzung des Lichts an, sondern nur auf die Bestandteile mechanischer Körper.

(3) Mathematisierung der Natur

Anders als Kepler oder Galilei ist Newton nicht der Auffassung, die Natur sei *per se* nach mathematischen Gesetzen konstituiert (Ihmig 2003b, 13). Die Mathematisierung der Natur geschieht erst in der Physik. Dabei zielt sein Programm einer Mathematisierung der Natur auf physikalische Erkenntnis mit mathematischer Präzision und apodiktischer Gewißheit. Newton will diese Exaktheit und Gewißheit erreichen, indem er die analytisch-synthetische Verfahrensweisen der Geometrie auf die experimentelle Erfahrung überträgt. Im Hin-und-Hergehen zwischen experimentellen Beobachtungen und mathematischen Konstruktionen werden die Phänomene schrittweise mathematisiert, mit den Zielen der Metrisierung physikalischer Eigenschaften und der Aufstellung allgemeiner mathematischer Gesetze. Die konstruktiven Aspekte dieses Vorgehens, die in neuerer Zeit u.a. Eddington hervorgehoben hat (Eddington 1939; vgl. Falkenburg 2004, 58 ff.), sind nicht zu übersehen. Die zentrale Leistung der experimentellen Methode besteht allerdings darin, die Phänomene so zu mathematisieren, daß dabei die *Korrespondenz* zwischen mathematischer Theorie und experimenteller Erfahrung hergestellt wird (Ihmig 2003b, 13). An Newtons Experimenten zur Optik lassen sich folgende Stufen fortschreitender Mathematisierung unterscheiden (Ihmig 2003b, 30 ff.):

1. Das „Gegebene“ der Analyse resultiert aus Experimenten: es sind unter wohldefinierten Bedingungen hergestellte Phänomene, die *regelmäßig* auftreten. Im Prisma-Experiment wird das ovale Farbspektrum an der Wand nach den Gesetzen der Strahlenoptik erzeugt.
2. Das „Gesuchte“ der experimentellen Analyse ist eine physikalische Erklärung, die zugleich Gegenstand eines mathematischen Modells ist, hier ebenfalls der Strahlenoptik. Das Modell, nach dem das weiße Licht eine homogene Zusammensetzung aufweist, wird nach den Gesetzen der Strahlenoptik verworfen.
3. Das alternative Modell, nach dem sich das weiße Licht aus heterogenen Strahlen zusammensetzt, wird ausgearbeitet. Dabei sind *mathematische Idealisierungen* zentral, zu denen geometrische Annahmen, Infinitesimal- und Kontinuitätsprinzipien gehören.
4. Anschließend werden theoretische Rekonstruktion und beobachtetes Phänomen verglichen und es werden kausale Faktoren eingebaut, die Diskrepanzen zwischen Modell und Wirklichkeit erklären; Oder: die Idealisierung wird durch *De-Idealisierungen* korrigiert (Hüttemann 1997, 86 ff.; vgl. Falkenburg 2004, 52 ff.).
5. Die Variation der Versuchsbedingungen dient der Untersuchung solcher Diskrepanzen und der Auffindung mathematischer Invarianten, die nicht von zufälligen Umständen abhängen, sondern konstant, reproduzierbar und mit mathematischer Gesetzmäßigkeit auftreten. Hierzu gehört auch die Hinzusetzung eines zweiten, exakt parallel zum ersten ausgerichteten Prisma, das den Brechungseffekt neutralisiert (Ihmig 2003b, 34 f.).
6. Entscheidend für die Beweiskraft des Verfahrens ist der Abschluß durch den Syntheseteilschritt, der hypothetisch-deduktiv im modernen Sinne ist. Beobachtbare Phänomene wie der Regenbogen oder die Oberflächenfarben der Körper werden mittels der Prinzipien erklärt, die durch Induktion gefunden wurden.

Die Frage, *warum* die Mathematik in der neuzeitlichen Physik auf die Naturerscheinungen anwendbar ist, bekommt hier eine Kantische Antwort, die noch genauer ausbuchstabiert werden müßte. Die experimentelle Methode *konstituiert* erst die Gegenstände physikalischer Erkenntnis, diese sind *nicht* als *Naturdinge an sich* vorhanden — dies ist der zentrale Unterschied zwischen der aristotelischen und der neuzeitlichen Physik. Jedes Phänomen ist bereits mathematisch und/oder experimentell strukturiert (vgl. Ihmig 2003c, 46 ff.). Und jedes Experiment stellt eine Frage an die Natur (die nach Kant ein gesetzmäßiger Zusammenhang von Phänomen ist), die seitens der Natur *kontingenterweise* mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet wird. Etwas moderner kann man sagen: Experimente konstituieren empirisch entscheidbare Alternativen. Diese Fragen sind mathematisch bereits *so* strukturiert, daß ihre Antworten metrisiert sind und sich in die Größenskalen der Physik fügen (Falkenburg 1997). Dies bedeutet *nicht*, daß die Natur ein *bloßes* Konstrukt menschlicher Experimentiertätigkeit ist — konstruktivistische Sichtweisen der modernen Physik greifen genauso zu kurz wie empiristische und naiv-realistische. Die Mathematisierung der Phänomene zielt bei Newton vielmehr auf die empirische Erforschung und die mathematische Konstruktion der Ursachen von Naturerscheinungen *zugleich*, wobei die Ursachen als metrisierbare Eigenschaften betrachtet werden. Entscheidend für den epistemischen Erfolg von Newtons Methode ist die systematische Variation der experimentellen Bedingungen, die alle bisherigen Studien zum Verhältnis von Induktion und Deduktion bei Newton (etwa Worrall 2000) vernachlässigten.

2.4 Stellungnahme

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sind nicht wirtschaftlich verwendbar.

2.5 Beteiligte Mitarbeiter und Kooperationspartner

PD Dr. Karl-Norbert Ihmig

Prof. Dr. Dr. Brigitte Falkenburg

2.6 Nachwuchs-Förderung

Das Projekt ermöglichte es Herrn PD Dr. Karl-Norbert Ihmig, zwei Jahre wissenschaftlich weiterzuarbeiten, bevor er aus der Universität ausscheiden mußte und in den Schuldienst wechselte.

2.7 Literatur

- Achinstein, Peter: Newton's Corpuscular Query and Experimental Philosophy. In: P.Bricker and R.I.G.Hughes (eds.), Perspectives on Newtonian Science, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1990, 135-173.
- Cartwright, Nancy: How the Laws of Physics Lie. Oxford: Clarendon 1983.
- Cartwright, Nancy: Nature's Capacities and their Measurement. Oxford: Clarendon 1989.
- Davies, E.B.: The Newtonian Myth. In: Stud. Hist. Phil. Sci. 2003, 763-780.
- Duhem, Pierre: Ziel und Struktur der physikalischen Theorien. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1908. Neuausgabe: Hamburg: Felix Meiner Verlag, 2. Auflage 1978.
- Eddington, Arthur S.: The Philosophy of Physical Science. Cambridge: University Press 1949.
- Falkenburg, Brigitte: Teilchenmetaphysik. Zur Realitätsauffassung in Wissenschaftsphilosophie und Mikrophysik. 2. Auflage, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 1995.
- Falkenburg, Brigitte: Incommensurability and Measurement. In: Theoria 30 (1997), 467–491.
- Falkenburg, Brigitte: Bohr's Principles of Unifying Quantum Disunities, in: Philosophia naturalis 35 (1998), 95-120.
- Falkenburg, Brigitte: Kants Kosmologie. Die wissenschaftliche Revolution der Naturphilosophie im 18. Jahrhundert. Frankfurt am Main: Klostermann 2000.
- Faye, Jan: Niels Bohr: His Heritage and Legacy. Dordrecht: Kluwer 1991.
- Hacking, Ian: Representing and Intervening. Introductory topics in the philosophy of natural science. Cambridge: Cambridge University Press 1983. Dt.: Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften. Stuttgart: Reclam 1996.
- Horan, Barbara L.: Inference to the Unobservable: Newton's Experimental Philosophy. In: P.Achinstein and L.J.Snyder (eds.), ScientificMethods: Conceptual and Historical Problems.Malabar, Florida: Krieger 1994.
- Mach, Ernst: Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Leipzig 1883, 9. Auflage Darmstadt: Wissenschaftl. Buchgesellschaft 1988.
- Mach, Ernst: Erkenntnis und Irrtum. 5. Auflage Leipzig 1926, Nachdruck Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1991.
- Mackie, J.L.: The Cement of the Universe. A Study of Causation. Oxford: Clarendon Press 1974.
- Mill, John Stuart: Inductive Logic. Abridged text based on the 8th edition (New York 1881).
- Planck, Max: Vorträge und Erinnerungen, 9. Auflage Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1965, S. 28-51.
- Poincaré, Henri: Wissenschaft und Hypothese. Leipzig 1904, 2. Auflage Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1974.
- Psillos, Statis: Scientific Realism. How Science Tracks Truth. London and New York: Routledge 1999.
- Schramm, Matthias: Experiment im Altertum und Mittelalter. In: M. Heidelberger und F.Steinle (Hg.), Experimental Essays – Versuche zum Experiment, Baden-Baden: Nomos 1998, 34-67.
- Worall, John: The Scope, Limits, and Distinctiveness of the Method of 'Deduction from the Phenomena': Some lessons from Newton's 'Demonstrations' in Optics. In: Brit.J.Phil.Sci. 51 (2000), 45-80.

3. Zusammenfassung: „Newtons Methodenlehre“ (Fa 261/5-1)

Projektleiterin: Prof. Dr. Dr. Brigitte Falkenburg (Universität Dortmund)

Wiss. Mitarbeiter: PD Dr. Karl-Norbert Ihmig

Newtons Methodenlehre wurde anhand der Frühschriften und Vorlesungen zur Optik aus den Jahren 1670-1675 sowie der späteren Schriften untersucht. Folgende Ergebnisse wurden bisher erzielt:

1. Induktion und Mathematisierung der Natur: Newton wendet die analytisch-synthetische Methode in der Mechanik und in der Optik einheitlich an, wobei die Induktion mit dem analytischen Teilschritt der Methode identisch ist. Sein Induktionsbegriff ist eng verwandt mit demjenigen Bacons. Es handelt sich jeweils um ein komplexes Verfahren, das auch deduktive Teilschritte umfaßt und im Gegensatz zur modernen, empiristischen Auffassung der Induktion ein oszillierender Prozeß des Schließens ist, der zwischen experimentellen Phänomenen und physikalischen Prinzipien vielfach hin- und hergeht. Beide Auffassungen der Induktion bzw. Analysis unterscheiden sich allerdings darin, daß Newton an die antike Geometrie (Pappos) und Bacon an die medizinische Tradition (Galen) anknüpft, woraus sich eine unterschiedliche Sicht von Axiomen ergibt. Bei Newton hängt die Induktion engstens mit dem Programm einer Mathematisierung der Natur zusammen.

2. Experimentelle Methode: Newtons Vorgehen in der Optik ist durch das Hin- und Hergehen zwischen Experimenten und mathematischen Konstruktionen geprägt. Entscheidend sind dabei die mathematische Strukturierung der Experimente im Modell und die Variation der Versuchsbedingungen in der Empirie. Die experimentelle Methode führt in vielen Schritten von einem „Gegebenen“, den experimentellen Phänomenen, die wie in der antiken Geometrie etwas bewußt Erzeugtes und Konstruiertes sind, zu einem „Gesuchten“, nämlich zu metrisierbaren physikalischen Größen, die kausal relevant für das Zustandekommen invarianter Phänomene sind. Zwischen den experimentellen Phänomenen und deren Prinzipien im Verlauf der Versuchsreihe hin- und herzugehen soll vorschnelle Verallgemeinerungen vermeiden und die Ergebnisse der Induktion absichern.

2. Die „wahren Ursachen“ der Phänomene

Newtons Methode zielt auf die Konstitution wissenschaftlicher Objektivität *und* auf die Korrespondenz zwischen mathematischen Prinzipien und experimentellen Phänomenen. Die „wahren Ursachen“, denen die experimentelle Analyse gilt, sind in der Optik allerdings *nicht* die Konstituenten des Lichts (Teilchen oder Äther): das Medium der Lichtausbreitung bleibt ein Gegenstand nicht-abgesicherter Hypothesen. Ziel der experimentellen Analyse ist die Klärung der physikalischen Beschaffenheit des Lichts, wobei die Zusammensetzung des Lichts aber nur im Sinne von *metrisierbaren physikalischen Eigenschaften* aufgefaßt wird. Newtons Methodologie verbindet sich mit einem wissenschaftlichen Realismus, der sich nicht in eine empiristische oder konstruktivistische Sichtweise der neuzeitlichen Physik fügt, aber auch *schwächer* ist als moderne Varianten eines kausalen Realismus.

Publikationen:

Ihmig, Karl-Norbert, 2004a: Die Bedeutung der Methoden der Analyse und Synthese für Newtons Programm der Mathematisierung der Natur. In: *Philosophiegeschichte und logische Analyse 7*, hrsg. von U.Meixner und A.Newen, Paderborn: Mentis, 91-119.

Ihmig, Karl-Norbert, 2004b: Newton's Program of Mathematizing Nature. Erscheint in: M. Hoffmann, J. Lenhard, F. Seeger (eds.), *Activity and Sign - Grounding Mathematics Education. Festschrift für Michael Otte*, Dordrecht: Kluwer.

**Die Bedeutung der Methoden der Analyse und Synthese
für Newtons Programm der Mathematisierung der Natur**

1. <i>Ursprung des Mathematisierungsprogramms in Newtons Vorlesungen zur Optik</i>	2
2. <i>Eine Wissenschaft von der Natur ohne Hypothesen?</i>	7
3. <i>Eine einheitliche Methode in den 'Opticks' und den 'Principia'?</i>	12
4. <i>Der Ursprung der analytischen und synthetischen Methode in der Mathematik</i>	19
a. <i>Newtons Quelle: die Synagoge des Pappos von Alexandria</i>	19
b. <i>Newtons Interpretation der geometrischen Synthese und Analyse</i>	22
5. <i>Die Anwendung von Analyse und Synthese auf die Naturwissenschaft</i>	28
a. <i>Geometrische Analyse und Synthese und die Naturwissenschaften</i>	28
b. <i>Das „Gegebene“ und „Gesuchte“ der naturwissenschaftlichen Analyse</i>	30
c. <i>Das Verhältnis von induktiven und deduktiven Momenten innerhalb der Analyse</i>	36
d. <i>Die naturwissenschaftliche Synthese</i>	40

1. Ursprung des Mathematisierungsprogramms in Newtons Vorlesungen zur Optik

Bekanntlich hat Newton sein bahnbrechendes Werk zur Mechanik, in dem er seine Theorie der universellen Gravitation entwickelt, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, d.h. die *mathematischen* Prinzipien der Naturphilosophie genannt. Dieser Titel enthielt auch eine Anspielung auf Descartes' *Principia Philosophiae*, die den Versuch darstellten, die Erscheinungen des Weltsystems aufgrund mechanistischer Prinzipien zu erklären. Der mechanistische Entwurf Descartes' kulminierte im dritten Teil seiner *Principia Philosophiae* mit der Einführung der Wirbeltheorie als Fundament der Erklärung der Himmelsbewegungen und der - wie Descartes annahm, instantanen - Fortpflanzung der Lichts. Als Erklärungsprinzipien akzeptierte er nur die Grundkategorien Bewegung und Materie, wobei er materielle Körper mit geometrischer Ausdehnung identifizierte. Diese Identifikation von Materie und Ausdehnung hatte eine wichtige Funktion: sie sollte die Möglichkeit eröffnen, materielle Naturgegenstände als Größen zu betrachten, um darauf die Anwendung mathematischer Beweise stützen zu können. Am Ende des zweiten Teils bemerkt Descartes: „Ich setze voraus, daß meine Leser die ersten Elemente der Geometrie entweder schon kennen oder die nötige Fassungskraft für das Verständnis mathematischer Beweise haben. Denn ich gestehe offen, daß ich keine andere Materie der körperlichen Dinge anerkenne, als in jeder Weise teilbare, gestaltbare und bewegliche, welche die Geometer als Größe bezeichnen und zum Gegenstande ihrer Beweise nehmen, und daß ich in ihr nur diese Teilungen, Gestalten und Bewegungen beachte und nichts an ihnen als wirklich anerkenne, was nicht aus jenen Gemeinbegriffen, an deren Wahrheit man nicht zweifeln kann, so klar abgeleitet wird, daß es als mathematisch bewiesen gelten kann.“¹

Descartes' mechanistisches Programm der Naturerklärung reihte sich demnach - zumindest in seinem Selbstverständnis - in die zu Beginn des 17. Jahrhunderts u.a. durch Kepler und Galilei begründete Naturforschung auf der Basis mathematisch-geometrischer Beweise ein.² Dieses Programm hatte allerdings einen entscheidenden Nachteil. Es mangelte an der Umsetzung. Der gesamte dritte Teil des cartesischen Werkes enthält ausschließlich rein qualitative Erklärungen, die sich auf das Modell der Materiewirbel stützen, aber keine mathematisch begründeten Ableitungen. Aber nicht nur das. Newton weist in seinen *Principia Mathematica* nach, daß die Wirbelhypothese nicht nur mathema-

¹ R. Descartes, *Die Prinzipien der Philosophie*, übers. v. A. Buchenau, Hamburg 1955 [Amsterdam 1644], 63.

² Cf. J. Kepler, *Gesammelte Werke*, Hgg. v. W. v. Dyck, M. Caspar, F. Hammer, München 1937 ff., Bd. VII, S. 342: „Quantitate vero adempta, caremus examine causarum.“ (Übersetzung des Verfassers: „Wenn uns aber [der Einblick in die] Quantitäten verwehrt ist, müssen wir auf die Untersuchung der Ursachen verzichten.“) Nicht minder nachdrücklich vertrat auch Galilei diesen Standpunkt. Am zweiten Tag des *Dialogs über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme* (1632) läßt er Sagredo feststellen: „Man muß es nur gestehen, wer naturwissenschaftliche Fragen ohne Hilfe der Geometrie behandeln will, unternimmt etwa Unausführbares. G. Galilei, *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme. Das Ptolemäische und das Kopernikanische*, hgg. v. R. Sexl u. K. v. Meyenn, übersetzt v. E. Strauss, Darmstadt 1982 [Florenz 1632], 215.

tisch nicht begründbar ist, sondern daß sie schlicht falsch ist, wenn man sie einem Test unterwirft, der sich auf mathematische Prinzipien gründet. Am Ende des zweiten Buches, das sich zum größten Teil mit Bewegungen in widerstehenden Medien befaßt, stellt Newton fest: „Darum ist es klar, daß die Planeten nicht von körperlichen Wirbeln herumgetragen werden. Nämlich gemäß der *Kopernikanischen* Hypothese laufen die um die Sonne herum getragenen Planeten auf Ellipsen um, die einen Brennpunkt in der Sonne haben und überstreichen mit ihren zur Sonne hin gezogenen Radien Flächen, die den Zeiten proportional sind. Die Wirbelteile hingegen können nicht in einer solchen Bewegung umlaufen.“³ Newton hatte aufgrund mathematischer Berechnungen festgestellt, daß die Wirbelhypothese Descartes' der Geltung des Zweiten Keplerschen Gesetzes für die Planetenbewegungen widerspricht. Da er dieses Gesetz als ein seinerzeit unter den Astronomen unumstrittenes *Phänomen* betrachtete⁴, widersprach Descartes' Theorie den Phänomenen und war damit widerlegt. Das bei dieser Widerlegung zugrunde gelegte Kriterium, daß eine für wahr gehaltene Theorie zumindest den Phänomenen nicht widersprechen dürfe, wurde auch von den Cartesianern anerkannt.

Der Erfolg von Newtons Gravitationstheorie, die sich im 18. Jahrhundert endgültig gegen Descartes' mechanistische Kosmologie durchgesetzt hatte, beruhte nicht zuletzt darauf, daß er sie auf eine erfolgreiche Anwendung der Mathematik auf Naturerscheinungen gründen konnte. Über die Hintergründe, Ziele und Fundamente dieses Programms weiß man jedoch verhältnismäßig wenig. Das liegt vor allem daran, daß sich Newton sowohl in den *Principia* als auch in seinem anderen Hauptwerk, den *Opticks*, nur spärlich zu solchen übergreifenden Fragestellungen äußert. Das Fehlen eindeutiger methodischer Betrachtungen läßt viele Fragen offen und gibt zugleich den Anlaß für vielfältige Spekulationen. Insbesondere drängt sich die Frage auf, ob Newtons Entdeckungen mehr oder weniger auf Zufall beruhen (wie die Anekdote von seiner Beobachtung eines fallenden Apfels nahelegt) oder ob sie Ausdruck eines gezielten methodischen Vorgehens sind? Zwar besteht unter Wissenschaftshistorikern und Wissenschaftstheoretikern Einigkeit darüber, daß die Verknüpfung von Experiment und mathematischem Kalkül zu Newtons bahnbrechenden Entdeckungen geführt hat, aber das Wesen dieser Verknüpfung bleibt im Dunkeln. Bereits Burt wies auf die scheinbare Diskrepanz zwischen Newtons wissenschaftlichen Leistungen und seinen expliziten Stellungnahmen zu methodischen Fragen hin: „But what a disappointment as we turn the leaves of his work! Only a handful of general and often vague statements about his method, which have to be laboriously interpreted and supplemented.“⁵

Eine der markantesten Bemerkungen Newtons in methodischer Hinsicht findet sich in

³ I. Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, übersetzt u. hgg. v. V. Schüller, Berlin/New York 1999, 376.

⁴ Cf. op. cit., 385: „Himmelserscheinung V: Die primären Planeten überstreichen [...] mit ihren zur Sonne hin gezogenen Radien [...] den Zeiten proportionale Flächen.“

⁵ E. A. Burt, *The Metaphysical Foundations of Modern Science*, London 1967, 203.

dem ‘Scholium Generale’, das er der zweiten Auflage der *Principia* von 1713 hinzugefügt hat. Dort heißt es: „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* keinen Platz.“⁶ Die strikte Ablehnung von Hypothesen in der ‘Experimentalphilosophie’, die hier zum Ausdruck kommt, schien jedoch mit Newtons wissenschaftlicher Praxis kaum in Einklang zu stehen. Da in allen Auflagen der *Principia* Hypothesen zu finden sind, hat man versucht, die Bedeutung des Hypothesenbegriffs und seine verschiedenen Verwendungsformen bei Newton genauer zu bestimmen.⁷ Auf diese Weise konnte man ‘gute’ und ‘schlechte’ Hypothesen voneinander trennen und Newtons Ablehnung lediglich auf die ‘schlechten’ Hypothesen beziehen.

Allerdings blieb dabei offen, ob ein Zusammenhang zwischen Newtons Ablehnung von Hypothesen und seinem Programm der Mathematisierung der Natur besteht. Bemerkenswert ist in jedem Fall, daß Newtons Stellungnahme von 1713 keineswegs neu war. Bereits über 40 Jahre vorher finden sich ganz ähnliche Äußerungen Newtons im Zusammenhang mit der Auseinandersetzung um seine Farbenlehre. Nachdem Newton 1672 seine erste wissenschaftliche Arbeit mit dem Titel *New Theory about Light and Colours* veröffentlicht hatte, schloß sich daran eine Diskussion um seine Farbenlehre mit Hooke, Pardies und Huygens an, in deren Verlauf Newton mehrfach seine Ablehnung von Hypothesen zum Ausdruck gebracht hatte. Zumindest in diesem Punkt schien sich eine gewisse Kontinuität innerhalb von Newtons Entwicklung zu finden. Dabei stellt sich die Frage, ob die Ablehnung von Hypothesen ein isoliertes Diktum ist oder ob sie vor dem Hintergrund einer übergreifenden Methodologie geschieht, die mit Newtons Mathematisierungsprogramm verbunden ist. Gegen die letztere Vermutung scheint der unterschiedliche Charakter von Newtons *Principia* und seinen *Opticks* zu sprechen. Die *Principia* sind ein ‘more geometrico’ aufgebautes Werk, das größtenteils komplizierte mathematische Theoreme und Beweise enthält, die sich nur wenigen Eingeweihten erschließen. Demgegenüber vermitteln die *Opticks* einen anderen Eindruck. Zwar sind auch sie in die Form einer axiomatischen Wissenschaft gegossen worden, aber ihre Beweise bestehen nicht in komplexen mathematischen Ableitungen wie in den *Principia*, sondern größtenteils in einer Sequenz von Experimenten und Beobachtungen, aus denen Folgerungen

⁶ I. Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, übersetzt u. hgg. v. V. Schüller, Berlin/New York 1999, 516.

⁷ Cf. I. B. Cohen, *Franklin and Newton*, Cambridge (Mass.) 1956, Appendix One: Newton’s use of the word ‘Hypothesis’, 575–584; I. B. Cohen, „Hypotheses in Newton’s Philosophy“, in: *Physis* 8 (1966), 163–184; N. R. Hanson, „Hypotheses Fingo“, in: Butts, R. E./Davis, J. W. (eds.), *The Methodological Heritage of Newton*, Oxford 1970, 14–33; A. E. Shapiro, „Newton’s ‘Opticks’ and Huygens’ ‘Traité de la Lumière’: Persuading and Eschewing Hypotheses“, in: *Notes and Records of the Royal Society* 43 (1989), 223–256. Dies ist nur eine kleine Auswahl aus der reichhaltigen Literatur zu Newtons Hypothesenbegriff.

gezogen werden. Der Wissenschaftshistoriker und Newtonforscher I. B. Cohen hat in den 50er Jahren dieses Jahrhunderts durch seine umfassende Studie *Franklin und Newton* zu zeigen versucht, daß dieser unterschiedliche Charakter von Newtons Hauptwerken zur Herausbildung zweier unterschiedlicher Forschungstraditionen im 18. Jahrhundert geführt hat.⁸

Da Newton seine kritische Haltung gegenüber Hypothesen sowohl im Zusammenhang mit der mathematisch-deduktiven Darstellungsweise der *Principia* als auch in den primär an Experimenten orientierten *Opticks* zum Ausdruck bringt, scheint dies eher dagegen zu sprechen, diese Haltung als Ausdruck allgemeiner methodischer Maximen zu werten, die mit dem Programm der Mathematisierung der Natur im Zusammenhang stehen.⁹ Eine nähere Betrachtung zeigt allerdings, daß Newton bereits 1672 ausdrücklich betont hat, seine Farbenlehre als mathematische Naturwissenschaft konzipieren zu wollen und sie *aus diesem Grund* als sichere Theorie betrachtete, die sich von bloß wahrscheinlichen Hypothesen unterscheidet. So heißt es in der *New Theory about Light and Colours*: „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 & without any suspicion of doubt.“¹⁰ Daß es sich dabei nicht um eine zufällig eingestreute Bemerkung handelt, wird deutlich, wenn man in Betracht zieht, daß die *New Theory* auf der Grundlage von Newtons Vorlesungen zur Optik geschrieben wurde. Im Herbst des Jahres 1669 hatte Newton von seinem Lehrer Isaac Barrow den Lucasischen Lehrstuhl an der Universität Cambridge übernommen. Newton

⁸ Cf. I. B. Cohen, *Franklin and Newton*, Cambridge (Mass.) 1956, 179: „That there were in the eighteenth century two quite different traditions of Newtonianism - the hypothetico-experimental or speculative-experimental tradition associated with the ‘Opticks’ and the mathematico-deductive (although not wholly unempirical) tradition associated with the ‘Principia’ - is plain from studying the respective sources of the experimentalists and the mathematical physicists in the age of Newton.“

⁹ Kargon erklärt Newtons Ablehnung von Hypothesen aus dessen oppositioneller Haltung gegenüber dem seinerzeit von Descartes, Hobbes und Gassendi propagierten Ideal einer ‘hypothetischen Physik’, die aufgrund ihres Wesens und der Natur ihres Gegenstands über plausible (d.h. wahrscheinliche) Hypothesen nicht hinauskomme. Statt dessen fordere Newton im Anschluß an Francis Bacon und seinen Lehrer Isaac Barrow auch für die Naturwissenschaften eine Form der Gewißheit, die über bloße hypothetische Wahrscheinlichkeit hinausgehe. Insbesondere Barrow habe eine solche Gewißheit gefordert und sie auf die Anwendung der Mathematik zu gründen versucht. Cf. R. Kargon, „Newton, Barrow, and the Hypothetical Physics“, in: *Centaurus* 11 (1965), 46-56; insbes. op. cit., 51: „True science, according to Barrow, must be *certain* science. [...] The way out of the difficulty was to become not merely a natural philosopher, but a *mathematical* philosopher. [...] Newton’s famous reluctance [...] to dispute about mechanical causes was not, therefore, merely the result of timidity or innate reticence, but was an essential part of a program to transform natural philosophy from the hypothetical physics of Descartes, Gassendi and Hobbes, to a new, more *certain* science. His guide in these matters was Isaac Barrow.“

¹⁰ I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 96f. Interessanterweise wurde gerade diese Passage bei der späteren Veröffentlichung in den *Philosophical Transactions* ausgelassen. Ob dies von Newton selbst veranlaßt wurde oder ob dies Oldenburg ohne Newtons Wissen getan hat, ist bis heute nicht ganz geklärt.

wählte als erstes Thema seiner Vorlesungen die Optik. Damit bot sich ihm die Gelegenheit, seine eigenen Überlegungen zur Theorie der Farben vor einem - wenn auch recht kleinen - Publikum öffentlich vorzustellen. Er begann seine Vorlesungen im Januar 1670 und beendete sie im Herbst 1672.¹¹ Zu Beginn stellt er klar, daß er seine Theorie durch „reasonings and experiments“ begründen wolle, damit sie von rein fiktiven Fabeln unterschieden werden könne.¹² In der dritten Lektion konstatiert er vier Propositionen, die die Fundamente seiner Farbenlehre bilden. Newton legt Wert auf die Feststellung, daß es sich dabei nicht um hypothetische Sätze handelt, die nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit gelten, sondern um experimentell *bewiesene* Sätze: „It is affirmed that these propositions are to be treated not hypothetically and probably, but by experiments or demonstratively.“¹³ Es ist wohl kein Zufall, daß er genau in diesem Kontext auf die Idee einer mathematischen Behandlung der Farbenlehre verweist: „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.“¹⁴

Aus diesen Überlegungen Newtons geht Folgendes hervor. Erstens wird deutlich, daß er bereits Ende 1669 / Anfang 1670 sein Programm einer Mathematisierung der Natur explizit formuliert hat. Zweitens verfolgt dieses Programm das Ziel, die Grundlagen der Naturwissenschaften zu sichern, so daß sie sich von bloß wahrscheinlichen Hypothesen abheben. Drittens versteht er an dieser Stelle unter „Hypothesen“ physikalische Prinzipien oder Sätze, die das Fundament einer Theorie bilden, die aber nicht sicher sind und daher nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit gelten.¹⁵

¹¹ Von Newtons Vorlesungen zur Optik sind zwei Manuskripte überliefert. Als Abfassungsdatum für das erste, kürzere Manuskript kommt in etwa die Zeit zwischen Ende 1669 und Ende 1671 infrage. Das zweite, längere Manuskript, das offensichtlich eine Überarbeitung des ersten darstellt, wurde vermutlich im Anschluß daran im Februar 1672 fertiggestellt. Die relativ schlechte Zugänglichkeit beider Manuskripte hat dazu geführt, daß sie für das Studium von Newtons Optik bislang kaum herangezogen werden konnten. Inzwischen verfügt man über die hervorragende kritische Edition und Übersetzung beider Manuskripte von Alan E. Shapiro: A. E. Shapiro, *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: *The Optical Lectures 1670-1672*, Cambridge 1984 (im weiteren zit. als: Newton, *Optical Papers I*).

¹² Newton, *Optical Papers I*, 51.

¹³ Op. cit., 87.

¹⁴ Op. cit., 89.

¹⁵ Shapiro bemerkt dazu (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

2. Eine Wissenschaft von der Natur ohne Hypothesen?

Diese Bemerkungen zeigen auch, daß Newton bereits vor den Auseinandersetzungen, die sich an die Veröffentlichung der *New Theory* im Februar 1672 anschlossen, über ein reflektiertes Methodenbewußtsein verfügte. Die Kontroverse Newtons mit Hooke, Pardies und Huygens wird häufig als Streit um die Alternative von Korpuskular- versus Wellentheorie des Lichts gedeutet. Dagegen spricht jedoch zweierlei. Erstens haben die drei Letztgenannten keine Wellentheorie des Lichts im modernen Sinne vertreten. Zwar stützen sich ihre Theorien nicht auf das Verhalten einzelner Korpuskeln, wohl aber auf das Verhalten von Korpuskelströmen, die als sich periodisch verdichtende und verdünnende Longitudinalwellen gedeutet werden.¹⁶ Zweitens hatte Newton wiederholt erklärt, daß seine Theorie nicht von einer bestimmten mechanistischen Hypothese abhängig sei und sich aus diesem Grund *neutral* gegenüber derartigen Hypothesen verhalte.¹⁷ Er hält unter bestimmten Bedingungen auch Hookes Hypothese mit seiner Theorie für vereinbar. Statt dessen stehen bei dem Disput zwischen Newton und Hooke vielmehr die folgenden *methodologisch* bedeutsamen Fragen im Vordergrund: Wie groß kann die Gewißheit einer Theorie über Naturgegenstände überhaupt sein? Gibt es dabei prinzipielle Grenzen, die in der Natur des Gegenstandes liegen? Hooke stellt nämlich vor allem Newtons Behauptung in Frage, bei seiner [Newtons] Theorie handele es sich nicht um eine bloß wahrscheinliche Hypothese, sondern um eine strikt abgeleitete Konsequenz „evinced by ye mediation of experiments concluding directly & without any suspicion of doubt“. Zwar zweifelt Hooke die Resultate von Newtons Experimenten nicht an, aber er wendet ein: „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“.¹⁸

Hooke verweist auf einen prinzipiellen Unterschied zwischen der Gewißheit mathematischer Beweise und dem epistemischen Status naturwissenschaftlicher Theorien. Von naturwissenschaftlichen Grundsätzen läßt sich demnach sinnvollerweise nur verlangen,

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*.“

¹⁶ Shapiro plädiert daher aus gutem Grund dafür, für die Theorien des 17. Jahrhunderts nicht von einem Gegensatz zwischen Wellen- und Korpuskulartheorie, sondern statt dessen von einem Gegensatz zwischen „Kontinuumstheorie“ und „Emissionstheorie“ zu sprechen. Cf. A. E. Shapiro, „Kinematic Optics: A Study of the Wave Theory of Light in the Seventeenth Century“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 11 (1973), 134-266; hier 136.

¹⁷ Cf. dazu etwa I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 174. Hier gibt Newton zu, daß die Eigenschaften des Lichts, die er herausgefunden habe, nicht nur durch eine, sondern „by many other Mechanicall Hypotheses“ 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 from luminous bodies, without determining what that thing is“.

¹⁸ Op. cit., 113.

daß sie die 'Phänomene retten'. Daher muß die Vorgehensweise der Naturwissenschaften in erster Linie darin bestehen, Hypothesen zu entwerfen und sie experimentell zu überprüfen: „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 business 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 Incomparable Verulam to warrant me.“¹⁹ Hooke beruft sich in diesem Zusammenhang zwar auf Bacon, aber die Haltung, die er hier zum Ausdruck bringt, spiegelt ein Verständnis naturwissenschaftlicher Theorien wider, das im 17. Jahrhundert weit verbreitet war. Bedeutende Vertreter dieses Theorienverständnisses waren beispielsweise Descartes und Huygens. In einem Brief an Mersenne vom 27.5.1638 schreibt Descartes: „But to require of me Geometrical demonstrations in a matter which depends on Physics is to demand that I achieve impossible things.“²⁰ Mit anderen Worten: sichere Beweise kann es aus prinzipiellen Gründen nur in der Mathematik und - so möchte man hinzufügen - in der Metaphysik, aber nicht in der Physik geben. Im Bereich der Naturwissenschaften bleibe dem Forscher nichts anderes übrig, als zu versuchen, gegebene Wirkungen durch eine angenommene Ursache zu erklären und dann die Richtigkeit der Ursache durch die Wirkungen zu beweisen. Descartes begründet seine Auffassung u.a. mit einer Metapher. Ähnlich wie bei zwei Uhren, die sich äußerlich exakt gleichen und die Stunden genau gleich gut anzeigen, aber in ihrem inneren Mechanismus ganz verschieden sein können, müsse auch bezüglich der Naturvorgänge angenommen werden, daß Gott in der Lage sei, die sichtbaren Erscheinungen auf ganz unterschiedliche Weise hervorzubringen. Da dem menschlichen Geist die Einsicht in die göttliche Wirkungsweise prinzipiell verschlossen sei, genüge es, wenn man eine Wirkungsart als *Hypothese* unterstellt und zeigt, daß ihre Folgen mit den Erscheinungen übereinstimmen.²¹ Daß damit umgekehrt nicht auf die Wahrheit der Hypothese selbst geschlossen werden kann, ist Descartes offenbar klar gewesen. Wenn allerdings sehr viele Phänomene aus einheitlichen Prinzipien, die mit der entsprechenden Hypothese verknüpft sind, abgeleitet werden könnten, dann sei nicht vorstellbar, daß „so vieles so zusammenstimmen könnte, wenn es falsch wäre“²². Naturwissenschaftliche Erkenntnis kann daher aus *prinzipiellen* Gründen nur einen hypothetischen Status besitzen.

Gegen ein solches Theorienverständnis scheint Newton bereits zu Beginn seiner Laufbahn zu opponieren, weil es lediglich zu „conjectures and probabilities“ führe, „that are being blazoned about everywhere“, ohne an irgendeinem Punkt zu sicheren Erkenntnis-

¹⁹ Op. cit., 202 (Brief Hookes an Lord Brouncker vom Juni 1672).

²⁰ Zitiert nach A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, London 1967, 23.

²¹ Cf. R. Descartes, *Die Prinzipien der Philosophie*, übers. v. A. Buchenau, Hamburg 1965, Teil IV, § 204, 246. Cf. dazu L. Laudan, *Science and Hypothesis. Historical Essays on Scientific Methodology*, Dordrecht/Boston/London 1981, Chapter 4: The Clock-Metaphor and Hypotheses: The Impact of Descartes on English Methodological Thought 1650-1670, 27-58.

²² Op. cit., 247.

sen gelangen zu können: „You see therefore how much it is besides the businesse in hand to dispute about *Hypotheses*.“²³ Was hat Newton dem entgegenzusetzen und welche Rolle spielt dabei sein Mathematisierungsprogramm? Erste Hinweise lassen sich in Newtons Antwort an Pardies vom 28.05.1672 finden, in der er auf das Verhältnis seiner Theorie der Farben zu möglichen weiterreichenden Hypothesen eingeht: „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.“²⁴

Nach dieser Beschreibung Newtons umfaßt die Vorgehensweise in den Naturwissenschaften drei Schritte. Der erste Schritt besteht darin, die Eigenschaften der Dinge sorgfältig zu untersuchen und zu bestimmen. In einem zweiten Schritt geht es darum, diese gefundenen Eigenschaften durch Experimente zu sichern und zu festigen (im lateinischen Originaltext heißt es: „*rerum Proprietates diligenter inquiramus, et per experimenta stabiliamus*“). An dieser Stelle wird bereits deutlich, daß den Experimenten bei Newton eine doppelte Funktion zukommt. Mit ihrer Hilfe sollen zum einen die (wesentlichen) Eigenschaften der Dinge *gefunden* werden und zum anderen sollen diese Eigenschaften *vermittels der Experimente überprüft* und *abgesichert* werden. Erst *nach* einer solchen Prüfung kann man sie als Grundlagen bzw. *Prinzipien* der Theorie betrachten. Der dritte Schritt, den Newton hier andeutet, sieht ein allmähliches Fortschreiten von der Theorie zu Hypothesen vor, um diese Eigenschaften zu erklären. Dies zeigt, daß es Newton keineswegs darum ging, Hypothesen vollständig aus der Naturwissenschaft zu verbannen. Aber er macht auf einen signifikanten epistemischen Unterschied zwischen den zuvor experimentell ermittelten Eigenschaften und den sie möglicherweise erklärenden Hypothesen aufmerksam. Diese Eigenschaften stellen nämlich *einschränkende Bedingungen* für mögliche Hypothesen in dem Sinne dar, daß alle Hypothesen verworfen werden müssen, die nicht im Einklang mit diesen Eigenschaften stehen. Damit ist die Möglichkeit ausgeschlossen, daß diese Eigenschaften allein aufgrund widersprechender Hypothesen angezweifelt oder widerlegt werden könnten. Die bloße Möglichkeit von Hypothesen kann nicht über die Wahrheit der Dinge entscheiden; denn: man kann sich viele Hypothe-

²³ Op. cit., 177 (Newtons Antwort an Hooke vom 11.06.1672).

²⁴ I. B. Cohen (ed.), *Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy and Related Documents*, Cambridge (Mass.) 1958, 106. Cf. dazu den lateinischen Originaltext in I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 164.

sen ausdenken, die ihrerseits viele neue Probleme mit sich bringen. Gleichwohl ist sich Newton darüber im Klaren, daß, wenn man eine Eigenschaft oder ein Prinzip aus den Phänomenen „direkt abgeleitet“ hat, diese damit noch nicht erklärt ist. Zwar ist es möglich, aufgrund dieser Eigenschaft gewisse Phänomene zu erklären, aber diese Eigenschaft selbst verlangt ihrerseits nach einer Erklärung. Gleichwohl unterliegt eine solche „Erklärung der Erklärung“ (oder auch „Ursache der Ursache“) denselben Bedingungen wie die Erklärung selbst. Auch von ihr wird in letzter Konsequenz verlangt, daß sie „aus den Phänomenen deduziert“ wird. Ihr hypothetischer Status markiert also nur einen vorläufigen Zustand, der durch weitere Forschungen zu überwinden ist. Der Unterschied zu Hookes Konzeption besteht darin, daß Newton diese Vorläufigkeit prinzipiell für überwindbar hält. Allerdings ist dabei ein umsichtiges und bedächtiges Vorgehen angebracht: „dein tardius contendamus ad Hypotheses“.

Newton selbst hat ein Modell für eine mögliche Hypothese, welche die Eigenschaften des Lichts in diesem Sinne erklären könnte, entworfen. Im Dezember 1675 stellte er der Royal Society seine Abhandlung *An Hypothesis explaining the Properties of Light discoursed in my severall Papers* vor. Sein Motiv erläutert er damit, daß seine Art und Weise, in einem sehr *abstrakten* Sinne vom Licht und den Farben zu sprechen, d.h. von weitergehenden Annahmen über die Natur des Lichts und die Ursache der Farben zu abstrahieren, von einem größeren Publikum nicht verstanden werde. Daher habe er sich entschlossen, gewissermaßen aus *didaktischen* Gründen, seine Theorie durch eine Hypothese zu *illustrieren*. So bemerkt er zu Beginn seiner Abhandlung: „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.“²⁵ In diesem Zusammenhang legt er größten Wert darauf festzustellen, daß es sich dabei nur um ein mögliches Modell handle, das zwar mit seiner Theorie des Lichts im Einklang stehe, das aber mit keinerlei Anspruch auf Wahrheit vorgetragen werde: „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“.²⁶ Im folgenden entwickelt Newton eine Ätherhypothese, wobei er sich den Äther nicht homogen vorstellt, sondern von unterschiedlicher Dichte. Auch seien dessen Vibrationen, vermittels derer er die Licht- und Farberscheinungen zu erklären versucht, schneller und kleiner als die der Luft. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang auch, daß er eine Theorie des Farbsehens entwickelt, die die unterschiedlichen Farben durch die Einwirkung der Vibrationen des Äthers auf die Sehorgane

²⁵ I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 363.

erklärt analog zur Ausbreitung des Schalls und der Wahrnehmung der Töne. Man muß aber zur Kenntnis nehmen, daß Newton keinen Gewißheitsanspruch für die Richtigkeit dieser Ätherhypothese erhebt. Sie erfüllt gerade nicht das von ihm geforderte Kriterium, aus den „Phänomenen deduziert“ worden zu sein.

²⁶Op. cit., 364.

3. Eine einheitliche Methode in den 'Opticks' und den 'Principia'?

In bezug auf die Gewißheit der Eigenschaften von Naturgegenständen, die Newton vermittels seiner Experimente herausgefunden und „stabilisiert“ zu haben glaubt, stellen sich zwei Fragen. Findet man bei Newton noch detailliertere Hinweise auf seine diesbezügliche wissenschaftliche Methode? Welchen Anteil daran hat die Mathematik? Beginnt man mit der letzten Frage, dann muß man feststellen, daß der Gedanke, die Sicherheit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse auf die Anwendung der Mathematik gründen zu wollen, nicht neu war. Newton selbst verweist auf eine Reihe von Beispielen für eine erfolgreiche mathematische Behandlung einer physikalischen Wissenschaft: Astronomie, Geographie, Navigation, Optik oder Mechanik.²⁷ Auch bekannte Vorgänger und Zeitgenossen Newtons teilten diese Auffassung, wie etwa Kepler, Galilei, Descartes oder Huygens. In diesem Zusammenhang ist nun die folgende Beobachtung interessant. In seinen Vorlesungen zur Optik kritisiert Newton drei Konzeptionen der Farbenlehre: (1) die auf Aristoteles zurückgehende peripatetische Konzeption, (2) die Konzeption der geometrischen Optik und (3) die mechanistischen (ebenfalls gegen die aristotelische Tradition gerichteten) Konzeptionen.

(1) Die peripatetische Konzeption hält er für tautologisch und inhaltsleer, da sie nichts über die tatsächlichen Ursachen der Verschiedenheit der Farben aussage. Denn das Licht werde gemäß den Peripatetikern als „Qualität oder Form“ („qualitas vel forma“) betrachtet, die einem leuchtenden Gegenstand eigentümlich sei. Die aristotelische Definition der Farbe als „das Äußerste des Durchsichtigen in einem auf bestimmte Weise begrenzten Körper“ sei unzureichend, da sie eine Definition farbiger Oberflächen, aber nicht der Farbe selbst darstelle.²⁸ Diese Konzeption sei daher denkbar ungeeignet, „der höchsten Aufgabe der Philosophie“ gerecht zu werden, die nach Newtons Meinung darin besteht, die Ursachen der Verschiedenheit der Farben ausfindig zu machen sowie die Art und Weise, wie Farben erzeugt werden, zu ermitteln.²⁹

(2) Der geometrischen Optik wirft er vor, daß sie das *mathematische* Brechungsgesetz auf eine falsche *physikalische* Hypothese stütze. Sie unterstelle nämlich die Homogenität und Einfachheit des weißen Sonnenlichts. Wenn man mit dieser Hypothese arbeitet, dann läßt sich die zu beobachtende Dispersion des Lichts, die bei einer Brechung durch ein Prisma auftritt, durch das mathematische Gesetz allein nicht mehr erklären. Daher betrachteten die geometrischen Optiker die Dispersion als einen zufälligen Effekt, der durch

²⁷ Newton, *Optical Papers I*, 86f.

²⁸ Cf. op. cit., 83: „Therefore, since light is defined to be a quality or form that allows a luminous thing to exist, we must not expect to learn anything about its causes or how it becomes different in order to produce different colors.“ Vermutlich hat Newton die zitierte Definition nicht dem Originaltext von Aristoteles entnommen (*De sensu*, 439b2-5), sondern Magirus' peripatetischem Lehrbuch *Physiologiae peripateticae* (Cambridge 1642). Cf. dazu op. cit., Kommentar Shapiro, Anmerkung 12, 83. Cf. dazu auch J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, Einleitung, 15f.

²⁹ Newton, *Optical Papers I*, 81/83.

das brechende Medium (etwa eine bestimmte Form der Brechungslinse) verursacht wird. Entsprechend glaubten sie, diesen Effekt durch eine Korrektur der Form des Mediums, wie z.B. durch die Wahl einer anderen Linsenform beheben zu können. Aber alle Versuche, den Effekt auf diese Weise zu beseitigen, erwiesen sich als ein Fehlschlag. Dies führte Newton schließlich zu der Annahme, daß es sich bei der Dispersion nicht um einen zufälligen Effekt handelte, sondern daß sie vielmehr auf einer allgemeinen Eigenschaft des weißen Lichts beruhte.³⁰

(3) Die mechanistischen Konzeptionen schließlich (er bezieht sich implizit auf die Theorien von Descartes und Hooke) lehnt er ab, weil auch sie ihren Untersuchungen unbegründete physikalische Annahmen bezüglich der Natur des Lichts zugrunde legten. Für Descartes etwa rührten die Farben von der Umdrehung oder dem Druck kleiner kugelförmiger Teilchen her. Nach Hooke entstehen sie durch unterschiedliche Vibrationen eines Äthermediums. Beide stimmten in der Annahme überein, daß das weiße Sonnenlicht ein ursprüngliches Phänomen darstellte, aus dem die Farben durch (zufällige) Modifikationen hervorgingen.³¹

Nun fußte aber gerade die geometrische Optik auf der Anwendung der Mathematik auf den physikalischen Gegenstand des Lichts. Und auch den mechanistischen Philosophen war an der Mathematisierbarkeit der Natur gelegen. Wenn Newton also diese Konzeptionen kritisiert und ihnen eine eigene mathematische Naturphilosophie entgegensetzt, dann kann das nur bedeuten, daß er meint, diese auf neue Grundlagen stellen zu müssen. Das Neue in Newtons Programm einer mathematischen Naturphilosophie liegt darin, daß er eine Voraussetzung, die eine Reihe von Vertretern des Gedankens der Mathematisierung der Natur seinerzeit gemacht haben, nicht teilt. Es ist die Voraussetzung, daß die Natur a priori nach mathematischen Gesetzen konstituiert sei. Diesen Ansatz findet man beispielsweise bei Kepler oder Galilei. Newton vertritt demgegenüber die Ansicht, daß mathematischen Bestimmungen an sich noch keine Bedeutung für die Naturwissenschaft zukommt. Um ihnen eine Bedeutung für naturwissenschaftliche Gegenstände oder Prozesse zu verleihen, müssen *zuvor* allgemeine physikalische Eigenschaften dieser Gegenstände oder Prozesse ermittelt werden, auf die sich die Anwendung mathematischer Begriffe und Strukturen gründen läßt. In Newtons Augen beruht eine mathematische Naturphilosophie daher wesentlich auf physikalischen Prinzipien, deren Korrespondenz mit den mathematischen Prinzipien einer unabhängig von der Erfahrung entwickelten Theorie keineswegs feststeht, sondern erst mühsam auf experimentellem Wege gezeigt werden muß. Erst wenn die Möglichkeit einer solchen Zuordnung geschaffen wurde, können aus den mathematischen Strukturen und Kalkulationen Schlüsse für den Bereich physikalischer Gegenstände gezogen werden. Damit ist gemeint, daß wir dann berechtigt sind, auf der Grundlage der Beziehungen mathematischer Größen die Beziehungen realer physika-

³⁰ Cf. op. cit., 46-49; 80/81.

³¹ Op. cit., 84/85.

lischer Gegenstände und Prozesse zu erklären. Daß Newton diese Auffassung bereits zu Beginn der 70er Jahre vertreten hat, geht aus seiner Antwort an Hooke vom 11.06.1672 hervor: „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*.“³²

Newtons Konzeption hat noch eine weitere Konsequenz. Die Prinzipien einer mathematischen Naturphilosophie sind *physikalische* Prinzipien. Die Sicherheit des Gebäudes, das auf diesen Fundamenten errichtet wird, hängt daher von der Sicherheit dieser Prinzipien ab. Das Problem der Begründung einer mathematischen Wissenschaft von Naturgegenständen verlagert sich demnach auf das Problem der Begründung dieser Prinzipien. Welche methodischen Maximen dabei einzuschlagen sind, erläutert Newton in einem Brief an Oldenburg, den Präsidenten der Royal Society, vom 25.06.1672: „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 wch I propounded was evinced to me, *not by inferring tis thus because not otherwise*, that is not by deducing it onely from a confutation of contrary suppositions, but *by deriving it from Experiments concluding positively & directly*.“³³ Die Eigenschaften der Dinge, die die gesicherten Fundamente einer Theorie bilden sollen, müssen „aus den Experimenten deduziert“ werden. Diese Feststellung deckt sich mit der im ersten Abschnitt zitierten Passage aus der zweiten Auflage der *Principia* von 1713, daß in der ‘Experimentalphilosophie’ nur solche Prinzipien zugelassen werden dürfen, die „aus den Phänomenen deduziert“ worden seien. Im ‘Scholium Generale’ heißt es weiter: „In der hier in Rede stehenden Physik leitet man die Aussagen aus den Naturerscheinungen her und macht sie durch Induktion zu allgemeinen Aussagen.“³⁴

³² I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 187f. Cf. dazu auch M. Mamiani, *Isaac Newton filosofo della natura. Le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo newtoniano*, Firenze 1976, 107f.

³³ I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 209.

³⁴ I. Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, übersetzt u. hgg. v. V. Schüller, Berlin/New York 1999, 516. Im lateinischen Original lautet der Satz: „In hac philosophia propositiones deducuntur ex phaenomenis, & redduntur generales per inductionem.“ I. B. Cohen/A. Koyré (eds.), *Isaac Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. The third edition (1726) with variant readings, 2 vols., Cambridge 1972, Vol. II, 764.

Hier taucht erstmals in Newtons gedruckten Schriften der Hinweis auf die Methode der Induktion auf. Allerdings wirft diese Passage eine Reihe von Fragen auf. Was bedeutet es, etwas aus den Erscheinungen zu „deduzieren“? Der Begriff der Deduktion wird heute ausschließlich im Zusammenhang mit logischen oder mathematischen Beweisen verwendet. Diese Art von Deduktion ist aber für empirische Sachverhalte ausgeschlossen. Unklar ist weiterhin, in welchem Verhältnis induktive und deduktive Verfahrensweisen stehen? Beschreibt Newton hier zwei aufeinanderfolgende Schritte, nämlich erstens die Deduktion einer Proposition aus den Phänomenen und zweitens ihre Verallgemeinerung durch Induktion? Was versteht Newton überhaupt unter der Methode der Induktion?

Eine weitere explizite Äußerung Newtons zur Methode findet sich in der zweiten englischen Auflage der *Opticks* von 1717. Dort heißt es: „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. [...] 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. 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.“³⁵ Bemerkenswerterweise stellt Newton hier eine Analogie her zwischen den Methoden in der Mathematik und der Naturphilosophie. Dabei dient die Methode der Mathematik offenbar als *Vorbild*, deren Anwendung er auch für naturwissenschaftliche Untersuchungen empfiehlt. Zugleich geht aus dem Zitat hervor, daß sich die dort angesprochene Methode in zwei Teilschritte gliedert. Diese zwei Teilschritte nennt er „Methode der Analyse“ und „Methode der Komposition“ bzw. „Synthese“. Entscheidend für die Anwendung der Methoden ist die Reihenfolge. Die Methode der Analyse muß stets der Kompositionsmethode oder der Synthesis vorangehen. Was ist mit der Methode der Analysis und der Methode der Komposition oder Synthese gemeint, die offenbar in der Mathematik ihren Ursprung haben und die Newton auf naturwissenschaftliche Untersuchungen übertragen möchte? Er erläutert zwar die Methode der Analysis, aber 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: 1. Es werden Experimente durchgeführt und Beobachtungen gemacht. 2. Aus diesen Experimenten und Be-

³⁵ I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 404f. Eine entsprechende Passage tauchte in verkürzter Form bereits in der ersten lateinischen Ausgabe der *Opticks* von 1706 auf, also sieben Jahre bevor Newton den *Principia* das 'Scholium Generale' hinzugefügt hat.

obachtungen werden allgemeine Folgerungen gezogen. Das Ziehen dieser Folgerungen erfolgt vermittelt der Induktion. 3. Diese allgemeinen Folgerungen sind möglichen Einwänden ausgesetzt. Solche Einwände können jedoch nur auf der Basis von Experimenten oder „sicheren Wahrheiten“ erhoben werden. Die Induktion wird hier als integraler Bestandteil der Methode der Analyse expliziert. Darüber hinaus wird deutlich, daß Newtons vieldiskutierte Ablehnung des Hypothesenbegriffs vor dem Hintergrund eines bestimmten methodologischen Vorgehens verstanden werden muß, das seiner „experimentellen Philosophie“ eigentümlich ist.

Newton nennt zwei Beispiele, die die Richtung des Fortschreitens mittels der analytischen Methode illustrieren sollen, nämlich der Fortgang vom Zusammengesetzten zu dessen Bestandteilen und von den Bewegungen zu den Kräften. Dabei ist unschwer zu erkennen, daß diese Beispiele offensichtlich seinen eigenen Forschungen zur Optik und zur Mechanik korrespondieren. In der Optik hatte er die Erscheinungen des weißen Lichts auf die Zusammensetzung desselben aus den (homogenen) monochromatischen Strahlen zurückgeführt. In der Mechanik hatte er aus der Fallbewegung schwerer Körper auf der Erde, den Bewegungen des Mondes, der Planeten und ihrer Trabanten die Gravitationskraft abgeleitet. Allgemein führt die analytische Methode von den Wirkungen zu den Ursachen. Sind die Ursachen erst einmal gefunden und sicher etabliert, dann können sie als Prinzipien oder Fundamente der jeweiligen Theorie zugrunde gelegt werden. Aus ihnen leiten sich dann die Erklärungen für die jeweiligen Phänomene ab, mit denen sich die Theorie beschäftigt. Dies ist die Aufgabe der Synthesis oder der Methode der Komposition. In bezug auf die Mechanik bedeutet dies, aufgrund der Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten der Gravitation der Materie die Bewegungen von Planeten, Monden und Kometen zu erklären. In der Optik erfolgt die Synthesis dadurch, daß die wahrnehmbaren Farberscheinungen in der Welt von den Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten der monochromatischen Strahlen abgeleitet werden.

Explizite Hinweise auf die Analyse und Synthese finden sich sowohl in den *Principia* als auch in den *Opticks*. So schreibt Newton in seinem Vorwort zur ersten Auflage der *Principia* von 1687: „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 müssen.“³⁶ Zwar erwähnt Newton in diesem Zusammenhang die Analyse und Synthese nicht explizit. Aus der folgenden Bemerkung von Roger Cotes, der die zweite Auflage der *Principia* von 1713 besorgte und ein Vorwort dazu verfaßt hat, geht aber hervor, daß Newtons Beschreibung genau auf diese Teilschritte hinweist. Cotes hatte zuvor an Newton geschrieben, daß er es für angemessen hielt, „besides the account of the Book & its improvements, to add something more particularly concerning the manner of Philosophizing

³⁶ I. Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, übersetzt u. hgg. v. V. Schüller, Berlin/New York 1999, Vorwort des Autors an den Leser, 3f.

made use of & wherein it differs from that of Descartes and Others“.³⁷ Dieser Vorgabe folgend hebt er in seinem Vorwort die Methode der Experimentalphilosophie als vorbildlich für die gesamte Naturforschung hervor: „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.“³⁸ Und in den *Opticks* heißt es im Anschluß an die bereits erwähnte Passage in der Query 31: „In the two first Books of these Opticks, I proceeded by this Analysis to discover and prove the original Differences of the Rays of Light in respect of Refrangibility, Reflexibility, and Colour, and their alternate Fits of easy Reflexion and easy Transmission, and the Properties of Bodies, both opaque and pellucid, on which their Reflexions and Colours depend. And these Discoveries being proved, may be assumed in the Method of Composition for explaining the Phaenomena arising from them: An Instance of which Method I gave in the End of the first Book.“³⁹ Der Sache nach findet man diese beiden Teilschritte implizit auch in der Erläuterung zur Proposition VII. Theorem V des zweiten Teils des ersten Buches der *Opticks*: „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 Reflexions, 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.“⁴⁰ Im Anschluß daran, nämlich in den letzten Propositionen VIII - XI des ersten Buches, folgt der Schritt der Synthesis. Newton erklärt dort aufgrund der zuvor entdeckten Prinzipien die Phänomene der Prismenfarben, des Regenbogens, der Oberflächenfarben der Körper, der Erscheinung des „Lignum Nephriticum“ etc.

Analyse und Synthese werden demnach als Teilschritte einer einheitlichen Methode sowohl für die Gegenstände der Mechanik als auch der Optik expliziert. In dieser Hinsicht besteht für beide Wissenschaftszweige kein Unterschied. Darüber hinaus weist Newton darauf hin, daß er beide Methoden in der Optik insbesondere in den ersten beiden Büchern angewandt hat. Nun stammen aber fast alle Teile dieser ersten beiden Büchern - mit Ausnahme des vierten Teils des zweiten Buches, der sich mit den Phänomenen der Farben dicker polierter Plättchen beschäftigt und zu Beginn der 90er Jahre entstanden ist -

³⁷ J. Edleston (ed.), *Correspondence of Sir Isaac Newton and Professor Cotes*, London 1850, 151.

³⁸ I. Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, übersetzt u. hgg. v. V. Schüller, Berlin/New York 1999, Vorwort des Herausgebers zur zweiten Auflage, 7f.

³⁹ I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 405.

aus Beobachtungen und Experimenten, die Newton in der zweiten Hälfte der 60er Jahre gemacht hat und die er Ende der 60er bis Mitte der 70er Jahre zum größten Teil bereits publiziert hatte.⁴¹ Das läßt darauf schließen, daß seine methodischen Maximen nicht nur im Hinblick auf die verschiedenen Gegenstandsbereiche, sondern auch im Hinblick auf seine intellektuelle Entwicklung eine bemerkenswerte Kontinuität aufweisen. Die Kontinuität in methodischer Hinsicht muß aber nicht zwangsläufig auch eine Kontinuität in der Darstellungsweise bedeuten. Zwar haben seine Vorlesungen zur Optik von 1670-1672 im wesentlichen dieselben Inhalte und Argumente zum Gegenstand wie die späteren *Opticks*, aber in der Form der Darstellung besteht eine merkliche Differenz. Das hat damit zu tun, daß Newton die optischen Vorlesungen stärker an seinem Programm einer mathematischen Behandlung der Farbenlehre orientiert hat als die *Opticks*. Sie enthalten in beiden Versionen jeweils einen gesonderten mathematischen Teil (analog zu den Büchern I und II der späteren *Principia*), der in den *Opticks* vollständig fehlt. Daher ist zu erwarten, daß der Zusammenhang zwischen seinem Programm der Entwicklung einer mathematischen Naturwissenschaft und den Methoden der Analyse und Synthese in seinen frühen Vorlesungen noch pointierter präsent ist als in seinen späteren Schriften. Im folgenden Abschnitt ist zunächst der Ursprung und die Bedeutung der mathematischen Methoden der Analyse und Synthese zu klären, die Newton bei seinen naturwissenschaftlichen Untersuchungen angewandt hat. Der letzte Abschnitt soll dann am Beispiel seiner Vorlesungen zur Optik verdeutlichen, in welcher Form sich diese Methoden auf naturwissenschaftliche Sachverhalte übertragen lassen.

⁴⁰ Op. cit., 160.

⁴¹ Cf. dazu A. R. Hall, *All was Light: An Introduction to Newton's 'Optics'*, Oxford 1995, 33-83.

4. Der Ursprung der analytischen und synthetischen Methode in der Mathematik

a. Newtons Quelle: die *Synagoge* des Pappos von Alexandria

Newtons ausdrücklicher Hinweis auf den Ursprung der Methoden der Analyse und Synthese in der Mathematik lassen eine weitere mögliche Quelle fragwürdig erscheinen, nämlich die Regressus-Methode von Zabarella. Diese Methode wurde im 16. Jahrhundert in der Schule von Padua entwickelt, zu deren Vertretern u.a. Agostino Nifo (1473-1538) und Giacomo Zabarella (1533-1589) gehörten.⁴² Einige Interpreten haben versucht, Zabarellas Version dieser Methode als Paradigma der neuzeitlichen experimentellen Methode der Naturwissenschaften zu explizieren, wie sie später von Galilei und Newton angewandt wurde.⁴³ Was Galilei betrifft, so ist inzwischen überzeugend dargelegt worden, daß die von ihm angewandte naturwissenschaftliche Methode wohl kaum als eine Weiterentwicklung von Zabarellas Regressus-Methode gedeutet werden kann. Statt dessen vermutet man eine andere Quelle, nämlich den Mathematiker Pappos von Alexandria.⁴⁴

Was Newton betrifft, so gibt es sichere Belege dafür, daß er sich bei den Methoden der Analyse und Synthese unmittelbar auf Pappos bezieht. Man hat in seinem Nachlaß Entwürfe für ein geplantes Vorwort zur dritten Auflage der *Principia* gefunden. Diese Entwürfe stammen vermutlich aus den Jahren 1716-1718 und gehen insbesondere auf die Methoden der Analyse und Synthese ein. Dort heißt es: „The ancients treated geometrical matters by a dual method, namely analysis and synthesis, or resolution and composition, as is clear from Pappus.“⁴⁵ Neben diesem allgemeinen Hinweis auf Pappos finden sich weitere Dokumente, die zeigen, daß Newton sowohl die einschlägige Definition der Methoden der Analyse und Synthese zu Beginn des siebten Buches von Pappos' *Synagoge* (bzw. lat. *Collectio*) als auch deren Anwendungen auf konkrete geometrische Konstruktionen genau studiert hat. Newton hatte in der ersten Hälfte der 90er Jahre die Absicht, eine längere Arbeit zur Geometrie zu verfassen. Von dieser Arbeit, die offenbar nie fer-

⁴² Cf. dazu N. Jardine, „Galileo's Road to Truth and the Demonstrative Regress“, in: *Studies in History and Philosophy of Science* 7 (1976), 277-318; hier insbesondere 280-290.

⁴³ Dazu zählt insbesondere J. H. Randall, *The School of Padua and the Emergence of Modern Science*, Padua 1961, 15-68, und A. C. Crombie, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science*, Oxford 1953. Auch Engfer ist davon überzeugt, daß Newtons Äußerung zu den Methoden der Analyse und Synthese in der Query 31 der *Opticks* „eine präzise Paraphrase des Methodenmodells von Zabarella“ darstelle. Allerdings sei auffällig, „daß Newton die naturwissenschaftliche Methode ausdrücklich mit der mathematischen des Papposmodells“ identifiziere. Engfer führt dies auf eine Verwechslung beider Methodenmodelle seitens Newton zurück. Cf. dazu 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, 100-102. Daß bei Newton von einer „Verwechslung“ beider Methodenmodelle nicht die Rede sein kann, wird im folgenden gezeigt.

⁴⁴ Cf. dazu N. W. Gilbert, „Galileo and the School of Padua“, in: *Journal of the History of Philosophy* 1 (1963), 223-231; sowie N. Jardine, „Galileo's Road to Truth and the Demonstrative Regress“, in: *Studies in History and Philosophy of Science* 7 (1976), 304-318. Cf. insbes. N. W. Gilbert, „Galileo and the School of Padua“, in: *Journal of the History of Philosophy* 1 (1963), 228: „The 'analysis' that Galileo appeals to seems to be pretty close to that described by Pappos, the Greek mathematician, in his *Treasury Of Analysis*.“

⁴⁵ I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol VIII: 1697-1722, ed. by D. T. Whiteside,

tiggestellt wurde, sind eine ausführliche Einleitung und Teile eines ersten Buches erhalten. Ein Kapitel des ersten Buches trägt die Überschrift „De Compositione & Resolutione Veterum Geometrarum“. Dort finden sich einige direkte Zitate aus der Einleitung in das siebte Buch der *Synagoge*.⁴⁶

Diese Befunde legen zunächst die Vermutung nahe, daß sich Newton erst verhältnismäßig spät mit Pappos' Methodenlehre beschäftigt hätte. Mitte der 90er Jahre waren seine Forschungsarbeiten zu den großen Themen der Gravitationstheorie und Farbenlehre in ihren Grundzügen - bis auf die Ausarbeitung einiger Details - bereits abgeschlossen. Daher könnte es scheinen, als hätte er den Auflagen der *Principia* und der *Opticks* zu Beginn des 18. Jahrhunderts die Hinweise auf die Methoden der Analyse und Synthese nachträglich eingefügt, um den Eindruck zu erwecken, seine Entdeckungen wären das Ergebnis der Anwendung einer einheitlichen, kohärenten Methode. Möglicherweise hätte er sich davon eine größere Akzeptanz seiner Theorien erhoffen können; denn zu dieser Zeit stießen sie noch keineswegs auf breite Zustimmung. D. T. Whiteside dokumentiert demgegenüber ein starkes Interesse von Newton an Pappos bereits gegen Ende der 70er Jahre.⁴⁷ Sehr wahrscheinlich geht Newtons Bekanntschaft mit Pappos' Text aber noch weiter zurück. So ist ein mathematisches Manuskript Newtons überliefert, dessen Entstehungs-

Cambridge UP 1981, 449.

⁴⁶ I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol VII: 1691-1695, ed. by D. T. Whiteside, Cambridge UP 1976, 248-251; 304-311. Newton hat dabei die lateinische Fassung in der Übersetzung von Commandino benutzt. Sie erschien erstmals im Jahre 1588. Es war die erste gedruckte lateinische Fassung überhaupt. Sie erfuhr weitere Auflagen in den Jahren 1589, 1602 und 1610. Whiteside nennt als Ausgabe von Pappos' Werk, die Newton benutzt hat, die von Manolesi besorgte Edition aus dem Jahre 1610: *Pappi Alexandrini Mathematicae Collectiones a Federico Commandino Urbinate in Latinum conversae, & Commentarijs illustratae*, Bologna 1660. Cf. I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, ed. by D. T. Whiteside, Vol. VIII: 1697-1722, Cambridge 1981, 449, Anm. 21. Sämtliche existierenden griechischen Manuskripte aus dem 16. Jahrhundert gehen auf eine Abschrift zurück, die vermutlich vom Beginn des 10. Jahrhunderts stammt und seit dem Beginn des 14. Jahrhunderts im Vatikan lagert. Da von Pappos selbst keine originalen Zeugnisse überliefert sind, ist unklar, inwieweit sie von dem Originaltext abweicht. Man nimmt an, daß Pappos mit der *Synagoge* eine Zusammenstellung bedeutender Werke der griechischen Mathematik beabsichtigte. Sie bestand ursprünglich aus acht Büchern sehr unterschiedlicher Natur, wobei das erste Buch und Teile des achten Buches verloren gegangen sind. Diese Sammlung liefert wertvolle Hinweise auf eine Reihe von Werken der antiken griechischen Mathematik, die selbst nicht mehr erhalten sind. Zur Überlieferungsgeschichte cf. Pappus of Alexandria, *Book 7 of the Collection*, Part 1. Introduction, Text and Translation, ed. by A. Jones, New York et. al. 1986, 18-65. Commandino übersetzt die griechischen Termini „analysis“ und „synthesis“ mit „resolutio“ und „compositio“. Das erklärt, weshalb Newton diese Ausdrücke jeweils synonym verwendet, sofern er sich auf die lateinische Übersetzung von Pappos bezieht. Durch die Publikation von Commandinos Übersetzung gewannen die Methoden der antiken Geometrie offenbar zunehmend an Einfluß auf die allgemeine Methodendiskussion. Cf. N. W. Gilbert, *Renaissance Concepts of Method*, New York/London 1963, 82: „It was not until the detailed description given by Pappus was published, in the Latin translation made by Federigo Commandino, that we can again speak of the influence of Greek geometry upon general philosophical methodology.“ Zur Bedeutung der Methoden der Analyse und Synthese in der Mathematik cf. M. Otte/M. Panza (eds.), *Analysis and Synthesis in Mathematics*, Dordrecht/Boston/London 1997.

⁴⁷ Cf. I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol IV: 1674-1684, ed. by D. T. Whiteside, Cambridge UP 1971, 218: „What the geometrical manuscripts now published do reveal is that in his middle-thirties Newton developed an acute interest in the $\Sigma\nu\nu\alpha\gamma\omega\gamma\eta$ ([Mathematical] Collection) of the late Alexandrian mathematician Pappus, minutely studying its seventh and eighth books in one or other of the available editions of Commandino's Latin translation.“

gründe weitgehend unbekannt sind.⁴⁸ Es stammt aus der Zeit zwischen 1667 und 1670. Inhaltlich handelt es sich um geometrische Konstruktionen von Gleichungen, die in Gestalt einer Reihe von ‘Problemata’ angeordnet sind. Dies ist deshalb interessant, weil Newton nicht glaubte, daß die von Descartes und Vieta eingeführte Methode der Lösung geometrischer Probleme durch die Anwendung algebraischer Gleichungen den Konstruktionen der antiken Geometer in allen Fällen überlegen wäre. So weist er in dem Fragment zur Geometrie aus den 90er Jahren im Kontext seiner Diskussion der Methoden der Analyse und Synthese bei Pappos darauf hin, daß es eine Reihe von Problemen gäbe, die sich mit den traditionellen Mitteln der geometrischen Konstruktion eleganter lösen ließen als durch die Umwandlung in eine algebraische Gleichung.⁴⁹ Daher ist die Wahrscheinlichkeit groß, daß das Fragment, das Ende der 60er Jahre geschrieben wurde, ebenfalls im Kontext der Auseinandersetzung mit den Methoden der Analyse und Synthese entstanden ist. Ein Beleg dafür ist auch, daß Newton die Analyse an einer Stelle seiner Beweise explizit erwähnt.⁵⁰ Somit hat sich Newton also genau zu der Zeit mit den Methoden der Analyse und Synthese beschäftigt, in der er seine Vorlesungen zur Optik konzipiert hat und noch vor der Publikation der *New Theory* im Jahre 1672.

Für eine frühe Beschäftigung mit Pappos gibt es noch weitere indirekte Hinweise. 1646 hatte Frans v. Schooten die Werke von Vieta herausgegeben. Von dieser Ausgabe, in der auch Vietas Arbeit *In Artem Analyticam Isagoge* aus dem Jahre 1591 enthalten war, hat Newton nachweislich Exzerpte angefertigt. Die *Isagoge* stellt eine Einführung in Vietas neue algebraische Buchstabenrechnung dar, wobei er am Anfang ausführlich auf die Methoden der Analyse und Synthese eingeht. Er expliziert die Analysis als eine mathematische Methode zum Aufsuchen der Wahrheit, die sowohl für geometrische als auch für arithmetische Gegenstände Gültigkeit besitzt.⁵¹ Daher konnte auch die Lektüre von Vieta für Newton der Anlaß gewesen sein, sich mit Pappos Methodenbeschreibung näher zu beschäftigen, um das Verhältnis von antiker und ‘moderner’ mathematischer Methode zu ergründen. Das gilt auch für Newtons Rezeption von Descartes’ *Geometrie*, die 1661 von v. Schooten in lateinischer Fassung mit einem ausführlichen Kommentar herausgegeben wurde. Bekanntlich hat Newton diese Schrift in etwa zur gleichen Zeit studiert wie die

⁴⁸ Cf. I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol II: 1667-1670, ed. by. D. T. Whiteside, Cambridge UP 1968, 450-517.

⁴⁹ I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol VII: 1691-1695, ed. by. D. T. Whiteside, Cambridge UP 1976, 251/253: “But there are also innumerable problems which are by algebra, following the conventional method, brought only with extreme difficulty to an equation, and innumerable ones which cannot be so reduced at all and yet their solution, if anyone should go about it the right way, is easy enough.”

⁵⁰ Cf. I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol II: 1667-1670, ed. by. D. T. Whiteside, Cambridge UP 1968, 493: „This construction can be demonstrated in the manner of problem 4 but for the sake of brevity and variety I prefer to employ the following analysis.“

⁵¹ Cf. J. Klein, *Greek Mathematical Thought and the Origin of Algebra*, Cambridge(Mass.)/London 1968, 154-178; M Panza, „Classical Sources for the Concepts of Analysis and Synthesis“, in: M. Otte/M. Panza (eds.), *Analysis and Synthesis in Mathematics*, Dordrecht/Boston/London 1997, 365-414; insbesondere 401-405.

Schrift von Vieta.⁵² Descartes verweist darin an mehreren Stellen auf Pappos. Daher ist eine Beschäftigung Newtons mit Pappos' Methodenlehre bereits ab Mitte der 60er Jahre nicht unwahrscheinlich. Diese Zeit fiel ziemlich genau mit dem „annus mirabilis“ 1666 zusammen, dem Jahr, in dem Newton während seines Aufenthalts im heimatlichen Woolsthorpe die entscheidenden Entdeckungen auf den Gebieten der Mechanik, Optik und Mathematik gelungen sind.

b. Newtons Interpretation der geometrischen Synthese und Analyse

Die Frage ist nun, wie Newton die Methoden der Analyse und Synthese inhaltlich interpretiert. Er zitiert Pappos' Beschreibung derselben explizit in der lateinischen Übersetzung von Commandinus. Die entsprechende Passage lautet: „Resolution, accordingly, is the route from the required as it were granted through what thereupon follows in consequence to something granted in the composition. For in resolution, putting what is sought as done, we consider what chances to ensue, and then again its antecedent, proceeding in this way till we alight upon something already known or numbered among the principles. And this type of procedure we call *resolution*, it being as it were a reverse *solution*. In composition, however, putting as now done what we last assumed in the resolution and here, according to their nature, ordering as antecedents what were before consequences, we in the end, by mutually compounding them, attain what is required. And this method is called *composition*.“⁵³ An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, daß der zugrunde liegende griechische Text gravierende Deutungsprobleme aufwirft. Die Diskussion darüber konzentrierte sich seit den einschlägigen Arbeiten von R. Robinson und F. M. Cornford aus den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts vor allem auf die Frage nach der 'Richtung' von Analyse und Synthese. Bedeutet die Analyse eines zu beweisenden Satzes A den Abstieg zu Folgerungen aus diesem Satz oder in der umgekehrten Richtung den Aufstieg zu dessen Bedingungen? Robinson plädierte für die erste Möglichkeit, während Cornford im Zusammenhang mit seinen Untersuchungen zu Platons Dialektik die zweite Möglichkeit für plausibel hielt. Dazu kommt die weitere Schwierigkeit, diese allgemeine Be-

⁵² Cf. D. T. Whiteside, "Sources and Strengths of Newton's Early Mathematical Thought", in: R. Palter (ed.), *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton. 1666-1966*, Cambridge(Mass.)/London 1967, 69-85; insbesondere 73. Cf. auch R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge (Mass.) 1980, 106.

⁵³ I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol VII: 1691-1695, ed. by. D. T. Whiteside, Cambridge UP 1976, 307; cf. op. cit., 249. Der lateinische Text lautet (op. cit., 306): „Resolutio igitur est via a quaesito tanquam concesso per ea quae deinceps consequuntur ad aliquod concessum in compositione: in resolutione enim id quod quaeritur tanquam factum ponentes quid ex hoc contingat consideramus: et rursus illius antecedens, quousque ita progredientes incidamus in aliquod jam cognitum vel quod sit e numero principiorum. Et hujusmodi processum *Resolutionem* appellamus, veluti ex contrario factam *Solutionem*. In compositione autem per conversionem ponentes tanquam jam factum id quod postremus in resolutione sumpsimus: atque hic ordinantes secundum naturam ea antecedentia quae illic consequentia erant et mutua illorum facta compositione, ad quaesitum finem pervenimus; & hic modus vocatur *Compositio*.“ Zur kritischen Edition des griechischen Originaltextes sowie der englischen Übersetzung desselben cf. Pappus of Alexandria, *Book 7 of the Collection*, Part 1. Introduction, Text and Translation, ed. by A. Jones, New York et. al. 1986, 82f.

schreibung der Methoden zu Beginn des siebten Buches der *Synagoge* mit der sich daran anschließenden geometrischen Praxis des Pappos in Verbindung zu bringen. Letzteres haben insbesondere die Arbeiten von Hintikka/Remes, Behboud und Mäenpää versucht.⁵⁴

Ohne an dieser Stelle Einzelheiten der Interpretation von Pappos' Beschreibung der Analysis, die eine Reihe philologischer Probleme aufwirft, diskutieren zu können, soll kurz auf eine der Hauptschwierigkeiten hingewiesen werden, die der überlieferte griechische Text bietet. Jones übersetzt ihn wie folgt: „Now, analysis is the path from what one is seeking, as if it were established, by way of its consequences, to something that is established by synthesis. That is to say, in analysis we assume what is sought as if it has been achieved, and look for the thing from which it follows, and again what comes before that, until by regressing in this way we come upon some one of the things that are already known, or that occupy the rank of a first principle.“⁵⁵ Es hat den Anschein, als liege hier ein offensichtlicher Widerspruch vor. Zunächst wird die Analysis als ein Weg beschrieben, der von dem Gesuchten ausgeht, als ob es gegeben wäre, und daraus Folgerungen ableitet. Im nächsten Satz jedoch, der so eingeleitet wird, als handele es sich um eine Erläuterung des vorangegangenen Satzes, ist von dem Weg der Analysis im Sinne eines Rückgangs zu den Bedingungen, *aus* denen das Gesuchte, das als wahr unterstellt wird, folgt, die Rede. Zieht man zum Vergleich die Übersetzung Commandinos heran, dann stellt man fest, daß er offenbar versucht hat, diesen Widerspruch ein wenig zu glätten, sofern es bei ihm im zweiten Satz heißt: „we consider what chances to ensue“ („quid ex hoc contingat consideramus“). Allerdings scheint dann die Fortsetzung „and then again its antecedent“ („et rursum illius antecedens“) nicht recht dazu zu passen.

Wie hat Newton auf diese Interpretationsschwierigkeit reagiert? Erstaunlicherweise gar nicht. Entweder war ihm der Widerspruch nicht aufgefallen, da er in der Übersetzung von Commandino bereits abgeschwächt wurde oder er verbindet mit den Methoden der Analyse und Synthese eine inhaltliche Interpretation, in der er gar nicht auftritt. Newton kommentiert diese Passage folgendermaßen: „By these words you should understand that a general method for solving problems was known to the ancients, and that this method consisted in its greatest part in the resolved locus, proceeding by means of resolution and composition jointly: by resolution composition is attained and in the fullness of composition all that is geometrical is accomplished; solution is, however, the opposite of resolution in that it may not be had till all trace of resolution be removed from start to finish by means of a full and perfect composition.“⁵⁶ Zunächst fällt auf, daß Newton Analyse und

⁵⁴ Cf. J. Hintikka/U. Remes, *The Method of Analysis*, Dordrecht/Boston 1974; A. Behboud, „Greek Geometrical Analysis“, in: *Centaurus* 37 (1994); 52-86; P. Mäenpää, „From Backward Reduction to Configurational Analysis“, in: M. Otte/M. Panza (eds.), *Analysis and Synthesis in Mathematics*, Dordrecht/Boston/London 1997, 201-226. Eine kurze Zusammenfassung der Diskussion und weitere Literaturhinweise findet man beispielsweise in dem Aufsatz von Behboud auf den Seiten 53-57.

⁵⁵ Pappus of Alexandria, *Book 7 of the Collection*, Part 1. Introduction, Text and Translation, ed. by A. Jones, New York et. al. 1986, 82.

⁵⁶ I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol VII: 1691-1695, ed. by. D. T. Whiteside,

Synthese bzw. *resolutio* und *compositio* als eine *allgemeine Methode der Problemlösung* versteht, die nicht auf den Gegenstand geometrischer Probleme und Theoreme eingeschränkt werden muß. Sowohl der Kontext dieser Stelle als auch Newtons Erläuterung an anderer Stelle zeigen, daß er insbesondere die Anwendung auf algebraische Probleme im Sinn hatte.⁵⁷ „Resolved locus“ bzw. „locus resolutus“ ist die Übersetzung des griechischen Terminus’ „τόπος ἀναλυόμενος“. Damit war offenbar ein Zweig der antiken Mathematik gemeint, der sich mit der geometrischen Analysis befaßte. Pappos nennt eine Reihe von Büchern, die diesem Zweig angehörten, wie z.B. die „Data“ und „Porismata“ von Euklid und weitere Werke von Apollonius, Aristaeus und Eratosthenes. Dieser Zweig befaßte sich offenbar mit der Lösung schwieriger geometrischer Probleme, die nur für diejenigen gedacht waren, die mit den Elementen und Grundlagen der Geometrie bereits hinreichend vertraut waren. Bemerkenswert ist auch, daß Newton hier nicht die Verfahren der *resolutio* und *compositio* als entgegengesetzte Richtungen begreift. Statt dessen stellt er *resolutio* und *compositio* *zusammen* der *solutio* gegenüber: „Solution therefore differs from resolution and composition inasmuch as the latter are means and procedures for discovering through the resolved locus, the former is the enddiscovery at which the whole process terminates. Resolution and solution are two totally opposite extremes, and the expert makes his way in stages from one to the other by composition.“⁵⁸ Sowohl die *resolutio* als auch die *compositio* betrachtet er als Mittel und Verfahren der Entdeckung („*media et operationes inveniendi*“) und stellt sie der endgültigen Lösung eines Problems gegenüber. So heißt es in dem vorangegangenen Zitat, daß Pappos’ Methode ein Vorgehen „by means of resolution and composition jointly“ beinhalte. In einer früheren Version des Textes hatte Newton an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, daß sich *resolutio* und *compositio* gelegentlich vermischten: „Solution is contrary to resolution: the expert proceeds from beginning to end and from resolution to solution by means of composition. Resolution can be intermingled with composition, but with solution not at all.“⁵⁹ Die *solutio* wird hier als das Ende eines Verfahrens beschrieben, das von den Prinzipien ihren Ausgang nimmt und auf der Grundlage der *resolutio* *vermittels* der *compositio* zur Lösung fortschreitet.

Was versteht Newton genauer unter *resolutio* und *compositio* bzw. *analysis* und *synthesis*? Er erläutert seine Interpretation anhand eines Beispiels: „For example, if a question be answered by the construction of some equation, that question is resolved by the discovery of the equation and composed by its construction, but it is not solved before the

Cambridge UP 1976, 307.

⁵⁷ Cf. op. cit., 249/251: „What Pappus here describes is the very thing we do when, by assuming the unknown as known and therefrom by an appropriate argument gathering something known as unknown, we reduce a problem to an equation; and then by aid of that equation we in inverse sequence gather from really knowns what is really unknown. Nor does our algebra seem to differ from their analysis except in the mere manner of its expression.“

⁵⁸ Op. cit., 309.

⁵⁹ Op. cit., 308, Anm. 69.

construction's enunciation and its complete demonstration is, with the equation now neglected, composed."⁶⁰ An dieser Stelle deutet er den Schritt der *resolutio* im Sinne des Findens einer algebraischen Gleichung, die ein geometrisches Problem lösen soll. Ist die Gleichung gefunden, dann ist der Schritt der *resolutio* abgeschlossen. Die *compositio* entspricht dann der Konstruktion des geometrischen Gebildes, das der Gleichung korrespondiert. Beide Schritte zusammen stellen jedoch noch keine Lösung des Problems dar. Dazu gehört nach Newtons Meinung die „enunciatio“ (griech. „protasis“) und die vollständige „demonstratio“ (griech. „apodeixis“) des Problems, die offenbar ausschließlich auf dem Wege der Komposition unter *Weglassung* der zuvor gefundenen Gleichung erfolgt. Dahinter steht die Auffassung, daß sich hinter der *resolutio* oder *analysis* eine „ars inveniendi“ verbirgt, deren sich die Experten (in Verbindung mit der *compositio*) bedienen, um gewisse Probleme zu lösen. Haben sie dann das Problem gelöst, präsentieren sie die Lösung ausschließlich im Stile der *compositio*, indem sie ausgehend von der „enunciatio“ und der dazugehörigen Konstruktion auf der Grundlage der geometrischen Prinzipien schrittweise den eigentlichen Beweis entfalten.

Ca. 20 Jahre nach diesen Bemerkungen Newtons zu Pappos' Methoden der *resolutio* und *compositio* kommt er in den Entwürfen für ein Vorwort zur dritten Auflage der *Principia* nochmals darauf zurück. Dort heißt es: „The analysis of the ancient geometers seems to have consisted in the deduction of consequences from givens until the thing sought should result. [...] 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.“⁶¹ Aus dieser Stelle geht hervor, daß Newton der Analyse der antiken Geometer am Anfang eine bestimmte Richtung zuschreibt, nämlich die Ableitung von Konsequenzen aus dem „Gegebenen“ bzw. den „data“. Was ist mit dem „Gegebenen“ gemeint? Handelt es sich um eine Proposition, aus der im Sinne einer logischen Deduktion Konsequenzen abgeleitet werden? Dies ist eher unwahrscheinlich, wenn man die zuvor diskutierten Äußerungen in Betracht zieht. Denn dort ging es in erster Linie um „gegebene“ Gleichungen und Konstruktionen, womit primär Quantitäten, Relationen von Quantitäten, Punkte, Linien, Flächen etc. angesprochen waren. Mit dem „Gegebenen“ sind demnach Beziehungen zwischen derartigen Objekten gemeint, die durch die Prinzipien oder Axiome der Geometrie und durch die vorgegebenen Konstruk-

⁶⁰ Op. cit., 307.

⁶¹ I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol VIII: 1697-1722, ed. by. D. T. Whiteside, Cambridge UP 1981, 443/445. Cf. op. cit., 444f., Anm. 3: „The ancients in the resolution of problems used first to gather from the givens whatever might come to ensue, [...]. 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.“

tionen festgelegt sind. Die Analyse untersucht, welche weitergehenden Beziehungen sich daraus ableiten lassen, um das Gesuchte, das bei geometrischen Problemen im allgemeinen in bestimmten zu konstruierenden Objekten besteht, die gewissen Bedingungen genügen sollen, zu finden. Führen die Folgerungen aus der Anfangskonstruktion zu dem gewünschten Ergebnis, d.h. auf ein bereits bekanntes Theorem oder auf ein vorausgesetztes Prinzip, dann ist die Analyse abgeschlossen. Bereitet dieser Weg jedoch Schwierigkeiten, dann ist man gezwungen, Hilfssätze oder Hilfskonstruktionen zu Hilfe zu nehmen. Sie haben die Eigenschaft, daß sie neue Objekte oder Beziehungen von Objekten in das Problem einführen, denen bereits bekannte Beziehungen zwischen dem Gegebenen („data“) und dem Gesuchten („quaesita“) zugrunde liegen. Dann wird das Gesuchte als bekannt angenommen und aus diesen Beziehungen werden im Verein mit der Ausgangskonstruktion und den Axiomen weitere Folgerungen abgeleitet, bis man auf einen bekannten Satz oder ein bekanntes Prinzip stößt. Ist das der Fall, dann läßt sich das Gesuchte durch Umkehrung der Argumentation („regrediendo“ oder „invertendo ordinem argumentationis“) aus diesen Beziehungen deduzieren.

Offenbar rechnet Newton diese Deduktion, die in umgekehrter Richtung, d.h. also von den Prinzipien und Axiomen zu den bestimmten Konstruktionen verläuft, noch zur Analysis. Das würde bedeuten, daß die Analyse nach Newtons Interpretation gewissermaßen zwei Richtungen einschließt, nämlich von der Ausgangskonstruktion zu den Prinzipien und von den Prinzipien wieder zurück zu dieser Konstruktion. Das würde erklären, weshalb Newton der Meinung war, daß sich *resolutio* und *compositio* häufig vermischen. „Deduktion“ besitzt in diesem Zusammenhang offenbar eine weitere Bedeutung als eine syllogistische Ableitung von Propositionen. Denn es besteht immer die Möglichkeit, daß sich aus einer gegebenen Konstruktion, die bestimmte Beziehungen zwischen gegebenen und gesuchten Objekten enthält, *verschiedene* Relationen ableiten lassen, bei denen man von vornherein nicht weiß, welche zum Ziel führt, das Gesuchte aus dem Gegebenen zu bestimmen. Dann wäre man gezwungen, jede von ihnen zunächst separat zu untersuchen, wozu unter Umständen weitere Hilfskonstruktionen benötigt werden. Eventuell sind im Zuge dieser Untersuchungen auch weitere Zwischenschritte nötig, die stellenweise eine Umkehrung der Argumentationsrichtung beinhalten. Somit ergibt sich ein komplexes, verzweigtes Verfahren, an dessen Ende die Bestimmung des Gesuchten bzw. die Lösung des Problems steht. Erst wenn man diese gefunden hat, ist man in der Lage zu wissen, welche dieser Verzweigungen man anschließend in umgekehrter Richtung verfolgen muß, um eine eindeutige Bestimmung des Gesuchten aus dem Gegebenen zu erhalten. Entscheidend für diese Interpretation ist auch, daß man es bei der Analyse mit Relationen und Abhängigkeitsbeziehungen zwischen verschiedenen Objekten zu tun hat, die entweder in einer geometrischen Konstruktion oder in einer algebraischen Gleichung miteinander verknüpft sind. Dies kommt im übrigen der Interpretation von Hintikka und Remes sehr nahe, die Pappos' analytische Methode im Sinne einer „figürlichen Analysis“ gedeutet

haben (im Unterschied zu einer propositionalen Analysis), bei der Hilfskonstruktionen eine entscheidende Rolle spielen.⁶²

Welche Funktion kommt in dieser Interpretation der Synthese zu? Newton erteilt zu dieser Frage die folgende Auskunft: „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.“⁶³ Die Analysis ist eine „ars inveniendi“, aber sie vermag keine Gewißheit zu liefern. Erst die Synthesis verleiht den Entdeckungen der Analysis die nötige Gewißheit im Sinne einer „ars demonstrandi“. Während die Analysis für Newton kein Verfahren ist, daß sich mechanisch anwenden läßt, sondern vielmehr von der Geschicklichkeit und Erfahrung des mathematischen Experten („artifex“) abhängt, ist an die Synthesis die Anforderung zu stellen, daß sie von allen verstanden wird, die mit den Grundlagen der Geometrie einigermaßen vertraut sind.⁶⁴ Darüber hinaus weist er darauf hin, daß die Methoden der Analysis und Synthesis der ‘Neueren’ insofern allgemeiner sind als die der Antike, als sie auf Quantitäten schlechthin angewandt werden, unangesehen dessen, ob es sich um arithmetische oder geometrische Quantitäten handele. Allerdings führe diese Art der Anwendung dazu, daß die ‘modernen Mathematiker’ sich nur noch auf die Analysis beschränkten und die Synthesis völlig vernachlässigten.⁶⁵ Damit allerdings verlassen sie nach Newtons Meinung das traditionelle Gewißheitsideal der Geometrie.

⁶² Cf. J. Hintikka/U. Remes, *The Method of Analysis. Its Geometrical Origin and Its General Significance*, Dordrecht/Boston 1974, Ch. IV. Analysis as Analysis of Figures: The Logic of the Analytical Method, 31-40. Allerdings versuchen Hintikka und Remes die Analysis der Antike mit Methoden der modernen Logik wie z.B. derjenigen der „natürlichen Deduktion“ in Verbindung zu bringen. Cf. op. cit., 36. Behboud weist hingegen darauf hin, daß eine solche Parallele fragwürdig ist. Statt dessen komme es bei einer angemessenen Interpretation von Pappos' Methoden darauf an, die Eigentümlichkeiten der geometrischen Analyse im Unterschied zu logischen Ableitungstechniken zu beachten. Cf. A. Behboud, „Greek Geometrical Analysis“, in: *Centaurus* 37 (1994), 74: „In fact, it was emphasized that geometrical analysis exploits features which are not generally available such as the reversibility of inferences and constructions; it may even be counterproductive to assimilate geometrical analysis to general logical reasoning, instead of studying its particular features.“ Zum Unterschied zwischen Logik und wissenschaftlicher Methodenlehre cf. auch H. Guerlac, „Newton and the Method of Analysis“, in: H. Guerlac, *Essays and Papers in the History of Modern Science*, Baltimore/London 1977, 193-216; insbes. 195-205.

⁶³ I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol VII: 1691-1695, ed. by. D. T. Whiteside, Cambridge UP 1976, 451.

⁶⁴ Op. cit. 449: „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“.

⁶⁵ Zur Umdeutung von Pappos' Methoden der Analyse und Synthese beispielsweise bei Vieta cf. J. Klein, *Greek Mathematical Thought and the Origin of Algebra*, Cambridge(Mass.)/London 1968, 161-178.

5. Die Anwendung von Analyse und Synthese auf die Naturwissenschaft

a. Geometrische Analyse und Synthese und die Naturwissenschaften

Aus den Befunden dieses letzten Abschnitts ergeben sich viele Fragen. Inwiefern lassen sich die Methoden der Analyse und Synthese auf naturwissenschaftliche Sachverhalte übertragen? In welchem Verhältnis stehen sie zur experimentellen Methode? Welche Parallelen und welche Unterschiede ergeben sich aus den Anwendungen auf mathematische und naturwissenschaftliche Objekte? In welchem Verhältnis steht die Anwendung dieser Methoden zu Newtons Programm einer mathematischen Naturwissenschaft? Inwiefern sind die Methoden der Analyse und Synthese geeignet, mehr Sicherheit in die Fundamente der Naturwissenschaften zu bringen und die hypothetische Physik zu vermeiden? Die ersten - und meines Wissens auch die einzigen -, die bislang auf die Bedeutung der geometrischen Methode der Analysis und Synthesis für Newtons naturwissenschaftliche Forschungen aufmerksam gemacht haben, waren Hintikka und Remes. Sie stützen diese These auf ihre Interpretation der geometrischen Analysis als figürliche Analysis, die in ihrer Gebundenheit an räumliche Konstruktionen gewisse Parallelen mit der Analyse experimenteller Situationen aufweist: „Newton, like any experienced mathematician, is thinking of the geometrical analysis as an analysis of figures, that is to say, as a systematical study of the interdependencies of the geometrical objects in a given configuration, including both the ‘known’ (controllable) and ‘unknown’ (uncontrollable) factors. [...] From this, it was but a short step to the idea that an experimental setup represented a kind of analytical situation, too, in that what is happening in a typical controlled experiment is a study of what depends on what in it - and hopefully also precisely what mathematical relationships these dependencies exemplify.“ Die Ergebnisse des vorangegangenen Abschnitts weisen durchaus in die Richtung dieser Interpretation. Ihr soll im folgenden weiter nachgegangen werden.

Bereits in der Antike wurde die Anwendung der Analysis auf Probleme der Optik oder Musiktheorie diskutiert. In Marinus' Einleitung zu Euklids *Data*, die aus dem 6. Jahrhundert stammt, heißt es: „What power the ‘Domain of Analysis’ has in the mathematical sciences and those that are closely related to it, optics and music theory, has been precisely stated elsewhere, and that analysis is the way to discover proof, and how it helps us in finding the proof of similar things.“⁶⁶ Der Gedanke der Anwendung von Analyse und Synthese auf naturwissenschaftliche Probleme mag Newton auch gekommen sein, als er von seinem Tutor zu Beginn seines Studiums in Cambridge das *Logicae artis compendium* von Robert Sanderson in die Hand bekam.⁶⁷ Es war eines der üblichen Textbü-

⁶⁶ Zitiert nach A. Jones, „General Introduction“, in: Pappus of Alexandria, *Book 7 of the Collection*, Part 1. Introduction, Text and Translation, ed. by A. Jones, New York et. al. 1986, 21. Die *Data* von Euklid sind 1657 in einer lateinischen Fassung von Newtons Lehrer Isaac Barrow herausgegeben worden. Falls diese Ausgabe auch das Vorwort von Marinus enthält, ist davon auszugehen, daß es Newton bekannt war.

⁶⁷ Robert Sanderson, *Logicae artis compendium*, Oxford 1615. Newton besaß die dritte Auflage von 1631. Cf. J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge

cher, das dem Unterricht zugrunde gelegt wurde. Sanderson, der eine aristotelische Position vertritt, aber durchaus Kompromisse mit der seinerzeit populären Auffassung des Reformers Petrus Ramus sucht, entwickelt eine Methodenlehre, die zwei Verfahrensweisen beinhaltet, nämlich die „method of invention“ und die „method of doctrine“. Er setzt sich insofern von Ramus ab, als er diese Methoden, die primär auf den Bereich der Rhetorik gemünzt waren, auf die Naturforschung ausdehnen möchte, um den neuen wissenschaftlichen Interessen des 17. Jahrhunderts gerecht zu werden. Die „method of invention“ unterteilt er in die folgenden vier Stufen: „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.“⁶⁸ Wenn man bedenkt, daß Newton die geometrische Analysis ebenfalls als eine „ars inveniendi“ aufgefaßt hat, dann ist es naheliegend, daß er sie mit den vier von Sanderson genannten Stufen in Verbindung gebracht hat. Dazu kommt, daß die Redeweise „proof by experiment“ eine ständig benutzte Wendung der späteren *Opticks* darstellt.

Wirft man noch einmal einen Blick zurück auf die Konzeption von Newtons Mathematisierungsprogramm, dann sind drei zentrale Punkte festzuhalten. Erstens beruht die Anwendung der Mathematik auf Naturgegenstände auf *physikalischen* Prinzipien, die auf experimentellem Wege zu ermitteln sind. Den mathematischen Bestimmungen als solchen kommt keine physikalische Bedeutung zu, sondern nur in Verbindung mit diesen physikalischen Prinzipien. Zweitens handelt es sich dabei um physikalische Eigenschaften von Naturgegenständen, die als Ursachen zur Erklärung eines bestimmten Phänomenbereichs herangezogen werden können. Damit ist noch nichts über die Ursachen dieser Prinzipien selbst, d.h. über die Ursachen der Ursachen ausgesagt. Auch für sie gilt, daß sie ‘aus den Erscheinungen deduziert’ werden müssen. Drittens schließlich versteht Newton den Weg, der von den Wirkungen zu den Ursachen führt, im Anschluß an die *resolutio* der antiken Geometer als Analyse. Im folgenden sollen die für Newtons experimentelle Methode bedeutsamen Parallelen zwischen der mathematischen und naturphilosophischen Analyse am Beispiel von Newtons Frühschriften zur Optik herausgearbeitet werden.

Die Analyse der antiken Geometer wurde zur Lösung schwieriger Probleme benutzt. Der Ausgangspunkt war eine geometrische Konfiguration, bei der gewisse Objekte oder Beziehungen gesucht und gewisse Objekte und Beziehungen gegeben waren. Der erste Ansatz bestand darin, aus dem Gegebenen Folgerungen abzuleiten, bis man auf einen bekannten Satz oder ein anerkanntes Prinzip stieß. Gelang dies nicht, dann wurde es

1983, 24; R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge (Mass.) 1980, 82f.

⁶⁸ Zitiert nach W. S. Howell, *Logic and Rhetoric in England: 1500-1700*, Princeton 1961 [1. Aufl.

komplizierter. Dann nämlich wurde das Gesuchte als Gegeben angenommen und im Rückgang auf bereits bekannte Hilfssätze und Hilfskonstruktionen wurden neue Objekte und neue Beziehungen eingeführt, um das Gesuchte in Abhängigkeit von dem Gegebenen ermitteln zu können. Anschließend wurden aus den „gegebenen“ *in Verbindung* mit den neu eingeführten Beziehungen weitere Folgerungen gezogen, um auf diesem Wege auf bekannte Sätze oder Prinzipien zu stoßen. Allerdings konnte es auch sein, daß die Folgerungen auf einen Widerspruch führten. Dann war die Unmöglichkeit der Lösung des Problems (oder der Gültigkeit des Theorems) gezeigt.⁶⁹ Die Richtungen der „resolutio“ und „compositio“ wechselten sich in diesem Prozeß offenbar ab. Er verlief demnach keineswegs nur in *eine* Richtung, sondern *alternierend* von der Ausgangskonstruktion zu Folgerungen, von diesen zu bekannten Sätzen (Hilfskonstruktionen), von dort aus wiederum zu Folgerungen usw. bis man schließlich aus den Beziehungen zwischen Gesuchtem und Gegebenem entweder auf einen Widerspruch oder auf einen Grundsatz oder einen Satz stieß, der allgemein akzeptiert wurde. Erst wenn dieser letzte Schritt getan war, war die „solutio“ des Problems möglich, die in Gestalt einer synthetischen „demonstratio“ durchgeführt wurde. Erst diese „demonstratio“ verlieh den Entdeckungen der Analyse die nötige Gewißheit.

b. Das „Gegebene“ und „Gesuchte“ der naturwissenschaftlichen Analyse

Welche Analogie besteht zwischen diesem Verfahren der geometrischen Analyse und Synthese und Newtons methodischer Vorgehensweise in den Naturwissenschaften? Was ist das „Gegebene“, was das „Gesuchte“? Welche Rolle spielen die Hilfskonstruktionen? Wie verläuft die Richtung der Forschung? Zunächst die Frage nach dem „Gegebenen“. Wenn man sich am Beispiel der Optik orientiert, dann stößt man auf das, was Newton in der *New Theory about Light and Colours* als „the celebrated Phaenomena of Colours“ beschrieben hat. Möglicherweise war dies eine Anspielung auf Descartes' und Boyles Experimente mit dem Prisma, bei denen nach dem Durchgang des weißen Lichts verschiedene Farben aufgetreten sind. Diese Phänomene stehen als das „Gegebene“ gewissermaßen am Anfang von Newtons Überlegungen. Allerdings stellt man bei genauerem Hinsehen fest, daß es sich dabei nicht um Beobachtungen natürlicher Erscheinungen handelt, sondern um ein durch eine durchdachte experimentelle Anordnung erzeugtes Phänomen. Es steht sowohl am Anfang seiner ersten Vorlesungen zur Optik als auch der

1956], 307.

⁶⁹ Newton zitiert die entsprechende Stelle bei Pappos in I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol VII: 1691-1695, ed. by D. T. Whiteside, Cambridge UP 1976, 309: „if we meet with what evidently cannot be done, then the problem will be likewise impossible.“ Zum Zusammenhang zwischen der analytischen Methode der antiken Geometer und dem Beweis der „reductio ad absurdum“ cf. W. Rheder, „Die Analysis und Synthesis bei Pappos“, in: *Philosophia Naturalis* 19 (1982), 350-370; insbes. 360-362.

New Theory about Light and Colours.⁷⁰ Das Experiment ist relativ einfach und anschaulich. Newton spricht auch von einem „experimentum vulgari“.⁷¹ Durch eine runde Öffnung in einem Fensterladen fällt Sonnenlicht in einen verdunkelten Raum. Unmittelbar hinter die Öffnung wird ein Prisma plaziert. Das Sonnenlicht wird durch das Prisma hindurchgelenkt und auf eine gegenüberliegende Wand des Raumes oder einen Schirm projiziert. Auf dieser Wand ist ein längliches, ovales Bild zu sehen, das mehrere Male so lang wie breit ist. Darüberhinaus sieht man Farben, die sich von einem Ende des Bildes zum anderen in der Reihenfolge Rot, Gelb, Grün, Blau, Violett aneinanderreihen. Dieses Farbspektrum in Verbindung mit der experimentellen Anordnung muß offenbar als das „Gegebene“ oder das Phänomen betrachtet werden. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß sowohl das Gegebene der Geometrie als auch das Gegebene der Naturwissenschaft nichts ist, was man schlicht vorfindet und nur rein passiv beobachtet, sondern es handelt sich beide Male um etwas bewußt Erzeugtes und Konstruiertes.

Was ist nun das „Gesuchte“? In der Geometrie wird nach einer Konstruktionsmöglichkeit (sofern es sich um eine ‘problematische Analysis’ handelt) von Größen oder Beziehungen zwischen Größen in *Abhängigkeit von* „gegebenen“ Größen oder Beziehungen gesucht. Analog dazu wird in der Naturwissenschaft eine physikalische Eigenschaft gesucht, die sich als bestimmender Faktor für das Zustandekommen gewisser Phänomene oder Naturprozesse erweist. Wie findet man eine solche Eigenschaft bzw. ein solches Prinzip? Indem man aus den Phänomenen in Verbindung mit einem versuchsweise angenommenen Prinzip Folgerungen ableitet, bis man auf ein bereits bekanntes Prinzip oder einen bekannten Satz oder möglicherweise auch auf einen Widerspruch stößt. Newton weist auf ein solches Prinzip hin, das bislang als gültig angenommen wurde, nämlich das *geometrische* Sinusgesetz der Brechung, das aber auf dem *physikalischen* Prinzip beruht, das weiße Sonnenlicht sei homogen. Damit ist gemeint, daß *alle* Strahlen des weißen Sonnenlichts bei gleichem Einfallswinkel auf eine brechende Oberfläche den gleichen Ausfallswinkel haben. Im nächsten Schritt leitet Newton aus dem Phänomen des länglichen Farbspektrums in Verbindung mit diesem angenommenen physikalischen Prinzip Folgerungen ab. Dabei stößt er jedoch auf einen *Widerspruch*. Denn er errechnet genau *eine* Position des Prismas, bei der die *Summe* der beiden Einfallswinkel an den beiden Seiten des Prismas, an denen die Strahlen gebrochen werden, für *alle* Strahlen genau gleich ist.⁷² Wenn das unterstellte physikalische Prinzip der Homogenität des weißen

⁷⁰ Cf. Newton, *Optical Papers I*, 50. Im folgenden beschränke ich mich im wesentlichen auf Newtons Darstellung in seiner ersten Vorlesungsreihe 1669-1670, die Shapiro als „*Lectiones opticae*“ bezeichnet. Cf. dazu auch I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 92.

⁷¹ Newton, *Optical Papers I*, 50.

⁷² Diese Position des Prismas wird in den „*Lectiones opticae*“ aufgrund umfangreicher geometrischer Überlegungen mathematisch exakt hergeleitet. Daran schließen sich praktische Hinweise an, wie man diese Position experimentell am einfachsten realisieren kann. Cf. Newton, *Optical Papers I*, 52-63. In der *New Theory* verzichtet er gänzlich auf diese Ableitung, was das Mißverständnis nahegelegt hat, er wolle behaupten, daß unter der Voraussetzung der Homogenität des weißen Sonnenlichts das Bild des Spektrums in

Sonnenlichts Gültigkeit besäße, dann müßte *genau in diesem Fall* das Bild rund erscheinen. Nachdem Newton seine Versuchsanordnung exakt gemäß diesen Vorgaben eingerichtet hat, stellt er jedoch fest, daß das Bild nicht rund, sondern oval erscheint. Also widerspricht das physikalische Prinzip, das die geometrische Optik unterstellte, den Phänomenen und ist somit zurückzuweisen: „Finally, [...], it is manifest that generally the sun's refracted image must be sensibly nearly circular, provided that in the same medium the refraction at the same incidence be always the same. But the former is contrary to experience, specifically, its length exceeded its breadth more than four times, as has been noted. Therefore the latter is contrary to the truth, and the refraction at the same incidence varies.“⁷³

Somit muß die Suche nach einem physikalischen Prinzip, das mit den Phänomenen im Einklang steht, fortgesetzt werden. Wenn demnach die vorausgesetzte Eigenschaft der gleichen Brechbarkeit aller Strahlen des weißen Sonnenlichts, d.h. seine Homogenität, sich als falsch erwiesen hat, dann liegt es nahe, als neues Prinzip anzunehmen, daß das weiße Sonnenlicht *nicht* homogen ist, sondern sich aus heterogenen Strahlen zusammensetzt, die bei gleichem Einfallswinkel in unterschiedlicher Weise gebrochen werden. Genau diese Eigenschaft nimmt Newton als neues Prinzip an und die Analyse beginnt von neuem. Ihr Ausgangspunkt bleibt das Phänomen der länglichen Gestalt des Prismas. Allerdings wird das neue Prinzip zunächst nur versuchsweise angenommen bzw. hypothetisch unterstellt, d.h. das Gesuchte wird als gegeben angenommen und aus den Beziehungen zwischen Gesuchtem und Gegebenem werden wiederum Folgerungen abgeleitet. Newton spricht an dieser Stelle ausdrücklich von einer „conjectura“, die es zu prüfen gilt. Sie bezieht sich auf seine Erklärung der ovalen Form des Spektrums unter Zugrundelegung des (vermuteten) Prinzips der verschiedenartigen Brechbarkeit der Strahlen bei gleichem Einfallswinkel (im gleichen Medium). Zunächst beschreibt er das längliche Bild als eine ebene geometrische Figur, die oben und unten von zwei parallelen Linien und an den Seiten jeweils von zwei Halbkreisen begrenzt wird. Dabei handelt es sich um eine bewußte Idealisierung; denn Newton war klar, daß die Ränder des Ovals in der Realität nicht durch exakte mathematische Linien begrenzt sind.⁷⁴ Im folgenden entwickelt Newton vier weitere Annahmen, die rein ideeller, theoretischer Natur sind und mit deren Hilfe sich die Form des Spektrums aufgrund der Annahme des Prinzips der Heterogenität des weißen Sonnenlichts erklären läßt. Dabei handelt es sich sowohl um bereits bewiesene geometrische Sätze als auch um Infinitesimal- und Kontinuitätsannahmen.⁷⁵ Man könnte sie durchaus mit den Lemmata und Porismata vergleichen, die dem Geometer bei der

jeder beliebigen Position des Prismas rund erscheinen müßte.

⁷³ Op. cit., 61.

⁷⁴ Op. cit., 65: „It seems especially noteworthy, however, that the circular ends of that image, [...], have always appeared extremely confused, with their light gradually decreasing until finally ending in darkness.“ Die Diskrepanz zwischen der idealisierten Form des Spektrums und der tatsächlich beobachteten Erscheinung war der Anlaß zu Newtons späterer Kontroverse mit Francis Hall (Linus).

⁷⁵ Cf. dazu op. cit., 62-65.

Analyse schwieriger Probleme Hilfestellungen geben sollten und die im „locus resolutus“ gesammelt wurden.

1. Strahlen vom weißen Licht der Sonne, die beim Durchgang durch das Prisma bei gleichem Einfallswinkel gleich gebrochen werden, ergäben ein annähernd rundes Bild, wenn man sie isoliert betrachtete. Diese (kontrafaktische) Annahme hatte Newton in einem vorangegangenen Lemma der geometrischen Optik mathematisch bewiesen.

2. Wenn man sich nun weitere Strahlen des Sonnenlichts vorstellte, deren Brechung untereinander zwar gleich ist, die sich aber in ihrem Brechungsindex von den zuvor betrachteten Strahlen unterscheiden, ergäben auch sie ein rundes Bild, das sich jedoch an einem anderen Ort innerhalb des Ovals befände als das erste Bild. Newton stellt damit eine Korrelation her zwischen der *Quantität der Brechung* der (homogenen) Strahlen und ihrer (relativen) *Position* innerhalb des länglichen Bildes. Da sich darauf eine Metrik gründen ließe, wenn die Vermutung richtig wäre, hätte Newton gezeigt, wie ein physikalisches Prinzip als Grundlage einer mathematischen Betrachtung der Optik dienen könnte.

3. In einem weiteren Schritt dehnt Newton seine Überlegungen auf unendlich viele (homogene) Strahlen aus. Man denke sich „unzählige“ („innumeros“) andere Strahlen, deren Quantität der Brechung kontinuierlich größer oder kleiner als die der vorherigen wäre. Sie beschrieben unzählige Kreise, die das Spektrum in seiner Länge ausfüllten. Bei diesem Schritt spielen Infinitesimalbetrachtungen und das Kontinuitätsprinzip eine entscheidende Rolle. Die ersten drei Schritte erklären somit die längliche Form des Spektumbildes und seine seitliche Begrenzung durch Halbkreise.

4. Da die kreisförmigen Bilder der einzelnen Strahlen alle (annähernd) die gleiche Größe besitzen, sind die Linien, die das Spektrum oben und unten begrenzen, annähernd Geraden und verlaufen parallel zueinander. Damit wäre auch die Begrenzung des Bildes durch parallele Linien oben und unten erklärt.

Auf diese theoretische Rekonstruktion des Phänomens auf der Grundlage ideeller Bedingungen und der unterstellten Eigenschaft der Heterogenität des weißen Lichts der Sonne folgen eine Reihe praktischer Hinweise, wie sich die Diskrepanz zwischen ideeller Rekonstruktion und den realen Versuchsbedingungen systematisch reduzieren läßt. Man kann sie auch als Hinweise darauf verstehen, welche Umstände bei einer möglichen Reproduktion des Experiments beachtet werden müssen. Die theoretisch abgeleiteten Beziehungen zwischen Gegebenem und Gesuchtem, das als gegeben angenommen wird, werden im folgenden einer weiteren experimentellen Prüfung unterzogen. Newton spricht wörtlich davon, daß aus der Gestalt des Bildes ein weiteres Experiment „deduziert“ werde („Ab imaginis figura aliud etiam experimentum deducitur“). Das geschieht dadurch, daß durch kontinuierliche Variation der Versuchsbedingungen das Verhältnis von Länge und Breite des Spektrums näher untersucht wird. Denn dieses Verhältnis war die entscheidende Beziehung, auf die sich seine theoretische Erklärung stützte. In seinem ersten Versuch hatte er festgestellt, daß das Verhältnis von der Breite zur Länge des Bildes ein Verhältnis

von 1 : 4 nicht unterschreitet. Verkleinert man die Durchgangsöffnung für das Sonnenlicht um ein Fünftel, dann wächst das Verhältnis von Breite zu Länge auf 1 : 13,5. Entsprechendes läßt sich beobachten, wenn man den Abstand zwischen Prisma und Schirm vergrößert oder eine konvexe Linse in den Versuchsaufbau einfügt. In den *Opticks* hat Newton später Experimente beschrieben, mit denen er sogar ein Verhältnis von 1 : 60 oder 1 : 70 erreichen konnte.⁷⁶ Er führt in diesem Zusammenhang eine interessante Grenzwertbetrachtung durch, aus der eine weitere experimentelle Variation „deduziert“ wird. Wenn man die Öffnung, durch die das Sonnenlicht einfällt, immer weiter verkleinerte, näherte sich das Bild des Spektrums im Grenzfall einem Strich, bei dem die Breite gegen Null konvergiert. Newton testet diese Prognose anhand des experimentell hergestellten Spektrums der Lichtstrahlen, die von dem Planeten Venus kommen. Wenn man das Licht der Venus durch ein Teleskop verstärkt und im Abstand von ca. sieben Fuß einen Schirm anbringt, erkennt man einen hellen Punkt, der das Bild der Lichtstrahlen Venus darstellt. Plaziert man ca. einen Fuß vor dem Schirm (oder einem Blatt Papier), der die Strahlen auffängt, ein Prisma, dann verschwindet der helle Punkt und man sieht statt dessen eine schmale Linie von ca. einem halben Inch Länge und einer kaum wahrnehmbaren Breite.⁷⁷

Faßt man man Newtons umfangreiche Beweisführung zusammen, dann wird deutlich, daß die Prüfung und die Bestätigung des neuen physikalischen Prinzips nicht auf einem einzigen Experiment beruht. Die Gewißheit desselben beruht letztlich auf der Existenz einer unteren Grenze für das mathematische Verhältnis von Breite und Länge des Spektrumbildes, die sich unter allen möglichen Variationen der Versuchsbedingungen als invariant erwiesen hat. Diese Invarianz des *mathematischen* Verhältnisses deutet für Newton darauf hin, daß es sich nicht um ein von zufälligen Umständen abhängiges Phänomen handeln kann. Das Vorliegen einer solchen invarianten mathematischen Gesetzmäßigkeit wertet er offenbar als Hinweis auf die Existenz einer realen physikalischen Eigenschaft. Denn Newton legt Wert auf die Feststellung, daß die Eigenschaft der unterschiedlichen Brechbarkeit der Strahlen aus einer „previous disposition of the rays“ („ex praevia radorum dispositione“) hervorgeht und auf bestimmten Gesetzmäßigkeiten („certis legibus“) beruht.⁷⁸

Aber damit gibt sich Newton noch nicht zufrieden. An seine experimentelle Ableitung schließt er zusätzlich eine ausführliche Widerlegung der Auffassung an, daß dem beobachteten Effekt der ovalen Form des Bildes zufällige Ursachen zugrunde lägen. Das entscheidende Argument gegen diese Auffassung zieht er aus einem Experiment, in welchem die Brechung der Strahlen an dem ersten Prisma durch Hinzusetzung eines zweiten Pris-

⁷⁶ I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 69.

⁷⁷ Newton, *Optical Papers I*, 70-73. Von diesem Experiment berichtet er auch in einem Brief an Oldenburg vom 13.04.1672. Cf. I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 137.

mas, dessen brechende Oberflächen exakt parallel zu denjenigen des ersten Prismas liegen, neutralisiert wird. Nachdem die Strahlen beide Prismen passiert haben, erzeugen sie kein längliches Bild mehr, sondern ein rundes Bild. Das ist in seinen Augen ein untrüglicher Beweis dafür, daß die Brechung an beiden Prismen auf gesetzmäßige Weise geschieht. Wenn die Brechung an beiden Prismen zusammengenommen gesetzmäßig verläuft, dann muß sie auch an jedem Prisma für sich genommen auf gesetzmäßige Weise geschehen. Denn obwohl unterschiedliche Strahlen (bei gleichem Einfallswinkel) auf unterschiedliche Weise gebrochen werden, bleibt die Quantität der Brechung für jeden Strahl für sich genommen an beiden Prismen in der Summe genau gleich. Das bedeutet, daß der Winkel, um den ein einzelner Strahl nach dem Durchgang durch das erste Prisma nach einer bestimmten Seite abgelenkt wurde, genau dem Winkel gleicht, um den derselbe Strahl beim Durchgang durch das zweite Prisma zur entgegengesetzten Seite hin abgelenkt wird. Er verläuft also nach dem Durchgang durch beide Prismen exakt parallel zu seiner ursprünglichen Richtung, die er vor dem Durchgang durch beide Prismen innehatte. Er wird sich also so verhalten, als ob er gar keine Brechung erfahren hätte. Da dies gleichermaßen für alle Strahlen gilt, wird das Spektrum so erscheinen, wie es ohne jegliche Brechung erschienen wäre, nämlich rund. Wenn man umgekehrt annimmt, die Brechung der Strahlen an dem ersten Prisma erfolgte aufgrund zufälliger Umstände und beinhaltete eine Irregularität, dann müßte man erwarten, daß diese Irregularität beim Durchgang durch das zweite Prisma noch verstärkt würde und „the image [...] would become much more oblong; yet by the evidence of experience it is contracted into a circle.“⁷⁹

Dieses Argument der parallelen Prismen spielt auch eine entscheidende Rolle in der *New Theory about Light and Colours*. Dort prüft Newton systematisch eine Reihe möglicher zufälliger Ursachen, die die längliche Form des Spektrum erzeugt haben könnten. Dazu gehören: (1) die Dicke des Glases, (2) die Begrenzung der Figur des Spektrums durch Schatten, (3) mögliche Unebenheiten des Glases, (4) unterschiedliche Einfallswinkel der Strahlen, die von entgegengesetzten Seiten der Sonnenscheibe herkommen, (5) die Annahme, die Strahlen pflanzten sich, nachdem sie das Prisma passiert haben, nicht mehr geradlinig, sondern leicht gekrümmt fort. Seine Widerlegungsstrategie besteht in allen diesen Fällen darin, daß er jeweils einen entsprechenden Versuchsaufbau konzipiert, der es ihm ermöglicht, diese Faktoren zu variieren und feststellen, ob sich *in Abhängigkeit davon* auch die ovale Form des Spektrums verändert. Da sich am Ende die ovale Form als *invariant* gegenüber diesen Variationen erweist, scheiden sie als mögliche Ursachen der Form aus.⁸⁰

Auch dieser Teil der Untersuchung gehört offensichtlich noch dem methodischen

⁷⁸ Newton, *Optical Papers I*, 74f.

⁷⁹ Op. cit., 75.

⁸⁰ Cf. I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 92-94.

Schritt der Analyse an.⁸¹ Erst nach all den geschilderten Überlegungen und Experimenten kommt Newton zu dem Schluß, „that I have more than sufficiently established what I initially proposed to demonstrate.“⁸² Und er weist darauf hin, daß die Harmonie und das Zusammenstimmen vieler Dinge die Akzeptanz des von ihm zunächst nur als Vermutung angenommenen Prinzips noch verstärke. Er führt aus diesem Grund zusätzlich noch weitere Experimente an, die die Richtigkeit seines Prinzips bestätigen. Eine solche experimentelle Redundanz ist typisch für Newtons Vorlesungen zur Optik.

c. Das Verhältnis von induktiven und deduktiven Momenten innerhalb der Analyse

Was läßt sich daraus für die Anwendung der analytischen Methode in den Naturwissenschaften folgern? Zunächst ist bemerkenswert, daß in ihr sowohl deduktive als auch induktive Momente auftreten, die eng miteinander verwoben sind, wobei Deduktion und Induktion bei Newton nicht die Bedeutung haben, die ihnen in der modernen Logik zugeschrieben wird. So findet man bei ihm weder formale Syllogismen noch Schlüsse von einer begrenzten Zahl von Beobachtungsdaten, die alle eine gemeinsame Eigenschaft aufweisen, auf allgemeine Sätze oder Gesetze. Man findet bei ihm kein Argument der Gestalt: „weil alle P's, die bisher beobachtet wurden, die Eigenschaft x haben, ist davon auszugehen, daß x eine Eigenschaft *aller* P's ist“. Statt dessen variiert er systematisch und kontinuierlich die Versuchsbedingungen, um funktionale Abhängigkeiten der Phänomene von den für ihre Erzeugung relevanten Faktoren festzustellen. Dabei greift er auf Hilfsannahmen zurück, wie z.B. das Kontinuitätsgesetz, Grenzwertbetrachtungen, Symmetriannahmen oder Sätze der geometrischen Optik, denen in diesem Zusammenhang gewissermaßen die Funktion zukommt, die die Lemmata und Porismata innerhalb der analytischen Methode der antiken Geometer besaßen. Das Ziel der Analyse in der Naturwissenschaft besteht in der Entdeckung und Bestätigung konstanter quantitativer Verhältnisse, die auf eine invariante physikalische Eigenschaft hinweisen. Die induktive Verallgemeinerung, die zur Methode der Analyse gehört, hat den Charakter der Erforschung konstanter funktionaler Abhängigkeiten zwischen Faktoren durch kontinuierliche Variation. Dies kann offenbar nicht mit einem einzigen Experiment geschehen. Vielmehr kann man bei Newton eine Wiederholung von Experimenten feststellen, um verschiedene experimentelle Bedingungen für sich genommen zu untersuchen. Dazu gehören insbesondere die Ausschaltung von Störfaktoren oder die Verstärkung von beobachteten Effekten. Diese Vorgehensweise stiftet zwischen den Experimenten einen systematischen Zusammenhang, der Newtons Art und Weise des Experimentierens deutlich von der seiner Zeitge-

⁸¹ Die Ähnlichkeiten des zuletzt geschilderten Ausschlußverfahrens zur Methode der „eliminativen Induktion“ Bacons sind unverkennbar. Cf. dazu A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, London 1967, 249, Anm. 44.

⁸² Newton, *Optical Papers I*, 75.

nossen, wie z.B. Robert Hooke oder Robert Boyle, unterscheidet.⁸³ Wenn Newton ein Experiment beschreibt, dann handelt es sich stets um eine Vielzahl systematisch zusammenhängender Experimente, denen ein *Stammexperiment* zugrunde liegt.

Alle hier aufgezählten Gesichtspunkte muß man berücksichtigen, wenn man verstehen will, was Newton meint, wenn er davon spricht, seine Prinzipien aus den Experimenten zu „deduzieren“. „Deduktion“ darf nicht mit einer syllogistischen Ableitung gleichgesetzt werden, sondern impliziert sowohl eine induktive Verallgemeinerung mittels Variation als auch eine kritische Prüfung der auf diese Weise ermittelten Gesetzmäßigkeiten durch *experimentelle Tests*. Das bedeutet, daß die Analyse keine Einbahnstraße im Sinne der Richtung von den Phänomenen zu den Prinzipien darstellt, sondern daß sie auch die Gegenrichtung von den Prinzipien zu den Phänomenen einschließt. Das ergibt sich daraus, daß Newton aus bestimmten Phänomenen *und* (zunächst versuchsweise angenommenen) gewissen Prinzipien Folgerungen ableitet. Wenn diese auf etwas Bekanntes führen, d.h. entweder auf ein anerkanntes Prinzip oder Phänomen, dann ist gesichert, daß die angenommenen Prinzipien mit den Erscheinungen zumindest nicht im Widerspruch stehen. Aber die auf diese Weise entdeckten Prinzipien oder Eigenschaften geben ihrerseits den Anlaß zu weiteren Experimenten, die aus ihnen, wie Newton sich ausdrückte, „deduziert“ werden können. Solche Experimente dienen der wiederholten kritischen Überprüfung der entdeckten Eigenschaften. Newtons Methode der Analyse beinhaltet also sowohl einen Abstieg von der Ebene der Prinzipien zu den Phänomenen als auch einen Aufstieg von der Ebene der Phänomene zu den Prinzipien. Diese Deutung wird durch ein Zitat Newtons bestätigt, das vermutlich um 1700 als Entwurf zu einem geplanten Vorwort der *Opticks* entstanden ist: „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.“⁸⁴

⁸³ Cf. M. Mamiani, *Isaac Newton filosofo della natura. Le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo newtoniano*, Firenze 1976, 113-133; H. Guerlac, „Newton and the Method of Analysis“, in: H. Guerlac, *Essays and Papers in the History of Modern Science*, Baltimore/London 1977, 207-209.

⁸⁴ U.L.C. Ms. Add. 3970.5; zitiert nach H. Guerlac, „Newton and the Method of Analysis“, in: H. Guerlac, *Essays and Papers in the History of Modern Science*, Baltimore/London 1977, 205f. Cf. dazu auch U.L.C. Add. 3970.3. Folio 480v in: 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*

Newtons Vorlesungen zur Optik zeigen darüber hinaus, mit welcher Sorgfalt und Vorsicht er dabei zu Werke geht. Er vermeidet voreilige Verallgemeinerungen, die weder durch die entdeckten Prinzipien noch durch die experimentellen Ergebnisse gerechtfertigt werden könnten. Ein Beispiel dafür wäre die Frage, ob die Lichtstrahlen eine Kontinuumstheorie oder eine Emissionstheorie des Lichts nahelegen. Weder in den Vorlesungen noch in der *New Theory* findet man Hinweise darauf, daß sich Newton in dieser Frage festgelegt hätte. Sein weiteres Vorgehen bestand nicht darin, von der entdeckten Eigenschaft der unterschiedlichen Brechbarkeit der Strahlen des weißen Sonnenlichts unmittelbar zu allgemeinsten mechanistischen Hypothesen fortzuschreiten, die Annahmen über das Wesen von Naturerscheinungen überhaupt zugrunde legen.⁸⁵ Statt dessen geht er zur Prüfung der Korrelation zwischen der Eigenschaft der Brechbarkeit und der Disposition der Strahlen, eine bestimmte Farbe zu manifestieren, über. Diese Korrelation ist für sein Programm einer mathematischen Behandlung der Farbenlehre von eminenter Bedeutung, da sich die unterschiedliche Brechbarkeit der Strahlen anhand ihrer Position innerhalb des länglichen Spektrums quantifizieren läßt. Vermöge der Zuordnung der Farbskala zu der Skala der Brechungsindices wird die Grundlage für die Einführung einer Metrik in die Theorie der Farben geschaffen. Dabei ist zu beachten, daß die Möglichkeit dieser Zuordnung auf der physikalischen Eigenschaft des weißen Lichts beruht, aus heterogenen, unterschiedlich brechbaren Strahlen zusammengesetzt zu sein.

Den Ursprung und die allgemeinen Fundamente der Farben („*Colorum origines et fundamenta generalia*“) faßt er zu Beginn der Untersuchung in vier Propositionen zusammen.⁸⁶

(1) Strahlen, die bei gleichem Einfallswinkel am stärksten gebrochen werden, bringen violette Farben hervor und diejenigen, die am wenigsten gebrochen werden, bringen rote Farben hervor. Alle übrigen Strahlen, deren Brechungsgrad dazwischen liegt, bringen Blau, Grün und Gelb hervor.

(2) Umkehrung von (1): die Strahlen, die violette Farben hervorbringen, werden bei gleichem Einfallswinkel am stärksten gebrochen, und diejenigen, die rote Farben hervor-

Science 5 (1970), 185.

⁸⁵ In der Diskussion der *New Theory* mit Pardies und Hooke hat Newton immer größten Wert darauf gelegt, daß er eine abstrakte Theorie des Lichts entwickelt habe, die von allen Annahmen bezüglich des Wesens oder der eigentlichen Natur des Lichts absehe. Auf Nachfrage von Pardies gibt Newton in seinem Brief an Oldenburg vom 10. 06. 1672 folgende Definition des Lichtstrahls: „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.“ Cf. I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 169. Man erkennt hier, daß Newton eine operationale Definition des Lichtstrahls gewählt hat, die sich an seinen experimentellen Techniken des gleichzeitigen Abdeckens und Durchlassens oder Brechens und Reflektierens von Teilen des weißen Lichts orientiert. Dies liefert ihm zumindest eine experimentelle Bestätigung dafür, daß das Licht aus Teilen zusammengesetzt ist. Ob diese Teile allerdings „collateral“ im Sinne einer Kontinuumstheorie oder „successive“ im Sinne einer Emissionstheorie aufgefaßt werden müssen, bleibt dabei offen.

⁸⁶ Cf. Newton, *Optical Papers I*, 86f.

bringen, werden am wenigsten gebrochen. Diejenigen, die blaue, grüne und gelbe Farben hervorbringen, liegen mit ihrem Brechungsindex dazwischen und füllen die Skala von einem Ende zum anderen kontinuierlich aus.

Newton verknüpft in den ersten zwei Propositionen zwei kontinuierliche Reihen vermöge einer Zuordnung: er ordnet der Quantität der Brechung (der bei gleichem Einfallswinkel einfallenden Strahlen), die als kontinuierlich sich über ein gewisses Intervall erstreckende (positive, reelle) Zahlenreihe gedacht wird, die kontinuierliche Reihe der Farben von Rot, Gelb, Grün, Blau und Violett zusammen mit allen sukzessiven Abstufungen und Zwischenfarben zu.

(3) Aus verschiedenen Mischungen dieser (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 Strahlenarten zu reflektieren und alle anderen zu absorbieren. Ein weißer Körper reflektiert fast alle Strahlenarten, während ein schwarzer Körper fast alle Strahlenarten absorbiert.

Newton steigt damit im Rahmen der Analyse zu weiteren Prinzipien auf, aus denen er im folgenden wiederum Konsequenzen ableitet, die experimentell überprüft werden. Dabei wendet er im wesentlichen dieselben Techniken an, die man bereits im Vorangegangenen beobachten konnte. Eine wichtige Rolle zum Beweis der zweiten Proposition spielt eine Variation des ersten Prismaexperiments, bei der ein zweites Prisma senkrecht zum ersten Prisma plaziert wird. Der Beweis des dritten Grundsatzes wird in zwei Teile aufgespalten. Zunächst zeigt er, daß weißes Licht aus allen Arten von Farben zusammengesetzt werden *kann*, um anschließend zu zeigen, daß das Sonnenlicht deshalb weiß ist, weil in ihm *de facto* eine Mischung aller Arten von Farben latent enthalten ist. Der Beweis des vierten Grundsatzes erfolgt erst in der zweiten Vorlesungsreihe. Auf Einzelheiten dieser Beweise kann hier nicht näher eingegangen werden. Dennoch kann man sich fragen, welcher Status diesen Propositionen zukommt, die die Fundamente von Newtons Farbenlehre bilden. Dazu ist anzumerken, daß er bereits im Laufe der 70er Jahre des 17. Jahrhunderts diese Fundamente zu verschiedenen Anlässen mehrfach umgearbeitet und modifiziert hat. Es handelt sich dabei offenbar nicht um unveränderliche Axiome in Analogie zur Mathematik, sondern um physikalische Prinzipien, die im Lichte neuer Erfahrungsbefunde modifiziert werden können. Gleichwohl sind sie aus den Phänomenen „deduziert“ und bilden die unverzichtbaren *Ausgangspunkte* für weitere Forschungen, die allgemeinere, übergeordnete Prinzipien ans Licht bringen können. Newton hat zwar bewiesen, daß den Strahlenarten jeweils eine „inhärente Disposition oder Form“ zukommt, vermittels derer sie eine bestimmte Farbe manifestieren⁸⁷, aber die Ursache dieser Disposition ist noch

⁸⁷ In op. cit., 142, spricht er wörtlich von „inherentes dispositiones vel formae radiorum, quibus apti sunt ad exhibendum colorem aliquem“.

unbekannt. Dessen ungeachtet bilden die bereits bekannten und bewiesenen Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien die Grundlage für weitere Untersuchungen.

d. Die naturwissenschaftliche Synthese

In welchem Verhältnis steht die Analyse zur Synthese oder „compositio“? Die Synthese erfolgt, nachdem die Analyse zu einem (vorläufigen) Abschluß gelangt ist. Das beinhaltet, daß die gesuchten Eigenschaften durch Experimente und Schlußfolgerungen hinreichend bewiesen sind. In dem bereits zitierten Fragment zu einem geplanten Vorwort der *Opticks* heißt es: „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.“ Die ermittelten Eigenschaften werden bei der Synthese als *Prinzipien* zugrunde gelegt, mit deren Hilfe dann die Phänomene erklärt werden können. Newton spricht hier aber nicht von den Phänomenen schlechthin, sondern nur von denen, die aus den als Ursachen zugrunde gelegten Prinzipien folgen. Das legt die Vermutung nahe, daß sich diese Prinzipien zunächst auf einen begrenzten Bereich von Phänomenen beschränken. Diese Vermutung wird durch eine ähnliche Äußerung in der Query 31 der *Opticks* bestätigt. Dort erklärt Newton: „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.“⁸⁸ Hier kommt noch ein weiterer Aspekt hinzu. Die Synthese soll nicht nur die Erklärungen für Phänomene liefern, sondern zugleich diese Erklärungen überprüfen. Nun scheint auf den ersten Blick ein Zirkel vorzuliegen, wenn Newton die Phänomene vermittle der Prinzipien erklären möchte, die er aus ihnen 'deduziert' hat, oder die Prinzipien anhand der Phänomene überprüfen möchte, aus denen er sie abgeleitet hat.

Die Schnittstelle des Übergangs von der Analyse zur Synthese läßt sich in den Vorlesungen zur Optik klar bestimmen. Zu Beginn der siebten Lektion stellt Newton fest, daß er in den vorangegangenen Lektionen die Fundamente seiner Farbenlehre errichtet hat, vermöge derer die gewöhnlichen Farberscheinungen am Prisma erklärt werden könnten: „Thus far we have erected the foundation whereby the common appearances of colors produced by prisms can be most certainly [„certissime“] explained.“⁸⁹ Die Frage, ob eine erneute Behandlung der Phänomene der Prismenfarben an dieser Stelle nicht überflüssig sei, da er dieselben bereits zuvor ausführlich untersucht habe, beantwortet er mit dem Hinweis, daß dieser Schritt aufgrund der von ihm befolgten Methode geboten sei: „that consequently we may retain the proposed method, namely, to determine them scientifically from principles previously demonstrated.“⁹⁰ Diese Methode beinhaltet offenbar zwei

⁸⁸ I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 404f.

⁸⁹ Newton, *Optical Papers I*, 145.

⁹⁰ Op. cit. Die entsprechende Schnittstelle der zweiten Vorlesungsreihe findet sich im Teil II, Vorlesung

Schritte: 1. die Prinzipien (Ursachen) aus den Phänomenen abzuleiten und 2. die Phänomene vermittels dieser Prinzipien zu erklären. Es ist unschwer zu erkennen, daß es sich bei diesen Schritten um die Analyse und Synthese handelt. Damit ist der Beweis erbracht, daß Newton bereits 1669/70, als er begann, seine Vorlesungen zur Optik zu konzipieren, über ein reflektiertes Methodenbewußtsein verfügte und daß sich dieses nicht erst als Ergebnis seiner Auseinandersetzungen über die *New Theory* in den Jahren 1672/73 herausgebildet hat.

Was bringt die Synthese Neues gegenüber der Analyse? Handelt es sich dabei lediglich um eine lineare Umkehrung der Argumentationsrichtung? Hier ist daran zu erinnern, daß die physikalischen Prinzipien, die als das Resultat aus der Analyse hervorgingen, im Rahmen von Newtons Idee der Mathematisierung der Natur die Funktion besaßen, als Grundlage für eine mathematische Behandlung physikalischer Gegenstände zu dienen. Das hieß insbesondere, daß für diese Prinzipien nur solche Eigenschaften von Naturgegenständen infrage kamen, auf die sich eine Metrik gründen ließ. Erst nachdem dieser Schritt erfolgt war, bestand die Möglichkeit, den mathematischen Sätzen und Proportionen, eine physikalische Bedeutung beizulegen. Erst dann besteht die Möglichkeit, den mathematischen Apparat zur Erklärung physikalischer Sachverhalte heranzuziehen. Genau dies hat Newton im Rahmen der Synthese getan. Die sich an die Analyse anschließende Erklärung der länglichen Form des Farbspektrums zeichnet sich dadurch aus, daß ausdrücklich auf die Diskrepanz zwischen ideeller mathematischer Form und realer Gestalt des Spektumbildes hingewiesen wird und die *Ursachen* der Abweichung von dieser ideellen Form bestimmt werden. Das deutet auf einen weiteren interessanten Aspekt von Newtons Mathematisierungsgedanken hin. Mathematisierung bedeutet bei Newton gerade *nicht*, daß die physikalischen Prinzipien die mathematischen Gesetze und Bestimmungen *exakt abbilden*, sondern vielmehr, daß mit ihrer Hilfe *die Abweichungen* von solchen Gesetzen erklärt werden können. Die Gesetze gelten dann, wenn man in der Lage ist, die Ursachen dafür anzugeben, weshalb die realen Naturerscheinungen nicht genau diesen Gesetzen folgen. Diese Erklärungsfunktion der Synthese ist das Neue gegenüber der Analyse. In diesem Punkt unterscheidet sich die Synthese der Naturwissenschaften von der Synthese der antiken Geometrie, sofern für letztere ein solches Problem gar nicht bestand, da sie es *ausschließlich* mit idealen mathematischen Gegenständen zu tun hatte.⁹¹

Wie läßt sich im Rahmen der Synthese die Erklärungskraft der vermittels der Analyse gefundenen Eigenschaften oder Prinzipien überprüfen? Dies geschieht offenbar dadurch, daß sie auf neue Phänomene angewandt werden bzw. auf solche, die bei ihrer Ableitung

10. Cf. op. cit., 523.

⁹¹ In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß die gravierendste Änderung, die Newton in der zweiten Vorlesungsreihe durchgeführt hat, darin besteht, daß er den mathematischen Teil seiner Vorlesungen, der ausschließlich Theoreme der geometrischen Optik enthält, unmittelbar *im Anschluß* an die Etablierung des Prinzips der Heterogenität des weißen Lichts, welches die Grundlage der mathematischen Behandlung der Farbenlehre darstellte, und *vor* die Behandlung des physikalischen Teils der Farbenlehre positioniert hat. In der ersten Reihe stand der mathematische Teil noch am Ende der Vorlesungen.

noch keine Rolle gespielt haben. Ein Beispiel dafür wären die Erscheinungen, die sich am sogenannten „lignum nephriticum“ beobachten lassen. Sie sind zuerst von Robert Boyle in seinen *Experiments and Considerations touching Colours* (London 1664) beschrieben worden und haben nachweislich Newtons Interesse bereits während seiner Studienzeit in Cambridge auf sich gezogen.⁹² Sie finden sich aber auch in der zweiten Vorlesungsreihe zur Optik und in der *New Theory*.⁹³ In seinen Vorlesungen bemerkt er dazu: „Before I set an end to this proposition about colors and 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.“⁹⁴ Diese Bemerkung deutet darauf hin, daß Newton die Möglichkeit, solche ungewöhnlichen Phänomene vermittels der von ihm entdeckten Prinzipien erklären zu können, durchaus als Test für diese Prinzipien selbst angesehen hat. Lignum nephriticum ist das Holz eines kleinen Baumes oder Strauches, der in Mexiko gefunden und erfolgreich bei der Behandlung von Nierenleiden eingesetzt wurde. Wenn man feine Scheiben dieses Holzes über Nacht in einem Wasserbehälter stehen läßt und die Lösung anschließend in einen durchsichtigen Behälter füllt, dann erscheint die Lösung gelblich oder rötlich, wenn man sie gegen die Richtung des einfallenden Sonnenlichts betrachtet, aber blau, wenn man sie in der Richtung des einfallenden Sonnenlichts betrachtet. Diese Phänomene konnte Newton auf der Grundlage der vierten Proposition bezüglich der Entstehung der Oberflächenfarben von Körpern erklären.

Das lignum nephriticum macht aber nur einen Teil der Phänomene aus, die Newton im Rahmen der Synthese auf der Grundlage seiner Prinzipien zu erklären bestrebt ist. Es gehört zur Gruppe der Phänomene, die uns auch im Alltag ständig begegnen, nämlich die Oberflächenfarben der Körper. Ihre Erklärung hat Newton in seinen Vorlesungen zur Optik jedoch noch ausgespart und auch in der *New Theory about Light and Colours* wird sie in der Proposition 13 nur kurz angesprochen.⁹⁵ Sie findet sich erst am Ende des ersten Buches der *Opticks*.⁹⁶ Das hängt wohl damit zusammen, daß Newton diese Erklärung auf eine Analogie zu den Phänomenen der Farben dünner Plättchen stützt.⁹⁷ Diese Phänomene der ‘Newtonschen Ringe’ waren ihm zwar bereits Mitte der 60er Jahre bekannt⁹⁸, aber

⁹² Cf. J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 460f.

⁹³ Cf. Newton, *Optical Papers I*, 510-515; I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 99. Man findet dieses Phänomen übrigens auch am Ende des zweiten Teils des ersten Buches der *Opticks* wieder, also genau in dem Teil, der von Newton ausdrücklich als Anwendungsbeispiel der synthetischen Methode beschrieben wurde.

⁹⁴ Newton, *Optical Papers I*, 511.

⁹⁵ I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 99f.

⁹⁶ 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. X. Prob.V., 179-185.

⁹⁷ Op. cit., Buch II, Teil III, 245-288.

⁹⁸ Cf. R. S. Westfall, „Isaac Newton's 'Coloured Circles 'twixt two Contiguous Glasses'“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 2 (1965), 181-196. Cf. auch Newton, *Optical Papers I*, 603: „Besides the

er tat sich schwer, seine aus den Erscheinungen der Prismenfarben abgeleiteten Prinzipien auf diese (neue) Art von Phänomenen anzuwenden. Der Grund lag wohl darin, daß es sich dabei offensichtlich um ein periodisches Phänomen handelte, das sich in dieser Hinsicht von anderen Farberscheinungen unterschied. Newton benötigte dafür ein erweitertes begriffliches Instrumentarium, das er sich in den *Opticks* mit seinen Definitionen der „Fits of easy Reflexion and Transmission“ schuf. Ein weiteres Phänomen, für das Newton im Rahmen seiner Synthese eine Erklärung geliefert hat, waren die Farben des Regenbogens. Die Farberscheinungen des Regenbogens haben in allen seinen Schriften eine Rolle gespielt. Man findet sie in einem frühen Fragment mit dem Titel „Of Colours“ aus den Jahren 1665/66⁹⁹, in der zweiten Vorlesungsreihe seiner Vorlesungen zur Optik (1671/72)¹⁰⁰, in der *New Theory about Light and Colours* (1672)¹⁰¹ und in den späteren *Opticks*.¹⁰²

Eine solche sukzessive Ausweitung des Erklärungshorizonts der Prinzipien erklärt auch ihre Vorläufigkeit. Die Prinzipien sind für Newton aber nicht in dem Sinne vorläufig, daß es sich um Hypothesen handelte, die durch die Entdeckung neuer Phänomene schlicht widerlegt werden könnten. Denn sie sind im Bereich der Phänomene, aus denen sie deduziert wurden, hinreichend abgesichert. Aber sie können durchaus durch neue Entdeckungen in ihrer Gültigkeit eingeschränkt werden. Dann muß erneut die Analyse einsetzen, um allgemeinere Prinzipien zu entdecken. Sie beginnt aber nicht in einem begrifflichen Vakuum, sondern setzt auf der Grundlage der alten Prinzipien ein, so daß die neuen Prinzipien die alten gewissermaßen in sich aufheben. Es gab neben den Newtonschen Ringen eine Reihe weiterer Phänomene, die Newton noch nicht auf der Basis seiner damaligen Prinzipien erklären konnte, wie z.B. das Phänomen der Doppelbrechung am Island-Spat, welches Huygens in den Mittelpunkt seiner Überlegungen zur Optik gestellt hatte, oder die Phänomene der Beugung. Der unterschiedliche Charakter der *Opticks* und der *Principia* hat wohl damit zu tun, daß es Newton in der Optik nicht gelungen war, eine solche umfassende Vereinheitlichung hinsichtlich der Erklärung der Phänomene zu erreichen wie in der Mechanik. Im wesentlichen waren es die Phänomene der Brechung und Reflexion, die er unter gemeinsamen Prinzipien vereinigen konnte. Newton selbst hat wohl ziemlich klar gesehen, daß sein Projekt einer mathematischen Farbenlehre unvollendet geblieben ist. Aber er hatte auch ein klares Bewußtsein davon, daß Wissenschaft nicht das zeitlich beschränkte und isolierte Werk eines Einzelnen darstellt, sondern als sozialer

phenomena of colors that we have treated, there are still not a few others (especially the colors of very thin transparent plates, [...]) whose causes and measures can scarcely be accurately determined without mathematical reasoning.“

⁹⁹ J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 480f.

¹⁰⁰ Newton, *Optical Papers I*, 582f; 592-603.

¹⁰¹ I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 99.

¹⁰² 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. IX. Prob. IV, 168-178.

und historischer Prozeß begriffen werden muß: „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.“¹⁰³

¹⁰³ U.L.C. Ms. Add. 3970.5; zitiert nach H. Guerlac, „Newton and the Method of Analysis“, in: H. Guerlac, *Essays and Papers in the History of Modern Science*, Baltimore/London 1977, 206.

Bacon, Newton und die Methode der Induktion

1. <i>Newton als Anwender von Bacons induktiver Methode?</i>	1
2. <i>Bacons Begriff der Induktion</i>	9
a. Eine neue Form der Logik.....	9
b. Interpretation statt Antizipation der Natur	13
c. Die Stufenleiter der Axiome	22
d. Die praerogativen Instanzen.....	28
e. Resümee.....	31
3. <i>Newtons induktive Methode</i>	35
a. Methoden der Naturforschung im 16. Jht. und die „Experimental Philosophy“.....	35
b. Newtons Beschreibungen der Induktion	40
c. Die Phänomene als Ausgangspunkt der Induktion	46
d. Allgemeine Prinzipien als Ziel der Induktion	55
e. Der Weg der Induktion	66
i) Zur Vorgeschichte	66
ii) Newtons Vorlesungen zur Optik.....	70
f. Wissenschaftstheoretische Folgerungen	83

„Without an empirical study of how scientists’ minds have in fact worked and how discoveries have in fact been made and theories come into being, philosophical evaluations of science must remain at best purely formal and at worst mistaken.“

A. C. Crombie

„Comprehension and criticism, or understanding what the writer means and asking whether it is true, are distinct attitudes, but not separable [...]. The question whether a man’s views are true or false does not arise until we have found out what they are.“

R. G. Collingwood

1. Newton als Anwender von Bacons induktiver Methode?

Wenn man das Verhältnis von Francis Bacon (1561-1579) zu Isaac Newton (1642-1727) charakterisieren müßte, dann könnte man leicht auf die folgende Beschreibung verfallen: Bacon hat die induktive Methode in die Naturwissenschaften eingeführt, ohne jedoch selbst inhaltlich bedeutsame Entdeckungen gemacht zu haben. Newton hat diese Methode übernommen und hat mit ihrer Hilfe die Grundlagen der Mechanik und Optik revolutioniert. Die Annahme, daß Newton den methodischen Maximen Bacons gefolgt sei, haben insbesondere die Popularisierer und Editoren seiner Werke, wie z.B. Maclaurin, Cotes und Pemberton vertreten.¹ Ein Beleg für diese Auffassung findet man offenbar in den „Regulae Philosophandi“, die Newton der zweiten und dritten Edition der *Principia* hinzugefügt hat. Dort heißt es in der vierten Regel: „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.“² Newtons Bekenntnis zur induktiven Vorgehensweise scheint auch sein berühmter Ausspruch „Hypothesen non fingo“ zu bestätigen, aufgrund dessen man sogar geneigt war, ihm eine positivistische Haltung in der Wissenschaft zu unterstellen.³ Andererseits stellt man fest, daß seine Werke keineswegs frei von Hypothesen und metaphysischen Annahmen sind. Spekulationen über die atomistische Struktur der Materie, theologische Reflexionen über den göttlichen Ursprung und die planmäßige Verfassung des Universums sowie das Vorkommen einer Reihe von apriorischen Grundsätzen und Hypothesen in der ersten Auflage der *Principia* ließen Zweifel an Newtons induktivistischer und positivistischer Grundhaltung aufkommen. Mußte Newton tatsächlich eher als „der letzte der Magier“ als der „erste des Aufklärungszeitalters“ betrachtet werden?⁴

Nun könnte man die Beantwortung dieser Frage getrost der weiteren historischen Forschung überlassen, wenn dahinter nicht ein grundsätzliches wissenschaftstheoretisches Problem verborgen wäre. Der Aufschwung, den die Wissenschaften im 17. Jahrhundert zu verzeichnen hatten, wird vor allem der Abkehr von den apriorischen Spekulationen und fruchtlosen Disputationen des Altertums und des Mittelalters und der Hinwendung

¹ Cf. A. Pérez-Ramos, *Francis Bacon's Idea of Science and the Maker's Knowledge Tradition*, Oxford 1988, 16f.

² I. Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, übersetzt und hgg. v. V. Schüller, Berlin/New York 1999, 381.

³ Diese Einschätzung stammt von Auguste Comte und ist u. a. von J. S. Mill und Ernst Mach bekräftigt worden. Cf. A. C. Crombie, „Newton's Conception of Scientific Methode“, in: *Bulletin of the Institute of Physics [London]* 8 (1957), 350-362, hier 350f. Cf. auch E. A. Burt, *The Metaphysical Foundations of Modern Science*, London 2001 [London 1924], 223.

⁴ Diese Einschätzung stammt von dem bekannten Wirtschaftswissenschaftler John Maynard Keynes. Cf. F. Wagner, *Isaac Newton im Zwielficht zwischen Mythos und Forschung*. Studien zur Epoche der Aufklärung, Freiburg/München 1976, 32. Cf. auch E. A. Burt, *The Metaphysical Foundations of Modern*

zur empirisch orientierten induktiven Methode zugeschrieben. Diese Methode gilt bis heute als wesentlich für alle Wissenschaften, deren Gegenstand empirischer Natur ist, und zwar sowohl im deskriptiven als auch im normativen Sinne. Zugleich mußte sie seit ihrer 'Erfindung' durch Francis Bacon gegen skeptische Einwände verteidigt werden. Beispiele dafür sind die Einlassungen David Humes (obwohl bei Hume von „Induktion“ eher selten die Rede ist) oder die Auseinandersetzung zwischen Popper und dem Logischen Empirismus. Der Begriff und die Eigenschaften der Induktionsmethode wurden Mitte des 19. Jahrhunderts von J. S. Mill in seinem Werk *A System of Logic, Ratiocinative and Inductive* (London 1843) näher beschrieben und untersucht, ein Werk, das zu einem der bedeutendsten Standardlehrbücher der wissenschaftlichen Methode avancierte. Darin kommt die Überzeugung zum Ausdruck, daß es sich bei der Induktion um eine der *Logik* zugehörige Form eines *Schlusses* handelt, die der deduktiven Schlußweise entgegengesetzt ist. Die deduktiven Schlüsse der aristotelischen Syllogistik leiten das Besondere vom Allgemeinen ab und stützen sich dabei ausschließlich auf die Inhalte der Begriffe, die in den Prämissen verknüpft werden. Aufgrund dieser rein begrifflichen Ableitungsform kommt deduktiven Schlüssen Notwendigkeit zu. Gerade an dieser Notwendigkeit mangelte es den induktiven Schlüssen. Da sie in der umgekehrten Richtung, nämlich vom Besonderen (oder Einzelnen) aufs Allgemeine schließen, das Besondere sich aber selten vollständig erfassen läßt, ist ihre Geltung stets problematisch, weil die allgemeine Konklusion für die Widerlegung durch Gegenbeispiele anfällig ist.

An dieser Interpretation der Induktion als eines der Logik zugehörigen besonderen Form des Schlusses hat man bis heute festgehalten. Im wesentlichen werden drei Arten der Induktion unterschieden, wobei sich eine davon wieder in vier Unterarten unterteilen läßt. Die ersten beiden Arten sind die vollständige Induktion innerhalb der Mathematik und die vollständige Induktion im allgemeinen. Diese Arten sind insofern unproblematisch, als ihren Schlüssen die gleiche Notwendigkeit wie deduktiven Schlüssen zukommt, wenn auch aus jeweils unterschiedlichen Gründen. In der Mathematik hat man es nämlich mit Objekten zu tun, deren Bildungsgesetze der Verstand vorgibt, so daß ein Schluß vom Besonderen aufs Allgemeine ausschließlich durch diese Gesetze und Axiome bedingt ist und daher Notwendigkeit besitzt. Die vollständige Induktion im weiteren Sinne bezieht sich stets auf *endlich* viele Einzelinstanzen, so daß jeder Schluß, der von einer Teilmenge auf die Gesamtmenge führt, durch sukzessive Prüfung jeder einzelnen Instanz gerechtfertigt werden kann und daher notwendigerweise gilt. Die interessanteste und zugleich problematischste Art ist die dritte, die unvollständige Induktion, bei der die Konklusion eine Verallgemeinerung impliziert, die über das Wissen der Prämissen, das nur aus einer endlichen Menge von Einzelinstanzen besteht, hinausgeht. Sie ist deshalb interessant, weil sie die Erkenntnis *erweitern* soll, aber sie ist zugleich problematisch, weil sie eine allgemeine Aussage über eine unendliche Menge von Einzelinstanzen macht, und daher prinzi-

piell keine Notwendigkeit mit sich führen kann. Diese dritte Art der Induktion läßt sich in vier Unterarten einteilen: die induktive Verallgemeinerung, die voraussagende Induktion, Aussagen über relative Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten sowie die eliminierende Induktion.⁵

Diesen vier Unterarten ist demnach gemeinsam, daß sie als induktive Schlüsse betrachtet werden müssen, deren Konklusionen keine Notwendigkeit und strenge Allgemeinheit zukommt. Hinsichtlich dieser Eigenschaft unterscheiden sie sich gerade von deduktiven Schlüssen. Man sollte nun erwarten, daß, je mehr die induktive Methode für die empirischen Wissenschaften an Bedeutung gewinnt, desto mehr das Bewußtsein um sich greift, daß den Ergebnissen dieser Wissenschaften *aus prinzipiellen Gründen* bestenfalls eine hypothetische oder wahrscheinliche Gültigkeit zukommen kann. Auf den ersten Blick ist diese Tendenz durchaus erkennbar. In der Tat läßt sich zeigen, daß die antike Dichotomie von (sicherem) Wissen und (unsicherer) Meinung im 17. Jahrhundert zunehmend aufgebrochen wurde und sich der Begriff der „moralischen Gewißheit“ als höchste Evidenzstufe empirischer Wissenschaften etablieren konnte. Er stand gewissermaßen in der Mitte zwischen einer bloßen, unbegründeten Vermutung und der Gewißheit mathematischer Beweise. Neben Descartes und Huygens, die als Verfechter einer hypothetischen Auffassung der Wissenschaft hervorgetreten sind⁶, äußerten sich insbesondere eine Reihe führender Mitglieder der 1662 gegründeten ‘Royal Society’, wie z.B. John Wilkins, Robert Boyle oder Robert Hooke skeptisch über die Möglichkeit, in den Naturwissenschaften ein Wissen zu erreichen, dessen Gewißheitsgrad über eine (wenn auch unter Umständen sehr große) Wahrscheinlichkeit hinausginge.⁷

Allerdings fällt auf, daß bei der Begründung dieser hypothetischen oder wahrscheinlichkeitstheoretischen Auffassung naturwissenschaftlicher Erkenntnis auf die induktive Methode gar kein Bezug genommen wurde. Dies ist deshalb merkwürdig, weil der große Theoretiker der induktiven Methode, nämlich Francis Bacon, als geistiger Urahn der „Experimental Philosophy“ angesehen wurde, deren Verbreitung und Verteidigung sich die Mitglieder der ‘Royal Society’ auf ihre Fahnen geschrieben hatten. So heißt es bei Thomas Sprat in seiner ‘Geschichte der Royal Society’: „The Third sort of new Philosophers, have been those, who have not onely disagreed from the Antients, but have also propos’d to themselves the right course of slow, and sure Experimenting [...] And of

⁵ Cf. G. Andersson, „Induktion“, in: H. Seiffert/G. Radnitzky (Hg.), *Handlexikon der Wissenschaftstheorie*, München 1992, 150-153. Zum Zusammenhang von Induktion und Wahrscheinlichkeit cf. W. Kneale, *Probability and Induction*, Oxford 1966 [Oxford 1949].

⁶ Cf. L. Laudan, *Science and Hypothesis. Historical Essays on Scientific Methodology*, Dordrecht/Boston/London 1981, 9, und 27-33.

⁷ Cf. B. J. Shapiro, *Probability and Certainty in Seventeenth-Century England*, Princeton UP 1983, 41: „Scientific hypotheses and scientific explanations might range from mere opinion, or the barely probable, to the highly probable. Natural philosophy, as conceived and practiced by the Royal Society, typically dealt with degrees of probability, not certainty or demonstration.“ Cf. dazu ebenfalls H. G. van Leeuwen, *The Problem of Certainty in English Thought 1630-1690*, The Hague 1970, 49-105. Dieser Auffassung hat sich schließlich auch John Locke angeschlossen.

these, I shall onely mention one great Man, who had the true Imagination of the whole extent of this Enterprize, as it is now set on foot; and that is, the Lord Bacon. In whose Books there are every where scattered the best arguments, that can be produc'd for the defence of Experimental Philosophy; and the best directions, that are needful to promote it.“⁸ Wie man sieht, ist hier von der induktiven Methode Bacons zumindest explizit keine Rede. Dies gilt übrigens auch für Sprats 'History' im allgemeinen. Vielmehr scheint man in den Kreisen der 'Royal Society' die Auffassung vertreten zu haben, daß eine vorsichtige wahrscheinlichkeits-theoretische oder hypothetische Auffassung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse mit Bacons methodischen Maximen durchaus im Einklang stünde.

Ein gutes Beispiel dafür ist Robert Hooke, der zu den Mitgliedern der „ersten Stunde“ gerechnet werden kann. Die Einleitung in sein 1665 veröffentlichtes Werk *Micrographia* knüpft zweifellos an Gedanken Bacons an. Gleich zu Anfang hebt Hooke die Operationen der Sinne, des Gedächtnisses und des Verstandes als für jede Theoriebildung wesentlich hervor. Alle Bemühungen um eine Verbesserung der Theoriebildung hätten sich daher darauf zu konzentrieren, Hilfsmittel an die Hand zu geben, welche geeignet seien, die Wirkungen dieser drei Vermögen zu steigern sowie zur Vermeidung von Fehlleistungen derselben beizutragen.⁹ Diese Zielsetzung entspricht ziemlich genau demjenigen, was Bacons Programm einer „Interpretation der Natur“ - zumindest in seinem ersten Teil - beinhaltete. Der erste Teil zielte nämlich darauf ab, „aus der Erfahrung Axiome zu errichten oder [zu diesen] aufzusteigen“ („educendis aut excitandis axiomatibus ab experientia“), während der zweite Teil beabsichtigte, „neue Experimente aus den Axiomen zu deduzieren oder abzuleiten“ („deducendis aut derivandis experimentis novis ab axiomatibus“).¹⁰ Der erste Teil, der die Gewinnung von Axiomen aus der Erfahrung zu seinem Ziel hatte, gliederte sich bei Bacon in drei Abschnitte gemäß den drei „ministraciones“, die für die Sinne, das Gedächtnis und den Verstand gedacht waren. Den „minister“ für die Sinne bildete nach Bacon eine gute Natur- und Experimentalgeschichte. Für das Gedächtnis sei es hilfreich, wenn man anhand von Übersichtstabellen die zuvor in der Geschichte aufgelisteten Fälle ordnet und koordiniert. Die dritte und letzte Hilfestellung schließlich, die dem Verstand zukommen sollte, war die Anwendung der „rechtmäßigen und wahren Induktion“, die den eigentlichen Schlüssel zur Interpretation der Natur bildete. Auffällig ist in diesem Zusammenhang, daß Hooke zwar auf die Hilfen für die Sinne und das Gedächtnis eingeht, die Induktion aber mit keinem Wort erwähnt. Was die Sinne betrifft, so schlägt er zwei Maßnahmen gegen mögliche Irrtümer derselben vor. Zum einen gelte, „That there should be a scrupulous choice, and a strict examination, of the reality, constancy, and certainty of the Particulars that we admit“. Eine weitere Vorsichtsmaßnahme

⁸ Th. Sprat, *History of the Royal Society*, ed. by J. I. Cope and H. W. Jones, St. Louis/London 1966 [London 1667], 35.

⁹ R. Hooke, *Micrographia or some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses With Observations and Inquiries thereupon*, London 1665, Preface, I - VII.

¹⁰ F. Bacon, *Neues Organon*, hg. u. eingeleitet v. W. Krohn, lat.-dt., Darmstadt 1990 [London 1620],

in bezug auf die Sinne bestehe in „a supplying of their infirmities with Instruments, and, as it were, the adding of artificial Organs to the natural“.¹¹ Das Ziel seiner *Micrographia* beschreibt er dann folgendermaßen: „As for my part, I have obtained my end, if these my small Labours shall be thought fit to take up some place in the large stock of natural Observations, which so many hands are busie in providing.“¹² Das heißt, er versteht sein Werk nicht als eigentliche Naturgeschichte im baconschen Sinne, sondern vielmehr als eine Vorstufe dazu. Er selbst behält sich vor, in einer weiteren Abhandlung eine solche Naturgeschichte zu liefern: „But I will not here prevent my self in what I may say in another Discourse, wherein I shall make an attempt to propose some Considerations of the manner of compiling a natural and Artificial History, and of so ranging and registering its Particulars into Philosophical Tables, as may make them most useful for the raising of Axioms and Theories.“¹³ Daher gibt sich Hooke zumindest im Vorwort die größte Mühe, die Erwartungen des Lesers auf ein bescheidenes Maß zurückzuschrauben: „If therefore the Reader expects from me any infallible Deductions, or certainty of Axioms, I am to say for my self, that those stronger Works of Wit and Imagination are above my weak Abilities; or if they had not been so, I would not have made use of them in this present Subject before me: Whereever he finds that I have ventur'd at any small Conjectures, at the causes of the things that I have observed, I beseech him to look upon them only as doubtful Problems, and uncertain gheses, and not as unquestionable Conclusions, or matters of unconfutable Science“.¹⁴ Die auf der Grundlage des „stock of natural Observations“ zu erstellenden Tafeln und Tabellen der Phänomene sind in Bacons Augen nur der Ausgangspunkt für die weitergehenden Axiome, zu denen der Forscher gemäß der Methode der Induktion aufsteigen soll. Zwar gibt Hooke einige Hinweise, welche Vorsichtsmaßnahmen auf diesem Wege zu beachten sind, ohne allerdings die Induktionsmethode zu erwähnen. Nach seiner Auffassung werden letzte Unsicherheiten nie ganz auszuräumen sein, so daß dieser Aufstieg letztlich immer problematisch und hypothetisch bleibt. Dennoch hegt er die Überzeugung, daß er sich mit dieser Methode der Hypothesenbildung

Teil II, Aphorismus 10, 300.

¹¹ R. Hooke, *Micrographia*, London 1665, Preface, III.

¹² Op. cit., V.

¹³ Op. cit., VI.

¹⁴ Op. cit., V. An späterer Stelle, an der Hooke im Rahmen seiner „Observation IX. Of the Colours observable in Muscovy Glass, and other thin Bodies“ auf den Seiten 47-67 seine Theorie der Lichtbrechung entwickelt, klingt es schon weniger bescheiden (op. cit., 67): „Thus have I, with as much brevity as I was able, endeavoured to explicate (Hypothetically at least) the causes of the Phaenomena I formerly recited, on the considerations of which I have been the more particular. First, because I think these I have newly given are capable of explicating all the Phaenomena of colours, not onely of those appearing in the Prisme, Water-drop, or Rainbow, and in laminated or plated bodies, but of all that are in the world, whether they be fluid or solid bodies, whether in thick or thin, whether transparent, or seemingly opacous, as I shall in the next Observation furtherendeavour to shew.“ Es ist nicht zu verkennen, daß Hooke hier bereits weit über die von ihm beanspruchte Zusammenstellung eines „stock of natural Observations“ hinausgegangen ist. Seine Erklärung der Ursachen der „Phaenomena of colours“ beinhaltet de facto den Aufstieg zu Axiomen, der nach Bacons Auffassung gemäß der Methode der Induktion zu erfolgen hätte. Davon ist bei Hooke jedoch keine Rede. Er bezeichnet lediglich seine Erklärungen als Hypothesen.

durchaus im Einklang mit Bacons methodischen Maximen befindet. In einem Brief an Newton schreibt er: „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.“¹⁵

Genau dieser Auffassung widerspricht Newton ganz entschieden: „You see therefore how much it is besides the businesse in hand to dispute about *Hypotheses*.“¹⁶ Bedeutet das nun, daß er sich damit auch von Bacons methodischen Auffassungen distanzieren möchte, auf die sich Hooke beruft? Wenn dies der Fall gewesen sein sollte, dann stellt sich die Frage, auf welchen Begriff von Induktion sich Newton bei der vierten Regel der ‘Regulae Philosophandi’ bezieht. Oder tritt an dieser Stelle eine unterschiedliche Interpretation der baconschen Methode von Hookes und Newtons Seite zutage? Zumindest gibt es keine Anzeichen dafür, daß einer von beiden die von der Royal Society propagierte „experimental philosophy“, für die nach Sprat eindeutig Bacon Pate ~~ganz und gar~~ hatte, nicht für die jeweils eigenen methodischen Vorgehensweisen als verbindlich angesehen hätte. Andererseits ist es merkwürdig, daß man in Newtons bislang bekannten (veröffentlichten und unveröffentlichten) Schriften keinen Hinweis auf Bacon findet. Das *Novum Organum* fand sich auch nicht in Newtons Bibliothek.¹⁷ Die Verbindung von Newtons induktiver Vorgehensweise und Bacons Methode der Induktion wurde in erster Linie von den Newtonianern Cotes, Pemberton oder Maclaurin hergestellt. Allerdings hat Newton dieser Darstellungsweise auch nie widersprochen.¹⁸ Die Reaktionen auf das Problem der Beziehung zwischen Bacons und Newtons Begriff der induktiven Methode fielen recht unterschiedlich aus. Teilweise wurde es schlicht ignoriert.¹⁹ Andere wiederum vertraten die Auffassung, daß Bacons Ideen zu Newtons Zeiten Allgemeingut gewesen seien und daher eine ausdrückliche Bezugnahme überflüssig gewesen sei. Beispielsweise ging man zu Beginn des 18. Jahrhunderts davon aus, daß Newtons methodische Prinzi-

¹⁵ I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 202. Ungeachtet der hier zitierten Äußerungen Hookes finden sich auch andere Stellen in seinen Schriften, in denen er als Ziel der Wissenschaften „wahres und sicheres Wissen“ angibt. Daher war seine Position vermutlich nicht so eindeutig, wie es auf den ersten Blick scheinen mag. Cf. B. Shapiro, *Probability and Certainty in Seventeenth-Century England*, Princeton UP 1983, 35: „Hooke thus seems to aspire to Baconian certitude, but also employs the language of reasonable belief and moral certainty.“ Cf. auch op. cit., 52: „In Hooke, then, we can see a certain confusion, or at least vagueness, in connection with the concepts of probability and hypothesis.“ Zu Hookes Rezeption von Bacon cf. auch M. B. Hesse, „Hooke’s Philosophical Algebra“, in: *Isis* 57 (1966), 67-83.

¹⁶ B. Shapiro, *Probability and Certainty in Seventeenth-Century England*, Princeton UP 1983, 177.

¹⁷ Cf. A. Pérez-Ramos, *Francis Bacon’s Idea of Science and the Maker’s Knowledge Tradition*, Oxford 1988, 17, Anm. 24.

¹⁸ Op. cit., 17: „Newton, however, nowhere expressly objected to his reading, and both his silence and the putative Baconian construal of Newtonian physics has baffled a great many students and given rise to much philosophical perplexity.“

¹⁹ Westfall kommt in seiner umfassenden Biographie Newtons nur an einer einzigen (!) Stelle in einer Fußnote auf Bacon zu sprechen anlässlich des Ursprungs des Terminus’ „experimentum crucis“. Cf. R. S. Westfall, *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*, Cambridge 1980, 167, Anm. 69.

prien lediglich Bacons Grundgedanken zur Induktion weiterentwickelt hätten.²⁰ Auf der anderen Seite fielen auch gravierende Unterschiede zwischen Bacon und Newton ins Auge. Bacons Induktion zielte auf die Entdeckung von 'Formen' ab, was ihn in die Nähe peripatetischer Konzeptionen rückte. Dafür gibt es innerhalb von Newtons Methode kein Pendant, sofern zumindest in Newtons gedruckten Werken von derartigen Formen keine Rede ist. Beschränkt sich dann Newtons Bezug auf Bacons induktive Methode lediglich auf das innerhalb der 'Royal Society' allgemein anerkannte Postulat, daß sorgfältig geprüfte empirische Beobachtungen und Phänomene die Grundlage der neuen „experimental philosophy“ bilden müßten? Vertritt Newton ansonsten eher extravagante methodologische Vorstellungen, die möglicherweise auf einer eigenwilligen Interpretation von Bacons Begriff der Induktion beruhen? Barbara J. Shapiro kommt zu dem Ergebnis: „We can only speculate as to why Newton deviated from the more favorable views of hypothesis expressed by Hooke, Boyle, and many other members of the Royal Society. Such speculations must include Newton's arrogance, his confidence in his own scientific work, and his obsession with the idea of rigor. It must also include the persistence in Newton of a Baconian vision of certain natural truth attained by means of experiment and induction, his commitment to the centuries-old tradition of the classical demonstrative sciences and the powerful appeal of the mathematical model of science. One must also take account of neo-Platonic and hermetic elements in Newton's thought. Newton then does stand somewhat apart not only in accomplishment but also in his philosophy of science.“²¹

Das Ziel der folgenden Untersuchung besteht darin, die hier angesprochenen Probleme in bezug auf Newtons Begriff der Induktion und seiner Beziehung zu demjenigen Bacons etwas genauer in den Blick zu nehmen. Dabei verschränken sich eine historische und eine wissenschaftstheoretische Frage. Die historische Frage dreht sich um Newtons Rezeption von Bacons Begriff der Induktion. Um dieser Frage näher zu kommen, ist es notwendig, den baconschen Begriff der Induktion genauer zu analysieren. Diese Analyse bildet zugleich die Grundlage für die Untersuchung der systematischen Frage nach dem Verhältnis und der Wechselwirkung von induktiven und deduktiven Momenten bei der Theoriebildung. Dabei sollen keine abstrakten normativen Vorgaben an die Wissenschaften von außen herangetragen werden, sondern das Ziel besteht darin, ausgehend von einer *Fallstudie* zu Newtons wissenschaftlichen Entdeckungen (insbesondere seiner Farbenlehre) wesentliche Charakteristika seiner methodischen Vorgehensweise herauszuarbeiten. Da diese Vorgehensweise in Newtons Selbstverständnis einer Anwendung der induktiven

²⁰ Laudan schreibt in bezug auf Thomas Reid (1710-1796): „he assumed, as was common at that time, that Newton [...] got his ideas on induction from Bacon and that Newton's writings on method were enlargements on, but perfectly compatible with, Bacon's views.“ Cf. L. Laudan, *Science and Hypothesis. Historical Essays on Scientific Methodology*, Dordrecht/Boston/London 1981, 98. Cf. auch op. cit., 108, Anm. 43: „It was a common 18th-century mistake to write about Newton as if he invariably kept the *Novum Organum* at his finger-tips.“

²¹ B. J. Shapiro, *Probability and Certainty in Seventeenth-Century England*, Princeton UP 1983, 58.

Methode in den empirischen Wissenschaften entspricht, erhält man Aufschluß über den *Begriff* der Induktion, den Newton vertritt. Auf dieser Basis lassen sich darüber hinaus die Gemeinsamkeiten und Unterschiede feststellen, die Newtons Induktionsbegriff mit dem modernen Induktionsbegriff verbinden und von ihm abgrenzen.

2. Bacons Begriff der Induktion

a. Eine neue Form der Logik

Bacons Begriff der Induktion zu unserem modernen Induktionsbegriff in Beziehung zu setzen, ist nur bedingt möglich.²² Das liegt vor allem daran, daß der moderne Induktionsbegriff durch die gedankliche Arbeit und Überlieferung einer Reihe von Philosophen und Wissenschaftlern über nahezu vier Jahrhunderte vermittelt worden ist. Im Zuge dieser Vermittlung sind der ideengeschichtliche Kontext, in dem Bacon seine Vorstellungen entwickelte, und die spezifische Begrifflichkeit, mit der Bacon operierte, zunehmend in den Hintergrund getreten.²³ Davon zeugt u. a. die Kontroverse zwischen Mill und Whewell über die Frage, ob es sich bei Bacons induktiver Methode um ein deskriptives wissenschaftshistorisches Modell oder eher um den Vorläufer einer (normativen) induktiven Forschungslogik handele.²⁴ Um einen Zugang zu Bacons Induktionsmethode zu bekommen, die im übrigen aus dem *Novum Organum* auch nur fragmentarisch erschlossen werden kann, da eine vollständige Ausarbeitung Bacon nicht mehr möglich war, muß man sich sowohl die spezifische Begrifflichkeit, mit der Bacon arbeitete, als auch die besonderen Ziele, die er mit seiner Arbeit verfolgte, vor Augen halten. Dabei ist im Hinblick auf Newton gewiß auch zu beachten, daß ihm dieser spezifische kulturelle und terminologische Kontext, in dem Bacons Ideen entstanden sind, sehr viel näher stand als den späteren Interpreten der induktiven Methode wie Hume, Mill oder Mach, auf deren Gedanken wir unsere modernen Ansichten über den Induktionsbegriff stützen. Das betrifft insbesondere ein Merkmal, das gerade in systematischer Hinsicht von Bedeutung ist. Während wir gewohnt sind, induktive und deduktive Schlußweisen im Rahmen der Theoriebildung strikt auseinanderzuhalten, ist es interessant zu sehen, daß beide Momente innerhalb von Bacons Induktionsmethode keineswegs getrennt werden können, sondern als integrale Bestandteile *einer einheitlichen* Methode betrachtet werden müssen. Es wird sich im Laufe dieser Untersuchung herausstellen, daß in diesem Punkt eine bemerkenswerte Gemeinsamkeit mit Newtons Verständnis des Induktionsbegriffs festgestellt werden kann. In welcher Weise diese Verschränkung induktiver und deduktiver Momente insbesondere bei Bacon stattfindet, soll zunächst näher untersucht werden.²⁵

²² Cf. A. Pérez-Ramos, *Francis Bacon's Idea of Science and the Maker's Knowledge Tradition*, Oxford 1988, 199: „A cursory perusal of present-day literature on inductive logic may cast very grave doubts as to the sheer possibility of reading back into Aristotle's $\epsilon\pi\alpha\gamma\omega\gamma\eta$ or Bacon's *inductio* something akin to contemporary induction.“

²³ Zur Geschichte des Induktionsbegriffs cf. W. Kneale, *Probability and Induction*, Oxford 1966, Part II: The Traditional Problem of Induction, 24-113, oder J. R. Milton, „Induction before Hume“, in: *British Journal for the Philosophy of Science* 38 (1987), 49-74.

²⁴ Cf. A. Pérez-Ramos, *Francis Bacon's Idea of Science and the Maker's Knowledge Tradition*, Oxford 1988, 22-24.

²⁵ Eine umfassende Auseinandersetzung mit bestehenden Deutungen des baconschen Induktionsbegriffs ist an dieser Stelle nicht möglich. Ich stütze mich bei meiner folgenden Darstellung in erster Linie auf den einschlägigen Text im *Novum Organum* sowie auf die meiner Ansicht nach überzeugende Interpretation

Das *Novum Organum* war als Teil eines umfassenderen Werkes gedacht, das Bacon als „Instauratio Magna“, als die „Große Erneuerung“ der Wissenschaften betrachtete. Der Plan zu diesem Werk war auf sechs Teile angelegt: 1. Die Einteilung der Wissenschaften, 2. Das neue Organon oder die Anleitung zur Interpretation der Natur, 3. Die Phänomene des Universums oder die Natur- und Experimentalgeschichte als Grundlage der Philosophie, 4. Die Stufenleiter des Geistes, 5. Die Vorläufer oder Antizipationen der Philosophie, und 6. Die zweite Philosophie oder die aktive Wissenschaft. Partiiell ausgeführt worden sind die Teile eins, zwei, drei und fünf.²⁶ Den zweiten Teil der „Instauratio Magna“ bildete das *Novum Organum*, das seinerseits in zwei Abschnitte unterteilt wurde. Der erste Abschnitt ist gewissermaßen als destruktiver Teil zu verstehen, sofern Bacon darin die zeitgenössischen Wissenschaften einer Kritik unterwirft sowie auf allgemeine Vorurteile (Idole) zu sprechen kommt, die gravierende Hindernisse für die Entwicklung der Wissenschaften darstellten. Im zweiten, konstruktiven Abschnitt will Bacon seine neue Methode entfalten, die er den Wissenschaften zur Befolgung empfiehlt. Das Kernstück dieser Methode ist die Induktion. Unglücklicherweise fehlt eine detaillierte Behandlung derselben, da von den neun aufgeführten Hilfsmitteln, auf die Bacon die „echte und vollkommene Induktion“ gründen möchte, nur ein einziges näher ausgeführt wird, nämlich die „praerogativen Instanzen“ bzw. die „vorrangigen Fälle“.²⁷

Der Titel *Novum Organum* enthält zweifellos eine Anspielung auf das „Organon“ des Aristoteles. Unter diesem Titel haben die späteren Herausgeber die logischen (und wissenschaftstheoretischen) Schriften des Aristoteles' zusammengefaßt. Bereits mit der Wahl seines Titels macht Bacon klar, daß er die von ihm entwickelte Methode der Naturforschung zwar auch als eine Form der Logik betrachtet, aber eine solche, die sich in ihrem

von A. Pérez-Ramos in seinem Buch *Francis Bacon's Idea of Science and the Maker's Knowledge Tradition*, Oxford 1988, 197-269.

²⁶ F. Bacon, *Neues Organon*, hg. v. W. Krohn, lat.-dt., Darmstadt 1990, 37. Cf. dazu auch die Einleitung von W. Krohn, op. cit., XXXII-XXXIV. Der erste Teil ist im wesentlichen in der Schrift *De Dignitate et Augmentis Scientiarum* von 1623 dargestellt, einer Überarbeitung des Buches *Advancement of Learning*. Der zweite Teil entspricht dem *Novum Organum*, das allerdings auch nicht vollständig ist. Ausführungen, die thematisch dem dritten Teil angehören, finden sich in mehreren kleinen Schriften, wie z.B. in *Sylva Sylvarum*, die 1626 nach Bacons Tod veröffentlicht wurde. Der vierte Teil dient vermutlich der Vermittlung zwischen Natur- und Experimentalgeschichte und der auf ihr aufbauenden Wissenschaft und ist nirgendwo näher ausgeführt. Es gibt lediglich ein Fragment, welches den Bewegungsbegriff behandelt mit dem Titel *Filum Labyrinthi sive Inquisitio de Motu* (ca. 1607/1608). Im fünften Teil geht es vermutlich darum, aus existierenden empirischen Befunden verallgemeinernde Schlüsse zu ziehen, wie etwa in bezug auf den Ursprung der Dinge, die Struktur der Materie oder die Ursache der Bewegung etc. Zu solchen Themen finden sich bei Bacon Ausführungen in den Schriften *Cogitationes de natura rerum* (ca. 1604), *Thema coeli* (ca. 1612) oder *De Fluxu et Refluxu Maris* (ca. 1616). Zu dem sechsten und letzten Teil sind keine Vorarbeiten Bacons bekannt. Der Terminus „Zweite Philosophie“ ist hier offenbar in Abgrenzung von dem traditionellen Terminus der „Prima Philosophia“ gewählt worden.

²⁷ Cf. F. Bacon, *Neues Organon*, hg. v. W. Krohn, lat.-dt., Darmstadt 1990, Teil II, Aphorismus 21, 374-377. Neben den praerogativen Instanzen sind folgende weitere Hilfsmittel für den Verstand aufgeführt: 2. die Hilfsmittel der Induktion; 3. die Berichtigung der Induktion; 4. die Variation der Untersuchung gemäß der Natur des Gegenstands; 5. die vorrangigen Eigenschaften bezüglich des Ablaufs oder der Ordnung der Untersuchung; 6. die Begrenzung der Untersuchung oder die Synopse aller Naturen im Universum; 7. die Deduktion zur Praxis; 8. die Zurüstungen (parascevis) zur Untersuchung; 9. die auf- und ab-

Wesen von der aristotelischen Logik unterscheidet. Der Unterschied bezieht sich auf drei Aspekte, nämlich *erstens* das Ziel der Untersuchung, *zweitens* auf die Ordnung der Beweisführung und *drittens* auf den Anfang der Untersuchung.²⁸

(1) Was das Ziel der gewöhnlichen Logik betreffe, gehe es ihr primär um die Entdeckung von Argumenten und Wahrscheinlichkeitsgründen im Rahmen des Disputierens über die Dinge, wobei die Prinzipien und „Künste“ der Dinge selbst kritiklos vorausgesetzt würden. Demgegenüber habe die Logik, die Bacon vorschwebt, die Entdeckung von den Künsten, den „Werken“ (opera) und den Prinzipien der Dinge selbst zum Gegenstand. Die „logica vulgaris“, die Bacon häufig auch als „Dialektik“ bezeichnet, ziele darauf ab, den Gegner in einer Disputation mit Worten zu besiegen. Im Rahmen von Bacons (Forschungs-) Logik soll die Natur vermittels der „Werke“ bezwungen werden.²⁹

(2) Hinsichtlich der „Natur und Ordnung der Beweise“ stütze sich die gewöhnliche Logik auf den Syllogismus, der aus allgemeinen Prämissen besondere Konklusionen deduziere. Syllogismen bestehen aus Sätzen, die Sätze ihrerseits aus Worten und Worte seien Zeichen (tesserae) für Begriffe. Der Erkenntnisgehalt eines Syllogismus hänge demnach wesentlich von Begriffen ab. Seien diese unscharf und unklar, dann gelte dies auch für die Syllogismen. Nun liegen solche Begriffe als allgemeine Prinzipien den Syllogismen zugrunde. Der Syllogismus könne deshalb nicht dazu dienen, diese Prinzipien aufzufinden, sondern er setze sie voraus. Er bringe zwar die ‘Mittelsätze’ hervor, die zur Vermittlung von allgemeinen Prinzipien und besonderen Konklusionen dienten, aber diese seien unpraktisch und für den aktiven Teil der Wissenschaft unbrauchbar. Deshalb verfuhr man in den Disputationen, die sich der Syllogismen bedienten, häufig so, daß man von den Sinnen und dem Einzelnen unvermittelt zum Allgemeinen „flog“, um die allgemeinsten Prinzipien festzulegen. Waren sie erst einmal festgelegt, dann suchte man nach Mittelbegriffen, um die allgemeinsten Prinzipien auf das Einzelne anwenden zu können. Diese Beweisordnung hält Bacon für fatal, da sie von der Natur und den Dingen wegführe. Statt dessen komme es darauf an, die Axiome zusammenhängend („continenter“) und in abgestuften Graden („gradatim“) aufzustellen, so daß die allgemeinsten Grundsätze nicht am Anfang, sondern am Ende der Untersuchung stünden.³⁰ Dadurch werde verhindert, daß sich die allgemeinsten Grundsätze in leeren Begriffen erschöpften, die keine Beziehung mehr zu dem Besonderen oder Einzelnen besitzen.

(3) Bezüglich des dritten Aspekts, nämlich der Anfänge und Ausgangspunkte der Untersuchung, verspricht Bacon die Fundamente der Wissenschaften tiefer und fester zu legen.³¹ Dies soll dadurch geschehen, daß sowohl die Prinzipien der Wissenschaften als auch die „ersten Begriffe des Geistes“ als auch die unmittelbaren Informationen der Sinne

steigende Skala der Axiome.

²⁸ Cf. F. Bacon, *Neues Organon*, hg. v. W. Krohn, lat.-dt., Darmstadt 1990, 40f.

²⁹ Op. cit., 40f.

³⁰ Op. cit., 44f.

³¹ Op. cit., 44: „Nam fundamenta quoque scientiarum fortius deprimimus et solidamus, atque initia inqui-

einer umfassenden Prüfung unterworfen werden. Für die Anhänger der gewöhnlichen Logik bzw. die „Dialektiker“, die in ihren Disputationen erfolgreich sein wollten, sei hingegen charakteristisch, daß sie unkritisch vieles von dem übernahmen, was ihnen die Wissenschaften, die Metaphysik und die Sinne darböten.

Die hier formulierten Ziele, die das Wesen der neuen (Forschungs-) Logik ausmachen, können in Bacons Augen nur dann erreicht werden, wenn die Wissenschaft ihre inhaltsleeren Disputationen über Worte und Begriffe beendet und sich statt dessen einer Untersuchung der Dinge selbst zuwendet. Er wirft der traditionellen Wissenschaft nicht vor, daß sie die Empirie völlig vernachlässige. Vielmehr gehe auch sie von den Sinnesdingen aus, aber diese würden nur *oberflächlich* und *unsystematisch* in Betracht gezogen, so daß die ersten Prinzipien der Wissenschaften, die man auf Erfahrungsbefunde zu gründen versuche, nur voreilige Verallgemeinerungen darstellten, deren empirische Verankerung eher zufällig sei, weil sie sich in erster Linie auf oberflächliche Betrachtungen der Dinge stütze, wie sie die Alltagserfahrung darbiere.³² Was Bacon fordert, ist eine neue *Art der Verbindung* von Empirie und allgemeinen Prinzipien.³³ Diese lasse sich mit den traditionellen Forschungsmethoden nicht erreichen, sondern erfordere eine *neue Form der Induktion*: „Aber die größte Veränderung, die ich einführe, betrifft die Form der Induktion selbst und das daraus abgeleitete Urteil.“³⁴ Er grenzt in diesem Zusammenhang diese neue Form der Induktion ausdrücklich von der „einfachen Aufzählung“ (*enumerationem simplicem*) ab, deren sich die Dialektiker bedienen. Zwei Kritikpunkte an dem herkömmlichen Verfahren sind für Bacon entscheidend: (a) es bleibe stets der Gefahr widersprechender Fälle ausgesetzt und (b) es betrachte nur das „Gewöhnliche“.³⁵ Mit letzterem ist offenbar gemeint, daß es die Dinge so zugrunde lege, wie sie uns in unserer Alltagserfahrung erscheinen. Wie soll nun die neue, wahre Form der Induktion aussehen? Das Wesentliche für Bacon ist der Umstand, daß sie die Dinge nicht so nimmt, wie sie uns gewöhnlich vorkommen, sondern daß sie „die Erfahrung auflöst und zergliedert“ (*experientiam solvat et separet*). Aufgrund dieser Zergliederung soll dann durch „Ausschließungen“ (*exclusiones*) und „Zurückweisungen“ (*rejectiones*) mit Notwendigkeit geschlossen werden.³⁶

Aus dieser Beschreibung lassen sich zumindest fünf Merkmale der von Bacon propagierten neuen Form der Induktion festhalten. Erstens geht sie vom Einzelnen und Besonderen aus. Zweitens steigt sie stufenweise vom Einzelnen zu allgemeineren Axiomen und

rendi altius sumimus“.

³² Cf. op. cit., 92: „Axiomata quae in usu sunt ex tenui et manipulari experientia et paucis particularibus, quae ut plurimum occurrunt, fluxere“. Op. cit., 93: „Die gebräuchlichen Axiome fließen aus einer handvoll dürftiger Erfahrungen aus wenigen Einzeldingen, wie sie sich meistens [alltäglich] darbieten.“ (Übersetzung modifiziert.)

³³ Bacon spricht wörtlich von dem „*commercium Mentis et Rerum*“, das er auch eine neue Grundlage stellen wolle. Cf. op. cit., Vorbemerkungen zur ‘*Instauratio Magna*’, 2.

³⁴ Op. cit., 45.

³⁵ Wörtlich heißt es (op. cit., 44): „*et consueta tantum intuetur*“.

³⁶ Op. cit., 44. Cf. auch op. cit., Teil I, Aphorismus 105, 222-225.

Prinzipien auf. Drittens unterscheidet sie sich von der Alltagserfahrung darin, daß sie die Dinge nicht in Betracht zieht, wie sie gewöhnlich erscheinen, sondern daß sie versucht, ins Innere, in die „Eingeweide“ der Natur vorzudringen. Viertens stützt sie sich auf eine Auflösung und Zergliederung der Erfahrung. Fünftens schließlich verspricht sie eine Sicherheit ihrer Schlüsse, welche offenbar einen Defekt der aufzählenden Induktion vermeiden soll, nämlich durch widersprechende Evidenzen widerlegt werden zu können. Mindestens die drei zuletzt genannten Merkmale bedürfen einer ausführlicheren Diskussion, da sich in ihnen vermutlich die größte Diskrepanz zum heute üblichen Verständnis der Induktion manifestiert.

b. Interpretation statt Antizipation der Natur

Die neue Form der Induktion stellt für Bacon die *conditio sine qua non* für eine neue Art der Naturbetrachtung dar. Er nennt sie die „Interpretation der Natur“ im Unterschied zur „Antizipation der Natur“.³⁷ Beiden Arten der Naturbetrachtung ist gemeinsam, daß sie vom Besonderen und Einzelnen ausgehen und zum Allgemeinen fortschreiten. Aber beide tun dies auf ganz unterschiedliche Weise. Für die antizipative Naturbetrachtung ist folgender Weg typisch: „Der eine [Weg] fliegt von den Sinnen und dem Einzelnen zu den allgemeinsten Axiomen, und aus diesen Prinzipien und ihrer unerschütterlichen Wahrheit beurteilt und ermittelt er die mittleren Axiome.“³⁸ Demgegenüber verfährt die Interpretation der Natur wie folgt: „Auf dem anderen [Weg] stellt man von den Sinnen und vom Einzelnen ausgehend die Axiome auf, indem man zusammenhängend und in abgestuften Graden aufsteigt, so daß man erst am Ende zu den allgemeinsten [Axiomen] gelangt.“³⁹ Die Antizipationen sind das Ergebnis vorschneller Abstraktionen und Verallgemeinerungen. Sie verfangen sich im Dickicht der empirischen Befunde, die die Experimental- und Naturgeschichte ihnen bereitstellt. Die Verbindung von Allgemeinem und Besonderem ist schwach und beruht auf zufälligen Umständen. Dies erschwert eine systematische Erforschung der Naturdinge und ihres Zusammenhangs, welche jedoch die Voraussetzung für die Entdeckung neuer Tatbestände bildet. Bacon spricht an anderer Stelle von einem blinden „Herumtappen“ (*palpatio*), das für die auf Antizipationen gegründete „*experientia vaga et incondita*“ typisch sei. Davon unterscheidet er ausdrücklich ein systematisches und gesetzmäßiges Verfahren, welches sich im Sinne der ‘Interpretation der Natur’ auf

³⁷ Op. cit., Teil I, Aphorismus 26, 92f.

³⁸ Cf. op. cit., Teil I, Aphorismus 19, 88: „*Altera a sensu et particularibus advolat ad axiomata maxime generalia, atque ex iis principiis eorumque immota veritate iudicat et invenit axiomata media.*“ (Übersetzung modifiziert). Cf. dazu auch op. cit., Teil I, Aphorismus 125, 261: „Die Form des Forschens und Erfindens, wie sie bei den Alten üblich war [...] ist folgende gewesen: von einigen Beispielen und Einzelfällen flogen sie mit Hilfe gewöhnlicher Begriffe und vielleicht noch einer Anzahl liebgewordener Meinungen zu den allgemeinsten Schlußfolgerungen und Prinzipien der Wissenschaften hin. Deren Wahrheit betrachteten sie als unveränderlich und unerschütterlich und folgerten und bewiesen aus ihnen über die mittleren die niederen Sätze.“

³⁹ Op. cit., Teil I, Aphorismus 19, 89 (Übersetzung modifiziert).

eine „*experientia ordinata et digesta*“ stütze: „Die wahre Ordnung der Erfahrung zündet zuerst ein Licht an, zeigt dann bei Licht den Weg, indem sie mit einer wohlgeordneten und gegliederten Erfahrung beginnt, keineswegs aber mit einer voreiligen und irrenden. Daraus entwickelt sie die Axiome und aus diesen folgert sie wiederum neue Experimente.“⁴⁰ Daraus kann man schließen, daß das Experiment als planmäßig angestellte Erfahrung ganz wesentlich zu dem gehört, was Bacon als „*experientia ordinata*“ bezeichnet.

Welche Funktion besitzt das Experiment im Rahmen der Induktion? Die Beantwortung dieser Frage soll auf einem kleinen Umweg erfolgen. Der Umweg besteht darin, als Ausgangspunkt ein wichtiges Merkmal der baconischen Induktion näher in den Blick zu nehmen, das uns Heutigen vermutlich am paradoxesten erscheint, nämlich das Postulat, daß die vermittels der Induktion gewonnenen Schlußfolgerungen sicher sind und nicht durch gegenteilige Evidenzen zu Fall gebracht werden können. Bacon begründet die Sicherheit der Induktion damit, daß ihre Ergebnisse durch „Ausschließung und Zurückweisung“ zustande kommen und nicht durch Aufzählung. Nun bezieht sich seine Form der Induktion auf Naturgegenstände und nicht auf mathematische Gegenstände. Für mathematische Gegenstände ist charakteristisch, daß sie a priori durch gesetzmäßige Beziehungen und Axiome verknüpft sind, die zugleich das Fundament ihrer Existenz ausmachen. Daher ist es nicht verwunderlich, daß man auf der Grundlage der Kenntnis dieser Voraussetzungen allgemeine und notwendige Aussagen über eine im Prinzip unendliche Menge von Gegenständen machen kann. Dies gilt jedoch für Naturgegenstände nicht. Will man über eine unbestimmte Menge von Naturgegenständen eine allgemeine Aussage machen, dann kann dies nur auf der Grundlage der *unvollständigen Induktion* geschehen. Das heißt, man schließt von der Beobachtung einer endlichen Menge von Gegenständen stets auf alle beliebigen Gegenstände derselben Art, d.h. auch solche, die man noch nicht untersucht hat. Da man jedoch in bezug auf Naturgegenstände - im Unterschied zu mathematischen Gegenständen - nie sicher sein kann, ob man alle Existenzbedingungen derselben vollständig kennt, kann man sich auch nie sicher sein, ob man nicht in der Zukunft auf Fälle stößt, die nicht mit der zuvor gemachten allgemeinen Aussage im Einklang stehen. Demnach können allgemeine Sätze als Ergebnis der unvollständigen Induktion nie sicher sein.

Dieses Charakteristikum gilt auch für Bacons eliminative Induktion. Was man sich darunter vorzustellen hat, läßt sich aus dem Beispiel der Wärme (dem einzigen übrigens, das ausführlicher behandelt wird) erschließen.⁴¹ Die Voraussetzung der Induktion, die aber noch nicht zum eigentlichen induktiven Verfahren selbst gehört, ist das Vorliegen einer „hinreichenden und guten Natur- und Experimentalgeschichte“.⁴² Damit ist eine empirische Faktensammlung gemeint, die zunächst umfassend dokumentiert werden

⁴⁰ Op. cit., Teil I, Aphorismus 82, 177 (Übersetzung modifiziert).

⁴¹ Cf. Op. cit., Teil II, Aphorismen 11 - 20, 300-375.

⁴² Op. cit., Teil II, Aphorismus 10, 300f. An anderer Stelle spricht Bacon auch von den „*Phaenomena Universi*“, die die Grundlage der Philosophie bilden sollen. Op. cit., Einteilung des Werkes, 50f. Vieles spricht dafür, daß diese Stelle die Bedeutung des Begriffs des Phänomens im 17. Jahrhundert maßgeblich

muß. Das Ziel der sich daran anschließenden Induktion besteht darin, die wahre „Form oder Definition der Wärme“ zu ergründen, die als solche eine allgemeine Bestimmung (oder Gesetzmäßigkeit) der Wärme ausmacht.⁴³ Das Bindeglied zwischen der reinen Faktensammlung und der eigentlichen Induktion stellen drei Arten von Tafeln oder Zusammenstellungen dar.⁴⁴ In der ersten Tafel werden alle Fälle aufgelistet, denen die Eigenschaft der Wärme zukommt. Die zweite Tafel behandelt die Fälle, denen die Eigenschaft der Wärme fehlt. Damit sind jedoch nicht alle beliebigen Fälle gemeint, die mit der zu untersuchenden Eigenschaft nichts zu tun haben. Sie alle aufzuzählen wäre ein unmögliches und auch nutzloses Unterfangen. Statt dessen sammelt Bacon hier nur die „nächsten“ Fälle, d.h. solche, die mit denen der ersten Tafel in gewisser Weise verwandt sind, ohne daß jedoch die Eigenschaft der Wärme auftritt. Er nennt sie deshalb auch „*Tabula Declinationis, sive Absentiae in proximo*“ (Tafel der Abweichung oder des Fehlens im Nächsten).⁴⁵ Die dritte Tafel schließlich, die „*Tabula Graduum sive Tabula Comparativae*“ untersucht die Fälle, in denen die zu untersuchende Eigenschaft in verschiedenen Graden vorhanden ist. Sie zielt darauf ab, die Bedingungen und Faktoren zu ermitteln, die beim Zustandekommen der Eigenschaft der Wärme eine entscheidende Rolle spielen. Das geschieht auf die Weise, daß man sich die Variationen oder Grade der Wärme *in Abhängigkeit von* der Variation und den Graden der infrage kommenden Bedingungen oder Faktoren ansieht. Wenn man beispielsweise feststellt, daß sich der Wärmegrad nicht verändert, wenn die Eigenschaft A wächst oder abnimmt, dann kann die Eigenschaft A als mögliche Bedingung von Wärme ausgeschlossen werden. Ändert sich hingegen die Wärme in Abhängigkeit von Eigenschaft B, d.h. wenn die Eigenschaft B wächst, dann erhöht sich auch der Wärmegrad oder wenn B abnimmt, dann nimmt auch der Wärmegrad ab, dann gibt es gute Gründe anzunehmen, daß B zu den Entstehungsbedingungen von Wärme gehört.

Die eliminative Induktion schliesse dann folgendermaßen: Wenn im Fall 1 die Faktoren ABEF vorliegen, die mit den Erscheinungen *abe* verknüpft sind und im Fall 2 die Faktoren ACD mit den Erscheinungen *acd*, wenn aber zugleich die Faktoren BEF mit *be* und CD mit *cd* etc. verknüpft sind, dann ist A eine unerläßliche Bedingung für das Auftreten von *a*. Aber bringt dieses Ausschlußverfahren auch Sicherheit und Gewißheit mit sich? Kann es wirklich vor dem Auftreten gegenteiliger Evidenzen schützen? Bedeutsam ist

geprägt hat.

⁴³ Op. cit., Teil II, Aphorismus 20, 372f. Auf den Begriff der „Form“, den Bacon hier verwendet, kann an dieser Stelle nicht ausführlich eingegangen werden. Es ist aber auch nicht nötig, da es hier lediglich um das Merkmal der Allgemeinheit der Ergebnisse induktiver Untersuchungen geht. Cf. zu einer näheren Erläuterung des Formbegriffs bei Bacon: A. Pérez-Ramos, *Francis Bacon's Idea of Science and the Maker's Knowledge Tradition*, Oxford 1988, Part II, 65-132. Bedeutsam ist vor allem die Beziehung von Form und Gesetz, wie sie z. B. in F. Bacon, *Neues Organon*, hg. v. W. Krohn, lat.-dt., Darmstadt 1990, Teil II, Aphorismus 2, 280f. entwickelt wird. Cf. auch op. cit., Teil II, Aphorismus 17, 352f.

⁴⁴ Op. cit., Teil II, Aphorismus 15, 349: „Die Aufgabe und Absicht dieser drei Tafeln pflege ich die für den Verstand eingerichtete vergleichende Übersicht der Fälle zu nennen. Ist diese Übersicht gemacht, so folgt die Induktion selbst.“

immerhin, daß die ausschließende Induktion im Unterschied zur aufzählenden Induktion ein deduktives Moment in Gestalt des *modus tollens* beinhaltet: Prämisse 1): Wenn A Bedingung für a ist, dann tritt A jedesmal auf, wenn a auftritt; Prämisse 2): x ist ein Fall, in dem a auftritt, aber nicht A; Conclusio: also kann A nicht eine Bedingung für a sein. Dieser Schluß gilt notwendig und allgemein. Aber selbst wenn man mithilfe dieses deduktiven Moments eine Bedingung sicher ausschließen kann, hat man noch keine Gewähr dafür, daß im positiven Falle, d.h. wenn bei allen bisher beobachteten Fällen von a auch B aufgetreten ist, B eine notwendige Bedingung für a darstellt. Denn niemand kann die Vollständigkeit der Naturgeschichte garantieren und damit auch nicht die Möglichkeit ausschließen, daß man zu einem späteren Zeitpunkt einen Fall entdeckte, bei dem a ohne B aufträte. Woher soll die Sicherheit und Gewißheit des induktiven Verfahrens kommen?

Zur Beantwortung dieser Frage könnte es hilfreich sein, ein weiteres Merkmal in Betracht zu ziehen, das der interpretativen im Unterschied zur antizipativen Sichtweise der Natur anhaftet. Die interpretative Sichtweise soll nach Bacon „*ex analogia universi*“ und nicht „*ex analogia hominis*“ entwickelt werden.⁴⁶ Was ist damit gemeint? Der Mensch erkennt die Naturgegenstände nicht, wie sie „an und für sich“ sind, sondern so, wie sie „für ihn“ sind, d.h. durch seine Sinnes- und Verstandesvermögen gefiltert. Bacon benutzt dafür auch die Metapher des Spiegels: die Strahlen der Dinge reflektiert der Mensch nicht wie ein Spiegel, dessen Oberfläche glatt ist und die Dinge genauso abbildet, wie sie sind. Vielmehr wirkt er wie ein unebener Spiegel, der die Dinge nur verzerrt wiedergibt.⁴⁷ Bacons Idolenlehre verfolgt insbesondere das Ziel, diese subjektiven Verzerrungen der Dinge, die sowohl auf Eigentümlichkeiten der Gattung der Menschen insgesamt als auch der Menschen als Individuen zurückzuführen sind, möglichst zu verringern, indem man sich möglicher diesbezüglicher Gefahrenquellen bewußt wird. Wenn das Ziel der Naturwissenschaft die Erkenntnis der Formen sein soll, dann impliziert das hier erläuterte Merkmal, daß diese Formen „*ex analogia universi*“ (oder „*in ordine ad universum*“, wie es bei Bacon auch heißt) zu betrachten sind. Die Sicherheit und Gewißheit wächst somit in dem Maße, in dem von zufälligen, subjektiven Bedingungen abstrahiert werden kann. Die Form eines Dinges entspricht „*ex analogia universi*“ dem Ding selbst. Sie verhält sich zu dem Ding wie die Wirklichkeit zur Erscheinung oder das Innere zum Äußeren.⁴⁸ Diese Forderung nach der größtmöglichen Unabhängigkeit der Formen von zufälligen, subjektiven Bedingungen ist nach Bacons Einschätzung nur dann erfüllbar, wenn man nicht an der äußeren Oberfläche der Dinge hängenbleibt, sondern ins Innere, in die „Eingeweide“

⁴⁵ Op. cit., Teil II, Aphorismus 12, 306f.

⁴⁶ Op. cit., Teil I, Aphorismus 41, 100f.

⁴⁷ Zur Spiegelmetapher cf. op. cit., Einteilung, 48f.; Teil I, Aphorismus 41, 100f.; Teil II, Aphorismus 13, 330f. Möglicherweise ist die Bezeichnung „spekulative Philosophie“ für die theoretische Philosophie, wie sie für Kant und den Deutschen Idealismus geläufig war, auf diese Metapher Bacons zurückzuführen.

⁴⁸ Op. cit., Teil II, Aphorismus 15, 330: „Cum enim Forma rei sit ipsissima res; neque differat res a Forma, aliter quam differunt apparens et existens, aut exterius et interius, aut in ordine ad hominem et in ordine ad universum“.

der Natur vordringt. Damit verbindet sich auch die Forderung, zur Ermittlung der Formen nicht nur die gewöhnlichen, naheliegenden und alltäglichen Sachverhalte in den Blick zu nehmen, sondern auch scheinbar entfernte, ungewöhnliche und unerwartete Fälle mit einzubeziehen.

Wie kann man zu dem „Entlegenen und Verborgenen“ der Natur vordringen? An dieser Stelle ist eine weitere Bestimmung der wissenschaftlichen Induktion bei Bacon von Bedeutung, nämlich daß sie „die Erfahrung auflöst und zergliedert“ (*experientiam solvat et separat*). Eine solche Zergliederung ist die Voraussetzung für das Verfahren der Ausschließung und Zurückweisung. Was ist damit gemeint? An einer Stelle spricht er auch von der „sorgfältigen Zerlegung und Anatomie der Welt“ als Voraussetzung dafür, daß ein wahres Abbild der Welt im menschlichen Geist gewonnen werden könne.⁴⁹ Diese Redeweise spricht dafür, daß Bacon die Medizin vor Augen hat, wo es unter Umständen geboten ist, eine Sektion durchzuführen, mithin ins Innere des Körpers einzudringen und die Wirkungsweise der einzelnen Organe für sich zu studieren, um eine Krankheit zuverlässig diagnostizieren und heilen zu können. Möglicherweise knüpft Bacon hier direkt oder indirekt an methodische Überlegungen von Galen an, der die Analysis als eine grundlegende Lehr- und Untersuchungsmethode beschrieben hat. Die Analysis (oder Dialysis, wie Galen auch sagt) geht von einem gegebenen Ganzen aus und untersucht dessen Bestandteile, wie etwa die Architektur die Anordnung und Funktion der einzelnen Teile eines Hauses studieren muß oder die Anatomie die Teile eines menschlichen Körpers. Für die Medizin gilt noch die Besonderheit, daß sie nicht nur die Teile für sich genommen verstehen muß, sondern darüber hinaus auch ihre Wirkungsweise (*energeia*).⁵⁰ Allerdings erhält diese Form der Analyse bei Bacon eine besondere Gestalt. Zwar bilden auch bei ihm die Dinge selbst die Grundlage der Analyse. Aber Bacon scheint Analyse nicht - oder zumindest nicht ausschließlich - im Sinne einer handgreiflichen empirischen Zerlegung zu verstehen. Seine Bezugnahme auf die Anatomie ist eher symbolisch als wörtlich gemeint. An zwei Stellen spricht er wörtlich von der „dissectio“, „solutio“ oder „separatio“ der Eigenschaften *im Geiste*.⁵¹ Was ist darunter zu verstehen?

⁴⁹ Cf. op. cit., Teil I, Aphorismus 124, 258: „Etenim verum exemplar mundi in intellectu humano fundamus; quale invenitur, non quale cuiquam sua propria ratio dictaverit. Hoc autem perfici non potest, nisi facta mundi dissectione atque anatomia diligentissima.“ Cf. auch op. cit., Teil I, Aphorismus 51, 114f.

⁵⁰ Zur Methodenlehre Galens cf. N. W. Gilbert, *Renaissance Concepts of Method*, New York/London 1963, 13-24, insbesondere 17. Galens Methode der Analysis wurde insbesondere von Petrus Ramus (und auch vielen anderen Autoren des 16. Jahrhunderts) rezipiert. Cf. op. cit., 137-142. Allerdings hält Ramus die Induktion für grundlegender als die Analyse. Cf. op. cit., 140f.: „Analysis is indeed superior of dignity; however, the arts are not found by this method but by induction from singular facts, as Plato, Aristotle, and Galen himself elsewhere maintain.“ Es ist davon auszugehen, daß Bacon Ramus' Schriften größtenteils studiert hat. Insbesondere dürfte der Umstand, daß Ramus' bedeutendste Schrift zur Logik den Titel *Dialecticae institutiones* (Paris 1543) trug, der Grund dafür sein, daß Bacon Logik und Dialektik fast ausnahmslos miteinander identifiziert.

⁵¹ Cf. F. Bacon, *Neues Organon*, hg. v. W. Krohn, lat.-dt., Darmstadt 1990, Einteilung, 52: „hujus ipsius veri mundi naturam introspicere et velut dissecare in animo habent“. Cf. auch op. cit., Teil II, Aphorismus 16, 350: „Itaque naturae facienda est prorsus solutio et separatio, non per ignem certe, sed per

Die durchzuführende Analyse entspricht in ihrem Charakter offenbar nicht der realen Teilung eines wirklichen Körpers in reale Bestandteile, sondern der ideellen Zerlegung einer natürlichen Eigenschaft oder eines Vorgangs in seine (wesentlichen) Bedingungen, von denen sein Zustandekommen abhängt. Auf der Grundlage der Übersicht der einzelnen Fälle, so wie sie in den drei beschriebenen Tafeln angeordnet wurden, sucht der Verstand nach einer Eigenschaft, die „mit einer gegebenen Eigenschaft immer zugleich da ist oder fehlt, mit ihr zu- oder abnimmt und die - [...] - ein besonderer Fall einer allgemeinen Eigenschaft ist.“⁵² Da der menschliche Intellekt nicht in der Lage sei, wie etwa der göttliche Intellekt, der die Formen geschaffen habe, solche in den Formen zum Ausdruck kommenden Abhängigkeitsverhältnisse unmittelbar positiv zu entdecken, könne er nur „über verneinende Fälle voranschreiten, um am Ende nach gänzlichem Ausschluß alles Abwegigen zu einer Bejahung zu gelangen.“⁵³ Das Ziel der Induktion besteht darin, zunächst vermittels der Tafeln eine Übersicht über mögliche Faktoren zu erhalten, die für das Vorliegen einer Eigenschaft konstitutiv sein könnten. Zu diesem Zweck ist die Untersuchung einer *endlichen* Anzahl von Fällen durchaus hinreichend, unter Umständen genügt sogar ein einziger. Denn auch an *einem* Fall läßt sich durch kontinuierliche Variation der Umstände erkennen, welche dieser Umstände die zu untersuchende Eigenschaft beeinflussen und welche nicht. Da es sich dabei um die Entdeckung von gesetzmäßigen Beziehungen handelt, die man nicht in der Natur unmittelbar vorfindet, sondern die der Intellekt aufgrund seiner Analyse unterscheidet, handelt es sich nur um *endlich* viele Möglichkeiten, aus denen diejenigen ausgesondert werden müssen, deren Variation die zu untersuchende Eigenschaft unverändert läßt. Dieses Ausschlußverfahren ist in endlich vielen Schritten möglich und erlaubt, mit Gewißheit *bestimmte* Faktoren auszuschließen. Es geht bei den Formen um die Erkenntnis von gesetzmäßigen Abhängigkeitsbeziehungen zwischen Eigenschaften. Darin unterscheidet sich der baconsche Begriff der Form wesentlich von dem aristotelischen Formbegriff. Dies wird aus folgender Stelle deutlich: „Wenn hier von Formen gesprochen wird, so sind darunter jene Gesetze und Bestimmungen des reinen Vorgangs zu verstehen, wodurch eine einfache Eigenschaft hervorgebracht und bewirkt wird, z. B. die Wärme, das Licht, das Schwere, wie sie in jeder dafür geeigneten Materie bestehen. Deshalb ist die Form des Warmen und die Form des Lichts genau dasselbe, wie das Gesetz des Warmen und das Gesetz des Lichtes.“⁵⁴

An dieser Stelle schließt sich der Kreis und es ist auf die Ausgangsfrage zurückzukommen, die nach einer Klärung der Funktion des Experiments im Rahmen der bacon-

mentem, tanquam ignem divinum.“

⁵² Op. cit., Teil II, Aphorismus 15, 349.

⁵³ Op. cit., Teil II, Aphorismus 15, 351.

⁵⁴ Op. cit., Teil II, Aphorismus 17, 353. Cf. op. cit., 352: „Nos enim quum de Formis loquimur, nil aliud intelligimus quam leges illas et determinationes actus puri, quae naturam aliquam simplicem ordinant et constituunt; ut calorem, lumen, pondus; in omnimoda materia et subjecto susceptibili. Itaque eadem res est Forma Calidi aut Forma Luminis, et Lex Calidi sive Lex Luminis“. Cf. dazu auch op. cit., Einleitung Krohn, XVIII f., sowie A. Pérez-Ramos, *Francis Bacon's Idea of Science and the Maker's*

schen Induktion verlangt hatte. Zunächst ist festzustellen, daß Experimente einen nicht unwesentlichen Teil der Naturgeschichte ausmachen, welche die empirische Grundlage für die Tafeln und das sich darauf gründende Ausschlußverfahren bildet.⁵⁵ Allerdings ist die Naturgeschichte für Bacon kein Selbstzweck. Eine Naturgeschichte, die nur um ihrer selbst willen betrieben wird, die nur die Dinge beobachtet und zusammenstellt, so wie sie im gewöhnlichen Lauf der Natur vorkommen, mag zwar die „natürliche Vielfalt der Arten“ umfassen, aber sie dient nicht der „Belehrung des Intellekts“ zum Zweck der Begründung einer Philosophie. Eine solche belehrende „Historia“ will das Verborgene der Natur kennenlernen. Das Mittel dazu ist ein aktives Eingreifen in den gewöhnlichen Lauf der Natur, „per vexationes artium“, wie Bacon es formuliert. Die Natur offenbart ihre inneren Zusammenhänge vor allem dann, wenn sie durch die (experimentelle) Kunst in eine Zwangslage versetzt wird. Bacon veranschaulicht den Sachverhalt durch eine Analogie. So zeigen sich die verborgenen Affekte eines Menschen deutlicher, wenn man ihn in Verwirrung bringt bzw. in Aufregung versetzt, d.h. aus seinem ungestörten Ablauf herausreißt („in perturbatione ponitur“).⁵⁶ Das Experiment hat also die Aufgabe, „das Verborgene der Natur“ zu offenbaren, indem es ihren gewöhnlichen Lauf unterbricht. Was ist mit diesem Verborgenen gemeint? Bacon unterscheidet zwei Arten von Experimenten, nämlich fruchtbringende und lichtbringende Experimente.⁵⁷ Die fruchtbringenden Experimente dienen der Herstellung von Werken (*opera*). Beispielsweise kann ein Handwerker mit verschiedenen Metallegierungen experimentieren, um einen besonders harten Gegenstand herzustellen. Er wird jedoch mit seinen Experimenten aufhören, wenn er sein Ziel erreicht hat, d.h. in diesem Fall, wenn er meint, einen ausreichenden Härtegrad erreicht zu haben. Die fruchtbringenden Experimente zielen demnach auf einen unmittelbaren Nutzen ab. Die lichtbringenden Experimente hingegen zielen darauf ab, die Ursachen und Axiome zu erforschen. Die Kenntnis der Ursachen und Axiome bringt zwar häufig keinen unmittelbaren Nutzen. Ihr mittelbarer Nutzen ist aber umso größer. Denn die Kenntnis der Ursache eines Vorgangs oder einer Erscheinung ist gleichbedeutend mit der Kenntnis der bestimmenden Faktoren und Umstände, von deren Auftreten die Existenz des betreffenden Vorgangs oder der betreffenden Erscheinung abhängt. Wenn man diese Faktoren und Umstände kennt, weiß man gleichzeitig, welche anderen Faktoren und Umstände für diese Existenz unerheblich und zufällig sind. Wenn man dies weiß, dann ist man in der Lage, von diesen zufälligen Umständen zu abstrahieren und kausale Zusammenhänge von größerer *Allgemeinheit* und damit eine Verknüpfung und einen Zusammenhang von vielen *möglichen* Einzelfällen zu erfassen. Aufgrund dessen kann der Ausgang eines einzelnen Experimentes, das in diesen Zusammenhang eingeordnet werden

Knowledge Tradition, Oxford 1988, Teil II, 127f.

⁵⁵ Cf. F. Bacon, *Neues Organon*, hg. v. W. Krohn, lat.-dt., Darmstadt 1990, Teil I, Aphorismen 98 und 99, 214-219.

⁵⁶ Op. cit., Teil I, Aphorismus 98, 216.

⁵⁷ Op. cit., Teil I, Aphorismus 99, 216f.

kann, eine *allgemeine* Bedeutung haben. Vermöge dieser allgemeinen Bedeutung eines einzelnen Experiments lassen sich dann viele weitere Einzelexperimente ableiten, die den praktischen Nutzen mehren können. Wenn ein Handwerker - um bei dem genannten Beispiel zu bleiben - die Ursache für die Härte seiner experimentell erforschten Metallegierung kennt, dann ist er in der Lage, sie zu reproduzieren, ohne daß er jedesmal alle besonderen Umstände und Faktoren gesondert untersuchen müßte.

Die Allgemeinheit, die die Kenntnis der Ursachen und Axiome mit sich bringt, kommt durch die Unterscheidung zwischen wesentlichen und unwesentlichen Faktoren und der sich daran anschließenden Abstraktion von unwesentlichen Faktoren zustande. Damit geht auch eine Abstraktion von den zufälligen Umständen der Beobachtung einher, die auf Unzulänglichkeiten der menschlichen Sinne beruht. Dies entspricht einer notwendigen Bedingung im Hinblick auf die Annäherung an das baconsche Ideal der Erkenntnis der Naturdinge „*ex analogia universi*“, bei dem die Zufälligkeiten des menschlichen Standpunktes immer weiter zurückgedrängt werden sollen. Bacon betont an mehreren Stellen, daß die menschlichen Sinne allein der „Subtilität“ der Naturerscheinungen nicht gerecht werden können. Wörtlich heißt es: „Aber auch dort, wo die Sinne ein Ding erfassen, sind ihre Wahrnehmungen nicht immer zuverlässig. Denn das Zeugnis und die Übermittlung der Sinne geschieht immer entsprechend dem Menschen nicht entsprechend dem Weltall; und es ist ein großer Irrtum zu behaupten, die Sinne seien das Maß der Dinge.“⁵⁸ Die Informationen der Sinne betrachtet Bacon als „Orakel“, das eines Dolmetschers bedarf. Diese Dolmetscherfunktion übernehmen die Experimente, die gewissermaßen zwischen die Natur und die menschliche Wahrnehmung treten. Die Sinne entscheiden nur über den Ausgang des Experiments, die Experimente aber über die Dinge selbst. „Deshalb lege ich auf die unmittelbare und eigentliche Wahrnehmung der Sinne nicht viel Gewicht, sondern ich halte die Sache so, daß der Sinn nur über das Experiment, das Experiment aber über die Sache das Urteil spricht.“⁵⁹ Damit trägt das Experiment, sofern es sich auf eine vorgegangene Analyse des Intellekts gründet, dazu bei, die Erkenntnis der Natur von den zufälligen Beschränkungen und Irrtumsanfälligkeiten der menschlichen Sinne soweit wie möglich freizuhalten und sich dem Ideal der Erkenntnis „*ex analogia universi*“ anzunähern.

Diese Funktion erfüllt das Experiment insbesondere dann, wenn erstens eine Naturgeschichte zu einem bestimmten Gegenstand oder einer bestimmten Eigenschaft vorliegt und auf dieser Grundlage zweitens in Gestalt der drei Tafeln eine vergleichende Übersicht der

⁵⁸ Op. cit., Einteilung, 47. Cf. op. cit., Teil I, Aphorismus 50, 112f.

⁵⁹ Op. cit., Einteilung, 49. Cf. op. cit., 48: „Itaque perceptioni sensus immediatae ac propriae non multum tribuimus; sed eo rem deducimus, ut sensus tantum de experimento, experimentum de re judicet.“ Cf. op. cit., Aphorismus 50, 113: „Denn die Sinne für sich allein sind ein gar schwaches und irtumgebundenes Ding. Auch vermögen Werkzeuge zur Erweiterung und Schärfung der Sinne nicht viel; sondern alle richtigere Interpretation der Natur kommt durch Einzelfälle und geeignete durchführbare Experimente zustande; wo der Sinn nur über das Experiment, das Experiment über die Natur und die Sache selbst entscheidet.“

relevanten Fälle aufgestellt wurde. Anschließend geht es darum, aufgrund einer Reihe von möglichen bedingenden Faktoren, die sich aus diesen Tafeln ergeben, gewisse mögliche Ursachen bzw. Axiome auszuschließen, um aufgrund dieses Ausschlusses zu einer positiven Bestimmung kommen zu können. Bacon sagt an einer Stelle deutlich, daß in bezug auf die Sicherheit und Gewißheit die „Kraft des verneinenden Falls“ stärker sei als die des bejahenden Falls, obgleich der Intellekt eher dazu neige, sich von den positiven Fällen leiten zu lassen.⁶⁰ Ein illustratives Beispiel für ein solches Ausschlußverfahren findet man unter den ‘Instantiae Crucis’, welche an vierzehnter Stelle der insgesamt 27 von Bacon aufgeführten ‘Praerogativen Instanzen’ am Ende des zweiten Teils des *Novum Organum* aufgelistet wurden. Dabei geht es um eine Bestimmung der Eigenschaft der Schwere oder des Gewichts. Bacon unterscheidet zwei mögliche Ursachen, aufgrund deren alle schweren Körper zum Mittelpunkt der Erde streben. Entweder sie streben dorthin aufgrund ihrer Natur bzw. ihrer inneren Gestaltung (per proprium schematismum) oder aber sie werden von der körperliche Masse der Erde angezogen, so wie Körper von gleicher Natur zueinander streben.⁶¹ Von diesen beiden Möglichkeiten soll eine vermittels eines Experiments ausgeschlossen werden. Nennen wir die erste Möglichkeit M(1) und die zweite M(2). Bacon geht nun folgendermaßen vor: Er zieht eine Folgerung aus M(2), die als notwendige Bedingung von M(2) zu verstehen ist. Wenn M(2) zutrifft, dann müßte die Anziehung des Körpers direkt proportional zum Abstand vom Erdmittelpunkt sein. Je näher der Körper dem Erdmittelpunkt ist, um so stärker muß er angezogen werden, je weiter er vom Erdmittelpunkt entfernt ist, umso schwächer wird er angezogen. Diese Konsequenz läßt sich nun folgendermaßen überprüfen. Man nehme zwei Uhren, von denen eine durch Bleigewichte, die andere durch Federn angetrieben wird. Beide Uhren müssen völlig synchron und gleichmäßig laufen. Nun bringe man die Uhr, die durch Gewichte angetrieben wird, auf einen hohen Turm und behalte die andere Uhr unten am Fuße des Turms. Anschließend bringe man die durch Bleigewichte angetriebene Uhr in einen tiefen Schacht und behalte die andere Uhr wiederum an der Erdoberfläche. Falls nun die Bleiuhr langsamer läuft als die Federuhr, wenn man sie auf einen Turm bringt und schneller, wenn man sie in einen Schacht bringt, dann spricht das gegen die erste Möglichkeit M(1), wonach die körperliche Masse der Erde keinen Einfluß auf die Schwere eines Körpers haben könne, da sie ausschließlich auf der inneren Natur des angezogenen Körpers beruhe. In diesem Fall, wo nur zwei Möglichkeiten infrage stehen, bedeutet der Ausschluß der einen Möglichkeit automatisch das positive Setzen der andern Möglichkeit, d.h. es gilt $[(M(1) \vee M(2)) \wedge \neg M(1)] \rightarrow M(2)$, also der klassische ‘modus tollendo ponens’. Gleichzeitig gilt: $[(M(1) \rightarrow \neg K) \wedge K] \rightarrow \neg M(1)$, mithin der ‘modus

⁶⁰ Op. cit., Teil I, Aphorismus 46, 108f.

⁶¹ Op. cit., Teil II, Aphorismus 36, 448-451. Der erste Fall entspricht in etwa der Erklärung des Aristoteles. Als Beispiel für den zweiten Fall nennt Bacon die Anziehung durch einen Magneten, wie sie von William Gilbert konzipiert worden war. Cf. zu diesem Beispiel auch A. Pérez-Ramos, *Francis Bacon's*

tollendo tollens'. Dieses Beispiel sollte nur exemplarisch vor Augen führen, in welcher Form deduktive Elemente bei Bacon integraler Bestandteil der induktiven Methode sind. Auf die Anwendung dieser Deduktionen gründet sich zu einem Teil die Sicherheit, die Bacon der Induktion zuschreibt.

Aber man ist nicht immer in der glücklichen Lage, eine komplexe Situation auf zwei Möglichkeiten reduzieren zu können. Gewiß funktioniert das Ausschlußverfahren auch bei mehreren Möglichkeiten, solange es nur endlich viele sind. Aber wie kann man sicher sein, alle Erklärungsmöglichkeiten erschöpft zu haben? Was ist zu tun, wenn man sich nicht sicher ist? So gibt Bacon zu, daß das hier vorgeführte Ausschlußverfahren für die Induktion zwar fundamental und notwendig, aber keineswegs hinreichend sei: „Grundlegend für echte Induktion sind diese Ausschließungen, aber sie wird erst in einer Bejahung vollendet.“⁶² Um zu einer solchen Bejahung zu kommen, bedarf es weiterer Anstrengungen des Verstandes und weiterer Hilfsmittel.

c. Die Stufenleiter der Axiome

Was ist das Ziel der Induktion im positiven Sinne? Bacon macht dazu unterschiedliche Angaben. Anlässlich der ausführlichen Behandlung des Beispiels der Eigenschaft der Wärme gibt er an, daß das Ziel der Induktion dann erreicht sei, wenn man die Form der Wärme kenne, die er an dieser Stelle mit der vollständigen Definition der Wärme gleichsetzt.⁶³ Über die häufige Gleichsetzung von Form und Gesetz bei Bacon ist bereits hingewiesen worden. An anderer Stelle ist davon die Rede, daß vermittels der Induktion die Axiome festgestellt werden müssen.⁶⁴ Was versteht Bacon unter „Axiom“ und in welchem Verhältnis stehen Axiome zu den Formen? Zu dem von der Antike tradierten Wissenschaftsbegriff gehört, daß jede Wissenschaft eines Fundaments in Gestalt von festgelegten allgemeinen Prinzipien, Sätzen, Begriffen oder Definitionen bedarf, um einen unendlichen Begründungsregreß zu vermeiden. Dieses aristotelische Wissenschaftsmodell wurde mit dem Paradigma der Mathematik in Verbindung gebracht, wie es in Euklids *Elementen* vorlag. Auch die *Elemente* sind auf dem Fundament allgemeiner Begriffe, Postulate und Definitionen errichtet. Insbesondere für die Grundlagen der Mathematik galt, daß sie sichere und unveränderliche Voraussetzungen im Hinblick auf die zu begründende Wissenschaft darstellten, aus denen ihre Sätze deduziert werden konnten. Der Tradition dieses mathematisch-deduktiven Wissenschaftsmodells gehört Bacons Axiomenbegriff jedoch nicht an. Vielmehr stützt sich Bacon auf die durch die Stoa vermittelte Bedeutung des Axiomenbegriffs bei Petrus Ramus. Hier hatte „Axiom“ nicht die strikte Bedeutung letzter, unveränderlicher Voraussetzungen, sondern von explizit formulierten

Idea of Science and the Maker's Knowledge Tradition, Oxford 1988, Teil IV, 249-251.

⁶² Op. cit., Teil II, Aphorismus 19, 359. Cfl. op. cit., 358: „Atque in Exclusiva jacta sunt fundamenta Inductionis verae; quae tamen non perficitur donec sistatur in Affirmativa.“

⁶³ Cf. op. cit., Teil II, Aphorismus 20, 372f.

Zwischenstufen, die bei der Erforschung eines Gegenstands durchlaufen werden. Cicero etwa spricht von „pronuntiatum“ als Synonym für „axioma“⁶⁵, ein Begriff, dessen sich auch Bacon gelegentlich bedient. Man kann daher davon ausgehen, diese Bedeutung auch bei Bacon wiederzufinden, sofern er von Axiomen unterschiedlicher Stufen ausgeht.⁶⁶ Seine Kritik an den Dialektikern entzündete sich ja daran, daß diese von den Sinnesdingen unmittelbar zu den höchsten Prinzipien „flögen“, ohne sich die Mühe zu machen, auf die Zwischenstufen der „mittleren Axiome“ zu achten. Diese mittleren Axiome würden vielmehr a priori aus den allgemeinsten Prinzipien abgeleitet und die Erfahrungsbefunde würden ihnen dann erst nachträglich gewaltsam angepaßt. Diese Fehlentwicklung kann nach Bacons Auffassung nur dann vermieden werden, wenn man die Prinzipien einer Wissenschaft nicht unmittelbar aus vereinzelt und unzureichend geprüften Erfahrungsbefunden ableitet, sondern den mühsamen Weg der Induktion verfolgt, der ein graduelles Fortschreiten von einem Axiom zum nächsten beinhaltet, wobei man sich sukzessive vom Einzelnen und Partikulären zum Allgemeinen bewegt.

Die Axiome sind die *relativen* Haltepunkte des bisherigen Forschungsganges sowie die Ausgangspunkte für die weitere Untersuchung, der sie die Richtung vorgeben. Erst am Ende dieses Prozesses stehen die ersten und allgemeinsten Axiome, die Bacon auch als *Prinzipien* bezeichnet. Die Prinzipien stehen auf dieser Stufenleiter ganz oben und machen die (unveränderlichen) Grundlagen einer Wissenschaft aus.⁶⁷ Das, was Bacon als „Prinzip“ bezeichnet, kommt offenbar dem Verständnis von „Axiom“ im Sinne der mathematisch-deduktiven Wissenschaften sehr nahe. Allerdings stehen die Prinzipien bei Bacon nicht am Anfang, sondern am Ende des Forschungsprozesses. Daher kann man davon ausgehen, daß sie den Formen gleichzusetzen sind, oder zumindest zu deren wesentlichen Bestimmungen oder notwendigen Voraussetzungen gehören.⁶⁸ Bei der Bestimmung des Verhältnisses von Form und Axiom ist noch zu beachten, daß die Untersuchung der „ewigen und unveränderlichen“ Formen bzw. Gesetze für sich genommen nicht der Physik, sondern der Metaphysik angehört. Die Physik hat es primär mit der Kenntnis der Material- und Wirkursachen der Dinge zu tun. Allerdings ist die Kenntnis der Material- und Wirkursachen die Voraussetzung für die Erkenntnis der unveränderlichen Formen. In diesem Sinne könnte man sagen, daß die Metaphysik bei Bacon gewis-

⁶⁴ Cf. op. cit., Teil I, Aphorismus 105, 222-225.

⁶⁵ Cf. A. Pérez-Ramos, *Francis Bacon's Idea of Science and the Maker's Knowledge Tradition*, Oxford 1988, Teil IV, 254: „Bacon took the term 'axiom' from the Stoics, probably via Cicero and Ramus, and in his usage it designates any statement describing the successive steps through which research proceeds.“

⁶⁶ Bacon spricht häufig von „axiomata media“. Cf. F. Bacon, *Neues Organon*, hgg. v. W. Krohn, lat.-dt., Darmstadt 1990, Teil I, Aphorismus 13, 84; Aphorismus 19, 88; Aphorismus 105, 224.

⁶⁷ Cf. etwa op. cit., Teil I, Aphorismus 82, 176: hier ist von der Entdeckung „principiorum sive axiomatum primorum“ die Rede. Cf. ebenso op. cit., Teil I, Aphorismus 104, 222: an dieser Stelle werden die „axiomata generalissima“ mit den Prinzipien gleichgesetzt („qualia sunt principia“). Cf. auch Teil I, Aphorismus 125, 260: hier heißt es, die „principia scientiarum“ seien als „conclusiones maxime generales“ zu betrachten.

⁶⁸ Pérez-Ramos identifiziert die 'axiomata generalissima' mit den Formen. Cf. A. Pérez-Ramos, *Francis Bacon's Idea of Science and the Maker's Knowledge Tradition*, Oxford 1988, Teil IV, 255.

sermaßen den Zielpunkt der Physik bildet.⁶⁹ Die Bestimmung einer Form läßt sich nicht auf Antrieb bewerkstelligen, sondern muß erst allmählich und stufenweise entwickelt werden. So ist davon auszugehen, daß die Naturgeschichte und die daraus entwickelten Übersichtstafeln, auf denen die Ableitung der Form beruht, zu einem bestimmten Zeitpunkt des Forschungsstandes der Wissenschaft weder vollständig noch fehlerfrei ist. Dann ist es geboten, aufgrund aller verfügbaren Informationen in einer „ersten Lese“ (vindemiatio prima) eine *vorläufige* Bestimmung der Form zu geben.⁷⁰ Diese vorläufige Bestimmung könnte man auch als Axiom betrachten, sofern es den Haltepunkt bisheriger Forschung und den Ausgangspunkt weiterer Forschung markiert.

Für ein adäquates Verständnis des baconschen Axiomenbegriffs ist auch noch folgendes zu beachten. Der Zweck der Wissenschaften besteht für Bacon in erster Linie in der Schaffung von Werken (opera), die geeignet sind, die Lebensbedingungen der Menschen zu verbessern. Es wäre allerdings ein Fehlschluß zu meinen, daß er glaubte, sich allein auf den Nützlichkeitsgesichtspunkt zurückziehen zu können. Vielmehr hat Bacon klar gesehen, daß eine notwendige Bedingung zur Schaffung der nützlichen Opera in der theoretischen Erkenntnis der Formen und höchsten Prinzipien der Wissenschaften zu suchen ist. Jeder praktische Nutzen einer Sache wurzelt nach Bacon in der theoretischen Erkenntnis ihrer Ursachen, verborgenen Strukturen und Wirkungsweisen. Wer Macht über die Natur gewinnen will, muß zunächst ihrem Lauf folgen und ihre Gesetze ermitteln. Dies ist der Sinn des vielzitierten Satzes „Natura enim non nisi parendo vincitur“. Er verlangt allerdings auch ein aktives Eingreifen in den Naturprozeß. Jedes Axiom, das auf einer bestimmten Stufe aus Erfahrungsbefunden entwickelt wird, ist im Rahmen der baconschen Theorie janusköpfig. Es stellt zum einen das Resultat einer vorläufigen theoretischen Durchdringung einer Eigenschaft - oder „natura“, wie Bacon sich auszudrücken pflegt - dar, die Angaben darüber enthält, welche Bedingungen und Faktoren für das Zustandekommen dieser Eigenschaft konstitutiv sind. Gleichzeitig enthält dieses Axiom gewisse Handlungsanweisungen, welche die praktische Erzeugung oder Transformation dieser Eigenschaft an einem Körper oder einer bestimmten Materie betreffen. Somit begünstigt die theoretische Erkenntnis der Ursachen die praktische Tätigkeit der Schaffung von Werken. Darüber hinaus steckt in jedem Axiom damit ein praktisches Kriterium seiner Überprüfung. Wenn die aus dem Axiom abgeleitete praktische Tätigkeit erfolgreich war, wertet Bacon dies auch als Hinweis auf die Wahrheit des Axioms: „Beide Anweisungen, die aktive und die kontemplative, sind ein und dasselbe; was im Tätigsein das Nützlichste ist, ist im Wissen das Wahre.“⁷¹ Jedes Axiom ist demnach sowohl als theore-

⁶⁹ Eine ausführliche Einteilung der Wissenschaften bei Bacon findet man in der Schrift *De Dignitate et augmentis Scientiarum* von 1623, die eine Überarbeitung der früheren Arbeit *Proficiency and Advancement of Learning* von 1605 darstellt. Die hier genannte Bestimmung des Verhältnisses von Metaphysik und Physik findet sich ebenfalls in op. cit., Teil II, Aphorismus 9, 298f.

⁷⁰ Bacon illustriert dies am Beispiel der Wärme, wo er in einer „ersten Lese“ die Form der Wärme bestimmt. Cf. op. cit., Teil II, Aphorismus 20, 372-375.

⁷¹ Op. cit., Teil II, Aphorismus 4, 287 (Übersetzung modifiziert). Cf. op. cit., 286: „Ista autem duo pro-

tischer als auch als praktischer Grundsatz zu betrachten. Bemerkenswert sind auch die Termini, mit denen Bacon diesen Aspekt eines Axioms als Handlungsanweisung oder Leitfaden zur Erzeugung einer „natura“ kennzeichnet. Neben dem Terminus „praeceptum“ benutzt Bacon auch die Termini „directio“ oder „deductio“.⁷² Dies ist deshalb bemerkenswert, weil er an anderer Stelle davon spricht, daß aus den Axiomen neue Experimente „deduziert“ werden könnten.⁷³

Damit wird eine weitere wichtige Facette von Bacons Induktionsmethode sichtbar. Die Induktion führt nicht nur in eine Richtung, nämlich vom Einzelnen oder Besonderen zum Allgemeinen, sondern zugleich auch umgekehrt von den allgemeinen Axiomen zurück zum Besonderen. Dies belegen einige markante Äußerungen Bacons, die hier angeführt werden sollen. Nachdem er auf den Nutzen der vergleichenden Übersichtstafeln von Beobachtungen und Experimenten hingewiesen hat, mit deren Hilfe man viel Nützliches entdecken könne, fährt er fort: „Größeres jedoch [ist] von dem neuen Licht der Axiome [zu erhoffen], die aus jenem Einzelnen auf sicherem Weg und regelgerecht abgeleitet sind, [und] welche wiederum auf neues Einzelnes hinführen und es bestimmen. Denn der Weg liegt nicht in einer Ebene, sondern [ist] durch Aufsteigen und Absteigen [bestimmt]; zuerst durch Aufsteigen zu den Axiomen, [dann] durch Absteigen zu den Werken.“⁷⁴ An anderer Stelle heißt es: „Jedoch unser Weg und unsere Methode (...) ist diese; daß wir nicht Werke aus Werken oder Experimente aus Experimenten (wie die Empiriker), sondern aus Werken und Experimenten Ursachen und Axiome und noch dazu aus Ursachen und Axiomen wiederum neue Werke und Experimente (wie rechte Interpreten der Natur) herausziehen.“⁷⁵ Als letztes Zeugnis mag die folgende Äußerung Bacons dienen: „Und zwar umfassen die Beweise gemäß der Interpretation der Natur im allgemeinen zwei Teile; den ersten hinsichtlich des Herausziehens oder Errichtens der Axiome aus der Erfahrung; den zweiten hinsichtlich des Hinführens oder Ableitens neuer Experimente aus den Axiomen.“⁷⁶ Bacon benutzt hier ausdrücklich den Terminus „deducere“, um die Art der Ableitung von neuen Experimenten aus den Axiomen zu charakterisieren. Es ist offensichtlich, daß sich diese Art der Ableitung von einer logischen Deduktion in Gestalt eines Syllogismus wesentlich unterscheidet.

nuntiata, activum et contemplativum, res eadem sunt; et quod in Operando utilissimum, id in Sciendo verissimum.“

⁷² Op. cit., Teil II, Aphorismus 4, 282.

⁷³ Cf. op. cit., Teil II, Aphorismus 10, 300.

⁷⁴ Cf. op. cit., Teil I, Aphorismus 103, 221 (Übersetzung modifiziert). Cf. op. cit., 220: „majora vero a nova luce Axiomatum ex particularibus illis certa via et regula eductorum, quae rursus nova particularia indicent et designent. Neque enim in plano via sita est, sed ascendendo et descendendo; ascendendo primo ad Axiomata, descendendo ad Opera.“ Bei Bacon sind häufig „particularia“ und „opera“ gleichbedeutend.

⁷⁵ Op. cit., Teil I, Aphorismus 117, 243 (Übersetzung modifiziert). Cf. op. cit., 242: „Verum via nostra et ratio (...) ea est; ut non opera ex operibus sive experimenta ex experimentis (ut empirici), sed ex operibus et experimentis causas et axiomata, atque ex causis et axiomatibus rursus nova opera et experimenta (ut legitimi Naturae Interpretes), extrahamus.“

⁷⁶ Op. cit., Teil II, Aphorismus 10, 301 (Übersetzung modifiziert). Cf. op. cit., 300: „Atque indicia de Interpretatione Naturae complectuntur partes in genere duas; primam de educendis aut excitandis

Diese doppelte Bewegung vom Besonderen zum Allgemeinen und vom Allgemeinen zum Besonderen beinhaltet zwei Aspekte. Erstens wird dadurch vermieden, daß es sich bei den Axiomen um inhaltsleere Aussagen handelt, die keinen Bezug zu den Phänomenen mehr aufweisen und lediglich den Ausgangspunkt abstrakter Disputationen bilden. Die ständige Rückbindung an empirische Gegebenheiten sorgt dafür, daß der Aufstieg zu allgemeineren Axiomen nicht um den Preis der vollständigen Ablösung von den zu untersuchenden Naturgegenständen erfolgt. Des weiteren ist damit auch eine *kritische Überprüfung* der Axiome verknüpft. Denn wenn es sich zeigt, daß neue Werke und Experimente aus ihnen ableitbar sind, wird damit sowohl ihre Tauglichkeit im Sinne einer Vorschrift zur Produktion neuer Werke als auch ihre Wahrheit im Sinne eines Fundaments der Wissenschaft erwiesen.⁷⁷ Im umgekehrten Fall, d.h. wenn sie sich in der ersten Hinsicht als unfruchtbar erweisen sollten, wird auch ihre Wahrheit zweifelhaft sein. In dieser Rückwärtsbewegung steckt daher ebenso das Potential der Falsifizierung bereits unterstellter Axiome. Diese Form der Falsifikation ist somit ein integraler Bestandteil einer rechtmäßigen Interpretation der Natur mithilfe der induktiven Methode. Darüber hinaus ist noch ein weiterer Aspekt im Auge zu behalten. Der Geltungsbereich eines ermittelten Axioms kann durchaus größer sein als die Menge der Einzelfälle, aus denen es abgeleitet wurde. Deshalb muß nach Bacon stets geprüft werden, ob ein Axiom für mehr Fälle Gültigkeit besitzt als die, aus denen es abgeleitet wurde. Sollte das zutreffen, dann ermöglicht das Axiom Voraussagen auf noch unbekannte Fälle und bereitet damit den Boden für neue Entdeckungen. Dieser Aspekt der induktiven Methode weist sie als eine „ars inveniendi“ aus, bei der es darauf ankommt, den Anwendungsbereich eines Axioms stetig auszudehnen.⁷⁸ Eine besondere Bedeutung kommt dabei den Einzelfällen zu, die mit den Fällen, aus denen das Axiom abgeleitet wurde, nur geringe oder gar keine Ähnlichkeit aufweisen. Sollte sich zeigen, daß auch empirische Gegebenheiten unter das Axiom fallen, die mit denen, auf deren Grundlage es aufgestellt wurde, auf den ersten Blick keine oder nur eine geringe Ähnlichkeit aufweisen, dann ist ein wesentlicher Fortschritt im Hinblick auf die *Einheit der Natur* erreicht. Dies gilt insbesondere dann, wenn die höchste Stufe von Axiomen, d. h. die Prinzipien oder Formen betroffen sind: „Wer aber die Formen kennt, der begreift die Einheit der Natur in den unähnlichsten Dingen.“⁷⁹

Bei der Deduktion neuer Einzelfälle, neuer Werke oder neuer Experimente aus einem gefundenen Axiom kann sich gleichwohl herausstellen, daß sich der Anwendungsbereich

axiomatibus ab experientia; secundam de deducendis aut derivandis experimentis novis ab axiomatibus.“

⁷⁷ Cf. op. cit., Teil II, Aphorismus 4, 286. Dort heißt es wörtlich: „quod in Operando utilissimum, id in Sciendo verissimum.“

⁷⁸ Cf. op. cit., Teil I, Aphorismus 106, 225: „Bei der Aufstellung von Axiomen mittels der Induktion muß auch geprüft und erprobt werden, ob das so ermittelte Axiom nur dem Maß der Einzelfälle, aus denen es abgeleitet worden ist, entspricht, oder ob sein Umfang weiter und größer ist. Ist letzteres der Fall, so ist zu prüfen, ob es diese Weite und diesen Umfang durch Angabe von neuen Einzelfällen gleich Bürgen bestätigen kann“. (Übersetzung leicht modifiziert).

⁷⁹ Op. cit., Teil II, Aphorismus 3, 283. Cf. op. cit., 282: „At qui Formas novit, is naturae unitatem in materiis dissimilimis complectitur.“

erweitert und zugleich Fälle auftreten, die sich mit diesem Axiom nicht mehr ohne weiteres in Einklang bringen lassen. Dann muß das Axiom modifiziert werden. Die Erweiterung hinsichtlich der Extension geht mit einer intensionalen Vertiefung einher. Damit wird aus dem alten Axiom und den aus ihm deduzierten neuartigen Fälle ein neues Axiom abgeleitet, welches in der Lage ist, die Einheit des erweiterten Anwendungsbereichs zu sichern. Auch hier ist zu beachten, daß diese Art der Ableitung - Bacon spricht meistens von „educere“ - sich nicht auf ein syllogistisches Schema reduzieren läßt. Dieses Vorgehen läßt sich auf schematische Weise etwa folgendermaßen illustrieren. Zunächst wird auf der Grundlage einer Naturgeschichte und den Tafeln der Bejahung, der Verneinung und der Vergleichung eine Reihe von empirischen Evidenzen a, b, c, ... bezüglich einer zu untersuchenden Eigenschaft oder „natura“ aussortiert, die zu einem ersten allgemeinen Axiom A führen. Dieses Axiom entspricht einer ersten vorläufigen Bestimmung der Form, wie sie am Beispiel der Eigenschaft der Wärme in Gestalt der „ersten Lese“ (vindemiatio prima) von Bacon vorgenommen wurde. Wärme wurde als ein Grenzfall (limitatio) der Eigenschaft der Bewegung definiert, wobei die Art der Bewegung sukzessive immer weiter spezifiziert wurde.⁸⁰ Diesem theoretischen Axiom korrespondiert zugleich eine Anweisung (directio, deductio), wie man die betreffende Eigenschaft, also Wärme, erzeugen kann. Damit gelingt es, vermittels des Axioms A neue Einzelfälle α , β , γ , ... abzuleiten, die möglicherweise neue Zusammenhänge oder Eigenschaften offenbaren, die eine Modifikation dieses Axioms erforderlich machen. Damit kommt man zu einem neuen, allgemeineren Axiom B, das sowohl aus dem Axiom A, und damit mittelbar auch aus den Fällen a, b, c, ..., als auch aus den Fällen α , β , γ , ... abgeleitet ist. Sofern es allgemeiner ist, kommt es der wahren Form näher als das ursprüngliche Axiom A. Gleichwohl kann auch dieses neue Axiom Anlaß sein, neue Einzelfälle abzuleiten und neue Eigenschaften zu entdecken, die den Anwendungsbereich von B erweitern und den Übergang zu einem noch höheren Axiom C erzwingen etc. Das Verfahren besteht somit in einer oszillierenden Bewegung zwischen empirischen Einzelfällen und allgemeinen Axiomen, die sukzessive zu immer allgemeineren Axiomen führt und sich der Bestimmung der Form, die das Ziel der Induktion bildet, immer weiter annähert.⁸¹

Diese Übergänge von einem Axiom zum nächst höheren schließen stets innovative Schritte ein, die es erlauben, die Methode der Induktion als eine „ars inveniendi“ zu charakterisieren. Solche innovativen Schritte werden allerdings, wie gesehen, mit einer Reihe deduktiver Ausschlußverfahren kombiniert. Vermittels dieser deduktiven Momente und der ständigen Rückbindung an die Empirie wird die Sicherheit der jeweils erreichten Stufe der Axiome gewährleistet und ein Abgleiten in müßige Spekulationen und Disputationen

⁸⁰ Cf. op. cit., Teil II, Aphorismus 20, 372-375.

⁸¹ Cf. dazu auch A. Pérez-Ramos, *Francis Bacon's Idea of Science and the Maker's Knowledge Tradition*, Oxford 1988, Teil IV, 254-264.

über Worte verhindert. Gleichwohl ist zu beachten, daß es sich dabei nicht um ein rein logisches Verfahren handelt, das man nur im Sinne einer Rezeptur mechanisch anwenden könnte, um in dieser Stufenleiter voranzukommen. Die Fertigkeit und Fähigkeit des einzelnen Forschers im Hinblick auf den direkten Umgang mit den Naturgegenständen ist weiterhin unverzichtbar. Bacon ist jedoch bestrebt, diese Fähigkeiten soweit es geht durch Hilfsmittel zu unterstützen. Dazu gehören insbesondere die sogenannten „praerogativen Instanzen“, die abschließend noch kurz diskutiert werden sollen.

d. Die praerogativen Instanzen

Die Aufzählung und Erörterung von 27 praerogativen Instanzen macht etwa zwei Drittel des zweiten Buches des *Novum Organum* aus und stellt eine zu dieser Zeit einzigartige Sammlung von möglichen Arten der Beziehungen und Existenzweisen von Eigenschaften dar, die Entscheidungshilfen bei der Beurteilung von empirischen Sachverhalten im Hinblick auf die Findung neuer Axiome bieten sollen. Dabei unterscheidet Bacon drei Gruppen von Instanzen. Die erste und größte Gruppe umfaßt fünfzehn Instanzen allgemeinerer Art, die den Verstand im allgemeinen stützen sollen. Da Axiome als Vorstufen der Formen zu betrachten sind und die Formen gesetzmäßige Verbindungen zwischen den „Naturen“ feststellen, die Rückschlüsse auf deren Ursachen erlauben, versucht Bacon, möglichst viele Varianten von Fällen zu klassifizieren, in denen stattfindende oder fehlende Abhängigkeitsbeziehungen zwischen Eigenschaften zum Ausdruck kommen. In welcher Weise können Eigenschaften im Verhältnis zu anderen Eigenschaften auftreten? Sie können beispielsweise stets im Verbund mit denselben Eigenschaften oder immer zusammen mit anderen wechselnden Eigenschaften auftreten. Der Verbund kann aus ähnlichen oder aus heterogenen Eigenschaften bestehen. Zu untersuchende Eigenschaften können als Grenzfälle anderer Eigenschaften auftreten oder nur in abgeschwächter Intensität vorhanden sein, weil ihre Intensität durch die Existenz anderer Eigenschaften gehemmt wird. Sie können als „Wunder“ erscheinen, sofern sie bemerkenswerte Unregelmäßigkeiten oder Abweichungen vom Gewohnten aufweisen. Die ersten fünfzehn praerogativen Instanzen beschreiben eine Vielzahl solcher Möglichkeiten und geben Hinweise darauf, wie in dem jeweils vorliegenden Fall zu verfahren ist, wenn man nach Formen und ursächlichen Beziehungen zwischen den „Naturen“ sucht.

Dann folgt eine kleinere Gruppe von fünf Instanzen, die zur Unterstützung der Sinne gedacht sind. Bacons Begründung für die Wichtigkeit dieser Instanzen verweist nochmals auf den Aufstieg zu Axiomen: „Denn da jede Interpretation der Natur mit der Wahrnehmung beginnt, und sodann von den Vorstellungen der Sinne auf dem richtigen, beständigen und befestigten Wege zu den Vorstellungen des Geistes führt, welches wahre Begriffe und Axiome sind, ist es notwendig [so], daß je umfangreicher und genauer die Vorstellungen oder Darreichungen der Sinne selbst sein werden, desto leichter und glückli-

cher alles vonstatten geht.“⁸² Diese Instanzen enthalten eine Reihe von Techniken, um die Wahrnehmung auf direkte oder indirekte Weise zu verbessern, wie z. B. durch die Anwendung von Mikroskopen und Fernrohren oder durch die Zurückführung von Unsichtbarem auf Sichtbares. Dabei treten interessante Annahmen und Vorschläge zutage. Beispielsweise schlägt Bacon vor, nur schwach zu beobachtende Wirkungen durch Summation zu verstärken, Analogiebetrachtungen anzuwenden oder die kontinuierliche Veränderung einer Eigenschaft zu beobachten.

Den Abschluß bilden sieben Instanzen, die für den operativen oder tätigen Teil der Wissenschaft von Bedeutung sind. Diese sind in zwei Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe bezeichnet Bacon als „mathematische Instanzen“ (*Instantias Mathematicas*) oder „Instanzen des Maßes“ (*Instantias Mensurae*), die zweite als „günstige Instanzen“ (*Instantias Propitias*) oder „wohlwollende Instanzen“ (*Instantias Benevolas*).⁸³ Letztere erörtern verschiedene Möglichkeiten des Menschen, auf Naturkörper einzuwirken. Sie stehen offenbar in engem Zusammenhang zu dem eingangs an siebter Stelle genannten Hilfsmittel zur Induktion (die *praerogativen* Instanzen werden an erster Stelle genannt), der sogenannten „Deduktion zur Praxis“ (*Deductiones ad Praxim*), die von Bacon auch mit „Arten des Experimentierens“ (*Experimentandi Modos*) in Verbindung gebracht wird. Leider hat Bacon diesen Teil nicht näher ausgeführt, so daß man nicht wissen kann, an welche Experimentiertechniken er dabei gedacht hat. Allerdings geben die zuvor genannte erste und zweite Gruppe der *praerogativen* Instanzen durchaus Hinweise auf bestimmte Fragestellungen, die sich experimentell entscheiden lassen. Bedeutsam innerhalb der dritten Gruppe sind jedoch die mathematischen Instanzen. Ihr Vorkommen ist deshalb bemerkenswert, weil sie Ansätze zu einer mathematischen Erforschung der Naturdinge enthalten und somit zu einer Betrachtungsweise der Natur, die Bacon häufig abgesprochen wird. Er führt vier Instanzen an, die jeweils vier verschiedenen Hinsichten der Messung und Quantifizierung der Naturdinge entsprechen.

Im ersten Fall dieser Gruppe, der dem 21. Fall der *praerogativen* Instanzen insgesamt entspricht, geht es um räumliche Maße von Kräften (*virtutes*) oder Bewegungen. Dabei werden sowohl Kräfte in Betracht gezogen, die durch unmittelbare Berührung wirken, als auch solche, die auf eine Entfernung hin wirken. Als Beispiele für die letztere Art von Kräften nennt er Bernstein, das Spreu anziehe, Blasen auf dem Wasser, die einander anziehen, und die magnetische Anziehung. Weiterhin hält er auch die Existenz einer magnetischen Kraft für möglich, die eine Anziehung zwischen der Erde und schweren Körpern, zwischen dem Mond und dem Meer oder dem Sternenhimmel und den Planeten be-

⁸² F. Bacon, *Neues Organon*, hg. v. W. Krohn, lat.-dt., Darmstadt 1990, Teil II, Aphorismus 38, 469 (Übersetzung modifiziert). Cf. op. cit., 468: „Cum enim omnis Interpretatio Naturae incipiat a sensu, atque a sensuum perceptionibus recta, constanti, et munita via ducat ad perceptiones intellectus, quae sunt notiones verae et axiomata, necesse est ut quanto magis copiosae et exactae fuerint repraesentationes sive praebitiones ipsius sensus, tanto omnia cedant facilius et foelicius.“

⁸³ Op. cit., Teil II, Aphorismus 44, 502f.

wirkt.⁸⁴ Derartige Anziehungen sind jedoch stets in gewisse räumliche Grenzen eingeschlossen, die berechnet werden müssen. Als Faktoren, von denen die Berechnung abhängig sein könnte, werden aufgezählt: die Masse oder Quantität der wirkenden Körper (*molis seu quanti corporum*), die Stärke der Kraft und die hemmende oder fördernde Wirkung der Medien, „die alle in die Berechnung eingehen und beachtet werden müssen“⁸⁵. Entsprechende Überlegungen entwickelt Bacon im 22. Fall bezüglich der Zeit. Bedeutsam ist hier seine Unterscheidung zwischen wahrer und wahrgenommener Zeit (er spricht von „*tempus verum*“ vs. „*tempus visum*“). So müsse man sich die Frage stellen, ob der sichtbare Sternenhimmel in dem Augenblick, in dem er wahrgenommen wird, so gesehen wird, wie er wirklich ist, oder ob zwischen dem Augenblick des Sehens und dem ursprünglichen Zustand nicht eine gewisse Zeit vergangen ist, in der er sich bereits wieder verändert hat. Drittens sei es wichtig das Verhältnis der Kraftwirkungen zur Menge der Körper (*quanta corporum*) in ihren Maßverhältnissen genau zu bestimmen. Dies wird im 23. Fall erörtert. Dabei könne man nicht davon ausgehen, daß dieses Verhältnis stets linear sei, daß also die doppelte körperliche Masse auch die doppelte Wirkung hervorbringe. Viertens schließlich geht Bacon im 24. Fall ausführlich auf die Messungen von Bewegungen oder aktiven Kräften ein, aus deren Zusammensetzung eine wahrnehmbare Bewegung hervorgehen kann. Er listet insgesamt 19 Arten von Bewegungen auf, die als Äußerungen solcher Kräfte auftreten können. Bacon spricht statt von Bewegung oder aktiver Kraft auch von Trieb (*appetitus*). Darunter fallen anziehende Bewegungen, wie Magnetismus, Elektrizität, Kohäsion, das Streben zu verwandten Körpern ebenso wie Undurchdringlichkeit, Ausdehnung, Streben nach Beharrung im erreichten Zustand oder Bewegung, die andauert, nachdem der Anstoß, der sie in Bewegung gesetzt hat, bereits abwesend ist. Bacon gibt zu, daß sich die hier aufgezählten Arten noch auf eine geringere Zahl reduzieren lassen. Er hält es für bedeutsam, die Maßverhältnisse solcher aktiver Kräfte bei vorkommenden Bewegungen zu bestimmen. Dies setzt voraus, daß man zuvor erkannt hat, welche dieser Kräfte bei einer beobachteten Bewegung überhaupt eine Rolle gespielt haben. Implizit ist darin bereits der Gedanke enthalten, daß eine bestimmte Bewegung das Resultat einer Überlagerung einer Reihe von Kräften sein kann, die sich teilweise verstärken oder hemmen können.

An diesen Überlegungen wird deutlich, welche überragende Bedeutung Bacon der exakten Bestimmung von Maßen gerade für den operativen oder tätigen Teil einer Wissenschaft zuspricht. Der operative Teil kann sowohl durch geeignete Experimente dazu beitragen, in der Stufenleiter der Axiome eine Stufe höher zu klettern als auch dazu dienen, aus allgemeinen Axiomen praktisch verwertbare Ergebnisse abzuleiten. Zu diesem Zweck bieten die *praerogativen* Instanzen insgesamt einen Fundus konkreter Techniken oder allgemeiner Richtungsweiser der Untersuchung, die sich unter Umständen in experimen-

⁸⁴ Op. cit., Teil II, Aphorismus 45, 504f.

⁸⁵ Op. cit., Teil II, Aphorismus 45, 506: „*quae omnia in computationem venire et notari debent.*“

telle Techniken umsetzen lassen. Analog der aristotelischen Topik, welche dem Dialektiker einen Fundus von möglichen Argumentationsweisen in der Disputation zur Verfügung stellt, bieten die praerogativen Instanzen eine Sammlung von experimentellen Untersuchungsansätzen, die jedoch weniger für abstrakte Wortgefechte nützlich sind als vielmehr für die direkte Erforschung der Naturgegenstände selbst.

e. Resümee

Das Ergebnis der bisherigen Untersuchung läßt sich wie folgt zusammenfassen. Bacons wissenschaftliche Methode umfaßt insgesamt zwei Schritte. Der erste Schritt besteht in einer möglichst umfassenden Sammlung von empirischen Evidenzen und experimentellen Ergebnissen, der sogenannten Naturgeschichte. Sofern es um die Untersuchung einer bestimmten Eigenschaft, einer „Natur“ geht, schließt sich daran eine Aufstellung verschiedener Tafeln der Vergleichung an, in denen positive und negative Beispiele für die in Betracht stehende Eigenschaft aufgelistet werden. Die Erstellung dieser Tafeln gehört noch nicht zur eigentlichen Methode der Induktion, sondern bereitet ihre Anwendung vor. Es ist also ein Irrtum zu glauben, daß die Naturgeschichte oder Tatsachensammlung das Wesen der induktiven Methode ausmache, wie man im 17. Jahrhundert und auch noch zu späteren Zeiten geglaubt hat. Die Induktion erfolgt erst im zweiten Schritt. Dabei geht es darum, dasjenige zu bestimmen, was Bacon als „Form“ einer „Natur“ bzw. Eigenschaft bezeichnet. Der Ausdruck „Form“ läßt sich nicht adäquat in eine moderne Terminologie übersetzen. Bacon grenzt ihn ausdrücklich von dem aristotelisch-scholastischen Formbegriff ab und setzt ihn an einigen entscheidenden Stellen mit dem Begriff des Gesetzes gleich. Darüber hinaus steht er für die obersten und allgemeinsten Prinzipien einer Wissenschaft. Entscheidend für die Sicherheit des induktiven Verfahrens ist, daß nicht unmittelbar von einzelnen sinnlichen Erscheinungen zu den obersten Prinzipien fortgeschritten wird, sondern daß dieser Aufstieg durch eine Reihe von Zwischenstufen, die Bacon als die „mittleren Axiome“ bezeichnet, vermittelt wird. Diese Vermittlung erfolgt nicht nur in der Richtung auf das Allgemeine, sondern in einer oszillierenden Bewegung zwischen dem Aufstieg zum Allgemeinen und dem Abstieg zu besonderen empirischen Gegebenheiten und Experimenten. Die Aufstellung neuer Axiome erfordert zum einen erfinderisches Geschick und scharfsinnige Beobachtungsgabe. Sie beruht auf einer Zergliederung oder Analyse natürlicher Gegebenheiten, die es ermöglicht, eine Reihe von Faktoren oder Eigenschaften herauszufiltern, die als konstitutive Elemente für das Zustandekommen eines Vorgangs oder einer Eigenschaft angesehen werden können. Dieser Aspekt verdeutlicht den Charakter der Induktion als einer „ars inveniendi“. Zum anderen lassen sich aufgrund dieser Analyse durch Beobachtungen und „lichtbringende“ Experimente bestimmte Faktoren als mögliche Ursachen ausschließen. Die praerogativen Instanzen zeigen, daß sich solche Exklusionen in Gestalt von Varianten des ‘modus tollendo tollens’ oder des ‘modus tollendo ponens’ bei Bacon namhaft machen lassen. Darüber

hinaus hat sich gezeigt, daß Bacon die Axiome auch als Handlungsanweisungen interpretiert, um eine Eigenschaft oder einen Vorgang im Bereich der 'opera' reproduzieren zu können. Der Erfolg oder Mißerfolg solcher Reproduktionsversuche ist als ein zusätzliches Kriterium der Wahrheit und Sicherheit der Axiome - und am Ende natürlich auch der Prinzipien und Gesetze - anzusehen. Die Anwendung deduktiver Syllogismen in Verbindung mit solchen operationalen Überprüfungen manifestiert einen zweiten Aspekt der induktiven Methode bei Bacon, nämlich den einer „ars demonstrandi“.

Der wechselseitige Verweisungszusammenhang *beider* Aspekte der induktiven Methode ist bei Bacon nicht nur im logischen Sinne, sondern auch im zeitlichen Sinne zu verstehen. Er interpretiert die Erforschung der Formen oder Prinzipien als einen historischen und sozialen Prozeß, der das Zusammenwirken von Spezialisten über viele Generationen hinweg erfordert. Der sukzessive Aufstieg über die mittleren Axiome geht nach Bacon auch im Sinne der Annäherung an eine Bestimmung der Naturgegenstände „ex analogia universi“ vor sich. Damit wird die Annäherung an ein Ideal postuliert, das von subjektiven, individuellen Bedingungen und Überzeugungen des Beobachters möglichst unabhängig sein soll. Es leuchtet ein, daß eine solche angestrebte Unabhängigkeit von zufälligen Bestimmungen und Vorurteilen eher zu erreichen ist, wenn viele Forscher über einen längeren Zeitraum tätig sind als wenn ein Einzelner sich über kurze Zeit an einer Sache versucht. Dies muß nicht bedeuten, daß die Beiträge von allen Beteiligten gleich zu gewichten wären und daß die Ideen Einzelner keine Rolle mehr spielten, sondern nur, daß der wechselseitige Austausch als Korrektiv wirkt und somit dazu beiträgt, die Gewißheit der auf induktivem Wege erreichbaren Formen oder Prinzipien sicherzustellen. Die Formen als solche sind nach Bacon jedoch kein Gegenstand der Physik mehr, sondern der Metaphysik.⁸⁶ Mit dieser Klassifikation ist ein interessanter Hinweis bezüglich des Verhältnisses von Physik und Metaphysik verbunden. Sofern die Formen oder Prinzipien als allgemeinste Axiome durch die Induktionsmethode abgeleitet werden, sind sie prinzipiell denselben Kriterien unterworfen wie die mittleren Axiome der Physik, aus deren Stufenleiter sie hervorgegangen sind. Das bedeutet, daß auch die Begriffe der Metaphysik im Rahmen der geschilderten oszillierenden Bewegung zwischen Axiomen und Empirie zumindest mittelbar in den Naturdingen verankert sein müssen. In diesem Sinne müssen sich die metaphysischen Begriffe an den Formen und Prinzipien der besonderen Wissenschaften messen lassen und können daher nicht in einem absoluten Sinne a priori als oberste Begründungsinstanzen vorausgesetzt werden. Die Metaphysik entwickelt sich gemäß der baconschen Konzeption auf der Grundlage der Physik und nicht umgekehrt.

Abschließend sei noch auf eine Frage hingewiesen, die sich gerade im Hinblick auf den Vergleich der Methoden Bacons und Newtons aufdrängt. Welche Rolle spielen in

⁸⁶ Op. cit., Teil II, Aphorismus 9, 298: „Videlicet, ut inquisitio *Formarum*, quae sunt (ratione certe, et sua lege) aeternae et immobiles, constituat *Metaphysicam*.“ Cf. op. cit., 299: „Es ist offenbar, daß die Untersuchung der Formen, die (durch das sichere Verfahren und seine Gesetzmäßigkeit) ewig und unveränderlich sind, zur Metaphysik gehört.“ (Übersetzung modifiziert).

Bacons Konzeption Hypothesen? Einerseits scheint sich Bacons Streben nach Gewißheit und Sicherheit in den Wissenschaften, die er vermittels der Induktion zu erreichen hoffte, nicht mit einer hypothetischen Auffassung naturwissenschaftlicher Theorien zu vertragen.⁸⁷ Andererseits scheint der Gedanke der Stufenleiter der Axiome die hypothetische Methode zu implizieren, sofern es sich bei Axiomen um vorläufige Verallgemeinerungen handelt, die anhand ihrer Konsequenzen und des Tatsachenmaterials auf ihre Richtigkeit hin überprüft werden müssen.⁸⁸ Vermutlich war dieser letzte Aspekt auch der Anknüpfungspunkt für Hooke als er unter Berufung auf die Autorität Bacons erklärte, daß das Wesen wissenschaftlichen Vorgehens in der Bildung und Überprüfung von Hypothesen bestehe. Die Bedeutung des baconischen Axiomenbegriffs als Zwischenstufe einer Untersuchung, als „pronuntiatum“, scheint in etwa dem zu entsprechen, was wir unter hypothetischen Annahmen verstehen. Ist nicht gerade die „erste Lese“, die Bacon anhand der Eigenschaft der Wärme vorführt, ein Paradebeispiel für Hypothesenbildung? Die Frage nach der scheinbaren Inkonsistenz bezüglich Bacons Haltung gegenüber Hypothesen muß jedoch vor dem zeitgenössischen Hintergrund der Auseinandersetzungen innerhalb der Astronomie im 16. Jahrhundert gesehen werden. Seit Ptolemaios die Theorie der Exzenter und Epizykel in der Astronomie etabliert hatte, wurde die Diskrepanz zwischen den Prinzipien der aristotelischen Physik und der mathematischen Astronomie immer deutlicher.⁸⁹ Ptolemaios hat dieses Spannungsverhältnis dadurch aufzulösen versucht, daß er formal an den Grundsätzen der aristotelischen Physik festhielt und die mathematisch-geometrischen Konstruktionen, die die erscheinenden Bewegungen rekonstruieren bzw. die ‘Phänomene retten’ sollten, im Sinne *mathematischer Hypothesen* interpretiert hat, die keinen Wahrheitsanspruch stellten. Dies führte zu der Auffassung astronomischer Theorien als rein mathematischer Hypothesen, die lediglich zu dem Zweck entworfen werden, um die ‘Erscheinungen zu retten’, die aber ohne den Anspruch auf Wahrheit vorgetragen werden. Diese Auffassung blieb bis zum 16. Jahrhundert in der Astronomie vorherrschend und fand beispielsweise ihren Ausdruck im Vorwort des Oslander zu Copernicus’ *De Revolutionibus*. Da es den Astronomen nicht möglich sei, die wahren Ursachen der Himmelsbewegungen zu ergründen, bleibe ihnen nur die Möglichkeit sich ‘Hypothesen auszudenken’, aufgrund deren die erscheinenden Bewegungen mit geometrischen Mitteln

⁸⁷ Cf. R. Kargon, „Newton, Barrow, and the Hypothetical Physics“, in: *Centaurus* 11 (1965), 46-56; hier 49: „Most of those who rebelled against the hypothetical physics were inspired by Sir Francis Bacon, and must, in some sense, all be termed ‘Baconians’.“

⁸⁸ Cf. C. J. Ducasse, „Francis Bacon’s Philosophy of Science“, in: R. M. Blake/C. J. Ducasse/E. H. Madden, *Theories of Scientific Method: The Renaissance through the Nineteenth Century*, Seattle/London 1966, 50-74; hier 71: „Sufficiently numerous and explicit quotations have already been given, in connection with the exposition of the first book of the *Novum organum*, to make it clear that the method of hypothesis is beyond question to be found in Bacon’s work.“

⁸⁹ Vgl. dazu beispielsweise R. M. Blake, „Theory of Hypothesis Among Renaissance Astronomers“, in: R. M. Blake/C. J. Ducasse/E. H. Madden, *Theories of Scientific Method: The Renaissance through the Nineteenth Century*, 22-49.

für die Vergangenheit und Zukunft berechnet werden könnten.⁹⁰ Obgleich Copernicus dieser Darstellung des Osiander wohl entschieden widersprochen hätte und sich bereits im 16. Jahrhundert mit Keplers physikalischer Astronomie eine Gegenbewegung zu dieser rein instrumentalistischen Hypothesenauffassung herausbildete, dehnte sich letztere gleichzeitig auf die Physik und die Naturwissenschaft im allgemeinen aus. Daraus entwickelte sich eine Auffassung vom hypothetischen Charakter der Naturwissenschaft schlechthin, wobei man unter Hypothesen allgemeine Sätze verstand, aus denen man auf deduktivem Wege Konsequenzen ableitete, um sie dann mit den Erscheinungen zu vergleichen. Stimmt die Konsequenzen mit den Erscheinungen überein, waren „die Phänomene gerettet“ und man fühlte sich berechtigt, mit großer Wahrscheinlichkeit von der Richtigkeit der Hypothesen auszugehen. Allerdings war eine letzte Sicherheit nicht erreichbar, sofern man auch aus falschen Hypothesen richtige oder aus verschiedenen Hypothesen identische Resultate ableiten konnte. Gewißheit der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse war auf diesem Wege prinzipiell nicht zu erreichen, auch wenn man die Forschungsarbeit beliebig lange fortsetzte.

Von dieser Art Hypothesen müssen Bacons Axiome jedoch unterschieden werden. Sie sind nicht in einem instrumentalistischen Sinne, sondern als Haltepunkte und Ausgangspunkte auf dem Weg zur Bestimmung der Formen zu verstehen. Die Bestimmung der Formen wird von Bacon aber durchaus realistisch gedeutet, sofern sie Bestimmungen „ex analogia universi“ sein sollen. Der hypothetische Status der Axiome ergibt sich daher nur aufgrund ihrer Vorläufigkeit, aber nicht aufgrund prinzipieller Erwägungen. Das bedeutet, daß die Naturerkenntnis diesen hypothetischen Status überwinden kann und überwinden muß. Darüber hinaus ist die Bildung der Axiome vermöge der Tafeln der Vergleichung stark eingeschränkt und eng an die Empirie gebunden. Dies gilt insbesondere für den Aufstieg zu den Formen und Prinzipien, sofern dieser Aufstieg in Gestalt einer oszillierenden Bewegung zwischen Allgemeinem und Besonderem erfolgt und damit mittelbar stets mit der Ebene der Erscheinungen in Berührung bleibt. Damit wird genau das vermieden, was Bacon an traditionellen Verfahrensweisen kritisiert hat, nämlich, daß sie auf der Grundlage einer geringen Zahl von Erscheinungen, die zudem nur oberflächlich untersucht wurden, unmittelbar zu allgemeinsten Prinzipien „emporfliegen“, aus denen dann a priori die mittleren Axiome abgeleitet werden, ohne daß eine weitere Überprüfung dieser Axiome vorgenommen wird. Der Zwischenschritt zur Empirie ist in dieser Konstruktion nicht mehr vorhanden. Damit entfällt ein Instrument der Überprüfung bei der Aufstellung dieser mittleren Axiome. Genau diese Art der voreiligen Verallgemeinerung ist typisch für die hypothetische Physik, die sich im Anschluß an Überlegungen aus der Astronomie ausgebreitet hatte und gegen die Bacon opponiert.

⁹⁰ N. Copernicus, *Das neue Weltbild*, hg. u. übersetzt v. H.-G. Zekl, Hamburg 1990, S. 60-63.

3. Newtons induktive Methode

a. Methoden der Naturforschung im 16. Jahrhundert und die „Experimental Philosophy“

Das vorangegangene Kapitel hat gezeigt, daß Bacons Begriff von der induktiven Methode nicht einem einfachen Aufstieg vom Besonderen zum Allgemeinen gleichzusetzen ist, sondern eine doppelte Bewegung beinhaltet, die sowohl von dem Besonderen zum Allgemeinen als auch vom Allgemeinen zum Besonderen führt. Darüber hinaus ist deutlich geworden, daß eine bloße Sammlung von Einzelbeobachtungen und Experimenten sowie die Aufstellung vergleichender Tafeln gar nicht Teil der induktiven Methode im eigentlichen Sinne ist, sondern deren Voraussetzung. Weiterhin ist von Bedeutung, daß die Induktion bei Bacon auf die Untersuchung der Naturdinge selbst abzielt und nicht auf rhetorische Argumentationsmuster, wie es für die Logiker und Dialektiker typisch war. Die Induktion diente für Bacon nicht dem Aufsuchen von Prämissen zu Syllogismen, sondern dem Aufsuchen der die Dinge beherrschenden Formen oder Gesetze. Dabei greifen experimentelle Techniken, die der Herstellung von 'opera' dienen, und deduktive Schlüsse eng ineinander. Die 'Logik der Forschung', die Bacon mit seiner Methode anstrebt, ist offensichtlich komplexer als die Syllogistik, und sie muß es auch sein, weil sie andernfalls der 'Subtilität der Dinge' nicht gerecht werden könnte. Die Natur ist für Bacon ein autonomes Wesen mit eigenen Gesetzen, die wir nicht durch logische Argumentationen entdecken können, sondern die es mühsam Schritt für Schritt durch Untersuchung der einzelnen Naturdinge zu erforschen gilt.

Francis Bacon war wohl der erste, der abseits von Logik, Rhetorik und pädagogischen Zwecken eine solche explizite Anwendung der Induktion auf die Naturdinge entwickelt hat.¹ Die zu dieser Zeit vorherrschenden Methoden der Naturforschung waren die Analyse und Synthese bzw. 'resolutio' und 'compositio'. Diese Methoden hatten ihre Wurzeln in der antiken Geometrie und erlebten im 16. Jahrhundert in Gestalt der sog. 'regressus-Theorie' einen neuen Aufschwung innerhalb der Schule von Padua, als deren bedeutendste Vertreter Agostino Nifo (1473-1545) und Jacopo Zabarella (1533-1589) gelten können. Diese Theorie knüpfte an die aristotelische Unterscheidung zwischen der

¹ Eine interessante Parallele findet sich in dem Werk *Logicae artis compendium* von Robert Sanderson. Es erschien erstmals 1615 (Oxford) und enthält den Versuch, die Induktion im Rahmen einer „method of invention“, also einer „ars inveniendi“, auf die Naturforschung anzuwenden. Sanderson unterscheidet dabei vier Schritte: „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 W. S. Howell, *Logic and Rhetoric in England: 1500-1700*, Princeton 1961 [1. Aufl. 1956], 307. Bemerkenswert ist, daß Newton das Buch von Sanderson zu Beginn seiner Studienzeit in Cambridge gelesen hat. Er besaß die dritte Auflage von 1631. Cf. J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 24; R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge 1980, 82f.

‘demonstratio quia’ und der ‘demonstratio propter quid’ an.² Die Unterscheidung dieser beiden Beweisarten wurde im 16. Jahrhundert als Schlüssel zur Deutung der ‘Zweiten Analytik’ des Aristoteles angesehen. Es ist allerdings fraglich, ob die regressus-Methode der Schule von Padua auch als Vorbild für die Methoden der aufstrebenden neuzeitlichen Wissenschaften zu Beginn des 17. Jahrhunderts angesehen werden kann.³ Vieles spricht dafür, daß im 17. Jahrhundert eher ein verstärkter Rückgang auf die Methoden der Analyse und Synthese der antiken Geometer erfolgte. Dazu hatte insbesondere die erste lateinische Übersetzung von Pappos’ *Synagoge* durch Commandinus im Jahre 1589 beigetragen. Insbesondere Galilei wurde in seinen methodischen Maximen von Pappos’ Darstellung der Methoden der Analyse und Synthese zu Beginn des siebenten Buches der *Synagoge* (oder lat. *Collectio*) beeinflusst.⁴ Bedeutsam für das hier in Betracht stehende Thema ist der Umstand, daß Bacons Induktion als Methode der *Naturforschung* demnach in Konkurrenz sowohl zur regressus-Methode der Paduaner als auch der geometrischen Methoden der Analysis und Synthesis gesehen werden muß. Allerdings finden sich bei Bacon keine Hinweise auf die Methoden der *resolutio* und *compositio* der Schule von Padua oder die Analysis und Synthesis der Geometer. Innerhalb der regressus-Methode kam der „inductio“ vor allem die Funktion zu, Sinneswahrnehmungen und Beobachtungen zu akkumulieren. Die Bedeutung der Induktion innerhalb der Schule von Padua läßt sich daher im wesentlichen auf das aristotelische Verfahren der *Epagoge* im Sinne der einfachen Aufzählung zurückführen, ein Verfahren, das Bacon ja gerade kritisiert. Überdies kann es bestenfalls zu einer Materialsammlung führen, die nach Bacon der eigentlichen Induktion noch gar nicht angehört, sondern nur deren Anwendung vorbereitet. So schreibt Pérez-Ramos: „It was only with [...] Bacon’s *Novum Organum* that reflections on inductive modes of thought acquired new vigour. But this was yet another form of induction: its scope, procedure, aims, formulation, and insertion into a new conception of natural enquiry were a far cry from the Paduans’ *regressus*.“⁵ Allerdings ist festzuhalten, daß Bacons Forderung, die Natur im Rahmen der Induktion zu „sezieren“ (*dissecare naturam*) durchaus im Sinne einer Analyse gedeutet werden kann, auch wenn diese Forde-

² Cf. N. W. Gilbert, *Renaissance Concepts of Method*, New York/London 1963, 171.

³ Diese These wird bereits bei Ernst Cassirer angedeutet. In neuerer Zeit haben sie vor allem Crombie und Randall vertreten. Es gibt daran allerdings berechnete Zweifel. Überzeugende Gegenargumente findet man beispielsweise bei N. Jardine in: N. Jardine, „Galileo’s Road to Truth and the Demonstrative Regress“, in: *Studies in History and Philosophy of Science* 7 (1976), 277-318. Cf. dazu auch N. W. Gilbert, *Renaissance Concepts of Method*, New York/London 1963, 164-179, sowie N. W. Gilbert, „Galileo and the School of Padua“, in: *Journal of the History of Philosophy* 1 (1963), 223-231.

⁴ Cf. N. W. Gilbert, *Renaissance Concepts of Method*, New York/London 1963, 82: „It was not until the detailed description given by Pappus was published, in the Latin translation made by Federigo Commandino, that we can again speak of the influence of Greek geometry upon general philosophical methodology. This classical and exact description began to have an influence upon philosophy, notably upon Galileo“. Cf. auch N. Jardine, N. Jardine, „Galileo’s Road to Truth and the Demonstrative Regress“, in: *Studies in History and Philosophy of Science* 7 (1976), 306f.

⁵ A. Pérez-Ramos, *Francis Bacon’s Idea of Science and the Maker’s Knowledge Tradition*, Oxford 1988, 232. Pérez-Ramos widerspricht daher jeder Darstellung, welche eine methodologische Kontinuität zwischen den Paduanern und Bacon erblickt. Cf. op. cit., 234-238.

rung sehr metaphorisch klingt. Er knüpft in diesem Zusammenhang vermutlich eher an methodische Überlegungen der auf Galen zurückgehenden Tradition der medizinischen Empiriker als das Verfahren der geometrischen Analyse des Pappos an.

Zudem ist deutlich geworden, daß die Analyse in diesem Sinne den baconschen Begriff der Induktion keineswegs erschöpft. Die Analyse in Gestalt der begrifflichen Unterscheidung möglicher ursächlicher Faktoren ist zwar eine wichtige Voraussetzung für das von Bacon innerhalb der Induktion angestrebte Exklusionsverfahren. Das Ziel der Aufstellung von allgemeinen Axiomen setzt jedoch darüber hinaus die Anwendung einer Vielzahl begrifflicher Schemata und Experimentiertechniken voraus, die Bacon in den praerogativen Instanzen zu klassifizieren versucht hat. Dennoch wird Bacons Methode der Induktion im Verhältnis zu den Methoden der Analyse und Synthese gelegentlich so verstanden, als entspreche sie lediglich dem einen Zweig der Analyse: „What Bacon wrestles with, if not too successfully, is the problem of induction, in other words the problem of increasing the probative value of the analytical arm of the double method; since the synthetic arm had been thoroughly investigated from Aristotle to his own time, it could momentarily left aside. [...] In his effort to strengthen the upward procedure perhaps Bacon helped to distract attention away from the *double* method.“⁶ Der vorherige Abschnitt hat jedoch gezeigt, daß sich die induktive Methode bei Bacon gerade nicht auf die Aufwärtsbewegung beschränkt, sondern eine oszillierende Bewegung aufwärts zu den Axiomen *und* abwärts zu den Erscheinungen beinhaltet.

Möglicherweise hat diese einseitige Interpretation der Induktion dazu geführt, zu Beginn der Rezeption von Bacons Methode vor allem zwei Momente in den Vordergrund zu stellen. Zum einen verband man mit dem Verfahren der Induktion in erster Linie die Aufstellung einer Naturgeschichte im Sinne einer reinen Faktensammlung. Damit einher ging zum anderen die Hervorhebung der Bedeutung umsichtiger, experimenteller Tätigkeit für die Naturforschung. Beide Momente bildeten auch den Kern dessen, was innerhalb der *Royal Society* als „Experimental Philosophy“ bezeichnet wurde. Dieses Etikett verwies auf eine substantielle methodische Grundeinstellung, die für die Mitglieder der Gesellschaft als mehr oder weniger verbindlich angesehen wurde. So heißt es in Sprats Darstellung der Geschichte der *Royal Society*: „But having made so much hast through the Formal part of these their Meetings, I shall not so soon dispatch the substantial; which consists in Directing, Judging, Conjecturing, Improving, Discoursing upon Experiments.“⁷ Damit verknüpften sich auch weitergehende philosophische und gesellschaftspolitische Ziele, die denen von Bacon nicht unähnlich waren. Vorurteilsloses, umsichtiges Experimentieren wurde als eine Absicherung sowohl gegen Dogmatismus jedweder Art (sei er politischer, religiöser oder philosophischer Natur) als auch gegen einen

⁶ H. Guerlac, „Newton and the Method of Analysis“, in: H. Guerlac, *Essays and Papers in the History of Modern Science*, Baltimore/London 1977, 193-216; hier 202.

⁷ Th. Sprat, *History of the Royal Society*, ed. by J. I. Cope and H. W. Jones, St. Louis/London 1958 [London 1667], 95.

fruchtlosen Skeptizismus betrachtet. In diesem Sinne war Bacon als Vorbild geeignet, auf das man die neue experimentelle Methode zurückführen konnte. Viele Alternativen gab es auch nicht. Den Aristotelismus der Scholastiker lehnte man ab. Und aus den verstreuten methodischen Bemerkungen in den Arbeiten Keplers, Galileis oder anderer bedeutender Naturforscher war nur schwer eine allgemeine naturwissenschaftliche Methodenlehre zu extrahieren, die als Anknüpfungspunkt hätte dienen können.

Allerdings beobachtete man auch zwei Gefahrenquellen, die berücksichtigt werden mußten, wenn die experimentelle Tätigkeit das Fundament wissenschaftlicher Theorien bilden sollte. Erstens war zu beachten: „The true Experimenting has this one thing inseparable from it, never to be a fix'd and settled Art, and never to be limited by constant Rules.“⁸ Es gab keine allgemeinen Regeln des Experimentierens und so blieb zwangsläufig viel dem Zufall und den zündenden Ideen Einzelner überlassen. Damit schleicht sich zweitens eine weitere Unsicherheit ein, die offenbar aus prinzipiellen Gründen nicht ausgeräumt werden kann: „For it is their [the Experimenters] common complaint, that there is a great nicety, and contingency, in the making of many Experiments: that their success is very often various, and inconstant, not only in the hands of different, but even of the same Triers.“⁹ Die Instabilität experimenteller Resultate erfordert offenbar noch ein methodisches Komplement. Daher gab es unter den Mitgliedern der *Royal Society* Versuche, eine Synthese zwischen Bacons Induktionsmethode und der hypothetischen Methode Descartes' herzustellen. Ein Beispiel dafür findet man in den wissenschaftlichen Abhandlungen von Robert Boyle.¹⁰ Boyle war zwar ein Anhänger der Korpuskulartheorie, aber er war sich darüber im Klaren, daß allein aufgrund der allgemeinen Prinzipien dieser Theorie das Verhalten der Materie im Detail nicht erklärt werden konnte. Dazu bedurfte es „mittlerer Prinzipien“, die zwischen den allgemeinen Prinzipien der Theorie und den konkreten Erscheinungen vermittelten. Solche mittleren Prinzipien wurden als Hypothesen betrachtet, auch wenn man sie auf eine sorgfältig ausgearbeitete Naturgeschichte stützen konnte.¹¹ Es zeigt sich, daß auch Boyle, der auffälligerweise die Induktion nie erwähnt, offenbar wie Hooke davon ausgeht, daß sich Bacons Methode auf Faktensammlungen und Experimente beschränkt und im Hinblick auf das Fortschreiten zu allgemeinen Prinzipien wenig zu bieten hat.

Als Fazit kann man festhalten, daß die „Experimental Philosophy“ der *Royal Society* zwar an methodische Vorstellungen Bacons anknüpft, diese aber sehr einseitig interpretiert. Insbesondere wird auf den Begriff der Induktion weder in Hookes Einleitung zur

⁸ Op. cit., 89.

⁹ Op. cit., 243.

¹⁰ Cf. L. Laudan, *Science and Hypothesis. Historical Essays on Scientific Methodology*, Dordrecht/Boston/London 1981, Chapter 4: The Clock Metaphor and Hypotheses: The Impact of Descartes on English Methodological Thought 1650-1670, 27-58, insbesondere 33-44.

¹¹ Op. cit., 37: „Far from following Bacon's inductive line, Boyle takes a more Cartesian pose. The purpose of all this experimentation, he tells us, is to place us in a position to offer some hypothesis as a tentative account of the data which we have so carefully accumulated.“

Micrographia, in der er baconsches Gedankengut referiert, noch in den gedruckten Werken Boyles explizit Bezug genommen. Vor diesem Hintergrund weist Newtons methodische Position auf den ersten Blick einige Besonderheiten auf, in denen er sich beispielsweise von Hooke oder Boyle unterscheidet. Zum einen erwähnt er ausdrücklich (wenn auch sehr spät, nämlich erstmals im 'Scholium Generale' der zweiten Auflage der *Principia* von 1713) die Induktion als Grundlage seiner naturwissenschaftlichen Entdeckungen. Zum anderen lehnt er eine probabilistische oder hypothetische Interpretation der Prinzipien der Wissenschaften ab, eine Position, in der er zwar mit Bacon übereinstimmt, aber nicht mit der Mehrheit der Mitglieder der *Royal Society*. Diese Sonderstellung, die Newton bezüglich seiner methodologischen Maximen innerhalb dieser Institution einnimmt, hat die Versuche, sein Verhältnis zur induktiven Methode Bacons näher zu bestimmen, nicht unerheblich erschwert. Die Meinungen darüber gehen weit auseinander. Der erste Biograph Newtons, David Brewster, sah als einzigen Anknüpfungspunkt Newtons an Bacon, „that he proceeded in that path of observation and experiment which had been so warmly recommended in the *Novum Organum*“.¹² Andere wiederum behaupten: „The whole method and mental character of Newton was opposed to that of Bacon“.¹³ Dennoch erscheint es sehr unwahrscheinlich, daß Newton mit dem *Novum Organum* nicht vertraut gewesen wäre, auch wenn sich dieses Werk nicht in seinem Bibliotheksnachlaß findet und er den Namen Bacons nirgendwo in seinen Arbeiten explizit erwähnt.¹⁴ Allerdings haben einige Interpreten auch gravierende Unterschiede zwischen Bacon und Newton ausgemacht. Erstens habe sich die induktive Methode bei Bacon auf Beobachtung und Experiment beschränkt, während die beiden letzteren Komponenten bei Newton nur einen Teil der analytisch-synthetischen Methode ausmache. Zweitens habe Newton die Ergebnisse der Induktion in eine präzise quantitative Form gebracht, während sich Bacon auf qualitative Betrachtungen beschränke. Und drittens schließlich habe Bacon geglaubt, daß den Resultaten der Wissenschaften eine Gewißheit und Sicherheit zukomme, die Newton bereits als illusorisch erkannt habe.¹⁵

Alle drei hier genannten Differenzpunkte sind jedoch nicht überzeugend. Im vorangegangenen Kapitel ist ausführlich dargelegt worden, daß sich die induktive Methode Bacons nicht auf eine Sammlung von Fakten und Experimenten reduzieren läßt. Statt dessen impliziert sie eine oszillierende Bewegung zwischen dem Aufstieg vom Besonderen und Einzelnen zu allgemeinen Axiomen und einem Abstieg vom Allgemeinen zum Besonderen. Daraus läßt sich also a priori keine Differenz zur analytisch-synthetischen Methode Newtons ableiten. Zweitens zeigen Bacons Ausführungen zu den „mathematischen In-

¹² Zitiert nach R. M. Blake, „Isaac Newton and the Hypothetico-Deductive Method“, in: R. M. Blake/C. J. Ducasse/E. H. Madden, *Theories of Scientific Method: The Renaissance through the Nineteenth Century*, Seattle/London 1966, 119-143, hier 140.

¹³ Zitiert nach op. cit., 140.

¹⁴ Cf. op. cit., 140: „In fact it would be very strange indeed if he was not to some extent acquainted with the *Novum organum* itself.“

¹⁵ Cf. op. cit., 141f.

stanzen“, daß er ebenso wie Newton quantitativen Bestimmungen eine große Bedeutung zuschrieb. Der Unterschied liegt hier weniger in der prinzipiellen Anerkennung dieses Gedankens, sondern eher in der Art und des Ausmaßes seiner Durchführung. Drittens schließlich ist auch im Hinblick auf die Ablehnung einer probabilistischen oder hypothetischen Auffassung naturwissenschaftlicher Theorien kein gravierender Unterschied zwischen Bacon und Newton zu erkennen. Im folgenden soll untersucht werden, welche Merkmale der induktiven Methode Bacons, die im letzten Abschnitt herausgearbeitet wurden, sich auch innerhalb von Newtons methodischer Vorgehensweise identifizieren lassen. Das Schwergewicht liegt dabei auf Newtons Frühschriften zur Optik, weil sich darin bereits zwei wegweisende Tendenzen vereinigen, nämlich einerseits das Programm einer mathematischen Naturwissenschaft und andererseits der Einsatz besonderer experimenteller Techniken. Überdies wird von zeitgenössischen Interpreten übereinstimmend konstatiert, daß sich Newtons Beziehung zur induktiven Methode Bacons besonders in seinen Frühschriften zur Optik manifestiert.¹⁶

b. Newtons Beschreibungen der Induktion

Es ist auffällig, daß Newton den Begriff der Induktion in seinen frühen Arbeiten nie explizit erwähnt. Erst im Zuge der Überarbeitung der ersten Auflage (1687) der *Principia* finden sich verstärkt methodologische Äußerungen, in denen auch die Induktion zum Thema wird.¹⁷ So heißt es im ‘Scholium Generale’, das Newton 1713 der ersten Auflage hinzugefügt hat: „In dieser Philosophie [der Experimentalphilosophie] deduzieren wir die Propositionen aus den Erscheinungen und verallgemeinern sie durch Induktion.“¹⁸ In seinen Briefen an Roger Cotes, den Herausgeber der zweiten Auflage, gibt Newton einige Erläuterungen und Hinweise. Er schreibt dort: „These Principles [die Axiome oder

¹⁶ Cf. A. Pérez-Ramos, *Francis Bacon's Idea of Science and the Maker's Knowledge Tradition*, Oxford 1988, 17, Anm. 24: „The difficulties of the whole question [Newtons Beziehung zur induktiven Methode Bacons] become even greater if we take into account Newton's early optical studies and their unanimous Baconian reading.“ Cf. dazu auch A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, London 1967, 249, Anm. 44: Sabra weist hier auf eine interessante Parallele zwischen Bacons Exklusionsmethode und Newtons Vorgehensweise zu Beginn seiner ersten Veröffentlichung, der *New Theory of Light and Colours* vom Februar 1672, hin. Palter geht sogar soweit zu sagen (R. Palter, „Newton and the inductive Method“, in: R. Palter (ed.), *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton. 1666-1966*, Cambridge (Mass.)/London 1970, 244-257; hier 254): „And I take it for granted that any adequate general account of scientific inquiry ought to be capable of doing justice to Newton's optical studies - surely one of the greatest triumphs of experimental method in the early history of modern physics.“

¹⁷ Die gravierendsten Änderungen der zweiten Auflage betreffen insbesondere den Anfangsteil des dritten Buches, den Newton in der ersten Auflage noch mit einer Serie von neun ‘Hypothesen’ eingeleitet hatte. An deren Stelle traten in der zweiten Auflage die ‘Regulae Philosophandi’ und die ‘Phaenomena’. Im Zuge dieser Umarbeitungen fertigte Newton einige Entwürfe an, in denen mehrfach die Induktion erwähnt wird. Sie sind publiziert in A. M. Pampusch, „‘Experimental’, ‘Metaphysical’, and ‘Hypothetical’ Philosophy in Newtonian Methodology“, in: *Centaurus* 18 (1974), 289-300.

¹⁸ Op. cit., 764: „In hac philosophia propositiones deducuntur ex phaenomenis, & redduntur generales per inductionem.“ Dieser Satz findet sich wörtlich in einem Brief Newtons an Roger Cotes, der die zweite Auflage der *Principia* vorbereitet hat. Cf. J. Edleston, *Correspondence of Sir Isaac Newton and Professor Cotes*, London 1850, 155.

Gesetze der Bewegung] are deduced from Phaenomena & made general by Induction: which is the highest evidence that a Proposition can have in this philosophy.“¹⁹ Allerdings liegt darin noch eine Unklarheit. Beschreibt Newton hier zwei aufeinanderfolgende Schritte, nämlich erstens die Deduktion einer Proposition (oder von Prinzipien, Axiomen und Gesetzen) aus den Phänomenen und zweitens ihre Verallgemeinerung durch Induktion oder schließt die Deduktion aus den Erscheinungen bereits die induktive Verallgemeinerung ein? Eine weiterer Hinweis deutet eher auf die zweite Möglichkeit hin: „On Saturday last I wrote to you, representing that Experimental philosophy proceeds only upon Phenomena & deduces general Propositions from them only by Induction. And such is the proof of mutual attraction.“²⁰ Demnach geht die Proposition in ihrer Allgemeinheit bereits aus dem induktiven Verfahren hervor. Darüber hinaus zählt Newton auch das Prinzip der wechselseitigen Attraktion aller Körper zu den Ergebnissen der Induktion. Damit müssen sowohl das Resultat seiner Gravitationstheorie als auch deren axiomatische Voraussetzungen, nämlich die Gesetze der Bewegung, als Resultat der Induktion betrachtet werden.

In der zweiten englischsprachigen Auflage der *Opticks* von 1717 findet sich eine ausführlichere Stellungnahme zu methodischen Fragen, in der ebenfalls explizit auf die Induktion Bezug genommen wird. Dort wird die Induktion mit den Methoden der Analyse und Synthese in Verbindung gebracht: „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.“²¹ Bemerkenswert an dieser Äußerung ist zweierlei. Zum einen wird die Induktion als Teil der analytisch-synthetischen Methode expliziert, die ihren Ursprung in der Mathematik habe. Dabei ist auf den ersten Blick nicht ganz klar, ob sie mit dem Teil der Analysis identisch ist.²² Einerseits ist man geneigt anzunehmen, Newton habe an dieser Stelle Analysis und

¹⁹ Brief Newtons an Cotes vom 28. 3. 1713. Op. cit., 155.

²⁰ Brief Newtons an Cotes vom 31. 03. 1713. Op. cit., 156.

²¹ I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 404.

²² R. Palter beispielsweise identifiziert die induktive Methode Newtons mit der Methode der Analysis. Cf. R. Palter, „Newton and the inductive Method“, in: R. Palter (ed.), *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton. 1666-1966*, Cambridge (Mass.)/London 1970, 246f. Auch neuere Untersuchungen sehen hier gravier-

induktive Methode gleichgesetzt, weil die Analysis Experimente und Beobachtungen beinhaltet. Andererseits kann man auch die Beschreibung dreier unterschiedlicher Schritte aus Newtons Text herauslesen. Erstens: Es werden Experimente durchgeführt und Beobachtungen gemacht. Zweitens: Aus diesen Experimenten und Beobachtungen werden vermittle der Induktion allgemeine Folgerungen gezogen. Drittens: Diese allgemeinen Folgerungen sind für sich genommen noch nicht sicher und daher möglichen Einwänden ausgesetzt. Solche Einwände können jedoch nur auf der Basis von Experimenten oder anderen „sicheren Wahrheiten“ erhoben werden, aber nicht auf der Grundlage von Hypothesen. Wenn man sich an den Begriff der Induktion bei Bacon erinnert, dann bilden Experimente und Beobachtungen zwar den Ausgangspunkt der induktiven Verallgemeinerung, lassen sich jedoch nicht darauf beschränken. Daher wäre zumindest denkbar, daß die Induktion als der Teil der Analyse zu verstehen ist, der vom Besonderen zum Allgemeinen fortschreitet. Des weiteren ist bemerkenswert, daß Newton ausdrücklich die Möglichkeit einer späteren Korrektur induktiver Verallgemeinerungen aufgrund von Gegenbeispielen in Betracht zieht. Wie verträgt sich dies mit seiner Ablehnung von Hypothesen und seinem Anspruch auf Gewißheit seiner Theorien? In diesem Zusammenhang ist zu beachten, daß die Gegenbeispiele nicht dazu führen, den auf induktivem Wege gewonnenen allgemeinen Satz schlicht zu falsifizieren. Vielmehr kann dieser auch weiterhin behauptet werden, allerdings nur unter einer einschränkenden Bedingung: die als Ausnahmen festgestellten Phänomene müssen dabei mitgenannt werden. Sie bewirken daher eher eine Einschränkung als eine Widerlegung desselben.

In der vierten Regel der ‘Regulae Philosophandi’ schließlich, die Newton der dritten Auflage der *Principia* von 1726 hinzugefügt hatte, faßt er sein ‘Credo’ der Experimentalphilosophie noch einmal zusammen: „In der Experimentalphilosophie muß man die durch Induktion aus den Erscheinungen gewonnenen Propositionen trotz widersprechender Hypothesen solange entweder für genau oder annähernd wahr halten, bis andere Erscheinungen sich zeigen, durch welche sie entweder noch genauer werden oder durch welche sie Einschränkungen unterworfen werden. - Dies muß geschehen, damit das Argument der Induktion nicht durch Hypothesen aufgehoben wird.“²³ Hier wird die Vermutung

ende Unklarheiten. Cf. etwa 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; op. cit., 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.“

²³ I. Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, übersetzt u. hgg. v. V. Schüller, Berlin/New

bestätigt, daß induktive Verallgemeinerungen im Lichte weiterer Untersuchungen zwar Korrekturen ausgesetzt sein können, daß sie aber nicht einfach widerlegt werden können. Diese Korrekturen sind von zweierlei Art. Zum einen können sie zu größerer Genauigkeit führen und zum anderen können sie dazu führen, die Allgemeingültigkeit der ursprünglichen Behauptung durch Hinzufügung weiterer Bedingungen einzuschränken.

Neben diesen eher spärlichen Bemerkungen Newtons zur induktiven Methode in seinen gedruckten Werken gibt es noch einige Äußerungen in unveröffentlichten fragmentarischen Entwürfen, die mit großer Wahrscheinlichkeit kurz vor dem Erscheinen der zweiten Auflage der *Principia* in den Jahren 1712/13 angefertigt wurden.²⁴ „Das Argument der Induktion, das sich auf Experimente und Beobachtungen von Sinnesdingen bezieht, die das Fundament der Experimentalphilosophie bilden, kann nicht auf hypothetische oder metaphysische Dinge angewandt werden, die keine Phänomene sind, es sei denn vermittelt Hypothesen: daher betrifft das, was in diesem Buch kraft der Induktion über Körper gesagt wird, nicht Dinge von solcher Art. Dieses handelt nur von Sinnesdingen und ihren Teilen, weil das Argument der Induktion nur auf sie angewandt werden kann.“²⁵ Newton grenzt an dieser Stelle deutlich den Anwendungsbereich der Induktion ein. Ihr Ausgangspunkt sind die Sinnesdinge sowie deren Teile und alles, was sich durch Experimente und Beobachtungen daraus ableiten läßt. Metaphysische Entitäten werden als Anwendungsbereich induktiver Argumente ausdrücklich ausgeschlossen. Woran mag Newton dabei denken? Aufschluß darüber gibt eine weitere interessante Stelle: „Daher betrifft das, was kraft der Induktion von der universellen Gravitation der Körper hier behauptet wird, nicht etwa Quintessenzen, erste Materien, die festen Kugelschalen [der Astronomen] und subtile Materien, welche keine Phänomene sind. Dinge, die nicht wahrgenommen werden können, sondern nur aufgrund von Hypothesen angenommen werden, und doch von einigen Körper genannt werden, sind besser in der Metaphysik und hypothetischen Philosophie abzuhandeln. Die Philosophie beginnt vermittelt des Arguments der Induktion bei den Phänomenen. Die experimentelle Philosophie besteht darin, diese Dinge zu behandeln.“²⁶ Hier erläutert Newton ausdrücklich, was er unter

York 1999, 381 (Übersetzung modifiziert). Cf. I. Newton, *Isaac Newton's Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. The third edition (1726) with variant readings, ed. by I. B. Cohen and A. Koyré, 2 vols., Cambridge 1972, 555: „In philosophia experimentalis, propositiones ex phaenomenis per inductionem collectae, non obstantibus contrariis hypothesisibus, pro veris aut accurate aut quamproxime haberi debent, donec alia occurrerint phaenomena, per quae aut accuratiores reddantur aut exceptionibus obnoxiae. - Hoc fieri debet ne argumentum inductionis tollatur per hypotheses.“

²⁴ Cf. A. M. Pampusch, „‘Experimental’, ‘Metaphysical’, and ‘Hypothetical’ Philosophy in Newtonian Methodology“, in: *Centaurus* 18 (1974), 289-300.

²⁵ Ms. Add.3965 (17) folio 641 (Übersetzung des Verfassers). Zitiert nach op. cit., 298f: „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 hypothesisim: 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.“

²⁶ Ms. Add.3965 (13), folio 430 (Übersetzung des Verfassers). Zitiert nach op. cit., 299: „Ideoque quae vi Inductionis de universali corporum gravitate hic affirmantur, ad Quintessentias, & Materias primas, et

hypothetischen oder metaphysischen Entitäten versteht. Es sind vornehmliche solche, deren Existenz nicht sinnlich wahrnehmbar ist, sondern nur aufgrund einer bestimmten Hypothese ohne jeden Beweis postuliert wird. Dazu zählt er beispielsweise die „quinta essentia“ oder die „prima materia“ der aristotelisch-scholastischen Metaphysik, die Annahme fester Kugelschalen, auf denen sich gemäß der antiken Astronomie die Planeten bewegen sollten und deren Existenz durch die Beobachtungen Tycho Brahes widerlegt wurde oder die Annahme einer subtilen Himmelsmaterie, wie sie etwa in der cartesischen Wirbeltheorie vorausgesetzt wurde. In fast allen Äußerungen zur Induktion kontrastiert Newton induktiv abgeleitete Argumente mit Hypothesen. Unter Hypothesen versteht er bloße Meinungen, die weder durch Phänomene noch durch induktive Argumente oder anderweitige Beweise gestützt werden: „Eine Hypothese nenne ich jede Meinung, die weder bewiesen wird, noch ein Phänomen ist, noch aus den Phänomenen durch ein induktives Argument deduziert wird.“²⁷

Weitere Dokumente finden sich im Umkreis der Reaktion auf die Leibniz-Clarke-Kontroverse 1715/16 und der Vorbereitung der dritten Auflage der *Principia* von 1726. In einem Manuskript, das vermutlich aus den Jahren 1718-1718 stammt, verweist Newton u. a. auf eine mechanistische Erklärung der Gravitation von Fatio de Duillier, die dieser im Jahre 1690 der *Royal Society* präsentiert hatte, als Beispiel für unbegründete Hypothesen: „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 nehmen infolgedessen auch keine Argumente daraus auf uns, weil sie induktiven Argumenten weichen müssen.“²⁸

orbes 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 tractandis Philosophia experimentalis consistit.“

²⁷ Ms. Add. 3965 (13), folio 420 (Übersetzung des Verfassers). Zitiert nach op. cit., 299, Anm. 9: „Hypothesim voco opinionem omnem quae nec demonstratur nec Phaenomenon est neque ex Phaenomenis per Argumentum Inductionis deducitur.“

²⁸ Übersetzung des Verfassers. Cf. I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, ed. by D. T. Whiteside, Vol VIII: 1696-1722, Cambridge UP 1981, 452, Anm. 34: „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 Inductione. Et argumentum ab inductione, licet Demonstratio perfecta non sit tamen fortius est quam argumentam ab Hypothesi sola, et quo plura sint experimenta vel Phaenomena a quibus deducitur eo fortius evadit. Hypotheses igitur in hoc Tractatu non fingimus neque argumenta inde desumimus, cum cedant argumentis ab inductione.“ Bei der angesprochenen Abhandlung handelt es sich wahrscheinlich um „De la cause de la pesanteur. Mémoire de Nicholas Fatio de Duillier présenté à la Royal Society le 26 février 1690“. Cf. dazu R. S. Westfall, *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*, Cambridge 1980, 495, Anm. 82.

Auch an dieser Stelle setzt Newton induktive Argumente hypothetischen Behauptungen entgegen. Allerdings gesteht er zu, daß ein induktives Argument nicht als „demonstratio perfecta“ angesehen werden kann. Vermutlich sind damit die Beweise der Mathematik gemeint, denen stets Notwendigkeit und strenge Allgemeinheit zukommt. Gleichwohl ist eine gradweise Steigerung der Gewißheit möglich, je mehr Experimente und Phänomene berücksichtigt werden. Bedeutet dies nun, daß Newton den Ergebnissen der Naturwissenschaften doch nur moralische Gewißheit oder Wahrscheinlichkeit zuzubilligen bereit ist? Wie verträgt sich dies mit seiner Abneigung gegen Hypothesen und seinem erklärten Ziel, die Naturwissenschaften auf eine sichere Grundlage stellen zu wollen?

Abschließend sei noch ein weiteres Dokument zum Induktionsbegriff angefügt, das vermutlich aus einem Entwurf zur vierten Regel der ‘Regulae Philosophandi’ stammt, die Newton der dritten Auflage der *Principia* von 1726 hinzugefügt hat. Darin führt er aus: „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 objections of this kind are met with they ought to be stated as of general application.“²⁹ An dieser Stelle bekräftigt Newton nochmals, daß induktive Argumente in epistemischer Hinsicht gewissermaßen zwischen universellen geometrischen Beweisen und bloßen Hypothesen angesiedelt sind. Sie unterscheiden sich von geometrischen Beweisen insofern, als die von ihnen behauptete „Allgemeinheit“ prinzipiell Ausnahmen zuläßt.

Aus den hier betrachteten Äußerungen Newtons zur Induktion, die sowohl seinen veröffentlichten Schriften als auch unveröffentlichten Entwürfen und Manuskripten entnommen sind, lassen sich zusammenfassend folgende Merkmale ableiten. Die Induktion bzw. induktive Argumente sind das wesentliche Kennzeichen dessen, was Newton „experimental philosophy“ nennt. Der Ausgangspunkt der Induktion sind Phänomene, Experimente und Wahrnehmungen von Sinnesdingen. Dinge, die weder unmittelbar noch mittelbar wahrgenommen werden können, sind kein Gegenstand der Experimentalphilosophie, sondern der Metaphysik oder der „hypothetischen Philosophie“. Vermittels der Induktion werden auf dieser Grundlage Verallgemeinerungen abgeleitet oder „deduziert“. Die Induktion ist ein integraler Bestandteil der analytisch-synthetischen Methode, so wie Newton sie interpretiert. Aus induktiven Argumenten können allgemeine Eigenschaften, Axiome, Gesetze, Prinzipien und Theoreme hervorgehen. Die Ergebnisse dieser Argumente sind jedoch nicht so sicher wie die auf strengen Beweisen beruhenden Resultate der Mathematik. Gleichwohl sind sie sicher genug, um nicht vom Standpunkt gegenteili-

²⁹ Cf. ULC. Ms. 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*

ger Hypothesen aus in Zweifel gezogen werden zu können. Das Auftreten eines Phänomens oder eines Experiments, welches mit einer induktiv gewonnenen allgemeinen Proposition nur schwer zu vereinbaren ist, führt weniger zu einer Falsifikation als vielmehr zu einer Korrektur derelben, die in zwei Richtungen erfolgen kann. Entweder muß die Proposition genauer formuliert werden oder sie gilt nur noch unter gewissen einschränkenden Bedingungen, so daß sie in ihrer Allgemeingültigkeit eingeschränkt, aber nicht gänzlich aufgehoben wird.

Die hier aufgeführten allgemeinen Äußerungen Newtons zu methodischen Fragen können jedoch nur ein sehr holzschnittartiges Bild von dem vermitteln, was unter der induktiven Methode und induktiven Argumenten genauer zu verstehen ist. Wie stellt sich die Beziehung induktiver Argumente zu den Methoden der Analyse und Synthese dar? Welcherart ist der Aufstieg von dem Besonderen zum Allgemeinen, d.h. von den Phänomenen und Experimenten zu allgemeinen Eigenschaften, Gesetzen und Prinzipien? Lassen sich innerhalb dieses Aufstiegs auch deduktive Elemente aufzeigen, wie dies für die baconsche Induktion typisch war? In welcher Beziehung steht die Induktion zu Newtons Programm der Mathematisierung der Natur? Darüber hinaus ist auffällig, daß alle für den Begriff der Induktion relevanten Passagen aus relativ später Zeit stammen, d.h. aus der Zeit *nach* 1700. Man kann dies so deuten, daß Newton erst durch die Überarbeitung seiner Schriften und durch spätere Auseinandersetzungen - wie beispielsweise die Kritik von Leibniz und Huygens an seinem Gravitationsbegriff - gezwungen gewesen wäre, seine methodischen Voraussetzungen genauer zu reflektieren. Gegen diese Deutung spricht allerdings, daß er bereits sehr früh, d.h. schon zu Beginn der 70er Jahre, bestimmte methodische Maximen entwickelt hatte, die er später immer wieder bekräftigt und verteidigt hat. Eine dieser Konstanten ist seine durchgängige Ablehnung der Erklärung der Phänomene durch Hypothesen jedweder Art. Sie spielte bereits in der Diskussion um seine erste Publikation zur Farbenlehre von 1672 mit Hooke, Huygens und Pardies eine wichtige Rolle. Was speziell die Induktion betrifft, so ist zu beachten, daß sie von Newton in der *Query 31* als Teil der analytisch-synthetischen Methode expliziert wird. Einiges spricht dafür, daß er sie dabei mit dem Schritt der Analyse gleichsetzt, wie einige Interpreten wohl zu recht vermuten. Von diesen methodischen Maximen läßt sich m. E. zeigen, daß sie bereits seinen Vorlesungen zur Optik zugrunde lagen und somit nicht als Reaktion auf spätere Einwände gegen seine *New Theory about Light and Colours* von 1672 oder als nachträgliche Rechtfertigung seiner Resultate gedeutet werden können.³⁰

Um die wesentlichen Merkmale von Newtons induktiver Vorgehensweise genauer zu bestimmen, soll in drei Schritten vorgegangen werden. In einem ersten Schritt (Abschnitt c.) soll der Ausgangspunkt und in einem zweiten Schritt (Abschnitt d.) das Ziel der Induktion näher bestimmt werden. Anschließend (Abschnitt e.) wird genauer analysiert,

Sciences 3 (1966/67), 206-248; hier 240f.

³⁰ Cf. dazu mein beiliegendes Manuskript K.-N. Ihmig, *Die Bedeutung der Methoden der Analyse und*

welche methodischen Verfahren Newton in Anschlag bringt, um vom Ausgangspunkt zu den Zielen zu gelangen. Das Material, an dem seine Verfahrensweise gut studiert werden kann, sind seine frühen Vorlesungen zur Optik. Sie bieten den Vorteil, daß ihr Aufbau in methodischer Hinsicht eine größere Transparenz aufweist als die späteren *Opticks*, obgleich sich der Ansatz der induktiven Methode in der Zwischenzeit kaum verändert hat. Das hat insbesondere damit zu tun, daß Newton die induktive Methode in der Query 31 der *Opticks* (1717) explizit mit der Methode der Analysis identifiziert hat, deren Ursprung in der antiken Geometrie zu suchen ist. Es läßt sich zeigen, daß die analytische Methode in Verbindung mit der synthetischen Methode sowohl in seinen frühen Vorlesungen zur Optik als auch in den *Principia* und den *Opticks* angewandt wurde. Daher vermag die Untersuchung seiner Frühschriften zur Optik auch Aufschluß über seine methodische Konzeption im allgemeinen zu geben.

c. Die Phänomene als Ausgangspunkt der Induktion

Das Wesen der Experimentalphilosophie besteht nach Newton darin, daß sie ihre Propositionen aus den Phänomenen „deduziere“ bzw. ableite. Das „Argument der Induktion“ müsse von Experimenten und Beobachtungen von Sinnesdingen ausgehen. Man erkennt hier durchaus ein Analogon zur Induktion Bacons, deren Grundlage die Naturgeschichte bildete. Bacon verstand darunter eine Sammlung empirischer Fakten, Daten, Beobachtungen, Experimenten und Überlieferungen. Sie sollte insbesondere im geplanten dritten Teil der *Instauratio Magna* unter dem Titel *Phaenomena Universi, sive Historia Naturalis et Experimentalis* ausführlicher dargestellt werden. Diese Sammlung für sich genommen gehörte jedoch noch nicht der eigentlichen Induktion an, sondern bildete deren Voraussetzung. Es hat sich gezeigt, daß aber gerade die Naturgeschichte im 17. Jahrhundert als wesentlicher Teil der induktiven Methode Bacons angesehen und rezipiert wurde. Allerdings wurde die Form, in der Bacon selbst Beispiele für solche Sammlungen gegeben hatte, wie z.B. die 1627 publizierte Schrift *Sylva Sylvarum*, als völlig unzureichend und willkürlich empfunden.³¹ Newton knüpft somit einerseits an Bacons Gedanken an, die ‘phaenomena universi’ zum Ausgangspunkt seiner Untersuchungen zu machen, andererseits dürfte ihm die Kritik an Bacons Art der Durchführung geläufig gewesen sein. Wie sieht seine ‘Historia Naturalis et Experimentalis’ aus?

Gleich zu Beginn seiner ersten Publikation von 1672, der *New Theory about Light and Colours*, verweist Newton darauf, daß die Phänomene den Ausgangspunkt seiner

Synthese für Newtons Programm der Mathematisierung der Natur.

³¹ Cf. Th. Sprat, *History of the Royal Society*, ed. by J. I. Cope and H. W. Jones, St. Louis/London 1958 [London 1667], 36: „His [Bacon’s] Rules were admirable: yet his *History* not so faithful, as might have been wish’d in many places, he seems rather to take all that comes, then to choose; and to heap, rather, then to register.“ Man muß dabei jedoch im Auge behalten, daß Bacon selbst an vielen Stellen auf das Ungenügende seiner Natur- und Experimentalgeschichte hingewiesen hat.

Betrachtungen bilden: „[...] in the beginning of the Year 1666 (...) I procured me a Triangular glass-Prisme, to try therewith the celebrated *Phaenomena of Colours*.“³² Auf welche ‘berühmten Farbphänomene’ spielt Newton hier an? Turnbull verweist in seinem Kommentar der entsprechenden Stelle auf die Schrift *Les Météores* von Descartes, die 1637 als Anhang zum *Discours de la Méthode* erschienen war. Descartes versuchte dort die Farberscheinungen des Regenbogens zu erklären und beschrieb zu diesem Zweck ein Experiment, in dem er mithilfe eines Prismas diese Farberscheinungen zu reproduzieren versuchte. Er legte ein dreieckiges Kristallprisma auf eine waagrecht stehende Oberfläche, so daß die Sonnenstrahlen in etwa senkrecht auf die schräg geneigte Basisfläche des Prismas auftrafen. An der Unterseite des Prismas befand sich eine kleine Öffnung, durch die die Strahlen austreten konnten und unmittelbar dahinter ein weißes Blatt, auf das sie projiziert wurden. Dann erschienen nach Descartes’ Angabe die Regenbogenfarben, wobei stets Blau oder Violett auf der einen und Rot auf der anderen Seite des Blattes zu sehen waren. Er wies darauf hin, daß die Farberscheinungen durch Schatten begrenzt sein mußten; denn wenn die Öffnung zu groß wurde, verschwanden die Farberscheinungen.³³ Newton hat sich bei seinen eigenen Erklärungsversuchen des Regenbogens, die aus der Zeit zwischen 1666 und 1671 dokumentiert sind, ausdrücklich kritisch auf Descartes Erklärung bezogen.³⁴ Neben Descartes hatte auch Robert Boyle mit dem Prisma experimentiert. 1664 erschien sein Werk *Experiments and Considerations touching Colours*, von dem Newton zwar kein Exemplar besessen hat, das er aber sorgfältig rezipiert hat, wie eine Reihe von Anmerkungen beweisen, die Newton dazu niedergeschrieben hat.³⁵ Boyles Prismaexperiment weist allerdings eine eigentümliche Versuchsanordnung auf. Er ließ die Lichtstrahlen auf die Spitze des Kristallprismas, das in seiner Beschaffenheit dem von Descartes benutzten gleicht, auftreffen, so daß aufgrund einer Vielzahl sich überlagernder Brechungen und Reflexionen die Regenbogenfarben an vier Stellen gleichzeitig auftraten.³⁶ Vermutlich steckt in Newtons Bemerkung aber auch eine leicht ironisch gefärbte Bezugnahme auf die *Micrographia* von Robert Hooke, die 1665 erschienen war.³⁷ Darin

³² I. Newton, *New Theory about Light and Colours*, in: H. W. Turnbull (ed.), *The Correspondence of Isaac Newton*. Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 92.

³³ Cf. R. Descartes, *Discours de la Méthode plus Les Météores*, ed. par J.-R. Armogathe et V. Carraud, Fayard 1986, 295-297. Cf. dazu auch A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, London 1967, 64f.; M. Mamiani, *Isaac Newton filosofo della natura. Le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo newtoniano*, Firenze 1976, 81f., sowie A. R. Hall, *All was Light. An Introduction to Newton’s Opticks*, Oxford 1993, 9f.

³⁴ Cf. I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol III: 1670-1673, ed. by. D. T. Whiteside, Cambridge UP 1969, Appendix 2: The rainbow, 543f. Cf. auch Newtons kurze Abhandlung *Of Colours*, die vermutlich aus den Jahren 1665/66 stammt. Dort verweist er ebenfalls explizit auf Descartes’ Abhandlung *Les Météors*. Cf. I. Newton, *Of Colours* [ULC. ADD. 3975], in: J. E. McGuire/M. Tamny *Certain Philosophical Questions: Newton’s Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 466-489; hier insbesondere 480f.

³⁵ Cf. A. R. Hall, *All was Light. An Introduction to Newton’s Opticks*, Oxford 1993, 13.

³⁶ Cf. M. Mamiani, *Isaac Newton filosofo della natura. Le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo newtoniano*, Firenze 1976, 83-85.

³⁷ Newton hat vermutlich schon kurz nach dem Erscheinen von Hookes Werk Exzerpte mit kritischen Bemerkungen angefertigt, die sich auf Hookes Erklärung der Entstehung der Farben bei der Lichtbrechung

erörterte Hooke unter dem Titel: „Observation IX. Of the Colours observable in Muscovy Glass, and other thin Bodies“ eine Reihe von Beobachtungen zu Farberscheinungen und spricht in diesem Zusammenhang gelegentlich von den „phaenomena of colours“.³⁸ Aber er beschränkte sich keineswegs auf die bloße Beschreibung von Beobachtungen, sondern setzte sich kritisch mit Descartes' Erklärungshypothese der Farberscheinungen auseinander und entwickelte im Anschluß daran als Alternative seine eigene Hypothese.³⁹ In bezug auf die Ursachen der Farben stellte er abschließend fest: „[...] I think these I have newly given are capable of explicating all the *Phenomena* of colours, not onely of those appearing in the *Prisme*, Water-Drop, or Rainbow, and in laminated or plated bodies, but of all that are in the world.“⁴⁰

Bedeutsam für den Begriff des 'Phänomens' ist folgendes. Darunter wurden zum einen natürliche Erscheinungen verstanden, die man ohne große Mühe direkt beobachten konnte wie die Farben eines Regenbogens. Zum anderen subsumierte man darunter auch experimentell erzeugte Erscheinungen wie das Farbspektrum, das entstand, wenn man das Licht auf ein Prisma lenkte. Diese experimentell erzeugten Phänomene dienten dazu, die Ursachen der Erscheinungen zu ergründen. Da man beispielsweise die Farben am Regenbogen nicht direkt untersuchen konnte, weil dieses Phänomen nur punktuell und für sehr kurze Zeit auftrat, versuchte man, es vermittels geeigneter Experimente zu reproduzieren, um ihm eine gewisse Stabilität zu verleihen. Dies geschah in der Annahme, daß sich die Natur des Phänomens dabei nicht veränderte. Das bedeutete, die Farben des Regenbogens entsprachen ihrem Wesen nach den Farben des Prismas oder den Farben dünner Plättchen. Darüber hinaus entwickelte man Modelle, um zwischen den natürlichen Erscheinungen und den künstlich reproduzierten Erscheinungen zu vermitteln. So hatte beispielsweise Descartes einen sphärischen mit Wasser gefüllten Behälter als Modell eines Wassertropfens konstruiert, um daran die Brechungsverhältnisse des Lichts exemplarisch zu studieren. Und noch eine weitere Eigenschaft der Phänomene ist hervorzuheben. Descartes, Hooke und Newton hatten ganz unterschiedliche Vorstellungen in bezug auf die mögliche Erklärung der Farberscheinungen. Dennoch erkannten alle drei die Phänomene als unbestrittene Grundlage jeder möglichen Erklärungshypothese an. Demnach wurden die 'Phänomene' auch als allgemein anerkannte Grundlagen verstanden, die sich neutral gegenüber jedweder theoretischen Erklärung verhielten und die gewissermaßen den allgemein anerkannten Maßstab zur Beurteilung dieser Erklärungen bildeten. Solche syste-

sowie seine Beobachtungen der 'Farben dünner Plättchen' beziehen. Cf. A. R. Hall/M. B. Hall (eds.), *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*, Cambridge 1962, „Out of Mr. Hooks Micrographia“, 400-413; zur Farbenlehre cf. insbesondere 402-405. Einige der bereits hier formulierten Einwände hat Newton im Zuge der Auseinandersetzung mit Hooke im Jahre 1672 nochmals bekräftigt.

³⁸ Cf. R. Hooke, *Micrographia or some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses With Observations and Inquiries thereupon*, London 1665, 50; 59; 67.

³⁹ Cf. A. E. Shapiro, „Kinematic Optics: A Study of the Wave Theory of Light in the Seventeenth Century“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 11 (1973), 134-266; insbesondere 188-202.

⁴⁰ R. Hooke, *Micrographia or some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses With Observations and Inquiries thereupon*, London 1665, 67.

matisch erzeugten Phänomene haben natürlich einen völlig anderen Charakter als die zufällige Sammlung und Zusammenstellung von Beobachtungen. Gleichwohl ist es plausibel anzunehmen, daß solche zufälligen Erscheinungen im historisch-genetischen Sinne den Anfang einer systematischen Untersuchung bilden. Dies trifft wohl insbesondere auf Newton zu, der sich schon als Kind für das Mischen von Farben und für die Malerei interessierte und als junger Student die Farberscheinungen studierte, die sich am Boden oder an den Wänden der Collegekapelle in Trinity abzeichneten, wenn das Sonnenlicht durch die bunten Kirchenfenster fiel.⁴¹

Etwas anders ist die Situation in der Himmelsmechanik. Die Planeten, Kometen und Monde lassen sich nicht auf die Erde holen, um daran direkt Experimente durchzuführen. Dennoch führte Newton in der zweiten Auflage der *Principia* 1713 zu Beginn des dritten Buches insgesamt sechs *Phänomene* auf, die die Grundlagen seiner Gravitationstheorie bildeten. Er konstatiert im wesentlichen die Geltung des Zweiten und Dritten Keplerschen Gesetzes für die Systeme Sonne - Planeten, Jupiter - Trabanten, Saturn - Trabanten und Erde - Mond.⁴² Hier handelt es sich natürlich um Phänomene in einem sehr weiten Sinne, da diese Gesetze selbst nicht Gegenstand der direkten Beobachtung sind, sondern qua Gesetze mittelbar aus den Erscheinungen unter Zugrundelegung genauer Beobachtungen und mathematischer Berechnungen erschlossen werden müssen. Auch dabei scheint es eine Rolle zu spielen, daß diese Phänomene eine allgemein anerkannte Grundlage möglicher Erklärungshypothesen bilden. Möglicherweise hatte die Unsicherheit über einige dieser Phänomene zu einem früheren Zeitpunkt Newton dazu veranlaßt, in der ersten Auflage der *Principia* von 1687 noch von fünf Hypothesen statt von sechs Phänomenen zu sprechen. Teilweise differierten die Astronomen in der Berechnung der Abstände der Trabanten des Jupiter vom Jupitermittelpunkt, teilweise war die Existenz bestimmter Objekte, wie die der Saturnmonde, von denen Cassini berichtet hatte, nicht unumstritten. So war etwa Flamsteed zu Beginn der 80er Jahre des 17. Jahrhunderts nur von der Existenz eines einzigen Saturnmondes überzeugt.⁴³ Im Unterschied zu den Experimenten mit dem Prisma, die im Prinzip jeder reproduzieren kann, der über eine genaue Versuchsbeschreibung und die entsprechenden Geräte verfügt, ist man im Bereich der Astronomie auf die Übereinstimmung und Zustimmung einiger weniger Experten angewiesen. Hier handelt es sich bei Phänomenen eher um im Laufe der Zeit sich bestätigende Sachverhalte als um die unmittelbare Beobachtung von Objekten.⁴⁴

In Newtons gedruckten Schriften finden sich keine expliziten Erläuterungen des Be-

⁴¹ Cf. J. A. Lohne/B. Sticker (Hg.), *Newtons Theorie der Prismenfarben*, mit Übersetzung und Erläuterung der Abhandlung von 1672, München 1969, 7f.

⁴² Cf. I. Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, übersetzt u. hgg. v. V. Schüller, Berlin/New York 1999, 382-386.

⁴³ Cf. R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge 1980, 408.

⁴⁴ Cf. dazu auch P. Achinstein, „Newton's Corpuscular Query and Experimental Philosophy“, in: Ph. Bricker/R. I. G. Hughes (eds.), *Philosophical Perspectives on Newtonian Science*, Cambridge(Mass.)/London 1990, 135-173; hier insbesondere 137f.

griffs des Phänomens. Allerdings ist man auf zwei unveröffentlichte Manuskripte gestoßen, von denen eines eine Definition dieses Begriffs enthält und das andere eine Erläuterung desselben in Gestalt einer geplanten fünften Regel der 'Regulae Philosophandi'. Insbesondere der letztere Umstand läßt vermuten, daß diese Entwürfe aus späterer Zeit stammen, d.h. nach der zweiten Auflage der *Principia* von 1713 entstanden sind. Der Entwurf einer Definition dessen, was Newton unter 'Phänomen' versteht, lautet folgendermaßen: „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.“⁴⁵ Newton weist hier ausdrücklich darauf hin, daß er unter 'Phänomenen' nicht nur Dinge versteht, die mittels der äußeren Sinne wahrgenommen werden können, sondern auch solche, die der inneren Denktätigkeit entspringen. Als Beispiele für die erste Kategorie sind vermutlich gemeint: „Das Feuer ist heiß“, „Das Wasser ist naß“, „Gold ist schwer“ oder „Die Sonne ist hell“. Dabei handelt es sich jedoch weniger um die unmittelbare Wahrnehmung von Dingen, sondern um die Zuschreibung von Eigenschaften in Form eines Urteils. Aber vermutlich denkt Newton hier nicht an die Urteile, in denen sich diese Sachverhalte ausdrücken, sondern an die Sachverhalte selbst. Dies zeigen seine Beispiele für die zweite Kategorie: „Ich bin“ und „Ich denke“. Hier kommt als Phänomen eigentlich nur die Selbstwahrnehmung der eigenen Existenz und des eigenen Denkens in Betracht und nicht ihre Formulierung in einem Urteil. Im Gegensatz zu Descartes betrachtet Newton beides gleichermaßen als Phänomene und führt nicht eines (nämlich die Existenz) auf das andere (das Denken) zurück. Vermutlich hängt dies mit der Zurückweisung des cartesischen Substanzdualismus zusammen, für die sich schon sehr früh Anhaltspunkte bei Newton finden lassen.⁴⁶

Die zweite für die Bestimmung des Phänomenbegriffs relevante Stelle ist der Entwurf zu einer geplanten fünften Regel der 'Regulae Philosophandi'. Diese Ergänzung erschien vermutlich deshalb erforderlich, weil die der zweiten Auflage hinzugefügte vierte Regel den Phänomenen eine ausgezeichnete epistemische Stellung zugewiesen hatte, sofern sie den Ausgangspunkt und zugleich die kritische Prüfungsinstanz von induktiv verallgemeinerten Sätzen bildeten. Daher lag es nahe, sich genauer darüber zu erklären, was man unter einem 'Phänomen' eigentlich zu verstehen hat. „Rule V. Whatever things are not derived from objects themselves, whether by the external senses or by the sensation of

⁴⁵ Cf. ULC. Ms. 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.

⁴⁶ Cf. I. Newton, *Über die Gravitation ... Texte zu den philosophischen Grundlagen der klassischen Mechanik*, übersetzt und hgg. v. G. Böhme, Frankfurt a.M. 1988. Die Entstehungszeit dieses Textes ist

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."⁴⁷ An dieser Stelle wird der Hypothesenbegriff im Kontrast zum Begriff des Phänomens expliziert. Während Newton unter Phänomenen (im Einklang mit der zuvor erläuterten Definition) alles das versteht, was uns entweder vermittelt der fünf äußeren Sinne oder vermittelt der Wahrnehmung innerer geistiger Zustände zugänglich ist, zeichnen sich Hypothesen dadurch aus, daß sie weder selbst Phänomene sind, noch von Phänomenen abgeleitet sind. Auch hier liegt wieder der zuvor schon erläuterte weitere Phänomenbegriff zugrunde. Im Unterschied zur zuvor erläuterten Definition gibt Newton hier keine Beispiele für Phänomene, die uns durch die fünf äußeren Sinne zugänglich sind, wohl aber eine ausführliche Liste solcher Phänomene, die man als 'innere Phänomene' bezeichnen könnte. Sie beziehen sich allesamt auf gewisse geistige Aktivitäten oder innere Gemütszustände.

Newtons weiter Begriff des Phänomens umfaßt sicherlich noch eine weitere wichtige Nuance, die von ihm zwar nicht explizit genannt wird, die aber gerade für sein Programm einer mathematischen Behandlung der Naturdinge von entscheidender Bedeutung war, nämlich die genaue quantitative Bestimmung des Beobachteten. Die sechs Phänomene der *Principia* sind ein gutes Beispiel dafür, da sie eine Reihe von Tabellen enthalten, in denen quantitative Werte der Abstände und Umlaufzeiten der Monde von Jupiter und Saturn sowie die mittleren Abstände der Planeten von der Sonne festgehalten sind. Aber auch alle optischen Phänomene hat er stets mit größter Genauigkeit festzuhalten versucht. Davon legt insbesondere ein früher Entwurf seiner Untersuchungen zu den Farben dünner Plättchen, den später sogenannten „Newtonschen Ringen“, beredtes Zeugnis ab. So hat er in einer Reihe von tabellarisch aufgeführten Messungen die Größe und den Abstand der farbigen Ringe in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren, wie z.B. dem Winkel des einfallenden Lichts, der Farbe des einfallenden Lichts oder der Art der Materie, die sich in dem dünnen Zwischenraum der aufeinandergepreßten Glasplatten befindet, mit

umstritten. Sehr wahrscheinlich wurde er Ende der 60er Jahre verfaßt.

⁴⁷ I. B. Cohen, *Introduction to Newton's 'Principia'*, Harvard 1971, 30. Der lateinische Originaltext lautet (op. cit., 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.“

unglaublicher Genauigkeit bestimmt.⁴⁸ Entsprechendes gilt auch für viele andere Untersuchungen. Die Frage ist, ob solche Meßwerte noch zu den Phänomenen selbst gerechnet werden können, oder ob es sich dabei bereits um Folgerungen handelt, die aus den Phänomenen gezogen werden. Diese Frage läßt sich nicht ganz eindeutig beantworten. Dagegen spricht, daß es sich dabei um theoretische Konstrukte handelt, die mindestens den Zahlbegriff und die Grundgesetze der Arithmetik voraussetzen. Dies gilt insbesondere für die sechs zu Beginn des dritten Buches der *Principia* aufgezählten Phänomene, die darüber hinaus noch die Geltung physikalischer Gesetze, nämlich der Keplerschen Gesetze, konstatieren.⁴⁹ Andererseits faßt Newton den Phänomenbegriff so weit, daß darunter nicht nur sinnlich wahrnehmbare Dinge fallen, sondern auch geistige Entitäten, die das Produkt innerer Reflexion sind. Unter diesen weiten Begriff könnte man sicher auch mathematische Gegenstände und Kalkulationen fassen. Entscheidend ist nur, daß sie stets in einem engen Bezug zu sinnlich wahrnehmbaren Gegenständen stehen müssen. Diese Verknüpfung von sinnlichen und geistigen Momenten findet sich insbesondere in mathematischen Idealisierungen, die Newton offenbar auch zu den Phänomenen rechnet.

Ein interessantes Beispiel dafür bietet seine Reproduktion des Farbspektrums vermittels des Prismas. Wie erwähnt, haben Descartes, Boyle und Hooke bereits vor ihm mit dem Prisma Farberscheinungen erzeugt. Allerdings in völlig unterschiedlicher Weise. Descartes' Versuchsaufbau führte dazu, daß er keineswegs ein „reines“ Farbspektrum beobachten konnte, sondern man sah in der Mitte des Projektionsschirms einen weißen Fleck, während Farben nur an den Rändern des Flecks beobachtet werden konnten. Das lag daran, daß der Schirm, auf dem das Farbspektrum abgebildet werden sollte, viel zu nahe am Prisma plazierte wurde. Darunter litten auch alle anderen diesbezüglichen Versuche vor Newton.⁵⁰ Demgegenüber hatte Newton schon sehr früh herausgefunden, daß der Schirm hinreichend weit vom Prisma entfernt sein muß, um das Farbspektrum in seiner vollen Intensität sehen zu können. In seiner *New Theory about Light and Colours* von 1672 schwärmt er: „It was at first a very pleasing divertisement, to view the vivid and intense colours produced thereby“.⁵¹ Newton macht an dieser Stelle, wie auch später

⁴⁸ Cf. R. S. Westfall, „Isaac Newton's 'Coloured Circles 'twixt two Contiguous Glasses'“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 2 (1965), 181-196. Cf. op. cit., 184: „At what he demanded of his experimental technique it leaves us nothing less than dumbfounded. He measured the circles with his naked eye; with amazement we note him distinguishing not only hundredths of an inch but fractions of a hundredth, confidently recording one circle as $23 \frac{1}{2}$ and the next as $34 \frac{1}{3}$.“

⁴⁹ Cf. 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.“

⁵⁰ Cf. A. E. Shapiro, „Kinematic Optics: A Study of the Wave Theory of Light in the Seventeenth Century“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 11 (1973), 190: „Descartes' color theory was based on his observation of prismatic colors, but his experiment suffered from the same drawback as all experiments with prismatic colors before Newton: The spectrum was not observed sufficiently far from the prism so that the colors could separate completely.“

⁵¹ I. Newton, *New Theory about Light and Colours*, in: H. W. Turnbull (ed.), *The Correspondence of*

in den *Opticks*, keine genauen Zahlenangaben, aus der Versuchsbeschreibung geht jedoch hervor, daß das Prisma sehr nah an der Öffnung des Fensterladens plaziert wurde und das Spektrum auf die *gegenüberliegende* Wand projiziert wurde. Eine frühe Abhandlung aus den Jahren 1665/66 macht die Angabe einer Entfernung von 260 Inches, was etwa 6,60 m entspricht.⁵² Das Herausfinden einer solchen idealen Entfernung zur Reproduktion des Farbspektrums setzt natürlich eine Reihe von Versuchen und Messungen voraus. Die auf diese Weise ermittelten Erzeugungsbedingungen liefern Erkenntnisse bezüglich der Genese eines Phänomens und tragen somit zur Klärung der Umstände bei, unter denen es konstant reproduziert werden kann. Auf diese Weise werden zum einen die Phänomene, wie hier die Spektralfarben, in äußerster Intensität und Reinheit dargestellt und zum anderen wird erst dadurch eine mathematische Beschreibung derselben ermöglicht. So spielt für Newtons Deutung des Prismaversuchs die exakte Gestalt des länglich erscheinenden Spektrums eine wesentliche Rolle. Diese beschreibt er jedoch als ebene *geometrische* Figur, die oben und unten von zwei parallelen Linien und an den Rändern von Halbkreisen begrenzt wird. Obwohl Newton klar gewesen ist, daß dies eine idealisierte Annahme im Sinne von Grenzbestimmungen darstellt, denen sich die realen beobachtbaren Verhältnisse nur annähern lassen, hat er alle weiteren Folgerungen, die er aus dem Experiment gezogen hat, auf diese idealisierte Form der 'Phänomene' gestützt.⁵³

Es zeigt sich also, daß der Begriff des Phänomens bei Newton ein großes Bedeutungsspektrum aufweist. Es reicht von sinnlichen Wahrnehmungen der Dinge des Alltags über das Bewußtsein innerer Reflexionen bis hin zu mathematisch idealisierten Beschreibungen von Sachverhalten. Im letzteren Fall ist es oft schwierig zu entscheiden, inwieweit solche idealisierten Phänomene die Grundlage einer Theorie bilden oder bereits ihrerseits aus bestimmten theoretischen Annahmen abgeleitet sind. Dabei ist von Bedeutung, daß die Phänomene zur damaligen Zeit als allgemein anerkannte Fakten verstanden wurden, die als Entscheidungskriterien über Theorien resp. Hypothesen fungieren können. Dies gilt für Descartes ebenso wie für Boyle, Hooke, Huygens und Newton. Diese Funktion wäre jedoch gefährdet, wenn derartige Phänomene bereits von theoretischen Annahmen infiziert wären, über die sie eigentlich zu entscheiden hätten. Andererseits ist von Bedeutung, daß die idealisierte Form der Phänomene von Newton nicht isoliert betrachtet wird, sondern als Grenzwert einer Reihe von realen Phänomenen erscheint, die sich diesem Ideal *sukzessive* und *kontinuierlich* annähern. Vermittels dieser kontinuierlichen Reihe lassen sich Schlußfolgerungen, die aus der idealisierten Darstellung gezogen werden - unter den entsprechenden Einschränkungen - auf die realen Phänomene übertra-

Isaac Newton. Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 92-102; hier 92.

⁵² Cf. I. Newton, *Of Colours* [ULC. ADD. 3975], in: J. E. McGuire/M. Tamny *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 468. In seinen Vorlesungen gibt er nur an, daß der Schirm „hinreichend weit“ vom Prisma entfernt sein müsse. Cf. A. E. Shapiro, *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 52.

⁵³ Cf. dazu R. Laymon, „Newton's *Experimentum crucis* and the Logic of Idealization and Theory Refutation“, in: *Studies in History and Philosophy of Science* 9 (1978), 51-77.

gen. Dabei spielt die Annahme von der Gleichförmigkeit und Kontinuität der Natur (oder „*analogia naturae*“) eine entscheidende Rolle, die Newton an vielen Stellen seiner Werke auch explizit als Voraussetzung nennt.

d. Allgemeine Prinzipien als Ziel der Induktion

Nach Bacon bestand das Ziel der Induktion darin, die allgemeinen 'Formen' der untersuchten 'Naturen' oder Eigenschaften herauszufinden. Im Rahmen von Newtons Begriffssystem gibt es dafür kein Äquivalent. Dabei ist zu jedoch beachten, daß Bacon seinen Begriff der Form explizit von dem aristotelischen Formbegriff abgrenzt und ihn häufig mit dem Gesetzesbegriff, dem Begriff der Prinzipien oder auch mit dem Begriff der Ursachen gleichsetzt. Axiome sind für Bacon gewissermaßen Stationen oder Haltepunkte auf dem Weg zur Erkenntnis der Prinzipien. Es sind Stufen einer ersten Verallgemeinerung, die aufgrund der Untersuchung einer begrenzten Sphäre von Dingen erklommen werden müssen, die aber zugleich als Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen und weitere Verallgemeinerungen dienen. Er knüpft hier an den Axiomenbegriff von Petrus Ramus und der Stoa an. Sie haben Axiome im Rahmen der sich an die Rhetorik anlehenden Dialektik als „*pronuntiata*“ begriffen, d.h. als (vorläufige) Festsetzungen, die innerhalb eines Gesprächs bei der Erforschung eines Gegenstands geprüft und durchlaufen werden. Darüber hinaus kommt Bacons Axiomen ein janusköpfiges Wesen zu. Sie sind zum einen theoretische Verallgemeinerungen, zum anderen Handlungsanweisungen zur Erzeugung gewisser Eigenschaften. Im letzteren Sinne verwendet er „*Axiom*“ auch synonym mit „*directio*“ oder „*deductio*“. Der Erfolg bei der Erzeugung einer Eigenschaft gemäß der dem Axiom korrespondierenden „*deductio*“ fungiert auch als Test für die Richtigkeit des theoretischen Gehalts des Axioms selbst. Am Ende der Stufenleiter der Axiome stehen die Formen oder Prinzipien, die Bacon offensichtlich als allgemeinste Fundamente oder Grundlagen einer Wissenschaft betrachtet. Sie entsprechen damit den „*archai*“ der aristotelischen Wissenschaft, den höchsten Prinzipien, die das Fundament einer Wissenschaft bilden.

Auch dann, wenn Newton die Inhalte der aristotelisch-scholastischen Naturphilosophie zurückweist, bleibt er noch insofern ihrem formalen Wissenschaftsbegriff verpflichtet, als er ebenfalls davon ausgeht, daß deren Fundamente in obersten Prinzipien bestehen, auf denen das übrige Gebäude beruht. In diesem Sinne betrachtet er in dem oben zitierten Brief an Cotes die Axiome oder Gesetze der Bewegung als solche obersten Prinzipien, die aus den Phänomenen deduziert und vermittels der Induktion verallgemeinert worden seien. Auch das Prinzip der universellen Gravitation scheint er als induktiv gewonnenes Prinzip zu betrachten, obwohl es nicht die Grundlage, sondern das Resultat seiner Mechanik darstellt. Neben solchen Prinzipien betrachtet Newton auch allgemeine Eigenschaften als das Ergebnis induktiver Verallgemeinerungen. Im 'Scholium Generale' beispielsweise nennt er neben den Gesetzen der Bewegung und dem Gravitationsprinzip

auch die Eigenschaften der Undurchdringlichkeit, des Vermögens Widerstand gegen eine Änderung des Bewegungszustands zu leisten (Trägheit qua „resistentia“ gemäß der Definition 3) und der Beweglichkeit der Körper. Zusammenfassend besteht das Ziel der Induktion für Newton in der Ermittlung allgemeiner Eigenschaften, Gesetze, Axiome und Prinzipien. Meistens spricht er von „allgemeinen Propositionen“, die aus induktiven Argumenten hervorgehen. Damit wird jedoch nur die Form der Allgemeinheit angesprochen, die sowohl den Eigenschaften als auch den Axiomen, Gesetzen und Prinzipien gleichermaßen zukommt, da sich alle in allgemeinen Propositionen ausdrücken lassen. Der inhaltliche Zusammenhang zwischen allgemeinen Eigenschaften und Axiomen oder Prinzipien ist leicht zu erklären. Beispielsweise wird im Trägheitsaxiom die *Eigenschaft* der Körper ausgedrückt, sich ohne äußere Einwirkung stets geradlinig-gleichförmig fortzubewegen. Oder das *Prinzip* der universellen Gravitation drückt die *Eigenschaft* der Materie überhaupt aus, sich über beliebige Entfernungen hinweg gemäß einem bestimmten mathematischen Gesetz anzuziehen.

Eine weitere Bestimmung des Ziels der Induktion bei Newton ergibt sich daraus, daß die Induktion ein Moment der analytisch-synthetischen Methode ausmacht bzw. insbesondere mit dem Teil der Analyse identisch ist. Was ist das Ziel der Analyse? „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.“⁵⁴ Allgemein geht es in der Analyse also darum, aus den (beobachtbaren) Wirkungen die Ursachen zu erschließen. Dabei handelt es sich nicht nur um eine Ursache, sondern um eine Ursachenkette, die von besonderen Ursachen zu allgemeinen Ursachen aufsteigt. Dies wird durch die folgende Äußerung Newtons bestätigt: „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“.⁵⁵ In welchem Verhältnis steht dieses Ziel der sukzessiven Erforschung der Ursachen zu dem zuvor konstatierten Ziel der Erforschung von Eigenschaften, Gesetzen und Prinzipien? Die Ursache eines bestimmten Sachverhalts oder Ereignisses setzt sich im allgemeinen aus einer Vielheit von Bedingungen zusammen, deren momentanes Zusammentreffen diesen Sachverhalt oder dieses Ereignis zur Folge hat. Für den Naturforscher kommt es darauf an, die wesentlichen von den unwesentlichen Bedingungen zu unterscheiden, d.h. solche Bedingungen, die notwendigerweise mit dem Eintreten eines bestimmten Sachverhalts verknüpft sind und solche, die sein Eintreten oder Nichteintreten nicht beeinflussen können. In diesem Sinne gehören beispielsweise das Trägheitsaxiom und das Prinzip der universellen Gravitation zu den notwendigen Bedingungen des Phänomens, daß ein Himmelskörper sich um einen anderen in gesetzmäßiger Weise herumbewegt (bzw. beide sich um ihren ge-

⁵⁴ I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 404.

meinsamen Schwerpunkt bewegen). Beide Prinzipien lassen sich auch als allgemeine oder wesentliche Eigenschaften von materiellen Körpern deuten, die als Ursachen für die Erzeugung dieser Bewegung konstitutiv sind. Man erkennt daran, daß das Ziel, die zunächst partiellen Ursachen einer begrenzten Sphäre von Erscheinungen zu erforschen, mit dem Ziel der Erforschung von (wesentlichen) Eigenschaften, Axiomen und Prinzipien durchaus zusammentrifft. Allerdings wird dabei ein Begriff von Axiom vorausgesetzt, der die Evidenz der klassischen geometrischen Axiome mit inhaltlichen physikalischen Bestimmungen vereint. Im Rahmen der modernen, hilbertschen Interpretation von Axiomen als unanschaulichen, impliziten Definitionen von grundlegenden Begriffen einer Theorie ließe sich eine solche Beziehung nur schwer herstellen.

Die baconsche Vorstellung, daß man bei der Induktion stufenweise und kontinuierlich von besonderen Axiomen zu immer allgemeineren Axiomen aufsteigt, wird bei Newton offenbar durch den Gedanken ersetzt, daß man in einer Ursachenkette von besonderen (oder den nächsten) Ursachen zu immer allgemeineren Ursachen fortschreitet. Auf der untersten Stufe dieser Skala stehen die (wesentlichen) Eigenschaften von Phänomenen, die im gerade erläuterten Sinn als Ursachen bestimmter Erscheinungen begriffen werden können, sofern sie deren notwendige Entstehungs- oder Erzeugungsbedingungen darstellen. Diese Deutung wird durch zwei Entwürfe zu einem geplanten neuen Vorwort zur dritten Auflage der *Principia* bestätigt, die etwa aus den Jahren 1716-1718 stammen. Dabei geht Newton auf seine Idee einer Erklärung der Erscheinungen durch Kräfte noch ausführlicher ein, eine Idee, die sich bereits im Vorwort zur ersten Auflage findet. Darin heißt es: „Es genügt, wenn die [Gravitations-] Kräfte offensichtliche Eigenschaften sind, wenn uns auch ihre Ursachen verborgen sind und als okkult bezeichnet werden. [...] 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 uns die Ursachen der Kräfte 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 [man] auf diese Weise der Reihe nach immer weiter [fortfährt] bis man schließlich zur ersten Ursache gelangt ist.“⁵⁶ An dieser Stelle wird deutlich, daß Newton gewisse Kräfte sowohl als Eigenschaften als auch als Ursachen der Phänomene anspricht. Darüber hinaus lassen sich nach seiner Meinung wiederum Ursachen dieser Kräfte angeben, die dann die Ursachen der Ursachen der Phänomene sind. Da Gravitationskräfte die Ursachen für

⁵⁵ Op. cit., 369.

⁵⁶ Übersetzung des Verfassers. Cf. I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, ed. by D. T. Whiteside, Vol VIII: 1696-1722, Cambridge UP 1981, 452, Anm. 34: „Sufficit si vires sint qualitates manifestae licet causae earum nos lateant, & occultae dicantur. [...] 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 nullum omnino phaenomenon per causam suam recte explicari posset nisi causa hujus causae, & causae prioris redderetur & sic deinceps usque donec ad causam primam deventum sit.“

einen bestimmten Erscheinungsbereich darstellen und elektrische und magnetische Kräfte die Ursachen für andere Bereiche, gehören diese „nächsten Ursachen“ im Sinne jeweils besonderer Kräfte spezielleren Berichen an als die Ursachen dieser Ursachen. Dies würde erklären, weshalb Newton von einem Aufstieg von besonderen zu allgemeinen Ursachen spricht. Im übrigen ist es möglich, eine genaue Kenntnis der besonderen Ursachen zu erlangen, ohne die Ursachen dieser Ursachen zu kennen. Dieser Prozeß läßt sich fortsetzen, bis man bei einer ersten Ursache angekommen ist, die selbst entweder keine Ursache hat oder Ursache ihrer selbst ist. Für alle Ursachen gilt, daß sie aus den Phänomenen abgeleitet sein müssen.

Diese Interpretation wird durch das folgende Fragment bestätigt: „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 konnte. 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 ...].“⁵⁷ Zunächst wird darin der zuvor entwickelte Gedanke der Ursachenkette nochmals bekräftigt. Und es tritt der neue Gedanke hinzu, daß man, nachdem die Ursachen der (nächsten) Ursachen festgestellt und durch die Phänomene hinreichend abgesichert sind, von diesen allgemeineren Ursachen a priori zu den Wirkungen herabsteigen kann. Damit ist offenbar gemeint, daß, wenn die höchste Ursache vermittels der Induktion sicher aus den Erscheinungen abgeleitet ist, man diese dann *unmittelbar* zur Erklärung der Wirkungen zugrunde legen kann, ohne nochmals die ganze Stufenleiter der mittleren Ursachen durchlaufen zu müssen. Des weiteren ist interessant, daß Newton hier darauf besteht, daß die Naturphilosophie ihre Prinzipien nicht von der Metaphysik entlehnen darf, sondern ihre eigenen Prinzipien entwickeln muß. Das bedeutet umgekehrt, daß auch die Prinzipien der Metaphysik dem Kriterium genügen müssen, aus den Erscheinungen deduziert worden zu sein.⁵⁸

⁵⁷ Übersetzung des Verfassers. Cf. I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, ed. by D. T. Whiteside, Vol VIII: 1696-1722, Cambridge UP 1981, 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 Principijs proprijs fundanda est; & haec [?Principia ex Phaenomenis deducandasunt ...].“

⁵⁸ Cf. op. cit., 459, Anm. 49: „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 hypothesewn praepudicij mentes hominum praecoccupare.“ Übersetzung des Verfassers: „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 Philo-

Das Ziel der Induktion besteht demnach auch darin, möglichst *allgemeine* Ursachen aus den Phänomenen abzuleiten. Newton macht zwischen dem Begriff der Ursachen und den zuvor diskutierten Begriffen der Eigenschaften und Prinzipien eigentlich nirgendwo einen signifikanten Unterschied. Vielmehr weisen seine Äußerungen darauf hin, daß die im Rahmen der Analyse induktiv ermittelten *Ursachen* und *Eigenschaften* innerhalb der Synthese als *Prinzipien* zur Erklärung der Phänomene zugrunde gelegt werden. So heißt es etwa in der Query 31 der *Opticks*: „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“.⁵⁹ In einem unveröffentlichten Fragment werden die allgemeinen Eigenschaften mit den Prinzipien gleichgesetzt: „Then assuming those properties [the general properties of things] as Principles of Philosophy you may by them explain the causes of such Phaenomena as follow from them: wch is the method of Composition.“⁶⁰ Daraus geht hervor, daß sowohl allgemeine Eigenschaften als auch Ursachen als Prinzipien fungieren können, aufgrund deren die Erscheinungen erklärt werden können.

Im Unterschied zu Bacon, der von einer Stufenleiter der Axiome ausging, findet man bei Newton eine Stufenleiter der Ursachen oder Eigenschaften. Dieser Unterschied hängt wohl damit zusammen, daß Newton im Unterschied zu Bacon den Axiomenbegriff der Geometrie im Hinterkopf hat. In der Mathematik sind Axiome unveränderliche Voraussetzungen, auf denen die Theorie aufbaut. In der Naturwissenschaft hingegen können solche gesicherten Axiome nicht am Anfang, sondern bestenfalls am Ende einer induktiv entwickelten Theorie stehen. Für Newton hat der Axiomenbegriff die Bedeutung, die Bacon den Prinzipien oder Formen als höchsten Sprossen der Stufenleiter zuspricht. Daher sind für ihn Axiome, Prinzipien oder Gesetze gleichbedeutend, während bei Bacon ein Unterschied zwischen höchsten Prinzipien qua Formen und Axiomen qua 'pronuntiata' bzw. Zwischenstufen auf dem Weg der Erforschung einer Eigenschaft besteht. Das, was Bacon Axiome nennt, sind für Newton induktiv erschlossene wesentliche Eigenschaften, denen zunächst nur eine eingeschränkte Gültigkeit zukommt. Diese Einschränkung ergibt sich aus der Einschränkung des Phänomenbereichs, in dem die Induktion erfolgt ist. Seine Untersuchungen zur Optik zeigen dies ganz deutlich. Er hat bereits in seiner ersten Vorlesungsreihe von 1670/71 versucht, die *Fundamente* oder *physikalischen* Grundlagen der Farbenlehre zu entwickeln. Sie werden vermittels der Analyse oder Induktion aus den Phänomenen abgeleitet und anschließend werden aus ihnen vermittels der Synthese die Erscheinungen erklärt. Newtons Schriften zeigen jedoch, daß er diese Fundamente nicht als einen fixen, unveränderlichen Kanon betrachtet, sondern mehrfach

sophie sogleich zugänglich ist, ist es gleichwohl besser, tagtäglich wenigstens etwas hinzuzulernen als durch die Vorurteile der Hypothesen die Geister der Menschen einzunehmen.“

⁵⁹ I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 404f.

⁶⁰ U.L.C. Ms. Add. 3970.5; zitiert nach H. Guerlac, „Newton and the Method of Analysis“, in: H. Guer-

umgearbeitet hat. Daher stellen sie noch keine gesicherten Axiome oder Prinzipien für alle Farbphänomene schlechthin dar, sondern nur die „vindemiatio prima“ im baconschen Sinne, die sich auf einen bestimmten Phänomenbereich bezieht, nämlich in erster Linie auf die Phänomene der Brechung und Reflexion und die Oberflächenfarben der Körper. Daher findet man in seinen Frühschriften zur Optik noch keine explizite axiomatische Darstellung, wie sie in den späteren *Opticks* vorliegt. Gleichwohl beansprucht Newton, daß die Resultate dieser „ersten Lese“ *in ihrer Einschränkung* auf den untersuchten Bereich sichere Fundamente liefern, die eine feste Grundlage für die weitere Suche nach allgemeineren Eigenschaften oder Ursachen bilden. Sie bilden die Ausgangspunkte weitergehender Forschungen und sollen helfen, weitere Phänomenbereiche zu erschließen, wie z.B. die Phänomene der Farben dünner Plättchen, Beugungs- und Interferenzerscheinungen oder das von Huygens in den Mittelpunkt seiner Theorie gestellte Phänomen der Doppelbrechung am Island-Spat.

Die Veränderung der Fundamente seiner Theorie läßt sich anhand seiner Frühschriften zur Optik von 1670 bis 1673 gut verfolgen. Innerhalb dieses Zeitraums lassen sich vier Entwicklungsschritte unterscheiden. Den Anfang bildet seine erste Vorlesungsreihe von 1670/71. Darin listet er in der dritten Vorlesung vier allgemeine *Propositionen* auf, die den „Ursprung und die allgemeinen Fundamente“ der Farben beschreiben sollen.⁶¹ Man erkennt an dieser Beschreibung in der Sache den Doppelcharakter wieder, der den baconschen Axiomen zukam, nämlich einerseits einen theoretischen Gehalt aufzuweisen, der das Fundament der weiteren Erforschung einer Eigenschaft bildet und gleichzeitig eine „directio“ oder „deductio“ im Hinblick auf die praktische Erzeugung von Farben anzugeben; denn wenn man den Ursprung oder die Genese der Farben kennt, kann man sie auch vermittelt allgemeiner Verfahren hervorbringen. Beide Aspekte sind für Newton wie für Bacon nur zwei Seiten derselben Medaille. Newton unterstreicht dies noch dadurch, daß er das Ziel seiner Untersuchung ausdrücklich von dem der Peripatetiker abgrenzt: „What the Peripatetics have taught about these things, even if true, would nevertheless be of no value for our purpose, since as yet they do not at all consider how they are generated and the causes whereby they become so diverse.“⁶² Für Newton geht es darum, die Natur der Farben zu ergründen und zu diesem Zweck müssen zwei Dinge erforscht werden, nämlich erstens die Art, wie Farben erzeugt werden und zweitens die Ursache, wodurch sie sich unterscheiden. Diese Dinge zu erklären, bezeichnet Newton als „höchste Aufgabe der Philosophen“ („summum Philosophorum officium“). Die Erkenntnis der Natur der Farben ist demnach mit der Erkenntnis ihrer Erzeugungsweise untrennbar verbunden.

lac, *Essays and Papers in the History of Modern Science*, Baltimore/London 1977, 205f.

⁶¹ Cf. A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 84-87. Wörtlich überschreibt Newton diesen Abschnitt (op. cit., 84): „Colorum origines et fundamenta generalia describuntur“.

⁶² Op. cit., 81. Cf. op. cit., 78. „Quae Peripatetici de hisce tradidère, etsi vera forent, ad nostrum tamen propositum nihil valerent: quippe dum modum quo generantur et causas unde fiunt tam varij, non omninò attingunt.“

Newton führte seine Untersuchungen auch nicht im 'theoriefreien Raum' durch. Seine induktive Vorgehensweise konnte sich daher nicht darauf beschränken, Fakten zu sammeln und zu verallgemeinern, sondern er mußte sich zusätzlich mit den Theorien seiner Vorgänger auseinandersetzen. Neben der bereits genannten aristotelisch-scholastischen Theorie waren für ihn insbesondere die Theorien von Descartes und Hooke von Bedeutung. Newton macht sich nicht die Mühe, diese Theorien im einzelnen zu widerlegen, aber er weist auf eine Voraussetzung hin, die ihnen allen gemeinsam ist: „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.“⁶³ Sie alle nahmen an, daß es keinen Unterschied zwischen den Lichtstrahlen gebe, *bevor* sie auf einen farberzeugenden Körper auftreffen. Die Natur des Lichts bestünde demnach ursprünglich in homogenen weißen Strahlen, die alle auf gleiche Weise gebrochen würden. Erst dann, wenn sie einen brechenden Körper, wie z.B. ein Prisma, passierten, würden sie in ihrer ursprünglichen Homogenität dahingehend *modifiziert*, daß sie beim Beobachter verschiedene Farbeindrücke hervorriefen. Man nennt diese Theorien auch 'Modifikationstheorien', weil sie Farben nicht als ursprüngliche und reale Eigenschaften auffassen, die *in* dem weißen Licht *vor* den Brechungen und Reflexionen vorhanden gewesen wären. Statt dessen betrachten sie Farben als sekundäre Effekte, die *durch* die genannten Operationen allererst erzeugt werden. Genau dieser Auffassung widerspricht Newton entschieden: „Nonetheless, it will be manifestly evident from the following that the contrary is true. 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.“⁶⁴ Die Farben werden nach Newtons Auffassung nicht erst durch die Operationen der Brechung und Reflexion erzeugt, sondern sind *innere, eingeborene* und *ursprüngliche* Eigenschaften des weißen Lichts. Sie können durch Brechung und Reflexion *weder zerstört noch verändert* werden. Man kann es auch so formulieren: Farben sind für Newton keine scheinbaren, sondern *reale* Eigenschaften der Naturdinge. Genau dies will er mit seiner Farbentheorie beweisen. Er will Farben im baconschen Sinne „ex analogia natura“ und nicht „ex analogia hominis“ erklären. Damit wird auch klar, weshalb er ab ca. 1670 seine Farbenlehre nicht mehr mit einer Wahrnehmungstheorie verknüpft, wie er dies teilweise noch Mitte der 60er Jahre gemacht hatte. Dann benötigt er aber ein Kriterium dafür, in welchem Fall eine Eigenschaft als real zu betrachten ist. Offenbar ist die Unzerstörbarkeit und Unveränderlichkeit bzw. die *Invarianz* unter den genannten Operationen der Brechung und Reflexion für Newton ein entscheidendes Kriterium dafür, welche Eigenschaft

⁶³ Op. cit., 85. Cf. op. cit., 84: „Scilicet quod modificatio lucis, quâ singulos colores exhibet, ei non est insita ab origine suâ, sed inter reflectendum vel refringendum acquiritur.“

⁶⁴ Op. cit., 85. Cf. op. cit., 84: „Attamen contrarium esse verum ex sequentibus abunde patebit. Invenio scilicet quod 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

als reale „innere Eigenschaft“ (insita, connata) zu gelten hat.

Die vier Propositionen, die die Fundamente von Newtons Farbenlehre bilden, konstatieren, daß das sichtbare weiße Licht sich ursprünglich aus einer Mischung (unendlich) vieler verschiedener Lichtstrahlen zusammensetzt, die jeder für sich eine eigentümliche Disposition besitzen, eine bestimmte Farbe zu erzeugen. Dieser Disposition korrespondiert bei gleichem Einfallswinkel *ceteris paribus* eineindeutig ein bestimmter Brechungsgrad. Sowohl die Disposition einzelner Lichtstrahlen, eine bestimmte Farbe zu erzeugen, als auch der dieser Disposition korrespondierende Brechungsgrad ist invariant gegenüber allen Brechungen und Reflexionen und muß daher als eine primäre und wesentliche Eigenschaft des Lichts angesehen werden. Bezüglich dieser Eigenschaft betont Newton ausdrücklich, daß sie *nicht auf hypothetische Weise* oder nach *Art der Wahrscheinlichkeit* abgehandelt werde, sondern vermittels Experimenten und Beweisen.⁶⁵ An dieser Stelle identifiziert er Hypothesen mit Aussagen, denen nur eine gewisse Wahrscheinlichkeit zukommt. Newton bedient sich auch gelegentlich der baconschen Terminologie und bezeichnet diese ursprüngliche Eigenschaft bzw. inhärente Disposition der Strahlen ausdrücklich als „Form“. Aus dem Kontext geht eindeutig hervor, daß damit nicht der aristotelisch-scholastische Formbegriff angesprochen wird, von dem sich Newton zuvor ausdrücklich distanziert hat. Die vielleicht aussagekräftigste Stelle dazu lautet folgendermaßen: „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.“⁶⁶ Zwar entspricht der Gebrauch des Formbegriffs an dieser Stelle nicht exakt der Bedeutung, in der ihn Bacon verwendet, nämlich im Sinne der allgemeinsten Prinzipien oder Gesetze. Schränkt man den Blickwinkel aber auf den untersuchten Phänomenbereich ein, so handelt es sich durchaus um induktiv ermittelte allgemeine Eigenschaften, denen eine diesbezüglich relative Gültigkeit zugesprochen werden kann. Newton liegt hier auf einer Linie mit Bacon, sofern er die bloß wahrscheinliche Geltung seiner Fundamente der Farbenlehre im Sinne hypothetischer Annahmen zurückweist und im glei-

ullo modo mutari.“

⁶⁵ Op. cit., 86: „De quibus non hypotheticè et probabiliter, sed ab experimentis aut demonstrativè disserendum esse promittitur.“

⁶⁶ Op. cit., 143/145. Cf. op. cit., 142/144: „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.“ Weitere Stellen, an denen Newton den Formbegriff im baconschen Sinne verwendet, finden sich in op. cit., 108; 146. Dort übersetzt Shapiro den Terminus „forma“ mit „nature“, was zwar der Sache nach nicht falsch ist, was aber die Beziehung zum Begriff der Form verdeckt. Man findet den Formbegriff auch noch in Newtons

chen Atemzug von allgemeinen und unveränderlichen Formen spricht.

Die Umarbeitungen und Vertiefungen, die Newton an den Fundamenten seiner Farbenlehre vorgenommen hat, können hier nicht im Detail diskutiert werden. Was die Handschriften von 1670-1673 betrifft, so lassen sich mindestens drei weitere Stufen erkennen. Die erste Modifikation erfolgte bereits in der zweiten Vorlesungsreihe 1671/72, in der Newton fünf Propositionen zugrunde legte.⁶⁷ In seiner ersten Veröffentlichung, der *New Theory about Light and Colours* vom Februar 1672, finden sich insgesamt 13 Propositionen, in denen er seine Theorie zusammenfaßt. Die ersten acht Propositionen legen dar, wie Farben erzeugt werden und welches die Ursachen ihrer Differenzen sind. Sie leisten somit genau das, was Newton als „höchste Aufgabe der Philosophen“ in seiner ersten Vorlesung von 1670 postuliert hat. Dabei gehören die Propositionen 5 und 6 sowie 7 und 8 zusammen, so daß sich insgesamt sechs Propositionen als Fundamente der Farbenlehre ergeben.⁶⁸ Eine weitere Reformulierung der Grundlagen seiner Theorie findet sich in einem Brief an Oldenburg vom Juni 1673.⁶⁹ Newton reagierte damit auf die Kritik, die Huygens an seiner Farbenlehre geübt hatte. In diesem Brief differenziert er die Fundamente seiner Theorie in fünf Definitionen und zehn Propositionen. Die Propositionen ihrerseits werden nochmals untergliedert in zwei Fünfergruppen, wobei die zweite Fünfergruppe als Ergänzung und Erläuterung der ersten Fünfergruppe vorgestellt wird. Die ersten zwei Propositionen der ersten Fünfergruppe bezeichnet er als „matter of fact“, so daß ein Beweis überflüssig erscheint. Alle übrigen werden „more geometrico“ unter Rückgriff auf die in dem Brief genannten fünf Definitionen oder vorherige Ergebnisse der *New Theory* explizit bewiesen. Aber auch dieser Versuch hat Newton nicht ruhen lassen. Seinen ursprünglichen Plan, Mitte der 70er Jahre eine ausführlichere Abhandlung zur Optik und Farbenlehre zu publizieren, hat er vermutlich unter dem Eindruck der Auseinandersetzungen um die *New Theory* aufgegeben. Ein neuer Anlauf erfolgte erst ca. 15-20 Jahre später wie ein vermutlich um 1690-1695 geschriebenes Fragment mit dem Titel *Fundamentum Opticae* dokumentiert. Es ist auf Latein geschrieben und entspricht im wesentlichen dem ersten Buch der späteren *Opticks*.⁷⁰ Die *Opticks* selbst sind dann erstmals 1704 in englischer Sprache erschienen. 1706 folgte ihre erste Ausgabe in lateinischer Sprache. Dem schlossen sich 1719 eine zweite lateinische Ausgabe und 1717 und 1721 zwei weitere englische Ausgaben an. Die Veränderungen, die Newton innerhalb dieser Ausgaben dann noch vorgenommen hat, betreffen weniger die Fundamente der Theorie, sondern die Zahl und Anordnung der *Queries* am Ende des dritten Buches. In den *Opticks* legt er die

zweiter Vorlesungsreihe 1671/72; cf. op. cit., 436.

⁶⁷ Op. cit., 436-439.

⁶⁸ I. Newton, *New Theory about Light and Colours*, in: H. W. Turnbull, *The Correspondence of Isaac Newton*. Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 97-100.

⁶⁹ H. W. Turnbull, *The Correspondence of Isaac Newton*. Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 292-294.

⁷⁰ Cf. dazu D. Gjertsen, *The Newton Handbook*, London 1986, 421; 618. Cf. insbesondere A. E. Shapiro, „The Evolving Structure of Newton's Theory of White Light and Color“, in: *Isis* 71 (1980), 211-235; hier 230, Anm. 60. Shapiro hat versucht, die Manuskriptblätter des Ms. Add. 3970 neu zu ordnen, so

Fundamente seiner Farbenlehre in Gestalt von acht Definitionen und acht Axiomen dar, die den drei Büchern vorangestellt werden. Diese Axiome sind jedoch von anderer Natur als das, was er in seinen Frühschriften als Fundamente seiner Farbenlehre betrachtet hat. Handelte es sich bei letzteren ausnahmslos um *physikalische* Grundsätze, die die Eigenschaften des Lichts betrafen, so gehören die Axiome der *Opticks* im wesentlichen zu den Grundlagen der *geometrischen* Optik. Sie haben die Funktion, die bisherigen Ergebnisse der (geometrischen) Optik zusammenzufassen, sofern sie allgemein anerkannt werden: „I have now given in Axioms and their Explications the sum of what hath hitherto been treated of in Opticks. For what hath been generally agreed on I content my self to assume under the notion of Principles, in order to what I have farther to write.“⁷¹

Newtons Revisionen seiner Grundlagen betreffen inhaltlich vor allem drei Punkte. Erstens versucht er zu beweisen, daß das weiße Licht eine Mischung aller monochromatischer Farbstrahlen darstellt. Nun läßt sich die Differenzierung des weißen Lichts in die Farben des Farbspektrums *nach* der Brechung an einem Prisma augenfällig demonstrieren. Kein wahrnehmbares Faktum in diesem Sinne stellt jedoch die Behauptung dar, daß diese sichtbaren Farbstrahlen bereits *vor* der ersten Brechung im weißen Licht enthalten sind. Letzteres läßt sich nur auf indirektem Wege zeigen unter der Annahme der Unveränderlichkeit der monochromatischen Farbstrahlen bei Brechung und Reflexion. Daher hat Newton das Invarianzprinzip der Strahlen in verschiedenen Fassungen der Grundlagen seiner Farbenlehre als eigenständiges Prinzip zu etablieren versucht.

Zweitens präzisiert er den Unterschied zwischen sogenannten homogenen bzw. einfachen und heterogenen bzw. zusammengesetzten Lichtstrahlen. Diese Präzision ist nötig, weil dieselbe Farbe auf zwei Arten vorliegen kann, die innerhalb der sinnlichen Wahrnehmung nicht unterschieden werden können. Beispielsweise kann Grün in „reiner Form“ vorliegen oder als Mischung seiner im Farbspektrum benachbarten Farben, nämlich Blau und Gelb.⁷² Beide Arten von Grün sind in der Wahrnehmung nicht zu unterscheiden. Dennoch besteht für Newton zwischen beiden ein gravierender Unterschied, sofern im ersten Fall das Grün bei einer zweiten Brechung unverändert erhalten bliebe, während im zweiten Fall das Grün nach einer zweiten Brechung verschwände und statt dessen blaue und gelbe Farben sichtbar wären. Dieser Unterschied ist insbesondere für Newtons Behauptung von Bedeutung, daß das weiße Licht aus Strahlen *aller möglichen* Farben zusammengesetzt ist. Dies gilt nur, wenn man von homogenen und einfachen Farbstrahlen ausgeht. Betrachtet man hingegen zusammengesetzte Farben, dann kann es unter Umständen genügen, gelbe, grüne und blaue Farben zu mischen, um weißes Licht zu erhalten. Letzteres hatte Huygens beobachtet und kritisch gegen Newtons Theorie ein-

daß die ursprüngliche Form des *Fundamentum Opticae* wieder hergestellt werden konnte.

⁷¹ I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 19f.

⁷² Huygens war wie Hooke der Meinung, daß die Annahme von zwei ursprünglichen Farben, nämlich Blau und Gelb, genügen würde, um alle anderen Farben erzeugen und eine zufriedenstellende mechanistische

gewandt.⁷³

Der dritte Punkt schließlich, der hier genannt werden soll, betrifft eine Änderung, die Newton in den *Opticks* vorgenommen hat und die gewiß auch als eine Reaktion auf Huygens' Einwand zu verstehen ist. Sie bedeutete eine nicht unwesentliche Einschränkung der Allgemeinheit seiner Theorie. Newton stellt dort seine Behauptung, daß das weiße Licht aus einer Mischung *aller* (homogenen) Farbstrahlen zusammengesetzt ist, nicht mehr für weißes Licht schlechthin auf, sondern nur noch für das weiße Licht der Sonne.⁷⁴ Er differenziert also zwischen weißem Licht, das *direkt* von der Sonne kommt, und weißem Licht, welches dadurch entsteht, daß das zuvor durch ein Prisma zerlegte Sonnenlicht durch ein zweites Prisma oder eine Linse wiederum zu weißem Licht zusammengesetzt wird. Die Frage ist, ob diese zweite Art des weißen Lichts mit dem direkten Sonnenlicht identisch ist. Beide Arten von weißem Licht weisen weder in der Wahrnehmung Unterschiede auf, noch in ihrem Verhalten und ihren Eigenschaften. In seinen Vorlesungen sah er noch kein Problem, beides miteinander zu identifizieren. Er verband dies mit dem Hinweis, daß eine Reflexion und der Durchgang durch parallele Oberflächen die Natur des Lichts nicht verändern könnten.⁷⁵ Diese Auffassung war seinerzeit allgemein anerkannt und wurde auch von Descartes und Hooke geteilt. In den *Opticks* erkennt er jedoch, daß er diese Identität von direktem Sonnenlicht und durch Brechung und Reflexion erzeugtem weißem Licht bestenfalls indirekt erschließen, aber nicht direkt beweisen kann. Deshalb schränkt er seine Behauptungen über die Zusammengesetztheit des weißen Lichts durchgängig auf das direkte Sonnenlicht ein und steht damit auf der sicheren Seite. Diese Haltung kann man auch als Ausdruck seines Bestrebens werten, alles Unsichere, Hypothetische und bloß Wahrscheinliche aus der Darstellung auszuklammern und nur die Sätze in die Theorie der Farben aufzunehmen, von denen er annahm, sie könnten sicher bewiesen werden.

Erklärung der Farben geben zu können.

⁷³ Cf. H. W. Turnbull (ed.), *The Correspondence of Isaac Newton*. Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 255f. Oldenburg hatte Huygens' Brief mit einem kurzen Kommentar an Newton weitergeleitet. Cf. dazu auch A. E. Shapiro, „The Evolving Structure of Newton's Theory of White Light and Color“, in: *Isis* 71 (1980), 223f.

⁷⁴ 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. V. Theor. IV., 134-154.

⁷⁵ Cf. A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 142: „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.“ 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?“

e. Der Weg der Induktion

Nachdem Ausgangspunkt und Zielpunkt der Induktion bei Newton eingehender untersucht wurden, soll es nun darum gehen, den Weg, der von den Phänomenen über (zunächst relativ-) allgemeine Eigenschaften und partielle Ursachen schließlich zu den obersten Prinzipien einer Wissenschaft führen soll, genauer nachzuzeichnen. Als Beispiel dient wiederum die Farbenlehre. Die Eigenschaft, um die es dabei geht, ist die unterschiedliche Quantität der Brechbarkeit der Strahlen des weißen Lichts bei gleichem Einfallswinkel und ihre Korrelation mit einer bestimmten Farbe bzw. mit der Disposition der Strahlen eine bestimmte Farbe zu manifestieren. Sie wird auch als Ursache der Farben in dem Sinne aufgefaßt, daß die Farben, die zuvor implizit in der Mischung des weißen Lichts enthalten waren, nach der Brechung getrennt und damit sichtbar werden. Bedeutsam ist dabei, daß es sich hier um eine *physikalische* Eigenschaft des Lichts handelt, die vor Newton noch niemand als solche klassifiziert hatte. Die traditionelle *geometrische* Optik, die in dem von Snell und Descartes entdeckten Sinusgesetz der Brechung eine Neuerung erfahren hatte, kümmerte sich nicht um die *Ursachen* von Licht und Farben. Nun muß man den historisch-genetischen Weg der tatsächlichen Entdeckung des Fundaments von Newtons physikalischer Optik von seiner systematischen Rechtfertigung und Begründung in den *Lectiones opticae* von 1670/71 unterscheiden. Eine adäquate Darstellung der induktiven Methode hat indes zu berücksichtigen, daß sie sowohl von Newton als auch von Bacon als *ars inveniendi* begriffen wurde. Daher ist auch der Aspekt der Genese zu berücksichtigen, soweit dies anhand der spärlichen Dokumentenlage überhaupt möglich ist.

i. Zur Vorgeschichte

Bereits während seiner Schulzeit in Grantham (1655-1661) hat Newton mit Farbmischungen experimentiert, wie sie von Malern hergestellt wurden.¹ Sein theoretisches Interesse intensivierte sich in Cambridge durch die Lektüre von Descartes' *Dioptrique* und den *Météores*, die als Anhang zum *Discours de la Méthode* erstmals 1637 erschienen sind und 1644 in einer lateinischen Ausgabe ediert wurden.² Hinzu kamen das Studium von Boyles *Experiments and Considerations touching Colours*, ein Werk, das zu Beginn des Jahres 1664 in London erschienen war. Descartes und Boyle waren Vertreter des mechanistischen Weltbildes und dementsprechend waren sie bemüht, die Farbphänomene in dieses Weltbild zu integrieren. Diese Bemühungen verfehlten ihren Eindruck auf Newton

¹ Die Anleitung dazu hat er offenbar entnommen aus J. Bate, *The Mysteryes of Nature, and Art*, London 1634. Cf. dazu A. E. Shapiro, „Introduction“, in: A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 1-25; hier 2. Cf. ebenfalls R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge 1980, 61: „[...] Newton took down extensive notes from Bate, on drawing, catching birds, making various-colored inks, and the like.“

² Cf. A. E. Shapiro, „Introduction“, in: A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 7, Anm. 19. Cf. ebenfalls A. R. Hall, *All was Light*:

nicht. In einem ersten Fragment, das allerdings noch keine systematische Abhandlung darstellt und vermutlich in der zweiten Hälfte des Jahres 1664 angefertigt wurde, mischen sich noch Exzerpte aus Boyles Werk mit dem Versuch einer mechanistischen Erklärung der Oberflächenfarben von Körpern. Newton legt dabei eine physiologische Wahrnehmungstheorie der Farben zugrunde, die sich teilweise auf eigene Experimente zur Funktionsweise der Augen sowie auf theoretische Elemente von Hobbes stützt.³ Zwar enthalten seine Aufzeichnungen bereits Experimente mit dem Prisma, aber diese dienen noch nicht dem Zweck der Untersuchung der Eigenschaften des Farbspektrums. Statt dessen interessiert er sich für das Phänomen der Grenzfarben. Er betrachtet die Begrenzung einer Fläche, die zur Hälfte weiß und zur Hälfte schwarz getönt ist, mit dem Auge durch ein Prisma hindurch und stellt fest, daß die Grenzfläche, die in den weißen Bereich hineinragt, rot erscheint, während die Grenzfläche, die in den schwarzen Bereich hineinragt, blau erscheint. Interessant ist hierbei, daß er nicht nur eine schwarz-weiße Tönung der Fläche untersucht, sondern sukzessive alle möglichen Farbkombinationen in einer Tabelle zusammenfaßt und die Ergebnisse schriftlich festhält.⁴ Hier findet sich ein schönes Beispiel für eine noch rein qualitative „*experientia ordinata*“ bzw. „*literata*“ im baconschen Sinne. Darüber hinaus sind erste Ansätze zu einer quantitativen Behandlung erkennbar, bei der die Größe der das Licht fortpflanzenden Kügelchen im Verhältnis zur Größe der Poren in den Nervenbahnen ermittelt werden soll.⁵ Hinzu kommt ein Experiment, das für Newtons weitere Forschungen wegweisenden Charakter haben wird. Er betrachtet einen schmalen Streifen, der zur einen Hälfte rot und zur anderen Hälfte blau getönt ist, vor einem dunklen Hintergrund durch ein Prisma. Dabei stellt er fest: „That the rays which make blue are refracted more than the rays which make red appears from this experiment: If one half of the thread [...] is blue and the other red, and a shade or black body be put behind it, then looking on the thread through a prism one half of the thread shall appear higher than the other, and not both in one direct line, by reason of unequal refractions in the two differing colors.“⁶ In Verbindung mit den zuvor durchgeführten Experimenten hat er hier zum ersten Mal eindeutig festgestellt, daß unterschiedliche Farben auf unterschiedliche Weise gebrochen werden. Allerdings stehen Newtons Erklärungsversuche dieses

An Introduction to Newton's 'Optics', Oxford 1993, 7-13.

³ Cf. dazu I. Newton, *Questiones quaedam philosophicae* (ca. 1664/65), in: J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 430-443 + 453-465. Zur Wahrnehmungstheorie cf. op. cit., 221-246. Cf. op. cit., „Thus, 'Of Colours' and the notes from Boyle support the claim that Newton's interest in optics begins with the question of how natural objects are colored, and the physiology of how they are perceived.“

⁴ Op. cit., 432f.

⁵ Op. cit., 436f.

⁶ Op. cit., 435. Cf. A. E. Shapiro, „Introduction“, in: A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 6. Cf. ebenfalls R. S. Westfall, „The Development of Newton's Theory of Color“, in: *Isis* 53 (1962), 339-358; hier 350: „Apparently the colored thread and not the prismatic spectrum was Newton's first observation of differential refraction.“ Die fundamentale Bedeutung dieses Experiments für Newtons Farbenlehre erkennt man daran, daß er es 40 Jahre später in der ersten Proposition des ersten Teil des ersten Buches der *Opticks* als Beweis für den

Phänomens in der zweiten Hälfte des Jahres 1664 noch im Zeichen einer Reihe mechanistischer Hypothesen, die er zu diesem Zweck entwickelt hat.

Im September des Jahres 1664 wendet sich Newton verstärkt Fragen der geometrischen Optik zu. Er studiert insbesondere Descartes' *Dioptrique* und lernt das Sinusgesetz der Brechung kennen. Er untersucht die Brechung und Reflexion an gekrümmten Oberflächen, insbesondere den sog. cartesischen Ovalen.⁷ Diese Untersuchungen setzt er 1665 fort, wobei er sich auf Brechungen an Oberflächen von Kegelschnitten konzentriert.⁸ Im Hintergrund standen die Bemühungen von Descartes, die störenden Farbeffekte, die sich bei sphärischen Linsenformen bemerkbar machten, die sog. sphärische Aberration, durch die Wahl anderer Linsenformen mit parabolisch oder hyperbolisch geformten Oberflächen zu reduzieren. Das Fehlschlagen dieser Bemühungen führt Newton zu der Ansicht, daß die störenden Farbeffekte nicht den (zufälligen) Linsenformen zuzuschreiben sind, sondern der Natur des weißen Lichts selbst, sofern es nämlich aus unterschiedlich brechbaren Farbstrahlen zusammengesetzt ist.

Eine wichtige Station auf dem Weg zu dieser Einsicht ist in einem Fragment mit dem Titel *Of Colours* dokumentiert, das vermutlich Ende 1665/Anfang 1666 geschrieben wurde.⁹ Wie gesehen, hatte Newton in den Fragmenten zum Thema Farben in seinem Notizbuch von 1664 bereits die Idee, daß unterschiedliche Farben unterschiedlich gebrochen werden. In *Of Colours* kommt der weitergehende Gedanke hinzu, daß sich das Sonnenlicht aus heterogenen Strahlen zusammensetzt, denen jeweils eine bestimmte Farbdisposition (und - damit korreliert - eine bestimmte Quantität der Brechung) ursprünglich zukommt, die durch Reflexion und Brechung nicht verändert werden kann. Da diese kurze Arbeit kaum explizite theoretische Stellungnahmen oder Erklärungen enthält, kann dies nur indirekt erschlossen werden.¹⁰ Bedeutsam ist auch, daß Newton hier subjektive und objektive Aspekte der Farben stärker trennt als in den früheren Fragmenten. Lediglich im zweiten Teil geht er auf physiologische Aspekte des Farbsehens ein und läßt Ansätze zu

unterschiedlichen Grad der Brechbarkeit verschiedener Farben betrachtet.

⁷ Cf. I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, ed. by D. T. Whiteside, Vol. I: 1664-1666, Cambridge UP 1967, 551-558.

⁸ Diese Berechnungen sind in einem überlieferten Notizbuch Newtons unter dem Titel 'Of Refractions' erhalten (U.L.C. Ms. Add. 4000, fol. 26-33). Cf. op. cit., 559-576. Cf. dazu auch A. E. Shapiro, „Introduction“, in: A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 7f., oder A. R. Hall, *All was Light: An Introduction to Newton's 'Optics'*, Oxford 1993, 36.

⁹ I. Newton, *Of Colours* [ULC. ADD. 3975], in: J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 466-489.

¹⁰ Daher ist die Einschätzung von McGuire und Tamny vielleicht etwas übertrieben: „The essay is remarkably free of corrections, and it provides the first systematic account of the mature theory of color.“ Cf. J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 265. Shapiros Urteil erscheint mir hier angemessener: „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*.“ A. E. Shapiro, „Introduction“, in: A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 13.

einer Ätherhypothese erkennen. Woran lassen sich seine impliziten theoretischen Annahmen bezüglich der Farbenlehre ablesen? Zum einen enthält dieser Entwurf bereits einfache Varianten von allen grundlegenden Experimenten, die in den späteren Vorlesungen zur Optik vorkommen, und zum anderen zeigt eine genaue Analyse einzelner Experimente, daß sie unter ganz bestimmten theoretischen Annahmen durchgeführt wurden. Zu Beginn werden einige bekannte Beobachtungen Boyles und frühere Experimente Newtons, wie z. B. das Experiment mit dem zweifarbigem Streifen, der durch ein Prisma betrachtet wird, wiederholt und um weitere neue Experimente ergänzt. Dabei beschreibt Newton erstmals sein grundlegendes Prismaexperiment zur Erzeugung der länglichen Gestalt des Farbspektrums durch einfallendes Sonnenlicht.¹¹ Die Versuchsanordnung, die im Vergleich zu den bislang durchgeführten Prismaexperimenten von Descartes, Boyle, Hooke und anderen originell und einzigartig ist, manifestiert, daß das Phänomen der länglichen Gestalt des Farbspektrums nicht zufällig beobachtet wurde (wie Newton in der *New Theory* suggerieren möchte), sondern unter der Maßgabe bestimmter theoretischer Annahmen bewußt erzeugt wurde.¹² Das erkennt man daran, daß Newton durch die Art des Versuchsaufbaus von vornherein bestimmte theoretische Interpretationen ausschließen möchte, z. B. die, daß das längliche Spektrum auf leichte Differenzen im Einfallswinkel der Sonnenstrahlen zurückzuführen ist. Bereits auf dieser frühen Stufe zeigt sich, daß der Weg von den Phänomenen zu den Eigenschaften oder Prinzipien keine Einbahnstraße ist, sondern eine Bewegung von den Eigenschaften zurück zu den Phänomenen einschließt: „Accordingly, the conception that light rays possess an immutable degree of refrangibility and the experimental projection of an elongated spectrum are artifacts of Newton’s theory, not necessarily factors that initially suggested the theory.“¹³ Bemerkenswert ist auch, daß Newton in dem Aufsatz *Of Colours* seinen experimentellen Teil nicht mehr unmittelbar mit einer bestimmten mechanistischen Erklärungshypothese verknüpft, wie er dies zuvor getan hatte. Zwar ist gelegentlich von einem Äther die Rede, aber er greift nicht auf ihn zurück, um eine allgemeine Erklärung der Farbphänomene zu liefern.

Erstmals findet man darin auch Untersuchungen zum Phänomen der Farben dünner Plättchen bzw. den später sogenannten ‘Newtonschen Ringen’. Vieles spricht dafür, daß Newton dieses Phänomen noch vor der Lektüre von Hookes *Micrographia* im Kontext seiner Prismenversuche entdeckt hat. In seinen Experimenten zum sog. kritischen Winkel, die Brechung und Reflexion miteinander kombinieren, fügt er u. a. zwei dreieckige Prismen an den Grundseiten zusammen, um die dazwischenliegende Luftschicht als Brechungs- oder Reflexionsoberfläche zu nutzen. Dabei entdeckt er, daß, wenn man die Prismen sehr fest zusammendrückt und direkt auf die Begrenzungsfläche schaut, dort ein

¹¹ I. Newton, *Of Colours* [ULC. ADD. 3975], in: J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton’s Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 468f.

¹² Cf. op. cit., 268-272.

¹³ Op. cit., 268.

weißer Fleck erscheint, der von farbigen Ringen umgeben ist.¹⁴ Dieses Phänomen der farbigen Ringe hat er in Hookes *Micrographia* dann wiedergefunden, die er vermutlich kurz nach Fertigstellung seines Aufsatzes 'Of Colours' gelesen hat, d.h. noch im selben Jahr 1666. Das Manuskript dieses Aufsatzes läßt erkennen, daß er nach der Lektüre der *Micrographia* an einigen Stellen Ergänzungen vorgenommen hat.¹⁵ Auch später hat Newton von den vielfältigen Beobachtungen Hookes Gebrauch gemacht. Er hat sie systematisch aufgelistet, durch eigene Beobachtungen ergänzt und zu quantifizieren versucht, indem er Abstand, Dicke, Farbgebung, Periodizität etc. der Ringe exakt vermessen hat. Es dauerte allerdings bis zum Dezember 1675, bis Newton seine Untersuchungen zu den Farben dünner Plättchen erstmals im *Discourse of Observations* veröffentlicht hat.¹⁶ Der größte Teil des *Discourse* wurde mit einer Reihe von späteren Ergänzungen in den Teilen I - III des zweiten Buches der *Opticks* übernommen.¹⁷

ii. Newtons Vorlesungen zur Optik (1670-1672)

Newtons erste wissenschaftliche Veröffentlichung überhaupt hatte seine Theorie des Lichts und der Farben zum Gegenstand. Sie erschien im Februar des Jahres 1672 unter dem Titel *New Theory about Light and Colours*.¹⁸ Auf knappen zehn Seiten entwickelt er einen Grundriß seiner neuen Auffassung über die physikalischen Eigenschaften des Lichts und die Entstehung der Farben, wobei lediglich drei Experimente beschrieben werden, die seine Auffassung nicht nur stützen, sondern sie sogar als „most rigid consequence“ ausweisen sollen, „evinced by ye mediation of experiments concluding directly & wthout any suspicion of doubt.“¹⁹ Es verwundert daher nicht, daß eine solche Behauptung Widerspruch herausforderte. Die sich anschließenden Diskussionen mit Hooke, Pardies und Huygens zeigen, daß die *New Theory* nur eine kurze Zusammenfassung ausführlicher und detaillierter experimenteller Arbeit war, die Newton zuvor in seinen Vorlesungen zur Optik dargelegt hat. Ohne dieses reichhaltige Material sind seine Behauptungen kaum nachzuvollziehen. Daher erscheint es sinnvoll, sich bei einer Untersu-

¹⁴ Op. cit., 474-478.

¹⁵ Newton hat Exzerpte der *Micrographia* angefertigt, die in der Portsmouth Collection (Ms. Add. 3958, fol. 1-2) gefunden wurden. Sie wurden 1962 in A. R. Hall/M. B. Hall (eds.), *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*, Cambridge 1962, 400-413, veröffentlicht. Eine genaue Datierung ist nicht möglich, aber allgemein wird angenommen, daß Newton die *Micrographia* 1666 gelesen und exzerpiert hat. Insbesondere zu Phänomenen der Optik cf. op. cit., 402-405. Cf. dazu auch J. E. McGuire/M. Tamny, *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*, Cambridge 1983, 274: „Thus, it is clear that Newton discovered the phenomenon of colored rings independent of Hooke.“

¹⁶ Cf. I. Newton, *Discourse of Observations* (1675), in: I. B. Cohen (ed.), *Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy and Related Documents*, Cambridge (Mass.) 1958, 202-235.

¹⁷ Für die Zeit zwischen 1666 und 1675 gibt es noch ein weiteres Zeugnis für Newtons Beschäftigung mit dem Phänomen der Ringe. Es wurde 1965 von Westfall veröffentlicht. Cf. R. S. Westfall, „Isaac Newton's 'Coloured Circles 'twixt two Contiguous Glasses'“, in: *Archive for History of Exact Sciences* 2 (1965), 181-196. Westfall grenzt die Entstehungszeit dieses Aufsatzes auf die Zeit zwischen 1666 und 1672 ein. „The hand would suggest that its composition was closer to 1672 than to 1666.“ Op. cit., 184.

¹⁸ I. Newton, *New Theory about Light and Colours*, in: H. W. Turnbull (ed.), *The Correspondence of Isaac Newton*. Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 92-102.

chung von Newtons induktiver Methode primär auf dieses ausführliche Material der Vorlesungen zu stützen.

Im Herbst des Jahres 1669 übernahm Newton von seinem Lehrer Isaac Barrow den Lucasischen Lehrstuhl an der Universität Cambridge. Die Statuten verlangten, daß der Inhaber jede Woche über ein Gebiet der Geometrie, Astronomie, Geographie, Optik, Statik oder eine andere mathematische Disziplin Vorlesungen zu halten hatte, deren Abschriften in der Universitätsbibliothek zu hinterlegen waren. Newton wählte als erstes Thema seiner Vorlesungen die Optik und begann seine Vorlesungen im Januar 1670 und beendete sie im Herbst 1672.²⁰ Davon existieren zwei Manuskripte. Eines davon hat Newton pflichtgemäß im Oktober 1674 der Cambridger Universitätsbibliothek übergeben. Ein zweites, kürzeres behielt er zurück. Ein inhaltlicher Vergleich beider Manuskripte macht deutlich, daß das der Bibliothek ausgehändigte Manuskript zweifellos auf der Grundlage des zweiten, kürzeren angefertigt wurde. Als Abfassungsdatum für das kürzere Manuskript kommt in etwa die Zeit zwischen Ende 1669 und Ende 1671 infrage. Das längere Manuskript wurde vermutlich im Anschluß daran im Februar 1672 fertiggestellt. Die nun folgende Analyse stützt sich auf das ursprüngliche, kürzere Manuskript, das Newton zurückbehalten hatte.²¹

Es umfaßt insgesamt 18 Vorlesungen (gegenüber 31 Vorlesungen des zweiten Manuskripts). Die Vorlesungen 1 - 8 sind der physikalischen Optik gewidmet, die Vorlesungen 9 - 18 der geometrischen Optik. Da es in diesem Zusammenhang darum geht, den Weg näher zu untersuchen, auf dem Newton seine physikalischen Prinzipien und Eigenschaften begründet, sind insbesondere die ersten acht Vorlesungen von Interesse. Aufgrund späterer Beschreibungen der analytischen und synthetischen Methode von Newton und Cotes ist darüber hinaus erkennbar, daß die ersten sechs Vorlesungen dem analytischen Teil und die Vorlesungen 7 und 8 dem synthetischen Teil zuzuordnen sind. Nun gibt es gute Gründe für die Annahme, daß die Induktion bei Newton entweder einen Teil der analytischen Methode ausmacht oder mit der analytischen Methode identisch ist. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, sich zum Zweck der Untersuchung des Begriffs der Induktion insbesondere die ersten sechs Lektionen genauer anzusehen, die den analytischen Teil der Theorie enthalten.

Aus der Erörterung der Vorgeschichte im vorigen Abschnitt ist ersichtlich, daß Newton in seiner ersten Vorlesung (die Ende 1669 geschrieben und ab Januar 1670 gehalten wurde) keineswegs mit einer Naturgeschichte zu optischen Phänomenen beginnen mußte, wie sie von Bacon als Voraussetzung der Induktion gefordert wurde. Diese Naturgeschichte im Sinne einer Sammlung von Beobachtungen und Phänomenen war bei Newton

¹⁹ Op. cit., 96f.

²⁰ Zu einer Übersicht von Newtons Vorlesungen cf. I. B. Cohen, *Introduction to Newton's 'Principia'*, Harvard 1971, Supplement III, 302-309.

²¹ Cf. A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 46-279 (U.L.C. Ms. Add. 4002). Cf. dazu auch M. Mamiani, *Isaac Newton filosofo*

zu dieser Zeit bereits einer systematischen Anordnung von Experimenten gewichen. Er konnte sich dabei in der Hauptsache auf überlieferte Beobachtungen und Experimente in den Arbeiten von Descartes, Boyle und Hooke sowie seinen eigenen Versuche, die er in der Zeit zwischen 1664 und 1669 unternommen hatte, stützen. Aber dies waren natürlich nicht seine einzigen Ausgangspunkte. Vielmehr lieferten ihm die genannten Arbeiten seiner Vorgänger nicht nur eine Vielfalt von Farberscheinungen, sondern darüber hinaus auch eine Reihe unterschiedlicher und teilweise inkonsistenter mechanistischer Erklärungen, mit denen er sich auseinandersetzen hatte. Darüber hinaus konnte er auf Ergebnisse der geometrischen Optik zurückgreifen, die er durch eigene Untersuchungen ergänzte. Vermutlich besuchte er in den Jahren 1667/68 Isaac Barrows Vorlesungen zur Optik, die 1669 publiziert wurden und an deren Herausgabe Newton mitgearbeitet hat.²²

Zu Beginn seiner ersten Vorlesung stellt Newton klar, daß es ihm nicht darum gehe, die (geometrische) Optik als ganze neu abzuhandeln, sondern vielmehr darum, eine Eigenschaft des Lichts genauer zu erforschen, die ein Hindernis für die Perfektionierung der Optik darstelle.²³ Welche Eigenschaft war gemeint und inwiefern stellte sie ein Hindernis dar? Newton erinnert an das seinerzeit allseits bekannte Phänomen, daß das Licht bei der Brechung an einer Grenzfläche zwischen zwei Medien eine Dispersion zeigt. Dieser Effekt machte sich u. a. bei der Konstruktion von Teleskopen bemerkbar, sofern man den Vergrößerungseffekt durch eine sphärisch geschliffene Linse erreichen wollte. Dann zeigten sich störende Farberscheinungen an den Rändern der Linse, die die Wirkung des Teleskops beeinträchtigten. Dieses Phänomen nennt man auch die sphärische Aberration des Lichts. Nun gab es zwei Möglichkeiten, dieses Phänomen zu deuten. Entweder war es durch die physikalische Natur des Lichts selbst bedingt, oder es war ein *zufälliger* Effekt, der der Struktur des brechenden Mediums zugeschrieben werden mußte. Die Meinung der Wissenschaftler tendierte zu Newtons Zeit eindeutig zu der zweiten Möglichkeit. Man schrieb den Störeffekt der *Form* der Linsen zu und versuchte ihn durch Variation der Linsenform zu beseitigen oder zumindest zu minimieren. Solche Versuche hatte beispielsweise Descartes unternommen, indem er technische Vorrichtungen zur Herstellung parabolisch oder hyperbolisch begrenzter Linsen konstruierte. Auch Newton hatte sich anfangs diesen Bemühungen angeschlossen, wie seine Arbeiten zur geometrischen Optik zeigen. Allerdings lag dieser Deutung implizit eine *physikalische Hypothese* zugrunde, nämlich die Annahme der Homogenität und ursprünglichen Einfachheit der Strahlen des weißen Sonnenlichts. Die Annahme des geometrischen Sinusgesetzes der Brechung als Prinzip der Optik ging einher mit der physikalischen Annahme der ursprünglichen Homogenität der Strahlen des Sonnenlichts. Jede Veränderung dieser Homogenität bei-

della natura. Le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo newtoniano, Firenze 1976, 15-26.

²² Cf. A. E. Shapiro, „Introduction“, in: A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 14f., sowie A. R. Hall, *All was Light: An Introduction to Newton's 'Optics'*, Oxford 1993, 22f.

²³ A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672,

spielsweise durch die Lichtbrechung wurde daher konsequent einer *nachträglichen* und *zufälligen* Modifikation durch das brechende Medium zugeschrieben. Diese Annahme bezüglich der physikalischen Natur des Lichts konnte allerdings nicht aus dem Sinusgesetz der Brechung abgeleitet werden.

Das Ziel von Newtons Vorlesungen war es, diese physikalische Hypothese der geometrischen Optik genauer zu erforschen. Er ist im Gegensatz zu den meisten seiner Zeitgenossen der Meinung, daß die Annahme der ursprünglichen Homogenität des weißen Sonnenlichts ein Irrtum sei. Er geht demnach von einer Interpretation der sphärischen Aberration aus, die ihre Ursache nicht auf zufällige Umstände zurückführt, sondern als durch die physikalische Natur des Lichts selbst bedingt ansieht. Daraus ergeben sich einschneidende Konsequenzen für die *Prinzipien* der geometrischen Optik selbst: „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.“²⁴ Die *Hypothese*, die Newton anzweifelt, bezieht sich demnach auf eine Annahme bezüglich der *Natur des Lichts*, die in der geometrischen Optik ohne weitere Prüfung zugrunde gelegt wurde. Er ist darüber hinaus der Meinung, daß über das Zutreffen oder Nichtzutreffen dieser Eigenschaft unabhängig von irgendwelchen mechanistischen Konzeptionen experimentell entschieden werden kann. Gleichwohl beeinflußt die Annahme oder Nichtannahme dieser Eigenschaft alle weiteren Erklärungshypothesen insofern, als damit implizit entschieden wird, welche Erscheinung als erklärungsbedürftig angesehen wird und welche nicht. Wenn beispielsweise feststeht, daß das Sonnenlicht nicht aus homogenen Strahlen besteht, dann muß der bei der Brechung auftretende Dispersionseffekt nicht mehr durch zusätzliche Annahmen erklärt werden, sondern er kann als eine Erscheinung begriffen werden, die aus der Natur des Lichts selbst folgt.

Der herkömmlichen Annahme der geometrischen Optik stellt Newton seine eigene Auffassung entgegen: „Concerning light, therefore, I have discovered that its rays differ from one another with respect to the quantity of refraction: Of those rays that all have the same angle of incidence, some will have an angle of refraction somewhat larger than others.“²⁵ Es ist offensichtlich, daß diese Entdeckung bereits als *Ergebnis* einer langen Reihe von

Cambridge 1984, 48.

²⁴ Op. cit., 47. Cf. op. cit., 46: „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“. Cf. dazu auch M. Mamiani, *Isaac Newton filosofo della natura. Le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo newtoniano*, Firenze 1976, 27-37.

²⁵ Op. cit., 49. Cf. op. cit., 48: „De luce itaque compertum habeo, quòd radij ejus quoad quantitatem refractionis ab invicem differunt: Ex ijs qui omnes habent eundem angulum incidentiae, alij angulum refractionis aliquantò majorem alijs habebunt.“ In einem Brief an Oldenburg vom 18. Januar 1672 spricht Newton enthusiastisch von einer „Philosophicall discovery“, „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*

Experimenten betrachtet werden muß. In den Vorlesungen geht Newton so vor, daß er ihre experimentelle Ableitung zunächst zurückstellt und statt dessen ihre inhaltliche Bedeutung anhand einer Skizze erläutert. Er spricht an dieser Stelle noch vorsichtig von „sententia nostra“ und nicht von einer bewiesenen Behauptung. Gleichwohl macht Newton klar, daß seine Vermutung den bisherigen Annahmen über die Natur des weißen Sonnenlichts widerspricht. Daher muß im folgenden zwischen zwei Alternativen entschieden werden: 1) der herkömmlichen Meinung, daß das weiße Sonnenlicht aus ursprünglich einheitlichen, homogenen Strahlen besteht, die bei gleichem Einfallswinkel gleich gebrochen werden, und 2) Newtons gegenteiliger Auffassung, daß das weiße Licht aus heterogenen Strahlen besteht, die bei gleichem Einfallswinkel unterschiedlich gebrochen werden. Nachdem die Alternativen klar herausgearbeitet worden sind, will Newton einen Beweis für seine Vermutung liefern und zwar „aufgrund von Vernunftüberlegungen und Experimenten“ („rationes et experimenta“). Seine Hörer sollen erkennen, daß er ihnen keine „Fabeln“ anstelle der Wahrheit aufischt.

Im Zentrum dieses Beweises steht Newtons grundlegendes Experiment mit dem Prisma, das er als „gewöhnliches Experiment“ („experimentum vulgare“) bezeichnet. Es hat an dieser Stelle bereits die Funktion einer „instantia crucis“ im baconschen Sinne; denn Newton hat die Anzahl der Möglichkeiten, über die entschieden werden soll, bereits auf *zwei* reduziert, die sich *kontradiktorisch* gegenüberstehen. D.h. mit der Widerlegung der einen ist zugleich die Bestätigung der anderen verbunden. *Entweder* die Strahlen des weißen Sonnenlichts sind homogen *oder* sie sind es *nicht*. Anders gesagt: *entweder* die Strahlen des weißen Sonnenlichts werden bei gleichem Einfallswinkel alle auf gleiche Weise gebrochen *oder nicht*. Das Schema des Versuchsaufbaus sieht folgendermaßen aus. Durch eine runde Öffnung in einem Fensterladen fällt Sonnenlicht in einen verdunkelten Raum. Unmittelbar hinter die Öffnung wird ein Prisma plaziert. Das Sonnenlicht wird durch das Prisma hindurchgelenkt und auf eine gegenüberliegende Wand des Raumes oder einen Schirm projiziert. Auf dieser Wand ist ein längliches, ovales Bild zu sehen, das mehrere Male so lang wie breit ist. Darüber hinaus sieht man Farben, die sich von einem Ende des Bildes zum anderen in der Reihenfolge Rot, Gelb, Grün, Blau, Violett aneinanderreihen. An dieses Versuchsergebnis schließt sich Newtons lapidare Folgerung an: „Hence, this definitely appears to establish that at equal incidence some rays undergo a greater refraction than others; for if the contrary were true, that solar image would seem almost circular, and in a certain position of the prism it would appear to the senses completely circular, which is contrary to all experience.“²⁶ Für ihn ist damit die Frage entschieden. Die physikalische Hypothese der ursprünglichen Homogenität des

Correspondence of Isaac Newton, ed. by H. W. Turnbull, Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 82f.

²⁶ A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 53; cf. op. cit., 52: „Et hinc evinci certò videtur quòd radorum aequalitèr incidentium aliq majorem alijs refractionem patiuntur. Nam si contrarium esset verum, prædicta Solis imago appareret ferè orbicularis, & in quadam positione Prismatis omnind ad sensum orbicularis conspiceretur; Id quod

weißen Sonnenlichts ist widerlegt und infolgedessen ihr kontradiktorisches Gegenteil bewiesen, nämlich die Eigenschaft der ursprünglichen Heterogenität des Sonnenlichts im Hinblick auf sein Brechungsverhalten bei gleichem Einfallswinkel. Damit müßte auch das Prinzip der geometrischen Optik, nämlich das Sinusgesetz der Brechung, dahingehend modifiziert werden, daß es sich nicht mehr auf das weiße Licht schlechthin bezieht, sondern auf einen *individuellen Lichtstrahl*.

Wenn man an dieser Stelle Newtons Argumentation formal analysiert, dann stellt man fest, daß sie verschiedene deduktive Schlußformen miteinander kombiniert. 1. Prämisse: $E(1) \vee E(2)$; 2. Prämisse: $\neg E(1)$; Konklusion: also $E(2)$. $E(1)$ meint die Eigenschaft der Homogenität des Sonnenlichts, $E(2)$ die Eigenschaft der Heterogenität. Dabei läßt sich die zweite Prämisse wiederum als Konklusion des folgenden Schlusses darstellen: 1. Prämisse: $E(1) \rightarrow \text{Bild rund}$; 2. Prämisse: $\neg (\text{Bild rund})$; Konklusion: $\neg E(1)$. Dies ist eine Version des ‘modus tollendo tollens’, also einer weiteren deduktiven Schlußform. Man erkennt hier ganz deutlich die Anwendung deduktiver Schlußweisen innerhalb der induktiven Ableitung allgemeiner Eigenschaften. Diese strikte Schlußfolgerung ist allerdings nur unter bestimmten Voraussetzungen zwingend. Denn auch unter der Voraussetzung der ursprünglichen Homogenität der Lichtstrahlen, d.h. daß alle Lichtstrahlen bei gleichem Einfallswinkel gleich gebrochen werden, ist das Bild des Spektrums im allgemeinen nicht rund, sondern oval. Es gibt allerdings *eine* Position des Prismas, und dies ist die Pointe der newtonschen Argumentation, in der das Bild unter dieser Voraussetzung rund erscheinen *muß*. Welche Position das ist und warum dann ein rundes Bild zu erwarten wäre, zeigt er durch *mathematische* Überlegungen der geometrischen Optik.²⁷ Newton denkt dabei an eine Position, bei der die *Differenzen* der zwei Brechungswinkel, die sich beim Eintritt in das Prisma und beim Austritt aus dem Prisma ergeben, für alle Strahlen einen *minimalesten* Wert annehmen. Diese Bedingung wird rein mathematisch und a priori mithilfe einer Reihe von Lemmata und Sätzen aus Euklids *Elementen* hergeleitet. Anschließend wendet sich Newton wieder seinem Experiment mit den Worten zu: „The case has therefore been presented in which the length of the solar image transmitted through the prism would appear equal to its breadth, and consequently one in which that image would appear nearly circular, provided that the common opinion were true.“²⁸ Er ist sich

contra omnem experientiam est“.

²⁷ Dieser Satz wird in den Vorlesungen mittels exakter mathematischer Überlegungen minutiös abgeleitet. Cf. op. cit., 52-59. Diese Ableitung fehlt in der *New Theory* vollständig. Dort gibt Newton nur einen Hinweis, wie sich die errechnete Position des Prismas experimentell realisieren läßt. Das hat bei der anschließenden Diskussion zu einigen Mißverständnissen geführt; denn seine Argumentation mag dort nicht so zwingend erschienen sein wie in seiner Vorlesung. Beispielsweise hatte Pardies bemerkt, daß sich auch eine ovale Form des Spektrums ergibt, wenn man den Versuch mit monochromatischem Licht durchführt. Allerdings muß dann die Position des Prismas erheblich von der von Newton berechneten Position abweichen. Während für Newtons Experiment ein Einfallswinkel von etwa 54° erforderlich ist, führte Pardies den Versuch mit einem Einfallswinkel von ca. 30° durch.

²⁸ Op. cit., 59; cf. op. cit., 58: „Ostensus itaque casus est in quo longitudo solaris imaginis per Prisma trajectae conspiceretur aequalis ejusdem latitudini; et proinde in quo imago ista quasi orbicularis apparet,

dessen bewußt, daß die geometrische Berechnung unter gewissen idealen Voraussetzungen durchgeführt wurde, wie z. B. die, daß die Öffnung, durch die das Licht eintritt, gleich einem „indefinitely small circular hole“ sei. Da sich eine solche idealisierte Bedingung in dem praktischen Versuchsaufbau allenfalls nur näherungsweise realisieren läßt, ist beim Resultat des Experiments mit entsprechenden Abweichungen zu rechnen. Daher behauptet Newton auch nicht, man beobachte ein vollkommen kreisförmiges Spektrum, sondern lediglich ein solches, das „nearly circular“ erscheine. Am Ende kommt er zu dem Schluß: „Finally, [...], it is manifest that generally the sun's refracted image must be sensibly circular, provided that in the same medium the refraction at the same incidence be always the same. But the former is contrary to experience, specifically, its length exceeded its breadth more than four times, as has been noted. Therefore the latter is contrary to the truth, and the refraction at the same incidence varies.“²⁹

Die Apodiktizität, mit der Newton seine Folgerung ausspricht, ist nur verständlich, wenn man in Betracht zieht, daß er sie nicht allein durch ein induktives Vorgehen im modernen Sinne, d.h. durch den Schluß einer endlichen Anzahl von Beobachtungen auf eine allgemeine Aussage über unbestimmt viele Beobachtungen, gewonnen hat, sondern durch eine geschickte Kombination experimenteller Beobachtungen, deduktiver Schlüsse und geometrischer Berechnungen. Die Verknüpfung von apriorischen Überlegungen und experimentellen Beobachtungen erreicht er dadurch, daß er seine Berechnungen nicht auf den tatsächlichen Versuchsaufbau bezieht, sondern auf eine ideale Rekonstruktion desselben. Dieser Diskrepanz ist er sich stets bewußt. Nachdem er seinen Beweis geführt hat, gibt er einige praktische Hinweise, wie sich die von ihm errechnete Position des Prismas am einfachsten realisieren läßt. Damit hat Newton seine erste Behauptung wie angekündigt „durch Vernunftüberlegungen und Experimente“ bewiesen, nämlich daß die herkömmliche geometrische Optik eine falsche physikalische Hypothese zugrunde legt, wenn sie annimmt, daß das weiße Licht der Sonne aus ursprünglich einheitlichen, homogenen Strahlen besteht, die - ceteris paribus - stets ein gleiches Verhalten zeigen. Er hat später gesehen, daß er die „ceteris paribus“ - Einschränkung noch genauer erläutern muß. Bereits in der zweiten Vorlesungsreihe geht er auf verschiedene andere mögliche Faktoren ein, die eine Verlängerung des Spektrum-Bildes bewirken könnten, die aber aus bestimmten Gründen ausgeschlossen werden können, wie z.B. die Größe und Form der Öffnung oder die unterschiedliche Dicke des Prismas.

Mit dem Nachweis, daß das weiße Licht der Sonne sich aus Strahlen von unterschiedlicher Brechbarkeit zusammensetzt, ist zwar die Hypothese der traditionellen geometrischen Optik bezüglich der Natur des Lichts widerlegt. Aber damit ist noch keineswegs

modò vera esset opinio vulgaris.“

²⁹ Op. cit., 61; cf. op. cit., 60: „Atque ita [...], liquet quod imago solis refracta ut plurimum deberet esse sensui quasi orbicularis; si modò ejusdem incidentiae in idem medium refractionis semper foret eadem. Sed prius repugnat experientiae, longitudine scilicet ejus latitudinem plusquam quatuor vicibus, ut dictum fuit, excedente. Ergo posterius repugnat veritati; & ejusdem incidentiae refractionis est varia.“

bewiesen, daß *alle* Strahlen, aus denen sich das Sonnenlicht zusammensetzt als grundlegende physikalische Realitäten einen unterschiedlichen Brechungswinkel aufweisen müssen und daß jeder Quantität der Brechung darüber hinaus exakt eine eigentümliche Disposition zu einer bestimmten Farbe korrespondiert. Es könnte ja sein, daß nur *einige* Strahlen einen unterschiedlichen Grad der Brechbarkeit aufweisen und die Dispersion bei der Brechung hervorrufen. In der weitergehenden Behauptung, daß dies für alle Strahlen gelten muß, liegt demnach eine Verallgemeinerung, die induktiv bewiesen werden muß; denn es gibt im Prinzip unendlich viele Strahlen. Wie geht Newton dabei vor? Da sich de facto einzelne Strahlen nicht isoliert beobachten lassen, kann in diesem Fall ein induktives Vorgehen nicht darin bestehen, von der Beobachtung endlich vieler Entitäten zu einer Allaussage überzugehen, wie dies für induktive Schlüsse im modernen Verständnis typisch ist.

Ausgangspunkt von Newtons Überlegungen ist das Phänomen der länglichen Gestalt des Spektrumbildes, das sich aus der besagten Position des Prismas ergeben hatte. Zunächst beschreibt er das längliche Bild als eine ebene geometrische Figur, die oben und unten von zwei parallelen Linien und an den Seiten jeweils von zwei Halbkreisen begrenzt wird. Dabei handelt es sich wieder um eine bewußte Idealisierung; denn Newton war klar, daß die Ränder des Ovals in der Realität nicht durch exakte mathematische Linien begrenzt sind.³⁰ Anschließend stellt er die Frage nach der *Ursache* dieses Versuchsergebnisses. Sie lasse sich, so Newton, aus dem zuvor Gezeigten („ex praemonstratis“) wie folgt bestimmen. Er führt an dieser Stelle eine *rein theoretische Analyse* der geometrischen Gestalt des Spektrums durch, wobei er sie als das Resultat der Überlagerung unendlich vieler Kreise interpretiert, die jeweils für sich genommen aus der Brechung von Strahlen(bündeln) hervorgehen, die bei gleichem Einfallswinkel gleich gebrochen werden. Zunächst ergänzt er die Halbkreise am Ende des Ovals zu ganzen Kreisen. Dann zeichnet er in die Mitte des Ovals einen weiteren Kreis mit demselben Durchmesser. Nun gilt: 1. Strahlen vom weißen Licht der Sonne, die beim Durchgang durch das Prisma bei gleichem Einfallswinkel gleich gebrochen werden, ergäben ein annähernd rundes Bild, wenn man sie isoliert betrachtete. Diese (kontrafaktische) Annahme hatte Newton in einem vorangegangenen Lemma der geometrischen Optik mathematisch bewiesen. 2. Wenn man sich nun weitere Strahlen des Sonnenlichts vorstellte, deren Brechung untereinander zwar in etwa gleich ist, die sich aber in ihrem Brechungsindex von den zuvor betrachteten Strahlen unterscheiden, ergäben auch sie ein rundes Bild, das sich jedoch an einem anderen Ort innerhalb des Ovals befände als das erste Bild. Entsprechend kann man sich noch ein drittes und viertes Strahlenbündel denken etc. Bis zu diesem Punkt folgt in der Tat alles aus dem, was Newton zuvor gezeigt hatte. Aber nun kommt ein entschei-

³⁰ Op. cit., 65: „It seems especially noteworthy, however, that the circular ends of that image, [...], have always appeared extremely confused, with their light gradually decreasing until finally ending in darkness.“ Die Diskrepanz zwischen der idealisierten Form des Spektrums und der tatsächlich beobachteten Erscheinung war der Anlaß zu Newtons späterer Kontroverse mit Francis Hall (Linus).

dender Übergang: 3. In einem weiteren Schritt dehnt Newton seine Überlegungen auf unendlich viele (homogene) Strahlen aus. Man denke sich „unzählige“ („innumeros“) andere Strahlen, deren Quantität der Brechung *kontinuierlich* größer oder kleiner als die der vorherigen wäre. Sie beschreiben unzählige Kreise, die das Spektrum in seiner Länge ausfüllen. Dieser Übergang impliziert eine Grenzbetrachtung, die sich nicht allein auf die bisherigen experimentellen Resultate stützen kann. Denn aus der Tatsache, daß das weiße Sonnenlicht aus Strahlen besteht, die bei gleichem Einfallswinkel unterschiedlich gebrochen werden, folgt noch nicht, daß es unendlich viele Strahlen mit unterschiedlichem Brechungsindex geben muß. Newton unterstellt an diesem Punkt eine Form des Kontinuitätsprinzips, das er später als „*analogia naturae*“ oder als Grundsatz der Gleichförmigkeit der Natur beschrieben hat („*Nature is conformable to herself*“). Diese ersten drei Schritte erklären die längliche Form des Spektrumbildes und seine seitliche Begrenzung durch Halbkreise. Es folgt nun noch eine vierte Annahme: 4. Da die kreisförmigen Bilder der einzelnen Strahlen alle (annähernd) die gleiche Größe besitzen, sind die Linien, die das Spektrum oben und unten begrenzen, annähernd Geraden und verlaufen parallel zueinander. Damit wäre auch die Begrenzung des Bildes durch parallele Linien oben und unten erklärt.

Diese rein theoretische Analyse, die die *Form* der Spektrums *erklären* soll, hat allerdings noch nicht den Status einer bewiesenen Behauptung, sondern Newton nennt sie eine Vermutung („*conjectura*“), die es noch „genau zu beweisen“ gelte. Zum Zweck dieses Beweises gibt er zunächst Hinweise darauf, welche Versuchsbedingungen man wie ändern muß, damit das besagte Resultat möglichst genau beobachtet werden kann. D. h. er versucht zu zeigen, wie sich die Diskrepanz zwischen idealer Gestalt und tatsächlich beobachtetem Bild minimieren läßt. Zu diesem Zweck „deduziert“ er ein weiteres Experiment („*exinde deducitur experimentum*“)³¹. An dieser Stelle kann man deutlich sehen, wie der Weg der Induktion von der Ebene des Allgemeinen wieder zurück zur Ebene des Besonderen oder Einzelnen führt. Dabei bedient sich Newton exakt der Terminologie Baccos, der ebenfalls davon gesprochen hatte, daß aus gefundenen Axiomen neue Experimente „deduziert“ werden. In diesem Kontext weist Newton darauf hin, daß man ein wesentlich schärferes und klarer begrenztes Spektrum bekommt, wenn man eine konvexe Linse in einer bestimmten Position in den Versuchsaufbau einfügt.

In einem weiteren Schritt möchte Newton die „besagten Eigenschaften des Lichts“ („*dictas proprietates lucis*“)³² einem Test unterwerfen. An dieser Stelle ist nicht ganz klar, was gemeint ist. Denkt Newton nur an die Eigenschaft der unterschiedlichen Brechbarkeit oder die weitergehende Behauptung, daß im weißen Licht unendlich viele Strahlen mit unendlich vielen verschiedenen Brechbarkeiten enthalten sind? Ein Hinweis, daß die zweite stärkere Behauptung gemeint sein kann, ergibt sich aus Folgendem. Diese Be-

³¹ Op. cit., 64.

³² Op. cit., 66.

hauptung hätte zur Konsequenz, daß das Bild aus unendlich vielen sich überlagernden Kreisen zusammengesetzt ist. Dies könnte man zumindest auf indirekte Weise so überprüfen: Angenommen, es wären nur endlich viele, dann könnte man versuchen, das Bild immer weiter in die Länge zu ziehen und immer schmäler zu machen, bis sich an einem bestimmten Punkt andeutet, daß entweder kleine Lücken zu erkennen sind oder die untere und obere Begrenzung nicht mehr näherungsweise eine gerade Linie ergeben, sondern erkennbar leichte „Dellen“ aufweisen. Könnte man eine solche Beobachtung machen, dann hätte man einen Hinweis darauf, daß es sich möglicherweise doch nicht um unendlich viele, in ihrem Brechungsverhalten *kontinuierlich* variierende Strahlen handelte.

Bemerkenswert ist nun, daß Newton aus der Gestalt des Bildes ein weiteres Experiment „deduziert“ („Ab imaginis figura aliud etiam experimentum deducitur“)³³, in dem durch kontinuierliche Variation der Versuchsbedingungen das Verhältnis von Länge und Breite des Spektrums näher untersucht wird. In seinem ersten Versuch hatte er festgestellt, daß das Verhältnis von der Breite zur Länge des Bildes ein Verhältnis von 1 : 4 nicht unterschreitet. Verkleinert man die Durchgangsöffnung für das Sonnenlicht um ein Fünftel, dann wächst das Verhältnis von Breite zu Länge auf 1 : 13,5. Entsprechendes läßt sich beobachten, wenn man den Abstand zwischen Prisma und Schirm vergrößert oder eine konvexe Linse in den Versuchsaufbau einfügt. In den *Opticks* hat Newton später Experimente beschrieben, mit denen er sogar ein Verhältnis von 1 : 60 oder 1 : 70 erreichen konnte.³⁴ Er führt in diesem Zusammenhang wiederum eine interessante Grenzwertbetrachtung durch. Wenn man die Öffnung, durch die das Sonnenlicht einfällt, immer weiter verkleinert, näherte sich das Bild des Spektrums im Grenzfall einem Strich, bei dem die Breite gegen Null konvergiert. Newton testet diese Prognose anhand des experimentell hergestellten Spektrums der Lichtstrahlen, die von dem Planeten Venus kommen. Wenn man das Licht der Venus durch ein Teleskop verstärkt und im Abstand von ca. sieben Fuß einen Schirm anbringt, erkennt man einen hellen Punkt, der das Bild der Lichtstrahlen der Venus darstellt. Plaziert man ca. einen Fuß vor dem Schirm (oder einem Blatt Papier), der die Strahlen auffängt, ein Prisma, dann verschwindet der helle Punkt und man sieht statt dessen eine schmale Linie von ca. einem halben Inch Länge und einer kaum wahrnehmbaren Breite.³⁵ Alle diese Variationen der experimentellen Bedingungen zeigen keine Veränderung in der Gestalt des Bildes. Es sind keine Unebenheiten und Lücken erkennbar. Dies spricht dafür, daß sich das Bild aus unendlich vielen, sich kontinuierlich aneinanderreihenden Kreisen oder Punkten zusammensetzt, deren Brechbarkeit bei gleichem Einfallswinkel kontinuierlich zu- und abnimmt. Die zusammenhän-

³³ Op. cit., 66.

³⁴ I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 69.

³⁵ A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 70-72. Von diesem Experiment berichtet er auch in einem Brief an Oldenburg vom 13.04.1672. Cf. I. Newton, *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. H. W. Turnbull et al., Vol. I: 1661-1675, Cambridge 1959, 137.

gende ovale Gestalt des Bildes ist somit allen Variationen gegenüber *invariant*. Diese Invarianz deutet für Newton darauf hin, daß es sich nicht um ein von zufälligen Umständen abhängiges Scheinphänomen handeln kann, sondern als Hinweis auf die Existenz einer realen physikalischen Eigenschaft gedeutet werden muß. Er legt Wert auf die Feststellung, daß die unterschiedliche Brechbarkeit der Strahlen aus einer ursprünglichen Disposition („*ex praevia radiorum dispositione*“) hervorgeht und auf bestimmten Gesetzmäßigkeiten („*certis legibus*“) beruht.³⁶

Aber damit gibt sich Newton noch nicht zufrieden. An seine experimentelle Ableitung schließt er zusätzlich eine ausführliche Widerlegung der Auffassung an, daß dem beobachteten Effekt der ovalen Form des Bildes zufällige Ursachen zugrunde lägen. Das entscheidende Argument gegen diese Auffassung zieht er aus einem Experiment, in welchem die Brechung der Strahlen an dem ersten Prisma durch Hinzusetzung eines zweiten Prismas, dessen brechende Oberflächen exakt parallel zu denjenigen des ersten Prismas liegen, neutralisiert wird. Nachdem die Strahlen beide Prismen passiert haben, erzeugen sie kein längliches Bild mehr, sondern ein rundes Bild. Das ist in seinen Augen ein untrüglicher Beweis dafür, daß die Brechung an beiden Prismen auf gesetzmäßige Weise geschieht. An dieser Stelle spielen Symmetrieüberlegungen eine entscheidende Rolle. Wenn die Brechung an beiden Prismen zusammengenommen gesetzmäßig verläuft, dann muß sie auch an jedem Prisma für sich genommen auf gesetzmäßige Weise geschehen. Denn obwohl unterschiedliche Strahlen (bei gleichem Einfallswinkel) auf unterschiedliche Weise gebrochen werden, bleibt die Quantität der Brechung für jeden Strahl für sich genommen an beiden Prismen in der Summe genau gleich. Das bedeutet, daß der Winkel, um den ein einzelner Strahl nach dem Durchgang durch das erste Prisma nach einer bestimmten Seite abgelenkt wurde, genau dem Winkel gleicht, um den derselbe Strahl beim Durchgang durch das zweite Prisma zur entgegengesetzten Seite hin abgelenkt wird. Er verläuft also nach dem Durchgang durch beide Prismen exakt parallel zu seiner ursprünglichen Richtung, die er vor dem Durchgang durch beide Prismen innehatte. Er wird sich also so verhalten, als ob er gar keine Brechung erfahren hätte. Da dies gleichermaßen für alle Strahlen gilt, wird das Spektrum so erscheinen, wie es ohne jegliche Brechung erschienen wäre, nämlich rund. Wenn man umgekehrt annimmt, die Brechung der Strahlen an dem ersten Prisma erfolgte aufgrund zufälliger Umstände und beinhaltete eine Irregularität, dann müßte man erwarten, daß diese Irregularität beim Durchgang durch das zweite Prisma noch verstärkt würde und „*the image [...] would become much more oblong; yet by the evidence of experience it is contracted into a circle.*“³⁷ Erst nach all den geschilderten Überlegungen und Experimenten kommt Newton zu dem Schluß, „*that I have more*

³⁶ A. E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*. Vol. I: The Optical Lectures 1670-1672, Cambridge 1984, 74f.

³⁷ Op. cit., 75; cf. op. cit., 74: „*Et exinde Imago [...] fieret multò oblongior, quae tamen, experientia teste, in orbem contrahitur.*“ Dieses Argument der parallelen Prismen spielt auch eine entscheidende Rolle in der *New Theory about Light and Colours*.

than sufficiently established what I initially proposed to demonstrate.“³⁸ Und er weist darauf hin, daß die Harmonie und das Zusammenstimmen vieler Dinge die Akzeptanz des von ihm zunächst nur als Vermutung angenommenen Prinzips noch verstärke. Er führt aus diesem Grund zusätzlich noch weitere Experimente an, die die Richtigkeit seines Prinzips bestätigen. Eine solche experimentelle Redundanz ist typisch für Newtons Vorlesungen zur Optik und für seine „experimental philosophy“ insgesamt.

In der dritten Vorlesung wendet sich Newton erstmals den Farben zu. Er beginnt mit einer Kritik an der aristotelisch-scholastischen Konzeption, welche die Farben als Mischungen aus dunklem und hellem Licht erklären wollte, sowie an den sogenannten Modifikationstheorien von Descartes und Hooke, die das weiße Licht als ursprüngliches Phänomen ansahen, das durch die Brechung lediglich modifiziert werde. Genau diese Auffassung betrachtet Newton aufgrund seiner vorangegangenen Beweisführung als widerlegt: „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.“³⁹ Anschließend legt er die „Fundamente“ seiner Farbenlehre in Gestalt von vier Propositionen dar. Dabei stehen zwei grundlegende Annahmen im Mittelpunkt: 1) Es gibt eine eindeutige Zuordnung zwischen der Quantität der Brechung eines Lichtstrahls und seiner Disposition, eine bestimmte Farbe zu erzeugen. 2) Das weiße Licht ist aus Strahlen aller Farben zusammengesetzt. Grau und Schwarz unterscheiden sich von Weiß nur durch die Intensität des Lichts, aber nicht durch Qualität der Strahlen, aus denen es sich zusammensetzt. An dieser Stelle verläßt Newton die Ebene der Phänomene und geht zu allgemeinen Propositionen über.

Anschließend erfolgt wieder eine Bewegung in die entgegengesetzte Richtung, indem er aus diesen allgemeinen Fundamenten Experimente deduziert, die über deren Richtigkeit entscheiden sollen. Zu diesem Zweck zerlegt er die erste Behauptung in zwei Teilbehauptungen, von denen die erste die Verknüpfung einer bestimmten Quantität der Brechung mit einer bestimmten Farbe und die zweite die Umkehrung dieser Korrespondenz behauptet. Nun ist es so, daß die Quantität der Brechung eines einzelnen Strahls nicht wahrgenommen werden kann. Sie wird nur sichtbar anhand eines Bündels von Strahlen, die annähernd die gleiche Brechbarkeit aufweisen und eine bestimmte Farbe hervorrufen. Daher stützt Newton seine Behauptung darauf, daß er an den äußersten Rändern des Spektrums rote auf der einen und violette Farben auf der anderen Seite beobachten kann, woraus hervorgeht, daß die Strahlen, die am wenigsten gebrochen werden, rote Farben hervorbringen und diejenigen, die am stärksten gebrochen werden, violette Farben her-

³⁸ Op. cit., 75; cf. op. cit., 74: „Ex dictis opinor satis superque constat id quod initio proposui commonstrandum“.

³⁹ Op. cit., 85; cf. op. cit., 84: „Invenio scilicet quòd modificatio lucis unde colores originem sumunt, luci connata sit, et non oritur a reflectione neque a refractione neque a qualitibus corporum aut modis quibuslibet, nec ab ijs vel destrui potest vel ullo modo mutari.“

vorbringen. Da die anderen Farbtöne sich kontinuierlich zwischen diesen beiden Extremen erstrecken, geht er - aufgrund des Kontinuitätsgesetzes und seiner vorangegangenen Beweisführung - davon aus, daß die übrigen Grade der Brechbarkeit sukzessive den Farben Gelb, Grün und Blau und allen Zwischentönen entsprechen. Da er diese Aufeinanderfolge bereits anhand seines ersten Prismaexperiments beobachtet hatte, hält er einen weiteren Beweis für überflüssig.

Die Umkehrung des Satzes wird allerdings ausführlich erörtert. Sie besagt, daß die Disposition der Strahlen, eine bestimmte Farbe zu erzeugen, mit einem bestimmten Brechungsgrad verknüpft ist. Und zwar gilt: „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.“⁴⁰ Da Newton den Anspruch erhebt, daß es sich bei dieser Behauptung nicht um eine wahrscheinliche Hypothese, sondern um eine experimentell bewiesene Behauptung handelt, versucht er wiederum eine Entscheidung zwischen zwei zuvor entwickelten Alternativen herbeizuführen. Allerdings beschränkt er sich bei seinem Beweis auf die Extreme des Spektrums, nämlich Rot und Violett und überträgt das Ergebnis vermöge des Kontinuitätsprinzips auf das übrige Farbspektrum, das zwischen diesen Extremen angesiedelt ist. Dabei bringt er ein relativ einfaches Experiment in Anschlag, das eine interessante Variation des zuvor erläuterten Experiments mit zwei parallel zueinander postierten Prismen darstellt. Letzteres sollte zeigen, daß *alle* Lichtstrahlen eine verschiedene Quantität der Brechung besitzen und daß diese bei jedem einzelnen Strahl auf dessen unveränderlichen inneren Disposition beruht. Zum Zweck des Beweises seiner neuen Behauptung postiert Newton das zweite Prisma nicht mehr parallel zum ersten, sondern senkrecht dazu. Mithilfe dieses Experiments will er zeigen, daß den Strahlen, die Rot erzeugen, eine Quantität der Brechung korrespondiert, die kleiner ist als die aller übrigen Farben, und den Strahlen, die Violett erzeugen, eine Quantität der Brechung zukommt, die größer ist als die aller übrigen Strahlen. Zunächst wiederholt er nochmals das Stammexperiment mit einem Prisma, bei dem das längliche Spektrum zu sehen war. An einem Extrem des Spektrums, nämlich unten, erscheint Rot, an dem anderen, also oben, erscheint Violett. Dann setzt er zwischen das erste Prisma und die Wand, auf der das Spektrumbild erscheint, ein zweites Prisma, das gegenüber dem ersten um 90° geneigt ist. Dieser Versuchsaufbau dient dem Zweck, eine Entscheidung zwischen zwei Alternativen herbeizuführen. Wenn die Quantität der Brechung für die Rot erzeugenden Strahlen und die Violett erzeugenden Strahlen gleich wäre, dann müßte das zweite Spektrum an der Wand in einer Position erscheinen, die parallel zum ersten verläuft. Dies ist aber nicht der Fall. Vielmehr verläuft es in schräger Linie zur ersten Position, wobei das rote Ende näher an dem ursprünglichen Bild liegt und das violette Ende weiter davon entfernt erscheint. Dies beweist nach Newton zwingend, „that the rays tending to the purple

⁴⁰ Op. cit., 89; cf. op. cit., 88: „quòd magis atque magis refringuntur prout colores hoc ordine rubeum, flavum, viridem, caeruleum et purpureum successivos cum omnibus eorum gradibus intermedijs ge-

end P are refracted more than those that tend to the red end T; that is, the rays producing purple are disposed to be more refracted than those making red. For the same reason the same thing will also be evident for the intermediate colors, as I proposed to show.“⁴¹ Damit ist für Newton die Umkehrung des Satzes bewiesen. Weitere Experimente sind demnach überflüssig. Dennoch werden die Bedingungen dieses Ausgangsexperiments weiter variiert, „to make it clearer to everyone how great the evidence of the preceding is“⁴². Insgesamt stellt er drei Variationen und noch eine weitere Variante der dritten dieser Variationen vor. Eine dieser Variationen kommt dem ‘experimentum crucis’ sehr nahe, das in der *New Theory* von 1672 beschrieben wird. Diese Vorgehensweise zeigt wiederum, daß Newton bemüht ist, seine Behauptungen durch ein Prinzip der experimentellen Redundanz abzusichern. Dabei stehen nicht ausschließlich wissenschaftliche, sondern auch didaktische Gesichtspunkte im Vordergrund.

f. Wissenschaftstheoretische Folgerungen

Wie ist die hier beschriebene Vorgehensweise aus wissenschaftstheoretischen Gesichtspunkten zu beurteilen? Jedes einzelne, konkrete Experiment wird vermittelt planmäßig ausgeführter Variationen als Teil einer gesetzmäßig zusammenhängenden *kontinuierlichen Reihe* von Einzelexperimenten begriffen. Ein einzelnes Experiment steht dann gewissermaßen für einen Punkt innerhalb dieser Reihe. Dadurch wird ihm auf der anderen Seite eine allgemeine Aussagekraft verliehen, die es für sich genommen gar nicht besitzen würde. Diese Methode der *Verallgemeinerung durch Variation* erlaubt es, vermittelt eines Experiments über eine *allgemeine* Fragestellung zu entscheiden. Um dies klar zu machen, greift Newton nicht nur einen, sondern stets mehrere Punkte heraus, die er gewissermaßen als Momentaufnahmen eines kontinuierlich zusammenhängenden Bildes begreift. Wie schon zuvor gesehen, spielen dabei Grenzwertbetrachtungen, Symmetrieargumente und die Annahme von der Gleichförmigkeit oder Kontinuität der Naturerscheinungen eine wesentliche Rolle. Das Zusammenspiel dieser Momente ist offenbar ein wesentliches Merkmal dessen, was Newton unter induktiver Methode versteht. Diese Vorgehensweise stiftet zwischen den Experimenten einen systematischen Zusammenhang, der Newtons Art und Weise des Experimentierens deutlich von der seiner Zeitgenossen, wie z. B. Robert Hooke oder Robert Boyle, unterscheidet.⁴³ Wenn Newton *ein* Experiment beschreibt, dann handelt es sich stets um einen Punkt, der aus einem Kontinuum einer Viel-

nerant.“

⁴¹ Op. cit., 91; cf. op. cit., 90: „necessariò concedendum est quòd radij ad extremitatem purpuream P tendentes magis refringantur quàm qui tendunt ad extremitatem rubeam T. Hoc est, quòd radij generantes purpuram apti sint ut magis refringantur quàm ruborem efficientes. Atque idem quoque de coloribus intermedijs eàdem ratione constabit, sicut ostendendum proposui.“

⁴² Op. cit., 91/93; cf. op. cit., 90/92: „Verùm ut cuique magis pateat quanta sit praedictorum evidentia.“

⁴³ Cf. M. Mamiani, *Isaac Newton filosofo della natura. Le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo newtoniano*, Firenze 1976, 113-133; H. Guerlac, „Newton and the Method of Analysis“, in: H. Guerlac, *Essays and Papers in the History of Modern Science*, Baltimore/London 1977, 207-209.

zahl systematisch zusammenhängender Experimente herausgegriffen wird. Diese Gesichtspunkte muß man berücksichtigen, wenn man verstehen will, was Newton meint, wenn er davon spricht, seine Prinzipien aus den Experimenten zu „deduzieren“. „Deduktion“ darf nicht ausschließlich mit einer syllogistischen Ableitung gleichgesetzt werden, sondern impliziert sowohl eine Verallgemeinerung vermittels Variation als auch eine kritische Prüfung der auf diese Weise ermittelten Eigenschaften oder Gesetzmäßigkeiten durch *experimentelle Tests*. Das bedeutet, daß die Induktion keine Einbahnstraße im Sinne der Richtung von den Phänomenen zu den Eigenschaften oder Prinzipien darstellt, sondern daß sie auch die Gegenrichtung von den Prinzipien zu den Phänomenen einschließt. Newtons Induktionsmethode beinhaltet also sowohl einen Aufstieg von der Ebene der Phänomene zu den Prinzipien als auch einen Abstieg von der Ebene der Prinzipien zu den Phänomenen.

Daß Newton ein solches Konzept der Induktion vor Augen hatte, wird mittelbar dadurch bestätigt, daß diese oszillierende Bewegung auch in seiner Beschreibung der Anwendung der analytischen Methode auf naturwissenschaftliche Sachverhalte eine zentrale Rolle spielt. Denn, wie bereits gezeigt, versteht er die induktive Methode entweder als Teil der analytischen Methode oder identifiziert sie sogar mit ihr. In einem Entwurf zu einem Vorwort zur ersten Ausgabe der *Opticks* heißt es: „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.“⁴⁴ Die Ableitung der Prinzipien einer Wissenschaft vermittels der resolutiven oder analytischen Methode erfolgt in einer oszillierenden Bewegung zwischen Phänomenen und Experimenten auf der einen und theoretischen Annahmen und mathematischen Konstruktionen auf der anderen Seite. Ein Beispiel für solche Annahmen bilden die vier Propositionen, die Newton seiner Farbenlehre zugrunde legt. Sie sind einerseits aus den Phänomenen abgeleitet, aber aus ihnen können auch weitere Experimente abgeleitet werden, vermittels deren ihre Reichweite bestimmt und ihre Richtigkeit überprüft werden kann. Aufgrund dieser oszillierenden Bewegung gelangt man stufenweise zu immer allgemeineren Eigenschaften bis hin zu den allgemeinsten Eigenschaften, die einer Wissenschaft als Prinzipien zugrunde gelegt werden können. Vermittels dieser Prinzipien können die Ursachen der Phänomene bestimmt werden. Diese Konzeption stimmt auch mit Newtons zuvor genannter Zielbe-

⁴⁴ U.L.C. Ms. Add. 3970.5. Zitiert nach H. Guerlac, „Newton and the Method of Analysis“, in: H. Guerlac, *Essays and Papers in the History of Modern Science*, Baltimore/London 1977, 193-216; hier 205f. Cf. dazu auch 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.

stimmung der Wissenschaften als der Suche nach möglichst allgemeinen Ursachen überein. Je allgemeiner die Eigenschaften resp. Prinzipien einer Wissenschaft sind, die man vermittle der induktiven Methode herausgefunden hat, um so weiter kann man die Ursachenkette bis hin zu den allgemeinsten Ursachen verfolgen.

Ein wichtiger Punkt dabei ist, daß durch die ständige Rückbindung allgemeiner theoretischer Annahmen an Experimente und Phänomene vorschnelle Verallgemeinerungen vermieden werden. Dadurch wird verhindert, daß man von einem sehr beschränkten Phänomenbereich unmittelbar zu allgemeinsten Prinzipien aufsteigt, ohne die von Bacon sogenannten mittleren Axiome zu beachten. Eine solche Mißachtung der mittleren Stufen im Zuge der theoretischen Erklärung eines Phänomenbereichs führte etwa bei Descartes oder Hooke dazu, daß sie von einem sehr beschränkten Phänomenbereich unmittelbar zu allgemeinsten mechanistischen Erklärungsprinzipien fortschritten. Diese allgemeinsten Prinzipien wurden dann als unumstößlich vorausgesetzt, um von ihnen aus wieder allmählich zu den Phänomenen herabzusteigen. In diesem Fall allerdings gab es keine Möglichkeit mehr, diese Prinzipien ihrerseits kritisch zu überprüfen. Was dann folgte, war die Entwicklung mechanistischer Modelle, die den jeweiligen Phänomenen mehr oder weniger ad hoc angepaßt wurden, so daß ihre Konsistenz untereinander nicht immer gegeben war. So hat Descartes, um die Farben des Regenbogens zu erklären, die Reflexion und Brechung an einem Modell eines großen Regentropfens simuliert, bei der das Verhalten eines Lichtstrahls zu dem Verhalten eines Tennisballs in Analogie gesetzt wurde. Auf der anderen Seite hat er im Rahmen seiner Wirbeltheorie die Lichtausbreitung durch den Druck, den Teilchen einer feinen Äthermaterie aufeinander ausüben, zu erklären versucht. Beide Modelle lassen sich nicht miteinander vereinbaren. Ähnliches gilt auch für Hooke, dessen Modell zur Erklärung der Lichtbrechung die Phänomene der Farben dünner Plättchen nicht erklären konnte, da nach allgemein akzeptierter Auffassung Brechungen an parallelen Oberflächen sich neutralisierten und daher keine Farben hervorbringen konnten.

Solange es an der Vermittlung zwischen solchen allgemeinsten Prinzipien zur Erklärung der Dinge überhaupt und besonderen Axiomen zur Erklärung eines bestimmten Phänomenbereichs mangelt, können in Newtons Augen diese allgemeinen Prinzipien *nicht* als wahre Ursachen der Erscheinungen angesehen werden. Seine energische Zurückweisung der hypothetischen Physik zielt offenbar genau auf diesen Punkt. Ihm geht es nicht darum, alle allgemeinen theoretischen Annahmen aus den Wissenschaften zu verbannen. Die methodische Entwicklung seiner Farbenlehre zeigt vielmehr das Gegenteil. Einige seiner Argumentationen lassen sich durchaus im Stile der hypothetisch-deduktiven Methode rekonstruieren. Aber durch die ständige Rückbindung an die Phänomene wird das übereilte Fortschreiten zu den allgemeinsten Prinzipien der Dinge vermieden und nur solche allgemeinen Eigenschaften als Fundamente einer Theorie verwendet, die für einen ausgewählten Phänomenbereich als hinreichend bestätigt gelten können. Newtons Konzeption gleicht in dieser Hinsicht derjenigen Bacons, sofern sie ein Plädoyer *gegen* übereilte Ver-

allgemeinerungen und *für* den stufenweisen Aufstieg über die mittleren Axiome enthält. Diese mittleren Axiome sind zwar auch theoretische Annahmen, die sich nicht in einem positivistischen Sinne auf bloße Beobachtungsdaten reduzieren lassen. Aber sie beschränken sich in ihrer Gültigkeit auf einen bestimmten Bereich von Phänomenen, in dem sie durch die genannte doppelsinnige Bewegung fester verankert sind als die mechanistischen Prinzipien von Hobbes, Descartes, Boyle oder Hooke. Wenn sich Newton strikt gegen Hypothesen ausspricht, dann denkt er insbesondere an solche allgemeinsten Prinzipien der Dinge, die ohne jede Zwischenstufen postuliert werden. So heißt es in dem oben zitierten Fragment weiter: „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.“⁴⁵

Genau davon legen seine späteren Arbeiten zur Optik beredtes Zeugnis ab. Newton war stets bemüht, unterschiedliche Phänomenbereiche unter gemeinsamen allgemeinen Prinzipien zusammenzufassen. Richtig gelungen ist es ihm eigentlich nur für die Phänomene der Reflexion und Brechung. Die Erscheinungen der Farben dünner Plättchen (Newtonsche Ringe), die er auch zur Erklärung der Oberflächenfarben der Körper herangezogen hatte, ließen sich nur noch mit Mühe integrieren. Er mußte dafür eigens die begrifflichen Grundlagen seiner Theorie um die Definitionen der „fits of easy reflexion or transmission“⁴⁶ ergänzen. In den *Principia* hat Newton versucht, die Phänomene der Brechung, Reflexion und Beugung unter einem allgemeinen Gesetz der Wirkung von Zentripetalkräften auf sehr kleine Körper zu vereinigen.⁴⁷ Allerdings hat er diese Idee in den *Opticks* wieder verworfen. Dort führt er im ersten Teil des dritten Buches⁴⁸ die Phänomene der Beugung lediglich in Gestalt von elf Beobachtungen an, ohne eine theoretische Deutung oder Vereinheitlichung anzustreben. Das Phänomen der Doppelbrechung am Islandspat, mit dem sich Huygens intensiv auseinandergesetzt hatte, findet bei Newton nicht einmal Eingang in den theoretischen Teil der *Opticks*. Vielmehr wird es in den Fragen 25 und 26 der Queries abgehandelt, in dem Teil also, der sich primär der Auseinandersetzung mit Hypothesen widmet, ohne den Anspruch auf Wahrheit der dabei gewon-

⁴⁵ H. Guerlac, „Newton and the Method of Analysis“, in: H. Guerlac, *Essays and Papers in the History of Modern Science*, Baltimore/London 1977, 206.

⁴⁶ 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, 281.

⁴⁷ Cf. I. Newton, *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, übersetzt u. hgg. v. V. Schüller, Berlin/New York 1999, Buch I, Kap. XIV, 235-241. Op. cit., 237: „Von diesen Anziehungen sind die Reflexionen und Brechungen des Lichts nicht sehr verschieden, die ja gemäß eines gegebenen Verhältnisses der Sekanten stattfinden“.

⁴⁸ I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Based on the fourth edition London 1730, New York 1952, 317-338.

nenen Resultate zu erheben. Zu einer allgemeinen Theorie des Lichts und der Farben, die vermocht hätte, alle hier genannten Phänomene zu erklären, war es also noch ein weiter Weg. Dies hat Newton ziemlich klar gesehen und vermutlich ist dies auch der Grund, weshalb er so lange mit der Publikation seiner Farbenlehre gezögert hat.