

# Newton's Methodologie: Eine Kritik an Duhem, Feyerabend und Lakatos<sup>[\*]</sup>

Christian J. Feldbacher-Escamilla

Winter 2019

## Abstract

[584] The Newtonian research program consists of the core axioms of the *Principia Mathematica*, a sequence of force laws and auxiliary hypotheses, and a set of methodological rules. The latter underwent several changes and so it is sometimes claimed that, historically seen, Newton and the Newtonians added methodological rules *post constructione* in order to further support their research agenda.

An argument of Duhem, Feyerabend, and Lakatos aims to provide a theoretical reason why Newton could not have come up with his theory of the *Principia* in accordance with his own methodology: Since Newton's starting point, Kepler's laws, contradict the law of universal gravitation, he could not have applied the so-called *method of analysis and synthesis*. In this paper, this argument is examined with reference to the *Principia's* several editions. Newton's method is characterized, and necessary general background assumptions of the argument are made explicit. Finally, the argument is criticized based on a contemporary philosophy of science point of view.

**Keywords:** Principia Mathematica, Newton's method, deduction from the phenomena, induction, overfitting

## 1 Einleitung

Sir Isaac Newtons *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* sind geschichtlich nicht nur aufgrund der darin ausgedrückten mathematischen und naturwissenschaftlichen Erkenntnisse von besonderer Bedeutung, sondern auch aufgrund der damit einhergehenden Änderungen in der Methodologie der

---

<sup>[\*]</sup>[This text is published under the following bibliographical data: Feldbacher-Escamilla, Christian J. (2019). „Newton's Methodologie: Eine Kritik an Duhem, Feyerabend und Lakatos“. In: *Archiv für Geschichte der Philosophie* 101.4, S. 584–615. DOI: [10.1515/agph-2019-4004](https://doi.org/10.1515/agph-2019-4004). All page numbers of the published text are in square brackets. For more information about the underlying project, please have a look at <http://cjf.escamilla.academia.name>.]

Wissenschaften. Letztere betreffend kam es mit steigender Editionsanzahl zu einer sukzessiven Erweiterung der methodologischen Forderungen, was vor allem von Paul Feyerabend als nachträgliche Rationalisierungsstrategie Newtons und der Newtonianer ausgelegt wurde. Doch nicht nur Feyerabend, sondern in etwa zeitgleich auch Imre Lakatos und weit vorher schon Pierre Maurice Marie Duhem haben ein Argument dafür angegeben, dass Newtons Methodologie im Nachhinein [585] konstruiert worden sein muss, da er sie bei der Gewinnung seiner *Grundlagen* nicht angewendet haben kann.

In dieser Arbeit sollen die methodologischen Behauptungen von Newton dargestellt und gegen diese Kritik von Duhem, Feyerabend und Lakatos verteidigt werden. Dazu werden wir zuerst in einem Überblick die Quellen von Newtons Methodologie angeben (Abschnitt 2). Da die wissenschaftsgeschichtliche Diskussion von Newtons Methodologie größtenteils im Rahmen der Theorie der wissenschaftlichen Forschungsprogramme von Lakatos geführt wird, gehen wir dann über zu einer kurzen Beschreibung des Newtonschen Forschungsprogrammes (Abschnitt 3). Teil des Newtonschen Forschungsprogrammes ist Newtons Methodologie, auf die wir dann in den Unterabschnitten zu Newtons Regeln (Abschnitt 3.1) und der Newtonschen Methode (Abschnitt 3.2) eingehen werden. Schlussendlich werden wir im 4. Abschnitt den Teil zur *Analysis* im Rahmen der Methode beleuchten, den Haupteinwand von Duhem, Feyerabend und Lakatos skizzieren (Abschnitt 4.1), dass nämlich Newton bei der Gewinnung seiner *Grundlagen* praktisch inkonsistent gewesen sein soll (Abschnitt 4.1.1). Wir werden diesen Vorwurf zu entkräften versuchen, indem wir zum einen dafür argumentieren, dass aus formalen Gründen eine Inkonsistenz zwischen Ausgangsbasis der *Analysis* und Folgerungen durch die *Synthese* methodologisch unproblematisch, ja sogar vorteilhaft sein kann, da sie das Problem der Überanpassung einer Theorie an die Daten vermeidet (Abschnitt 4.1.2). Und zum anderen werden wir kurz auf inhaltliche Widerlegungen von Newton-Interpreten verweisen, denengemäß *de facto* keine Inkonsistenz im Newtonschen Vorgehen vorliegt (Abschnitte 4.2 und 4.3).

## 2 Überblick zu Newtons Methodologie

Die meisten methodologischen Behauptungen Newtons beziehen sich auf eine der folgenden zwei Arten von Beziehungen zwischen Wissenschaftlerinnen und Theorien: (1) Entstehungszusammenhang von Theorien; hierbei geht es um eine Antwort auf die Frage, welche Anweisungen Wissenschaftlerinnen bei der Entwicklung von Theorien befolgen sollen; (2) Rechtfertigungszusammenhang von Theorien; hierbei geht es um eine Antwort auf die Frage, welche Anweisungen Wissenschaftlerinnen bei der Begründung und Bewertung von Theorien befolgen sollen. Wie eine Sichtung der methodologischen Behauptungen Newtons nahelegt, beziehen sich tatsächlich die meisten seiner Ausführungen auf (1). Behauptungen Newtons oder im Sinne von Newton zu (2) scheint es nur indirekt zu geben: Die Begründung einer wissenschaftlichen Theorie liegt in ihrer richtigen [586] Genese gemäß der Regeln aus (1). Indi-

rekt ist dieser Zugang zu (2) weil wir sie vor allem in der Kritik von Newton und seinen Anhängern an Theorien finden, die nicht im Einklang mit seinen Anweisungen zu (1) gewonnenen wurden. Eine ähnliche Behauptung zu diesem Zusammenhang findet sich z.B. auch in (Pulte 2005, p.119). Als Beispiel für diese Behauptung dient die Kritik des Newtonianers Roger Cotes an Descartes' Wirbeltheorie, welche er im Vorwort zur zweiten Auflage der *Principia Mathematica* formuliert (cf. Newton 1726(E3)/1999, p.393), und in der er die Postulierung von prinzipiell verborgenen Ursachen durch die Wirbeltheorie als methodologisch problematisch anführt.

Da also die methodologischen Behauptungen zu (2) auf jene von (1) reduziert werden, konzentrieren wir uns hier auf die Methodologie zum Entstehungszusammenhang von Theorien. Einige methodologische Behauptungen Newtons beziehen sich auch auf den sogenannten Verwertungszusammenhang von Theorien (3): Welche Anweisungen soll eine Wissenschaftlerin bei der Verwertung ihrer Theorien befolgen? Im *Scholium Generale* seiner *Principia Mathematica* schreibt er z.B. "This concludes the discussion of God, and to treat of God from phenomena is certainly a part of natural philosophy." (cf. Newton 1726(E3)/1999, p.943). Diese Stelle deuten wir als eine Anweisung, naturwissenschaftliche Theorien für theologische Forschungen zu verwerten. Allerdings wollen wir Anweisungen dieser Art hier ausblenden, da wir uns vor allem für die Kontexte (1) und (2) interessieren.

In der Literatur zu Newtons Methodologie wird meistens auf eine der folgenden Quellen verwiesen, weshalb man vermutlich auch von *den* relevanten Textstellen Newtons zu seiner Methodologie sprechen kann:

- *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy: A New Translation*: Im Folgenden auch kurz 'Grundlagen' genannt; siehe z.B. die neue Übersetzung von I. B. Cohen und A. Whitman: (Newton 1726(E3)/1999) – im Speziellen:
  - Preface to the first edition (siehe z.B. Newton 1726(E3)/1999, pp.381–383)
  - Cotes' preface to the second edition (siehe z.B. Newton 1726(E3)/1999, pp.385–399)
  - *Scholium* im 1. Buch, Abschnitt 11 (siehe z.B. Smith 2002, p.140; und Newton 1726(E3)/1999, pp.588f)
  - *Regulae Philosophandi* (Regeln des naturwissenschaftlichen Arbeitens, siehe z.B. Newton 1726(E3)/1999, pp.794–796 (3. Buch))
  - *Scholium Generale* (siehe z.B. Newton 1726(E3)/1999, pp.939–945 (3. Buch))
- *Opticks: Or, a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light* (siehe z.B. Newton 1721) – im Speziellen:
  - Query 31 (siehe z.B. Newton 1721, p.380 (3. Buch))

- Briefwechsel – im Speziellen:
  - Briefwechsel mit Henry Oldenburg (siehe z.B. Lakatos 1980, p.218; and Feyerabend 1978, p.206)

[587] Nun sind die Untersuchungen zu Newtons Methodologie zahl- und umfangreich. Dies legt nahe, dass, so kurz auch seine Äußerungen zur Methodologie der Naturwissenschaften sind, diese Äußerungen doch sehr viel implizit voraussetzen, auf methodologische Äußerungen von Vorgängern und Zeitgenossen Bezug nehmen und wissenschaftsgeschichtlich besehen folgewirksam waren. Wir werden in dieser Arbeit aus den vielen Untersuchungen nur einige wenige Details herausgreifen und damit Newtons Methodologie allgemein umreißen. Wir werden seine Methodologie dabei in drei Teilen skizzieren: Newtons Forschungsprogramm (Abschnitt 3), Newtons Regeln des naturwissenschaftlichen Arbeitens zu Beginn des dritten Buches der *Principia Mathematica* (Abschnitt 3.1) und Newtons Methode der *Analyse und Synthese* (Abschnitt 3.2). Wie wir gleich anschließend etwas genauer ausführen werden, ist Newtons Methodologie Teil des Newtonschen Forschungsprogrammes.

### 3 Das Newtonsche Forschungsprogramm

Newtons *Principia Mathematica* sind nach Lakatos ein erstes Dokument des Newtonschen Forschungsprogrammes (cf. Lakatos 1980, Kapitel 5). Doch was versteht Lakatos darunter? Grob gesprochen ist nach Lakatos ein Forschungsprogramm eine Folge von Theorien mitsamt einer Menge von methodologischen Regeln. Alle Theorien des Forschungsprogrammes haben eine Menge von Axiomen gemeinsam. Das ist, dem Sprachgebrauch von Lakatos folgend, der Kern des Forschungsprogrammes. Die Theorien unterscheiden sich in der Menge der Randbedingungen und Hilfshypothesen. Das ist zusammengenommen in seinem Sprachgebrauch die Peripherie des Forschungsprogrammes. Teil der methodologischen Regeln eines Forschungsprogrammes sind Regeln, mit denen die Übergänge von einer Theorie des Forschungsprogrammes zu einer anderen Theorie des Forschungsprogrammes geregelt werden sollen. Eine solche Regel wäre z.B. die, dass im Falle eines experimentellen Ergebnisses, das nicht mit einer Theorie des Forschungsprogrammes vereinbar ist, zuerst die Randbedingungen der Theorie untersucht und abgeändert, dann – falls das Ergebnis mit der neu entstandenen Theorie des Forschungsprogrammes immer noch unvereinbar ist, die Hilfshypothesen untersucht und abgeändert werden, und erst zuletzt der Kern abgeändert werden und damit ein neues Forschungsprogramm aufgestellt werden soll.

*Beispiel.* Der Kern des Newtonschen Forschungsprogrammes enthält als Axiome, die keine Definitionen sind, die drei Newtonschen Gesetze, die er im ersten Buch seiner *Principia Mathematica* beschreibt (cf. Newton 1726(E3)/1999, pp.416f, *Law* 1–3). [588] Zur Peripherie der Newtonschen Theorie unseres Sonnensystems, die Teil seines Forschungsprogrammes ist, gehört eine

Ceteris-Paribus-Klausel zu den Kräfteverhältnissen in unserem Sonnensystem, dass nämlich nur alle damals bekannten Körper des Sonnensystems im Sonnensystem gravitieren, und das spezielle Kraftgesetz (“inverse-square law”) der Gravitationskraft: Die Gravitationskraft, die zwischen zwei Körpern wirkt, ist indirekt proportional zum Quadrat der Entfernung der Körper und direkt proportional zum Produkt ihrer Massen:  $|f_G(x,y)| \propto \text{mass}(x) \cdot \text{mass}(y) / \text{distance}(x,y)^2$ . Dazu kommen noch weitere Randbedingungen, wie etwa die Beschreibungen der Massen der damals bekannten Körper des Sonnensystems, der Entfernungen der damals bekannten Körper, etc. Bekanntlich haben Beobachtungen des Planeten Uranus zu neuen Theorien unseres Sonnensystems im Newtonschen Forschungsprogramm geführt – und zwar zu Theorien mit abgeänderten Ceteris-Paribus-Klauseln (auch Neptun gravitiert; auch Vulkan gravitiert) und zusätzlichen Randbedingungen (cf. Schurz 2013, Kapitel 5.2).

Zur Menge der methodologischen Regeln des Newtonschen Forschungsprogrammes gehört die Forderung, Kraftgesetze, etc. über die Methode der *Analyse und Synthese*, auf die wir später noch etwas genauer eingehen werden, zu gewinnen und zu testen. Zudem gehören, zumindest nach Auffassung Newtons, die *Regulae I–IV*, auf die wir auch nachfolgend noch etwas genauer eingehen werden, der Menge der methodologischen Regeln des Newtonschen Forschungsprogrammes an.

Dass Lakatos Behauptung wissenschaftsgeschichtlich richtig ist, legen einige von Newtons Behauptungen im Vorwort der ersten Ausgabe seiner *Principia Mathematica* nahe:

The basic problem of philosophy seems to be to discover the forces of nature from the phenomena of motions and then to demonstrate the other phenomena from these forces. [...] In book 3, by means of propositions demonstrated mathematically in books 1 and 2, we derive from celestial phenomena the gravitational forces by which bodies tend toward the sun and toward the individual planets. [...] If only we could derive the other phenomena of nature from mechanical principles by the same kind of reasoning! For many things lead me to have a suspicion that all phenomena may depend on certain forces by which the particles of bodies, by causes not yet known, either are impelled toward one another and cohere in regular figures, or are repelled from one another and recede. Since these forces are unknown, philosophers have hitherto made trial of nature in vain. But I hope that the principles set down here will shed some light on either this mode of philosophizing or some truer one. (cf. Newton 1726(E3)/1999, Preface to the first edition)

Wir lesen aus diesem Zitat die Aufforderung Newtons an die Physiker seiner Zeit heraus, sich an seinem Forschungsprogramm zu beteiligen, und im Rahmen dieses Forschungsprogrammes – so wie es im obigen Beispiel skizziert wurde – neue Theorien mit weiteren Kraftgesetzen zu entwickeln. [589]

In (Schurz 2013, Kapitel 5.2) wird z.B. ein Überblick zur weiteren Entwicklung des Newtonschen Forschungsprogrammes gegeben; darin wird dafür argumentiert, dass die Theorien zur Federkraft (Hooksches Gesetz), zur elektromagnetischen Kraft, Reibkraft, etc. in eine Übersicht dieses Forschungsprogramms eingegliedert werden können. Modern und in der Sprechweise von Lakatos gedeutet sieht schon Duhem in Newtons *Grundlagen* den Beginn eines neuen Forschungsprogrammes. Eifrigster Nachfolger ist in seinen Augen André-Marie Ampère, der zum einen in seinen elektrodynamischen Untersuchungen neue Kraftgesetze entdeckte und damit im Rahmen des Newtonschen Forschungsprogrammes neue Theorien aufstellte, und der zum anderen Newtons Methode der *Analyse und Synthese* als methodologischen Teil des Newtonschen Forschungsprogrammes akzeptierte und als Forderung an andere Physiker seiner Zeit richtete (cf. Duhem 1998, pp.260f). Nachfolgend werden wir uns etwas genauer mit diesen Teilen des Newtonschen Forschungsprogrammes beschäftigen.

### 3.1 Newtons Regeln des naturwissenschaftlichen Arbeitens

Da sich kritische Untersuchungen von Lakatos zu Newtons Methodologie unter anderem auf editionsgeschichtliche Behauptungen stützen, geben wir zuerst einen geschichtlichen Überblick zu Newtons Regeln des naturwissenschaftlichen Arbeitens. Im Anschluss daran werden wir einige Auslegungen dieser Regeln besprechen.

#### 3.1.1 Geschichtlicher Überblick

Die folgende editionsgeschichtliche Darstellung zu Newtons *Grundlagen* geht auf Alexandre Koyré zurück (cf. Koyré 1965, Kapitel VI). Wir bequemen uns in dieser Arbeit, manchmal Originalbezeichnungen von Newton in Latein und folgende gängige Abkürzungen zu verwenden:

- ‘E1’ für ‘Erste Ausgabe der *Principia Mathematica* (1687, unterstützt durch Edmond Halley herausgegeben)’
- ‘E2’ für ‘Zweite Ausgabe der *Principia Mathematica* (1713, herausgegeben von Roger Cotes)’
- ‘E3’ für ‘Dritte Ausgabe der *Principia Mathematica* (1726, herausgegeben von Henry Pemberton)’

Die *Regeln des Philosophierens* erschienen erst in den Ausgaben E2 und E3, wobei zuerst nur die *Regulae I–III* in E2 und dann die *Regulae I–IV* in E3 erschienen sind. [590] In E1 gibt es an der gleichen Stelle, am Beginn des 3. Buches, zehn Textteile, jeweils mit ‘*Hypothesis*’ bezeichnet. Die ersten beiden *Hypotheses* sind methodologische Regeln; die dritte ist eine Behauptung über Eigenschaften jeder Materie; sie ist unvereinbar mit einer späteren Behauptung in den *Opticks* von 1704, und wurde vermutlich deshalb in die zweite und dritte Auflage nicht

mehr mit aufgenommen. Die restlichen sechs *Hypotheses* sind Behauptungen über unser Sonnensystem.

*Hypothesis I* und *Hypothesis II* werden in E2 übernommen – sie kommen dort im Abschnitt *Regulae Philosophandi* als *Regula I* und *Regula II* vor. *Hypothesis I* kommt dabei in E2 und E3 völlig sinngemäß vor; *Hypothesis II* kommt in E2 völlig sinngemäß, in E3 abgeschwächt vor. Der hinzukommende Wenn-Teil ist sinngemäß: ‘Es ist möglich, dass gleichartigen Wirkungen gleichartige Ursachen zugesprochen werden.’. Zu *Regula III* und *Regula IV* kommen in E1 keine Entsprechungen vor. Sie sind deshalb völlig neu in E2. *Hypothesis III* entfällt, wie bereits gesagt, schon in E2; die *Hypotheses V–X* werden ab E2 mit ‘*Phaenomena*’ (Naturerscheinungen) bezeichnet. Nur *Hypothesis IV*, das ist die Behauptung, dass das Zentrum des Universums unbewegt ist, wird ab E2 weiterhin als *Hypothesis*, nämlich als *Hypothesis I* geführt (cf. Newton 1726(E3)/1999, p.816).

Bis zu seinen *Opticks* hat Newton ‘*Hypothesis*’ zur Bezeichnung von grundlegenden Prinzipien (darunter Axiome und Postulate) verwendet. Seit der ersten Ausgabe der *Opticks* (1704, und damit auch in E2 und E3) verwendete er den Ausdruck zur abschätzigen Bezeichnung von unbegründeten oder unwissenschaftlichen Behauptungen. Unbegründet oder unwissenschaftlich – und zwar eingeschränkt auf Naturwissenschaften (“*Experimental Philosophy*”) betrachtet – ist nach Newton jede Behauptung, die keine beobachtungssprachliche Behauptung ist, und die auch nicht aus einer beobachtungssprachlichen Behauptung induktiv (im weiten Sinn, d.h. auf Beobachtung bezogen, aber nicht rein deduktiv) oder deduktiv gewonnen wurde.

Die vier in E3 abgedruckten Regeln sind folgende (cf. Newton 1726(E3)/1999, pp.794–796):

REGULA I “No more causes of natural things should be admitted than are both true and sufficient to explain their phenomena.”

REGULA II “Therefore, the causes assigned to natural effects of the same kind must be, so far as possible, the same.”

REGULA III “Those qualities of bodies that cannot be intended and remitted [i.e., qualities that cannot be increased and diminished] and that belong to all bodies on which experiments can be made should be taken as qualities of all bodies universally.”

REGULA IV “In experimental philosophy, propositions gathered from phenomena by induction should be considered either exactly or very nearly true [591] notwithstanding any contrary hypotheses, until yet other phenomena make such propositions either more exact or liable to exceptions.”

Das letzte Manuskript zu E3 enthält noch eine weitere Regel, die in E3 selbst nicht abgedruckt wurde (cf. Koyré 1965, p.272):

REGULA V “Whatever is not derived from things themselves, whether by the external senses or by the sensation of internal thoughts, is to be

taken for a hypothesis. 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 any idea whatever may be innate. And I do not take for a phenomenon only that which is made known to us by the five external senses, but also that 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 rejoice, I suffer, etc. And those things which neither can be demonstrated from the phenomenon nor follow from it by the argument of induction, I hold as hypotheses.”

### 3.1.2 Auslegungen

**ad Regula I und Regula II.** Diese Regeln werden in den meisten Auslegungen zusammengefasst betrachtet. Da sich das ‘Therefore’ in *Regula II* auf *Regula I* bezieht, scheint eine gemeinsame Auslegung adäquat. Nach Jürgen Mittelstraß und Klaus Mainzer verwendet Newton diese Regeln, um Kräfte zu identifizieren: “Da nach N.s zweiter *regula philosophandi* gleiche Wirkungen gleiche Ursachen haben (Kausalität), setzt N. Zentripedalkraft und Schwere gleich” (cf. Mittelstraß und Mainzer 2004, p.999). Eine moderne wissenschaftstheoretische Interpretation und Begründung dieser Regeln findet sich z.B. in (Forster und Sober 1994, Abschnitt 4 (Causal Modelling)). Beide Regeln spielen auch in der Anwendung der später charakterisierten Methode der *Analyse und Synthese* eine Rolle.

**ad Regula III.** Nach Koyré (cf. Koyré 1965, pp.270f) betrifft *Regula III* die Definition von ‘ist ein physikalischer Körper’ (“essential properties of bodies”). Newton wollte damit ein Kriterium zur Feststellung von adäquaten Definientia-Bestandteilen von ‘ist ein physikalischer Körper’ angeben. Mit diesem Kriterium seien ‘ist ausgedehnt’, ‘ist undurchdringlich’, etc. adäquate Definientia-Bestandteile, und zwar entgegen den Meinungen von René Descartes und Gottfried Wilhelm Leibniz.

Eine detaillierte Untersuchung zu *Regula III* wurde auch von Maurice A. Finocchiaro durchgeführt (cf. Finocchiaro 1974). Er sieht sinngemäß darin ein Problem, dass Newton einerseits zu fordern scheint, nur solche Ausdrücke als [592] Grundaussdrücke physikalischer Theorien (oder zur Definition von ‘ist ein physikalischer Körper’) zu verwenden, die das in *Regula III* angegebene Kriterium erfüllen; andererseits verwendet Newton jedoch Ausdrücke als Grundaussdrücke, die dieses Kriterium offensichtlich nicht erfüllen. Finocchiaro sieht eine Lösung dieses Problems darin, dass das in *Regula III* formulierte Kriterium mehrdeutig ist, und dass Newton – wohlwollend ausgelegt – sich an seine eigene Regel gehalten hat. Finocchiaro schlägt folgende zwei Auslegungen des Kriteriums in *Regula III* vor (wir schränken uns in dieser Darstellung auf generelle Namen ein; (cf. Finocchiaro 1974, p.71)):

KRITERIUM A Ein genereller Name ist ein physikalischer Grundaussdruck gdw er essentiell ist. Wobei gilt: Ein genereller Name ist essentiell gdw er auf alle (jemals beobachteten) physikalischen Körper zutrifft und wenn es weder einen komparativ-, noch ein superlativ-Ausdruck dazu gibt.

KRITERIUM B Ein genereller Name ist ein physikalischer Grundaussdruck gdw er universell präsent ist. Wobei gilt: Ein genereller Name ist universell präsent gdw er auf alle (jemals beobachteten) physikalischen Körper zutrifft.

Es ist leicht zu erkennen, dass jeder Ausdruck, der Kriterium A erfüllt, auch Kriterium B erfüllt; Da Newtons verwendete Ausdrücke 'gravitiert', 'ist ausgedehnt', etc. Kriterium B, nicht aber Kriterium A erfüllen (Beispiel: 'gravitiert mehr als' und 'ist ausgedehnter als'), erscheint eine Auslegung des in *Regula III* angegebenen Kriteriums im Sinne von Kriterium B wohlwillender als eine Auslegung im Sinne von Kriterium A.

**ad Regula IV.** *Regula IV* wird meist im Zusammenhang mit der Methode der *Analyse und Synthese* betrachtet; wir werden später noch auf diese Methode genauer zu sprechen kommen. Doch zuerst gehen wir auf einige Details von Lakatos' und Feyerabends Untersuchungen dazu ein.

Nach Lakatos hat Newton *Regula IV* in E3 eingeführt, um sein Forschungsprogramm gegen einige kritische Einwände von Cartesianern zu verteidigen (cf. Lakatos 1980, pp.201ff, zur Kritik von Cartesianern cf. unsere nachfolgenden Ausführungen zu *Regula V*). Lakatos sieht in Newton einen "defensiven Positivist": Ein, in seinem Sinne, "aggressiver Positivist" vertritt die wissenschaftstheoretische Norm, dass jedes Grundgesetz der Physik aus beobachtungssprachlichen Sätzen induktiv gewonnen werden kann; Lakatos meint, dass z.B. Rudolf Carnap ein aggressiver Positivist war. Ein, in seinem Sinne, "defensiver Positivist" vertritt die wissenschaftstheoretische Norm, dass mindestens einige Grundgesetze der Physik aus beobachtungssprachlichen Sätzen induktiv gewonnen werden können. Dass Newton ein solcher "defensiver Positivist" ist, [593] begründet er mit Bezug auf *Regula IV*. In seiner Auslegung dieser Regel fordere Newton unter anderem von Cartesianern, dass alle aus beobachtungssprachlichen Sätzen induktiv gewonnenen Sätze auch als Gesetze der Physik akzeptiert werden sollten. Er schließe dabei aber nicht aus, dass auch andere, nicht so gewonnene Sätze als Gesetze der Physik akzeptiert werden sollen.

Diese Auslegung von Lakatos scheint durch den Text Newtons gut gestützt. Was gilt aber in Newtons Methodologie für den Fall, in dem zwei konkurrierende Theorien (d.h. Theorien mit hinsichtlich bestimmter Fragen ähnlichen Problemgehalten) "aufeinandertreffen"? An welcher soll man gemäß Newtons Methodologie weiterarbeiten? Soll man Lakatos' Gebrauch von 'defensiv' so verstehen, dass in einem solchen Fall alle, Cartesianer wie Newtonianer, an ihren eigenen Theorien, z.B. an den Wirbeltheorien und an den Theorien

im Newtonschen Forschungsprogramm, weiterarbeiten? Betrachtet man eine Ergänzung zu *Regula IV* von Newton, dann ist eine solche Auslegung keine wohlwollende Auslegung von Lakatos: Nach Newton können immer Alternativhypothesen formuliert werden, und da dem so ist, muss man die Menge der erlaubten Alternativhypothesen einschränken: "This rule should be followed so that arguments based on induction may not be nullified by hypotheses" (cf. Newton 1726(E3)/1999, p.796).

Der "defensive Positivist" Newton räumt natürlich in der Methodologie seines Forschungsprogrammes seinem Forschungsprogramm einen Vorzug ein. Lakatos' Auslegung von *Regula IV* erscheint also durch folgende Interpretation wohlwollend ergänzt:

REGULA IV\* Wenn ein gesetzesartiger Satz der Physik induktiv im weiten Sinne (d.h. mithilfe der Methode der *Analyse*) aus beobachtungssprachlichen Sätzen gewonnen wurde, dann soll er auch als physikalisches Gesetz (das dann ja für Erklärungen verwendet werden kann) akzeptiert werden, sofern es keine damit unvertäglichen Ergebnisse aus wichtigen Experimenten gibt!  
Von zwei konkurrierenden physikalischen Theorien soll jene bevorzugt werden, deren Axiome mehr Gesetzescharakter in diesem Sinne haben!

Kommen wir nun zu Feyerabends Auslegung und Bewertung von *Regula IV*. Feyerabend führt mehrere Argumente gegen diese Regel an. In einem ersten Schritt kritisiert er die Sinnhaftigkeit dieser Regel und vor allem die Sinnhaftigkeit einer daraus abgeleiteten "konservativen" wissenschaftlichen Grundhaltung. In einem zweiten Schritt kritisiert – oder im Lichte der ersten Kritik: lobt – er dann an Newtons tatsächlichem methodologischem Vorgehen, dass es nicht im Einklang mit *Regula IV* erfolgt ist. Wir diskutieren zuerst Feyerabends erste Kritik, um den von Newton intendierten Anwendungskontext weiter zu spezifizieren (analog der [594] Spezifikation durch Lakatos in *Regula IV\**). Weiter unten gehen wir dann auf Feyerabends zweite Kritik ein (Abschnitt 4.1).

Feyerabend führt auf *Regula IV* eine *konservative* Einstellung vieler Wissenschaftlerinnen hinsichtlich der Akzeptanz neuer Theorien zurück: Demgemäß sollen neue Theorien nur dann akzeptiert werden, wenn alle bereits etablierten Theorien mit ähnlichem Problemgehalt mit Ergebnissen wichtiger Experimente unvereinbar sind (cf. Feyerabend 1978, pp.206f). Gemäß seiner Auslegung von *Regula IV* ergibt sich also folgende Konsequenz daraus:

**These 1.** Wenn in einer Wissenschaft eine neue Theorie  $T_1$  akzeptiert werden soll, dann sind alle in der Wissenschaft etablierten Theorien  $T_2$ , die hinsichtlich bestimmter Fragen einen ähnlichen Problemgehalt wie  $T_1$  haben, unvereinbar mit mindestens einem wichtigen Experiment der Wissenschaft.

Dass diese These eine Konsequenz aus *Regula IV* ist, begründet Feyerabend durch Rückgriff auf frühere Formulierungen der Regel. Er bezieht sich auf Formulierungen in vorläufigen Manuskripten Newtons, die in (Koyré 1965, p.269) zusammengefasst sind. Bei Newton selbst heißt es:

I do not feign hypotheses [or in a slogan: "Hypotheses non fingo"]. For whatever is not deduced from the phenomena must be called a hypothesis; and hypotheses, whether metaphysical or physical, or based on occult qualities, or mechanical, have no place in experimental philosophy. In this experimental philosophy, propositions are deduced from the phenomena and are made general by induction. (cf. Newton 1726(E3)/1999, p.943)

Feyerabends Zusammenfassung ist wie folgt:

In den experimentellen Wissenschaften darf man Sätze, die man induktiv aus den Phänomenen hergeleitet hat, nicht durch Hypothesen kritisieren. Denn [sonst könnte man etablierte Thesen] ständig mit Hilfe von alternativen Hypothesen beiseite schieben. (cf. Feyerabend 1978, p.206)

Die daraus resultierende konservative Haltung (These 1) erscheint nach Feyerabend vielen Wissenschaftlerinnen deshalb als eine akzeptable wissenschaftstheoretische Regel, weil dadurch wissenschaftliches Arbeiten ökonomisch geregelt wird: Halten sich die meisten Wissenschaftlerinnen an diese Regel, so arbeitet der Großteil von ihnen nicht an einer Vielzahl unterschiedlicher Theorien, die noch dazu alle einen – hinsichtlich bestimmter Fragen – ähnlichen Problemgehalt haben, sondern gemeinsam an wenigen etablierten Theorien. Das von Feyerabend rekonstruierte Argument dazu ist folgendes (cf. Feyerabend 1983, pp.41ff): [595]

1. "Die einzige wirkliche Verbesserung [einer Theorie] liegt in der *Gewinnung neuer Tatsachen.*" (dies, weil "der Ausschluß von Alternativen [mit gleich gut bestätigtem empirischen Gehalt] einfach eine Sache der Bequemlichkeit [ist]" und weil diese sogar "den Fortschritt [behindern], indem sie Zeit und Arbeitskraft [beanspruchen], die man besser anders einsetzen könnte." (cf. Feyerabend 1983, p.42))
2. Führe nur Hypothesen ein, die zu einer Verbesserung einer Theorie, zu Fortschritt führen! (Ziel der Wissenschaft)
3. Mit neuen Theorien und Hypothesen, die gleichen, gut bestätigten empirischen Gehalt wie etablierte Theorien haben, die diesen jedoch widersprechen, werden keine neuen Tatsachen-Sätze gewonnen. (Annahme von logischen Empiristen: "Alle Beobachtungsdaten sind unabhängig von Theorien verfügbar")
4. Daher These 1: Führe neue Theorien und Hypothesen, die gleich gut bestätigten empirischen Gehalt wie etablierte Theorien haben, die diesen jedoch widersprechen, nicht ein! (aus 1–3)

Feyerabend erachtet These 1 als nicht akzeptabel. Er meint, dass Prämisse 3 des obigen Argumentes falsch ist: Es gibt Fälle, in denen neue wichtige experimentelle Ergebnisse nur deshalb gewonnen werden konnten, weil man neue

Theorien mit ähnlichem Problemgehalt zu bereits etablierten Theorien untersucht habe. Z.B. seien Untersuchungen zur Bewegung des Brownschen Teilchens solche Fälle (cf. Feyerabend 1983, pp.207f). Aber z.B. ist auch Newtons Theorie des Lichtes nach Feyerabend nicht rein empirisch motiviert (d.h. aus einer gegebenen empirischen Datenbasis induktiv gewonnen). Vielmehr seien anhand der Theorie selektiv Phänomene ausgewählt und unterschiedlich gewichtet worden; und damit habe Theoriebildung teilweise vor der empirischen Datenanalyse stattgefunden (gemäß Feyerabends Kritik wären im Sprachgebrauch Newtons die Grundsätze der *Opticks* selbst "fingierte Hypothesen") – mehr dazu weiter unten in der Diskussion des zweiten Kritikpunktes. Diese Fälle haben jedoch zu Fortschritt beigetragen und sollen deshalb nach Feyerabend mit keiner akzeptablen wissenschaftstheoretischen Regel unvereinbar sein. Sie sind aber mit These 1 unvereinbar. Deshalb soll These 1 nicht akzeptiert werden. Und deshalb solle auch *Regula IV* nicht akzeptiert werden.

Feyerabends Auslegung von *Regula IV* mit These 1 scheint allerdings zu kurz zu greifen. Wie Lakatos plausibel nahegelegt hat, ist *Regula IV* adäquat mit Bezug auf "konkurrierende rationalistische und empiristische" Theorien auszulegen. Newton scheint damit nicht die Fälle regeln zu wollen, in denen zwei "konkurrierende empiristische Theorien" aufeinandertreffen. Vielmehr ergänzte er die *Principia Mathematica* durch die methodologische Norm "Hypothesen non fingo" [596] erstmals im *Scholium Generale* von E2 und verband damit, wie oben angegeben, eine Umbenennung von "Hypothesen" des 3. Buches von E1 zu "Phänomenen" ab E2 (cf. Newton 1726(E3)/1999, p.199; und Cohen 1962). Gerichtet ist diese Norm nach Cotes vor allem gegen rationalistische Kritik (cf. Newton 1726(E3)/1999, Vorwort von Cotes, pp.385ff), nicht aber gegen Kritik, welche selbst empirisch motiviert ist. In diesem Sinne sollte man unterscheiden zwischen den Fällen von rationalistischer Kritik, welche durch *Regula IV*, näherhin durch *Regula IV\**, ausgeschlossen ist, und den Fällen von empirisch motivierter Kritik, welche über These 1 nach Zweckdienlichkeitskriterien geregelt wird.

Wenngleich Feyerabends wissenschaftsgeschichtliche Betrachtung der Newtonschen Methodologie durchaus innovativ ist, scheint sie in diesem Fall zu schnell von *Regula IV* auf These 1 zu schließen. Im Sinne einer Entkopplung von *Regula IV* und These 1 über *Regula IV\** kann man Newtons methodologische Abwehr einer rationalistischen Kritik mit einer pluralistischen Haltung bezüglich der empirischen Theoriebildung verbinden. Feyerabends zweite Kritik, dass sich Newton selbst nicht an seine Regeln bei der Formulierung seiner Theorien gehalten hat, bleibt davon noch unberührt und wird weiter unten erörtert.

**ad *Regula V*.** Dass Newton mit *Regula V* auf Descartes Bezug nimmt, ist offensichtlich. Sie ist gegen die Annahme vieler Rationalisten gerichtet, dass alle Gesetze, die in einer Erklärung verwendet werden dürfen, sich letztlich auf unmittelbar einleuchtende metaphysische Prinzipien zurückführen lassen müssen. Newton wurde ja z.B. von Étienne-Simon de Gamaches vorgeworfen,

dass man mit seinen Gesetzen nichts erklären kann, da er nicht gezeigt hat, wie sie sich auf unmittelbar einleuchtende metaphysische Prinzipien zurückführen lassen (cf. Mischel 1966, pp.40f; allgemeiner auch in Lakatos 1980, p.202). Newton hat sogar vier Jahre lang – und zwar vergeblich – nach metaphysischen Prinzipien gesucht, aus denen sein Gravitationsgesetz gewonnen werden kann (cf. Lakatos 1980, p.203; Jourdain 1915). Warum hat er aber *Regula V*, als Kritik gegen viele Rationalisten und zur Stützung seines Forschungsprogrammes, nicht in E3 mit aufgenommen? Koyré vermutet, dass Newton seine philosophische, „anti-Cartesianische Polemik“ nicht in einem naturwissenschaftlichen Text vorbringen wollte (cf. Koyré 1965, p.272).

Es sind vor allem *Regulae IV* und *V* die *post constructione* Newtons *Grundlagen* methodologisch rechtfertigen sollten. Im folgenden Abschnitt wird Newtons Methode dargestellt, welche auf diesen Regeln fußt. [597]

### 3.2 Newtons Methode der *Analyse und Synthese*

Kommen wir nun zu Newtons Methode der *Analyse und Synthese* – die Behauptungen Newtons zu dieser Methode sind seine hauptsächlichsten methodologischen Äußerungen zum Entstehungszusammenhang von Theorien. Sie finden sich größtenteils in seinen *Opticks*. Die andere Hauptquelle dazu, seine *Principia Mathematica*, werden meist, obgleich zeitlich vorher entstanden, als Ergänzung zu seinen Ausführungen in den *Opticks* gesehen (dies geschieht z.B. so in Worrall 2000, p.61). In den *Opticks* schlägt Newton explizit vor, zur Gewinnung von Theorien die Methode der *Analyse und Synthese* zu gebrauchen. Im Folgenden wollen wir uns mit dieser Methode etwas ausführlicher beschäftigen.

Die Newtonsche Methode (sie wird z.B. prominent in (Duhem 1998, p.253) so genannt) ist die Methode der *Analyse und Synthese*. Die einschlägigen Textstellen hierzu sind:

The basic problem of philosophy seems to be to discover the forces of nature from the phenomena of motions and then to demonstrate the other phenomena from these forces. (Newton 1726(E3)/1999, Preface to the first edition, p.382)

und

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 [...] Effects to their Causes. [...] 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. (cf. Newton 1721, Query 31, p.380)

In der ersten (englischen) Ausgabe der *Opticks* von 1704 waren im dritten Buch nur 16 Fragen formuliert, ohne einen expliziten Bezug auf die Methode der *Analyse und Synthese* (cf. Newton 1704). Erst in der lateinischen Ausgabe von 1706 machte Newton diese methodologischen Bemerkungen, welche 1721 auch in die englische Ausgabe übernommen wurden.

Jaakko Hintikka und Unto Remes interpretieren die Newtonsche Methode der *Analyse und Synthese* in der antiken mathematischen (geometrischen) Tradition des Pappos von Alexandria. Sie sehen darin ein Abweichen von der hypothetisch-deduktiven Methode, dergemäß prinzipiell jede Annahme mit empirischen Konsequenzen akzeptabel ist, insofern Newton jede "Hypothese", welche nicht aus Beobachtungssätzen gewonnen wurde, ablehnt: "He does not allow any old hypotheses in our sense of the word, but only those that have been inferred, derived, or, as he sometimes put it, 'deduced' from phenomena" (Hintikka und Remes 1974, p.110).

[598] Etwas moderner formuliert, legen wir die Textstellen von Newton folgenderweise aus:

#### METHODE DER ANALYSE UND SYNTHESE

1. Ausgangspunkt: Beobachtungssprachliche Sätze
2. Ziel: Gesetze und weitere beobachtungssprachliche Sätze
3. Anweisungen:
  - (a) 'Gewinne aus 1. die Gesetze von 2. über die Methode der Analyse!'
  - (b) 'Gewinne aus den Gesetzen von 2. und einigen beobachtungssprachlichen Sätzen aus 1. die weiteren beobachtungssprachlichen Sätze von 2. über die Methode der Synthese!'

Die Methode der Analyse besteht dabei aus folgenden Teilen:

4. Ausgangspunkt: Beobachtungssprachliche Sätze
5. Ziel: Gesetze
6. Anweisung: 'Gewinne 5. induktiv (in einem weiten Sinne) aus 4.!'

Die Methode der Synthese beinhaltet folgende Komponenten:

7. Ausgangspunkt: Gesetze und beobachtungssprachliche Sätze
8. Ziel: Beobachtungssprachliche Sätze
9. Anweisung: 'Gewinne 8. deduktiv aus 7.!'

Aufgrund des von Newton teilweise neugesteckten mathematischen Rahmens sind in den obigen Beschreibungen 1., 2., 3b., 4., 5., 7.-9 relativ klar. Erklärungsbedürftig ist vor allem sein Verständnis der *induktiven (in einem weiten Sinne) Methode* in 6. und damit auch 3a. Bevor wir nun den unklaren Teil der obigen Beschreibungen genauer untersuchen (das ist hauptsächlich 6.), geben wir zuerst ein Beispiel für die einigermaßen klaren Teile der Beschreibungen:

Beispiel. Newton leitet aus

1. einigen Ergebnissen des ersten Buches der *Principia Mathematica*, das sind Gesetze,
2. einigen Naturerscheinungen des dritten Buches, das sind von Newton als wahr angenommene beobachtungssprachliche Sätze
3. und der Annahme: 'Die Erde ist ein Rotationsellipsoid.' (Hilfshypothese)

die Behauptung ab, dass es unterschiedliche Gravitationsbeschleunigungen auf unterschiedlichen Breitengraden gibt (z.B.  $g_{Pol} \neq g_{AEquator}$ ) und erklärt damit unterschiedliche Zeitmessungen: "Our fellow countryman Halley, sailing in about the year 1677 to the island of St. Helena, found that his pendulum clock went more slowly there than in London[.]" (Newton 1726(E3)/1999, p.829 (*Lehrsätze über die Ursachen des Weltgefüges*)).

[599] Für ein Verständnis dieser Methode muss geklärt werden, was es heißt, dass etwas ein beobachtungssprachlicher Satz ist, dass etwas ein Gesetz ist, dass etwas induktiv (in einem weiten Sinne) aus etwas gewonnen wurde, und dass etwas aus etwas deduktiv gewonnen wurde. Während der letzte Punkt eindeutig bestimmt ist, sind die ersten drei relativ mehrdeutig. Kommen wir zuerst zum Ausdruck 'beobachtungssprachlicher Satz'. Newton verwendet dafür, so die gängige Interpretationen in z.B. (Duhem 1998) und (Losee 1977), u.a. die Ausdrücke 'Bewegungserscheinungen', 'Naturerscheinungen', 'Phänomene' und 'Tatsachen'. Wir haben für unsere Terminologie 'beobachtungssprachliche Sätze' gewählt, weil wir damit zumindest Wissenschaftstheorie-geschichtlich einigermaßen richtig liegen: Das, was Newton 'Naturerscheinungen' nennt, ist oftmals eine Beschreibung eines funktionalen Zusammenhangs. Beispielsweise umfasst Newtons 1. Naturerscheinung in (Newton 1726(E3)/1999, p.797) eine Beschreibung der Umlaufbahnen der Jupitermonde. Lakatos nennt solche Sätze "Zusammenfassungen von Beobachtungen" (cf. Lakatos 1974). Nancy Cartwright bezieht sich darauf in Anlehnung an dem Sprachgebrauch der Physiker mit 'phänomenologische Gesetze'. Diese werden von den sogenannten 'fundamentalen' oder 'theoretischen' Gesetzen unterschieden. Während jedoch Cartwright den phänomenalen Charakter im Sinne einer prinzipiellen direkten Beobachtbarkeit betont, wird in der Physik (z.B. von Francis Everitt) hervorgehoben, dass phänomenologische Gesetze sich dadurch auszeichnen, dass sie wenig theoretisch "verwurzelt" (*entrenched*) sind, während fundamentale Gesetze theoretisch grundlegend sind (cf. Cartwright 1983, Einleitung). Auch die von Newton zur Gewinnung seiner drei Bewegungsaxiome herangezogenen drei Keplerschen Gesetze sind im Sinne von Lakatos und Cartwright Zusammenfassungen von Beobachtungen/phänomenologische Gesetze. Weit davon entfernt, Beobachtungssätze im modernen wissenschaftstheoretischen Sinne zu sein, sind es doch Sätze, in denen nur empirische, mathematische und logische Ausdrücke vorkommen. In einer weiten Verwendungsweise von 'beobachtungssprachlicher Satz', nämlich durch Miteinbeziehung von mathematischen Ausdrücken, fallen auch

Zusammenfassungen von Beobachtungen Wissenschaftstheorie-geschichtlich besehen unter die beobachtungssprachlichen Sätze. Genauer ausgedrückt:

**Definition 1.**  $x$  ist ein beobachtungssprachlicher Satz der Sprache  $L$  gdw  $x$  ein Satz der Sprache  $L$  ist, der nicht logisch determiniert ist, in  $x$  mindestens ein empirisches Zeichen (genereller Name, singulärer Name, etc.) von  $L$  vorkommt, und in  $x$  nur empirische, mathematische oder logische Zeichen von  $L$  vorkommen.

Auch der Ausdruck 'ist ein Gesetz' ist erläuterungsbedürftig. Doch gibt es bekanntlich keine allgemein akzeptierte Explikation dieses Ausdrucks. Auch Intuitionen zur Adäquatheit einer solchen Explikation scheinen – und dies nicht [600] nur unter den Wissenschaftstheoretikern – weit auseinanderzulaufen. Im Sinne von Newton scheint es fruchtbar zu sein, diesen Ausdruck großzügig (das ist weit) zu verwenden. In modernen Auffassungen zu diesem Ausdruck – wie z.B. in der Auffassung in (Lakatos 1974) – gilt folgendes Postulat:

**Postulat 1.** *Kein beobachtungssprachlicher Satz ist ein Gesetz.*

Sätze, wie z.B. jene, die mit 'Keplersches Gesetz' bezeichnet werden, sind nach Lakatos, so wie oben bereits erwähnt, nur zusammenfassende Beschreibungen von empirischen Daten. Setzt man voraus, dass eine Sprache nur empirische, mathematische, logische und theoretische Zeichen enthält, wobei die mathematischen Zeichen nicht den theoretischen Zeichen zugerechnet werden, dann spricht man gemäß Postulat 1 von einem Gesetz nur dann, wenn in dem Satz auch ein theoretisches Zeichen der Sprache vorkommt (mit Definition 1). Dies scheint im Sinne von Newton jedoch eine zu enge Verwendungsweise: Er bezeichnet nämlich z.B. ein Keplersches Gesetz einerseits mit 'Gesetz', andererseits aber auch mit 'Phänomen' – also sinngemäß mit unserem 'beobachtungssprachlicher Satz' (cf. Newton 1726(E3)/1999, Phänomen 4, p.800, und das dazugehörige Scholium, p.805). Seinem Sprachgebrauch folgend gibt es also mindestens einen beobachtungssprachlichen Satz, der auch ein Gesetz ist; Postulat 1 erscheint also nach seinem Sprachgebrauch als kein adäquater Teil einer Explikation von 'ist ein Gesetz'. Postulat 1 ist auch dann inadäquat, wenn man davon sprechen will, dass Gesetze aus weniger allgemeineren Gesetzen, weniger allgemeinere Gesetze aus noch weniger allgemeineren Gesetzen, etc. gewonnen werden sollen (dies ist z.B. die Sprechweise von Francis Bacon (cf. Ducheyne 2005)). Deshalb scheint für eine Explikation von 'ist ein Gesetz' im Sinne von Newton Postulat 1 als Definitiva-Bestandteil nicht adäquat. In dieser Weise bleibt natürlich der Gesetzesbegriff von Newton offen, aufgrund seiner Formulierungen scheint es jedoch angebracht, unter 'Gesetzmäßigkeiten' auch phänomenologische Gesetze bzw. Zusammenfassungen von Beobachtungen zu verstehen. Ein erster möglicher Kritikpunkt, dass nämlich Newton von seiner eigenen Methode abgewichen ist insofern er nicht aus Beobachtungen sondern aus Gesetzen abgeleitet habe und somit keine Analyse vorgenommen habe, scheint damit ausgeräumt. Zu einer ähnlichen Darstellung der Argumentation, wenngleich auch mit anderer Bewertung, gelangt (Feyerabend 1981, Fußnote 11).

Ein zweiter Kritikpunkt an Newton, dass er nämlich bei der Gewinnung seiner *Grundlagen* nicht nach der Methode der Analyse vorgegangen ist, weil er dabei nicht induktiv (in einem weiten Sinn) vorgegangen sein kann, hängt eng mit einer Interpretation von dem noch ungeklärten Ausdruck ‘induktiv (in einem weiten Sinn)’ ab. Im folgenden Abschnitt gehen wir auf Bedeutungspostulate zu diesem Ausdruck und diesen Kritikpunkt ein. [601]

## 4 Die Methode der Analyse

Wir haben oben festgestellt, dass Ausgangspunkt und Ziel der Methode der Analyse einigermaßen klar sind, dass jedoch die Anweisung, wie man vom Ausgangspunkt zum Ziel gelangt, klärungsbedürftig ist. Konzentriert ist das Problem der Klärung der Anweisung in dem mindestens zweistelligen generellen Ausdruck ‘ist induktiv (in einem weiten Sinne) gewonnen aus’.

Was Newton unter diesem Ausdruck versteht, lässt er so gut wie völlig offen. Eine Bemühung, zu rekonstruieren, was er damit meint, wenn er behauptet, dass er das Kraftgesetz aus den Keplerschen Gesetzen (induktiv in einem weiten Sinne) gewonnen hat, wird unter anderem in folgenden Arbeiten unternommen: (Smith 2002), (Worrall 2000) und (Harper 2002). Für unsere Belange weiter relevant ist die allgemeine Interpretation von Hintikka und Remes. Sie geben für die Newtonsche Methode das folgende Schema an (Hintikka und Remes 1974, p.110):

[*Analysis:*]

- (i) an analysis of a certain situation into its ingredients and factors  
→
- (ii) an examination of the interdependencies between these factors  
→
- (iii) a generalization of the relationships so discovered to all similar situations  
→

[*Synthesis:*]

- (iv) deductive applications of these general laws to explain and to predict other situations.

Sie merken an, dass “induction [in a narrow sense] occurs only as step (iii)”, und dass nach Newton “induction is not [...] application of his theory to other cases to test its adequacy. This is the role he ascribes to synthesis” (cf. Hintikka und Remes 1974, p.111). Dieses Schema bietet eine feinere Auflösung unserer obigen Beschreibung der Newtonschen Methode: Induktion in einem weiten Sinne (Punkt 6) wird in Anlehnung an die antike geometrische Methode der Analyse weiter unterschieden in Variablen-/Faktoranalyse (i), Abhängigkeits- und Unabhängigkeitsanalyse (ii) und Generalisierung bzw. Induktion im engen Sinne (iii). Newtons Regeln lassen sich auch direkt mit diesem Schema verbinden: *Regula I* und *II* über die Annahme von möglichen Ursachen beziehen sich klar auf (i) und (ii), wohingegen *Regula III* (nach Kriterium B) und *IV* (nach Interpretation *IV*\*) Generalisierungen im Sinne von (iii) rechtfertigen.

Die Schritte der *Analysis* werden manchmal auch zusammengefasst in Dekomposition (cf. 'decomposition' in Newton 1726(E3)/1999, p.80), das ist die Zerlegung von Phänomenen (i), [602] und der Suche nach Kausalbeziehungen (ii) und (iii). Eine moderne Fassung dieser Methode stellen z.B. die Suchalgorithmen (wie z.B. PC) der Kausalen Bayes-Netz-Theorie dar (cf. Pearl 2000). Deduktion (Punkt 9) entspricht den deduktiven Anwendungen von Hintikka und Remes (iv). Auch hier wird die *Synthesis* manchmal untergliedert in Rekomposition (cf. 'composition' in Newton 1726(E3)/1999, p.50) und kausale Erklärung.

Hintikka und Remes betonen auch, dass vor allem (ii) und (iii) ein schwieriges Unterfangen beim *experimentellen Design* und dem Ausschluss von Störfaktoren darstellen:

It is important to realize that these are not just practical problems of marginal importance to a philosophical methodologist, but touch the very prospects of all systematic logic of scientific discovery (Hintikka und Remes 1974, p.113).

Und:

Newton's method is not very easy to describe by means of the commonplaces of the contemporary philosophy of science. Especially stage (i) [...] involves a conceptualizing element which is not easily discussed in the terms of ready-made languages presupposed in most applications of modern philosophy of science. (cf. Hintikka und Remes 1974, p.111)

Diese verschiedenen Typologien der *Newtonschen Methode* und ihrer modernen Interpretation lassen sich wie folgt in Beziehung zueinander setzen:

Newton	<i>Analysis</i>			<i>Synthesis</i>
	Dekomposition			<i>Rekomposition</i>
	<i>Regulae I &amp; II</i>		<i>Regulae III &amp; IV*</i>	Logik, Geometrie, Calculus etc.
Hintikka et al.	Faktoranalyse (i)	Abhängigkeitsanalyse (ii)	Generalisierung (iii)	Deduktive Anwendung (iv)
Duhem et al. (siehe unten)	Induktion im weiten Sinne			Deduktive Anwendung
Beispiel	Keplersche Gesetze u.a. ⇒ Newtonsche Gesetze (im Speziellen sein Gravitationsgesetz)			Newtonsche Gesetze u.a. ⇒ Beschreibung der Umlaufbahn des Mondes
Modern	Allgemein: Datenanalyse mit z.B. Einfachheit als methodologische Forderung (cf. Forster und Sober 1994)	Z.B. Bayes-Netz-Analyse nach kausalen Abhängigkeiten (cf. Pearl 2000)	Z.B. induktive Verallgemeinerung im engen Sinne ("induktive Logik")	Deduktive Methoden (Logik, Mathematik)

[603] Bezüglich des Ausgangspunktes unserer Untersuchung, der Frage, wie Newton seine Theorie anhand der Keplerschen Gesetze entwickelt hat, gibt es in der Literatur drei prominente Antworten: Erstens die weitverbreitete (traditionelle) Position, dass Newtons *Analysis* im Lichte seiner methodologischen Regeln nicht nachvollziehbar ist (cf. in prominenter Weise z.B. Duhem 1998). Zweitens die Position, derzufolge zwar nicht die vollständige, dafür aber eine eingeschränkte *Analysis* im Einklang mit seinen Regeln ist (cf. z.B. Smith 2002). Und drittens schlussendlich die Position, derzufolge Newtons *Analysis* der Keplerschen Gesetze im Sinne einer Kausalanalyse im Einklang mit seinen methodologischen Regeln erfolgt ist (cf. z.B. Forster 1988). Die zweite Position stellt eine Mischposition aus den anderen dar.

Im Folgenden gehen wir auf diese Positionen ein. Dabei richtet sich unsere Kritik vor allem gegen die erste Position, indem wir ein neues Argument gegen eine ihrer Grundannahmen, nämlich der Konsistenzforderung zwischen phänomenologischem und fundamentalem Gesetz, entwickeln. Anhand kurzer Ausführungen zur Mischposition legen wir schematisch dar, wie, selbst unter Aufrechterhaltung der kritisierten Grundannahme und ihrer starken Auslegung der Regeln, Newtons *Analysis* dennoch zumindest teilweise im Einklang mit seinen methodologischen Forderungen rekonstruiert werden kann. Die kurze Diskussion der dritten Position zeigt dann, wie Newtons vorgehen *de facto* im Einklang mit seinen Regeln rekonstruiert wird und schildert damit einen Anwendungsfall gegen die *Konsistenzforderung*.

## 4.1 Die traditionelle Position von Duhem, Feyerabend und Lakatos

In der folgenden Kritik der ersten Position, d.h. des Inkonsistenzvorwurfs, sowie in unserem Versuch, diesen Vorwurf zu widerlegen, werden vor allem "Allgemeinplätze der modernen Wissenschaftstheorie" bemüht. Dies zeigt, dass bereits auf einer allgemeineren Diskussionsebene (Induktion in einem weiten Sinne – cf. 6) als der feingliedrigen Betrachtung der *Analysis* in (i)–(iii), der Kritik an Newton entgegnet werden kann.

### 4.1.1 Der Inkonsistenzvorwurf

Von vor allem wissenschaftsgeschichtlich orientierten Wissenschaftstheoretikern wie z.B. Duhem, Feyerabend und Lakatos wird gegen Newton vorgebracht, dass er *Regula IV* in E3 nur deshalb aufgenommen hat, um sein Forschungsprogramm methodologisch zu stützen. [604] Nach Auffassung dieser Autoren hat er sich selber aber nicht an *Regula IV* gehalten. So schreibt z.B. Duhem:

Das Prinzip der allgemeinen Gravitation kann [...] keineswegs durch Generalisation und Induktion aus den Beobachtungstatsachen, die Kepler formuliert hatte, abgeleitet werden, es wider-

spricht vielmehr in aller Form diesen Gesetzen. Wenn die Theorie von Newton richtig ist, sind die Keplerschen Gesetze notwendigerweise falsch. (cf. Duhem 1998, p.257)

Und Lakatos urteilt, mit Bezug auf Duhem, ganz analog:

No Newtonian ever seems to have been concerned about the curious feature of this logic that the facts which constituted the starting point for analysis (say, Kepler's laws) were inconsistent with some of the facts proved from them at the end of the synthesis. What was perfectly acceptable in the 'analysis', was in fact rejected in the 'synthesis'. The first to break the myth of Newtonian foundations and inductive 'logic' was Duhem. (Lakatos 1980, p.213)

Genauso Feyerabend, der eine ähnliche Abweichung Newtons von seiner Methode der Analyse konstatiert:

In den "Principia" sind [Phänomene] Teil eines Arguments, das sich hin und her bewegt zwischen den tatsächlichen Beobachtungen, die nun die Abweichungen von den Keplerschen Gesetzen enthalten, und der neuen Auffassung Newtons. Doch sie werden von dem übrigen Argument willkürlich abgetrennt und erhalten besonderes Gewicht, so daß jene Auffassung mit ihrer Hilfe durch eine leere Glaubensregel zusätzliche Stützung erfahren kann. Es ist ein wunderbarer Zufall (der eine ebenso wunderbare Erklärung verdient) daß dieser Aufbau der Gravitationstheorie nicht zu einem elenden Flickwerk führte, sondern zu einem kohärenten System, das unsere Bewunderung erregt durch seine Einfachheit und seinen Erfolg bei der Bewältigung konkreter Erscheinungen. (cf. Feyerabend 1981, p.175)

Feyerabend behauptet noch allgemeiner, dass Newton auch in seiner Theorie des Lichtes nicht nach der Methode der *Analyse und Synthese* vorgegangen ist:

Schon Newton verlangt [z.B. in den *Opticks*], dass nur solche Hypothesen über das Licht zugelassen werden, die mit der von ihm aufgestellten Theorie vereinbar sind. (cf. Feyerabend 1978, p.206)

Und analog zum Vorwurf der unterschiedlichen Gewichtung oben:

[In Newtons *Opticks*] erhalten nicht alle Experimente das gleiche Gewicht. Jene, die von der Theorie nur wenig abweichen und ihre Grundsätze sinnfällig auszudrücken scheinen, erhalten den Vorrang gegenüber anderen Experimenten, in die man die Theorie nicht ohne weiteres hineinlassen kann. [...] Phänomene sind also ausgewählte und idealisierte Experimente, deren Eigenschaften Punkt für Punkt denen der zu beweisenden Theorie entsprechen. Es liegt auf der Hand, dass man sie eher als Veranschaulichungen besonderer Konsequenzen dieser Theorie betrachten sollte. (cf. Feyerabend 1981, p.174)

[605] Diese Behauptung richtet sich mehr gegen die Methode der Analyse aufgrund der theoriegeladenen Selektion von Beobachtungen. Hingegen basiert der Vorwurf von oben zur nicht-analytischen Gewinnung der Gravitationstheorie aus den Keplerschen Gesetzen mehr auf dem Problem der strikt betrachteten Inkonsistenz zwischen zugrundeliegenden Zusammenfassungen von Beobachtungen (den Keplerschen Gesetzen) und der Gravitationstheorie. Da Duhem und Lakatos Newton aufgrund von Inkonsistenz, nicht aber aufgrund von Theoriegeladenheit kritisieren, beschränken wir unsere Diskussion auf den Inkonsistenzvorwurf.

Das Hauptargument zur Stützung der letzten These dieser Autoren hängt mit einigen Annahmen zum Gebrauch von 'ist induktiv (in einem weiten Sinne) gewonnen aus' von Newton zusammen und kann folgenderweise zusammengefasst werden (cf. z.B. Duhem 1998, Kapitel 10, §4):

- A.1 Die Keplerschen Gesetze sind, betrachtet man die damals allgemein akzeptierten Randbedingungen zum Sonnensystem, unvereinbar mit den beobachteten Umlaufdaten der Planeten unseres Sonnensystems.
- A.2 Newtons Theorie unseres Sonnensystems ist vereinbar mit den damals beobachteten Umlaufdaten der Planeten unseres Sonnensystems; man kann damit z.B. (einigermaßen) richtige Prognosen zur Umlaufbahn des Planeten Venus aufstellen.
- A.3 Daher: Die Keplerschen Gesetze und Newtons Theorie unseres Sonnensystems sind unvereinbar.
- A.4 Daher: Newtons Theorie unseres Sonnensystems ist nicht (induktiv in einem weiten Sinne) aus den Keplerschen Gesetzen gewonnen.

Diese von Duhem initiierte Tradition besteht bis heute und ist vermutlich sogar die weitverbreitetste: "Most modern commentators have tended to agree with Pierre Duhem's famous statement on the matter" (Forster 1988, p.89) und "The so-called contradiction, [...] has been brought to the fore by Duhem and [...] has been repeated by many others since then" (cf. Ducheyne 2012, p.XV).

#### 4.1.2 Widerlegung des Inkonsistenzvorwurfs

Gesteht man auch die Wahrheit der Prämissen des obigen Argumentes zu, so wird man doch noch einige weitere Prämissen fordern, um es auch als ein gültiges Argument auszuweisen. Vor allem der Übergang von A.3 auf A.4 scheint noch einige, vielleicht problematische, Zusatzannahmen vorauszusetzen. Logisch betrachtet ist folgendes Prinzip eine relativ schwache Zusatzannahme, um diesen Übergang zu plausibilisieren: [606]

**Postulat 2.** *Wenn eine Satzmenge Y aus einer Satzmenge X induktiv (in einem weiten Sinne) gewonnen wurde, und wenn sowohl Y als auch X für sich genommen logisch widerspruchsfrei sind, dann ist auch deren Vereinigung  $X \cup Y$  logisch widerspruchsfrei.*

Ergänzt man das obige Argument durch Postulat 2 und durch die Behauptungen, dass Keplers Theorie und Newtons Theorie unseres Sonnensystems für sich genommen widerspruchsfrei sind, dann ist der Übergang von A.3 auf A.4 gültig. Eine Begründung dieser Zusatzannahme scheint in der folgenden Hintergrundannahme zum Zusammenhang zwischen deduktiver und induktiver (in einem weiten Sinne) Schlussfolgerung gegeben zu sein:

**Postulat 3** (Konsistenzprinzip zwischen phänom. und fundam. Gesetzen).

*Wenn eine Satzmenge Y aus einer Satzmenge X induktiv (in einem weiten Sinne) gewonnen wurde, dann folgt X deduktiv aus Y.*

Vertreten und direkt gegen Newton ins Treffen geführt wird dieses Postulat z.B. von Karl R. Popper, welcher darin auch ein starkes Argument gegen den Induktivismus sieht:

From a logical point of view, Newton's theory, strictly speaking, contradicts both Galileo's and Kepler's (although these latter theories can of course be obtained as approximations, once we have Newton's theory to work with). For this reason it is impossible to derive Newton's theory from either Galileo's or Kepler's, or both, whether by deduction or by induction. For neither a deductive nor an inductive inference can ever proceed from consistent premises to a conclusion that formally contradicts these premises. I regard this as a very strong argument against inductivism. (Popper 1983, p.140)

Postulat 2 folgt aus Postulat 3 und scheint sogar hauptsächlich durch Postulat 3 gestützt zu sein. Kann man also zeigen, dass Postulat 3 nicht adäquat ist, dann erscheint auch Postulat 2 nicht adäquat; und damit wäre das hier rekonstruierte Argument A.1–A.4 nicht semantisch perfekt. Der Einwand von Duhem, Feyerabend und Lakatos gegen Newtons Methodologie wäre also nicht schlagend.

Es gibt eine prominente induktive Methode in der dieses Prinzip (Postulat 3) gilt, nämlich für den einfachsten Fall der enumerativen Induktion: Wenn aus  $\varphi[c_1], \dots, \varphi[c_n]$  induktiv  $\forall x \varphi[x]$  gewonnen wird (*Analysis*), dann sind erstere Behauptungen auch aus der letzteren Behauptung ableitbar (*Synthesis*).

Nichtsdestotrotz wird in der Wissenschaftstheorie Postulat 3 weitgehend abgelehnt. Mit Ausnahme der enumerativen Induktion gilt in keiner üblichen Theorie induktiven Schließens ein solcher Zusammenhang. Übliche Bestätigungstheorien (sowohl inkrementelle als auch absolute) zeichnen auch Schlüsse als induktiv gültig aus, bei denen die Ausgangsbasis nicht deduktiv aus der erschlossenen Behauptung gewonnen werden kann. [607] Der induktive Gehalt geht über den deduktiven Gehalt einer Behauptung hinaus: Sei z.B. Evidenz  $E_1$  eine logische Folge einer erschlossenen Hypothese  $H$  und sei Evidenz  $E_2$  vollständig gewiss, aber probabilistisch unabhängig von  $H$ :  $Pr(E_2) = 1$  und  $Pr(H|E_2) = Pr(H)$ ; zudem sei die Vereinigung  $E_1 \& E_2$  die vollständig verfügbare Evidenz aus welcher  $H$  induktiv gewonnen wurde,

$E_1 \& E_2$  sei jedoch nicht vollständig gewiss ( $Pr(E_1 \& E_2) < 1$ ). Dann wird zwar  $H$  durch  $E_1 \& E_2$  inkrementell bestätigt. D.h.  $E_1 \& E_2$  ist gemäß dieser Theorien ein potentieller Ausgangspunkt für die Methode der Analyse. Da jedoch  $E_2$  und  $H$  probabilistisch unabhängig sind, kann  $E_1 \& E_2$  nicht deduktiv aus  $H$  erschließbar sein. Es gilt also entgegen Postulat 3:  $H$  wird induktiv aus  $E_1 \& E_2$  gewonnen, obgleich  $E_1 \& E_2$  nicht deduktiv aus  $H$  erschlossen werden kann. Analoges gilt auch für das statistische Schließen.

Unsere Bemerkung, dass gemäß gängigen Bestätigungstheorien der induktive Gehalt einer Behauptung (die Menge der induktiven Folgerungen) über den deduktiven Gehalt einer Behauptung (die Menge der deduktiven Folgerungen) hinaus geht, ist zwar eine notwendige Bedingung dafür, dass Postulat 3 nicht gilt, jedoch keine hinreichende: Auch bei der enumerativen Induktion geht der induktive Gehalt über den deduktiven Gehalt einer Behauptung hinaus; jedoch gilt, wie wir oben bemerkt haben, für den Fall der enumerativen Induktion Postulat 3. Eine hinreichende Bedingung gegen dieses Postulat liegt z.B. vor, wenn die *Analysis* nicht vollständig auf die Ausgangsdaten ausgerichtet ist. Dieser Fall wird z.B. in der Debatte um Vorhersage gegenüber Anpassung (wie z.B. *ad-hoc* Modifikation) behandelt, der Debatte um das sogenannte *curve fitting*-Problem. Vollständige Anpassung an die Daten (auch: '*perfect curve fitting*') birgt ein höheres Risiko von sogenannter Überanpassung (auch: '*overfitting*'), d.h. Anpassung der Theorie an Fehler in den Daten. Von diesem Standpunkt aus betrachtet erwägt die modernere Wissenschaftstheorie nicht nur die Möglichkeit, Induktion nicht im Sinne von Postulat 3 zu verstehen; vielmehr zeichnet sie Induktion, die diesem Postulat nicht genügt, als methodologisch vorteilhaft aus (cf. Hitchcock und Sober 2004).

So viel zu den formalen Voraussetzungen der Kritik an Newton und ihrer Widerlegung. Auf inhaltlicher Ebene, d.h. anhand des detaillierten Vorgehens von Newton, lässt sich der Inkonsistenzvorwurf breit diskutieren. Dies geschieht z.B. im Rahmen der folgenden Mischposition. [608]

## 4.2 Die Position zur Einschränkung der *Analysis*

George E. Smith schlägt eine Auslegung von Newtons 'ist induktiv (in einem weiten Sinn) gewonnen aus' vor, die nicht direkt gegen Postulat 3 spricht, jedoch Inkonsistenz durch Einschränkung der Ausgangsbasis vermeidet (cf. Smith 2002). Nur sehr kurz erläutert, behauptet Smith, dass die Keplerschen Gesetze von Newton anfänglich nur eingeschränkt betrachtet wurden (ein-Körper-Problem), und dass Newton erst dann die Betrachtung ausgeweitet hat (zwei-Körper-Problem, drei-Körper-Problem, etc.) – cf. hierzu (Smith 2002, pp.154ff). Vereinfacht ausgedrückt, hat Newton den beanspruchten Geltungsbereich der Keplerschen Gesetze eingeschränkt, und ist dann übergegangen zu seinem weiter oben schon beschriebenen Kraftgesetz. Aus seiner Theorie unseres Sonnensystems folgen dann auch nicht die drei Keplerschen Gesetze, obzwar er gemäß dieser wohlwollenden Auslegung sein Kraftgesetz aus den Keplerschen Gesetzen induktiv gewonnen hat. Das Schema hierzu wäre wie folgt:

- Ausgangspunkt: drei Keplersche Gesetze:  $X'$
- Einschränkung der Gesetze auf ein-Körper-Problem:  $X$
- *Analysis*, angewendet auf die Einschränkung  $X$ , mit dem Resultat des ersten Buches der *Grundlagen*:  $Y$
- *Synthesis*: Ableitung eines eingeschränkten Keplerschen Gesetzes zum Verhältnis der planetaren Umlaufbahnen:  $X''$  (cf. Phänomen 4 in Newton 1726(E3)/1999, p.800)

Gemäß dieser Argumentation hat Newton sogar im Einklang mit einer Methode im Sinne einer *Analysis*, welche Postulat 3 genügt, gehandelt: Aus  $X$  wird  $Y$  durch *Analysis* gewonnen und  $X$  sowie  $X''$  können wiederum per *Synthesis* aus  $Y$  gewonnen werden, nicht jedoch das  $Y$  widersprechende  $X'$ . Ganz analog kommt Steffen Ducheyne zum gleichen Resultat:

On closer scrutiny, the so-called contradiction [...] is simply non-existent – as any reader of the first three propositions of Book I and Phenomena I–VI as stated in Book III of the *Principia* can testify. The particular criticism raised is beside the point, as Newton demonstrated that exact Keplerian motion occurs only in one-body systems and that, under specific configurations, Keplerian motion occurs as most closely as possible (*quam proxime*) in three- and many-body systems as well. In other words, since the physico-mathematical conditions in one-body are patently different from the physico-mathematical conditions under which Keplerian motion occurs *quam proxime*, there is no formal contradiction involved whatsoever. (cf. Ducheyne 2012, p.XV)

Wie wir oben argumentiert haben, kann der Inkonsistenzvorwurf bereits auf einer allgemeineren Ebene entkräftet werden, insofern vom modernen wissenschaftstheoretischen Standpunkt die Meinung, [609] dass der Ausgangspunkt der *Analysis* durch *Synthesis* wieder erschließbar sein muss, als unplausibel ausgewiesen wird. Damit sind auch die relevanten Hintergrundannahmen des oben skizzierten Argumentes A.1–A.4 nicht genügend plausibilisiert. Das obige Schema zeigt jedoch, dass man selbst unter Annahme eines Konsistenzprinzips zwischen phänomenologischen und fundamentalen Gesetzen Newtons *Analysis* teilweise (d.h. für das ein-Körper-Problem) rekonstruieren kann. Im folgenden Abschnitt gehen wir auf eine vollständige Rekonstruktion ein und illustrieren damit einen Anwendungsfall gegen ein solches Konsistenzprinzip.

### 4.3 Die Position zur vollständigen Rekonstruierbarkeit

Eine vollständige schematische Rekonstruktion der Newtonschen *Analysis* von Keplers Gesetzen findet sich z.B. in (Forster 1988, Abschnitt V). Forster zeichnet eine Kausalanalyse, welche von Nikolaus Kopernikus' Theorie ausgeht. Kopernikus hat selbst ein Sparsamkeitsprinzip formuliert ("just as [nature] especially

avoids producing anything superfluous or useless, so it frequently prefers to endow a single thing with many effects.” – (cf. Copernicus 1543/1992, Kapitel 10)), das Newtons *Regulae I & II* analog ist. Kopernikus gelangte durch “heuristische Faktoranalyse” (cf. bei Newton (i)) zu der Einsicht, dass es einen epizyklischen Faktor gab, der in allen Planetenmodellen von Claudius Ptolemäus gleich war, nämlich die Umlaufdauer von ungefähr einem Jahr, welche in den Modellen jener Zeit entsprach, welche die Sonne für das Umlaufen der Ekliptik benötigt (cf. Forster 1988, p.81). Sein Nachweis, dass so die Annahme einer Bewegung der Erde um die Sonne als gemeinsamer Faktor aller Modelle angesehen werden kann (das wäre in Newtons Methodologie Schritt (ii)) sowie das zugrundeliegende Sparsamkeitsprinzip, diesen Faktor als gemeinsame Ursache aller Bewegungen aufzufassen, führten zum “phänomenologischen Gesetz”, dass die Sonne im Zentrum des Planetensystems ist:

I feel no shame in asserting that this whole region engirdled by the moon, and the center of the earth, traverse this grand circle amid the rest of the planets in an annual revolution around the sun. Near the sun is the center of the universe. Moreover, since the sun remains stationary, whatever appears as a motion of the sun is really due rather to the motion of the earth. (cf. Copernicus 1543/1992, Kapitel 10)

Darauf und auf die von Tycho Brahe erhobenen astronomischen Daten aufbauend hat Johannes Kepler phänomenologische Gesetze zum Bahnverlauf des Planeten Mars und durch Generalisierung die Keplerschen Gesetze gewonnen: Ausgehend von Kopernikus’ Erkenntnis, beginnt Kepler seine “Faktoranalyse” wie folgt: [610]

Er analysiert Daten zur Opposition des Mars zur Sonne (Abbildung 1, links). Anhand der Daten von Brahe bestimmt Kepler den Winkel  $\angle SE_1M_0$ , anhand Daten zu den Fixsternen den Winkel  $\angle E_0SE_1$ .  $\angle SM_0E_1 = 180 - \angle SE_1M_0 - \angle E_0SE_1$ . Soweit Schritt (i) von Keplers *Analysis*. Da  $\overline{SE_1} : \sin(\angle SM_0E_1) = \overline{SM_0} : \sin(\angle SE_1M_0)$  ist der Faktor  $\overline{SE_1}$  abhängig von der Unbekannten  $\overline{SM_0}$ , das ist Schritt (ii), die Suche nach Abhängigkeiten. Analoges gilt für die Winkel und Längen bezogen auf  $E_2, E_3, \dots, E_n$ . Durch Einpassen einer Funktion auf die errechneten Größen, das ist Schritt (iii), die Generalisierung, gelangt Kepler zur elliptischen Bewegung der Erde.

Durch Analyse weiterer Oppositionsdaten des Mars (Abbildung 1, rechts) bestimmen sich analog die Winkel  $\angle SE_iM_1, \angle SE_iM_2, \dots, \angle SE_iM_m$  und damit die Abstände  $\overline{SM_1}, \overline{SM_2}, \dots, \overline{SM_m}$  als abhängig von den jeweiligen  $\overline{SE_i}$  – das ist neuerlich Schritt (ii). Letztere sind aufgrund der obigen Analyse abhängig von der Unbekannten  $\overline{SM_0}$ . Durch Generalisierung, das ist Schritt (iii), passt Kepler eine Kurve den so errechneten Daten ein und gelangt zur elliptischen Bewegung des Planeten Mars. Generalisierend auf alle Planeten (wiederum Schritt (iii)) gewinnt er seine ersten zwei Gesetze (Ellipsen- und Flächensatz):

I again impress on the reader that it was shown by me in my *Commentaries on Mars*, from the thoroughly reliable observations of Brahe, that [...] [611]

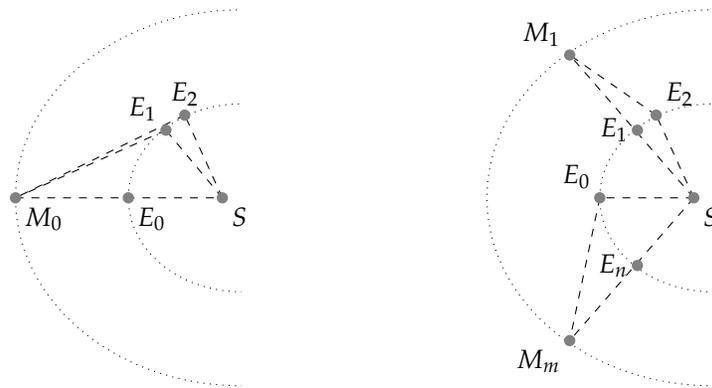


Abbildung 1: Keplers Analyse der Bewegung des Planeten Mars mit einer Umlaufzeit von etwas weniger als zwei Erdjahren (687 Tage). Links: Fixierung der Daten auf Mars und damit einhergehende Bestimmung der Erdumlaufbahn; rechts: Analyse der Bewegungsdaten von Mars bezogen auf die zuvor errechneten Daten zur Erdumlaufbahn (cf. Forster 1988, p.83f).

[Impl. Flächensatz:]

2. the true daily arcs of a single eccentric orbit corresponding [another] have a proportion to each other which is the inverse of the proportion of the two distances from the Sun.

[Ellipsensatz:]

3. At the same time, however, it was shown by me that the orbit of a planet is elliptical,
4. and the Sun, the fount of motion, is at one of the focuses of that ellipse;

(cf. Kepler 1619/1997, p.408f, 5. Buch)

Durch weitere Faktoranalyse der Daten und Generalisierung gelangt Kepler zum dritten phänomenologischen Gesetz, dass nämlich die Umlaufzeiten zweier Planeten sich wie die Kuben der großen Bahnhalbachsen (die charakteristischen Radien ihrer elliptischen Bewegungsform) verhalten:

It is absolutely certain and exact that the proportion between the periodic times of any two planets is precisely the sesquialterate proportion [i.e. in a ratio of three to two] of their mean distances, that is, of the actual spheres[. . .] Thus if one takes one third of the proportion from the period, for example, of the Earth, which is one year, and the same from the period of Saturn, thirty years, that is, the cube roots, and one doubles that proportion, by squaring the

roots, he has in the resulting numbers the exactly correct proportion of the mean distances of the Earth and Saturn from the Sun. (Kepler 1619/1997, p.411f, 5. Buch)

Diese drei phänomenologischen Gesetze bilden den Ausgangspunkt von Newtons *Analysis* (cf. Forster 1988, p.75):

- Aus Newtons Definition von 'Kraft' und Keplers Flächensatz folgt, dass die Kraft, die auf einen Planeten wirkt, Richtung Sonne ist.
- Aus dem Ellipsensatz wiederum folgt, dass diese Kraft indirekt proportional zum Quadrat des Abstandes zur Sonne ist, wie z.B. für Mars:  $\overline{SM}^2$ . Dies ist Schritt (i) und (ii) von Newtons *Analysis*.
- Aus dem dritten Keplerschen Gesetz folgt nun, dass das indirekte Verhältnis von Kraft und Quadrat des Abstandes für alle Planeten gleich ist. "This is interpreted as saying that each of the planetary motions has the very same "cause", viz. the gravitational mass of the sun". Dies ist eine Anwendung der methodologischen *Regulae I & II*.
- In seiner Untersuchung der Bewegung des Mondes (3. Buch, Proposition IVff) ist die hier skizzierte Faktoranalyse verfeinert, indem auch die Masse des jeweils "angezogenen" Körpers als relevant ausgezeichnet wird (cf. Forster 1988, p.86ff).
- Durch Verallgemeinerung dieser Instanzen auf alle Körper, das ist Schritt (iii), gerechtfertigt vor allem durch *Regula III (B)*, gelangt Newton schlussendlich zu seinem Gravitationsgesetz.

[612] So viel zur schematischen Rekonstruktion. Für Details sei auf die Faktoren- Abhängigkeits- und Unabhängigkeitsanalyse in 19 Schritten von (Forster 1988, p.88–94) verwiesen. Newtons *Analysis* hat eine Verbindung zwischen den Keplerschen Gesetzen zu Tage gefördert, welche vorher nicht erkannt wurde: "Newton proved that the magnitudes introduced by Kepler's three laws are in fact interconnected, even though no connexion of these laws had been visible before" (Forster 1988, p.75).

Dass es Abweichungen zwischen den phänomenologischen Gesetzen Keplers und den Ableitungen Newtons (*Synthesis*) zu den Planetenbewegungen gibt, wurde von ihm Fehlern in den Kepler zugrundeliegenden Daten und der Einwirkung weiterer Ursachen zugeschrieben:

But of all astronomers, Kepler and Boulliau have determined the magnitudes of the orbits from observations with the most diligence; and the mean distances that correspond to the periodic times as computed from the above proportion do not differ sensibly from the distances that these two astronomers found [from observations], and for the most part lie between their respective values[.] (Newton 1726(E3)/1999, p.800, Beschreibung zu Phänomen 4, 3. Buch)

Damit hat Newton schon den möglichen Inkonsistenzvorwurf (und eine Entgegnung dazu) vorweggenommen. Wie diese schematische Darstellung der *Analysis* von Newton, Kepler und Kopernikus zeigt, stellt eine Inkonsistenz zwischen phänomenologischen Gesetzen als Ausgangspunkt der *Analysis* (4) und phänomenologischen Gesetzen als Endpunkt der *Synthesis* (9) für die rationale Rekonstruktion von Newtons Vorgehen im Rahmen der Newtonschen Methodologie kein Problem dar.

## 5 Zusammenfassung

Wir haben hier versucht, Newtons Methodologie systematisch und historisch adäquat zu skizzieren: Im Einklang mit gängigen wissenschaftstheoretischen Rekonstruktionen haben wir vorgeschlagen, Newtons Methodologie im Rahmen von Lakatos' wissenschaftlichen Forschungsprogrammen zu untersuchen – nämlich als methodologischen Teil des Newtonschen Forschungsprogrammes. Den Kern und die Peripherie des Newtonschen Forschungsprogrammes haben wir weiter oben nur sehr kurz und in Form einer Übersicht dargestellt. Für den methodologischen Teil kommen wir zu den folgenden Ergebnissen: Duhems, Feyerabends und Lakatos' Kritik, dass Newton praktisch inkohärent gewesen sein soll, indem er seine physikalischen Prinzipien nicht im Einklang mit seinen eigenen methodologischen Forderungen gewonnen habe, kann aus zwei Gründen widerlegt werden: Inhaltlich wurde bereits von Newton-Interpreten nachgewiesen, dass *de facto* keine Inkonsistenz vorlag. [613] Das, was Newton als Ausgangsbasis der *Analysis* verwendet hat (nämlich eine Einschränkung der Keplerschen Gesetze), kann auch tatsächlich wieder per *Synthesis* gewonnen werden, ist also widerspruchsfrei zu Newtons *Grundlagen*. Formal kann dieses Argument widerlegt werden, insofern Inkonsistenz methodologisch unproblematisch ist, da Konsistenz einer Überanpassung der Theorie an die Daten entspricht. Für eine Explikation der Newtonschen Methode kommen wir zu folgendem Resultat:

1. *Regula IV* wird wohlwollend so ausgelegt, dass damit die Fälle, in denen zwei Theorien unterschiedlicher Forschungsprogramme (z.B. Descartes' Wirbeltheorie und Newtons Theorie unseres Sonnensystems) konkurrieren, geregelt werden sollen.
2. Nicht alle Zweitglieder der mindestens zweistelligen Relation 'ist induktiv (in einem weiten Sinn) gewonnen aus' sind Beobachtungssätze; manche sind beobachtungssprachliche Sätze in einem weiten Sinn – oder, wie Lakatos sich ausdrückt, zusammengefasste Beobachtungen bzw. nach Cartwright: phänomenologische Gesetze.
3. 'ist ein Gesetz' wird im Sinne von Newton nur dann adäquat expliziert, wenn es auch beobachtungssprachliche Sätze gibt, die Element der Extension des Explikates sind; (d.h. nur dann, wenn Postulat 1 gemäß einer solchen Explikation falsch ist.)

4. 'ist induktiv (in einem weiten Sinn) gewonnen aus' wird im Sinne von Newton nur dann adäquat expliziert, wenn von einer viel loseren Verbindung zwischen deduktiven und induktiven Schlüssen ausgegangen wird, als dies z.B. Duhem, Feyerabend und Lakatos tun; (d.h. Postulate 3 und 2 sind in einer adäquaten Explikation falsch.)
5. Neben dieser formalen Explikation wurde auch auf die inhaltliche Argumentation verwiesen: Interpretieren wie z.B. Smith und Forster haben Rekonstruktionen der Newtonschen *Analysis* in den *Grundlagen* im Sinne einer dekompositionistischen Kausalanalyse geleistet. Dadurch wird plausibilisiert, dass Newton, ausgehend von den Keplerschen Gesetzen, nicht nur prinzipiell seine Methode bei der Gewinnung seiner *Grundlagen* befolgen *konnte*, sondern diese dabei auch *de facto* befolgte.

Damit mag zwar Newton gezielt methodologische Behauptungen ergänzt haben um sein Forschungsprogramm *post constructione* weiter zu fördern; dass er dabei jedoch – wie Duhem, Feyerabend und Lakatos behaupten – praktisch inkohärent gewesen sein soll, ist aufgrund der obigen Kritikpunkte nicht plausibilisiert.

## Danksagung

Für wertvolle Diskussionen danke ich Richard Brunauer, Alexander Christian, Mariana Escamilla Martínez, Barbara Gautsch, Christoph Leitner, Paul Weingartner und zwei anonymen Gutachterinnen. [614]

## Literatur

- Cartwright, Nancy (1983). *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Oxford University Press.
- Cohen, I. Bernard (1962). „The First English Version of Newton’s Hypotheses non fingo“. In: *Isis* 53.3, S. 379–388. URL: <http://www.jstor.org/stable/227788>.
- Cohen, I. Bernard und Smith, George E., Hrsg. (2002). *The Cambridge Companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Copernicus, Nicholas (1543/1992). *On the Revolutions*. Translated by E. Rosen. Maryland: The Johns Hopkins University Press.
- Ducheyne, Steffen (2005). „Bacon’s Idea and Newton’s Practice of Induction“. In: *Philosophica* 76, S. 115–128.
- (2012). *The Main Business of Natural Philosophy: Isaac Newton’s Natural-Philosophical Methodology*. Dordrecht: Springer.
- Duhem, Pierre Maurice Marie (1998). *Ziel und Struktur der physikalischen Theorien*. Hamburg: Felix Meiner.
- Feyerabend, Paul (1978). *Der wissenschaftstheoretische Realismus und die Autorität der Wissenschaften*. Ausgewählte Schriften, Band I. Braunschweig: Vieweg.
- (1981). „Der klassische Empirismus“. In: *Probleme des Empirismus. Schriften zur Theorie der Erklärung, der Quantentheorie und der Wissenschaftsgeschichte*. Braunschweig: Frierich Vieweg & Sohn. Kap. 6, S. 161–180.
- (1983). *Wider den Methodenzwang*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Finocchiaro, Maurice A. (1974). „Newton’s Third Rule of Philosophizing: A Role for Logic in Historiography“. In: *Isis* 65.1, S. 66–73. URL: <http://www.jstor.org/stable/228882>.
- Forster, Malcolm R. (1988). „Unification, Explanation, and the Composition of Causes in Newtonian Mechanics“. In: *Studies in History and Philosophy of Science* 19, S. 55–101.
- Forster, Malcolm R. und Sober, Elliott (1994). „How to Tell When Simpler, More Unified, or Less Ad Hoc Theories Will Provide More Accurate Predictions“. In: *The British Journal for the Philosophy of Science* 45.1, S. 1–35. DOI: [10.1093/bjps/45.1.1](https://doi.org/10.1093/bjps/45.1.1).
- Harper, William (2002). „Newton’s argument for universal gravitation“. In: *The Cambridge Companion to Newton*. Hrsg. von Cohen, I. Bernard und Smith, George E. Cambridge: Cambridge University Press, S. 174–201.
- Hintikka, Jaakko und Remes, Unto (1974). „On the Significance of the Method of Analysis in Early Modern Science“. In: *The Method of Analysis. Its Geometrical Origin and Its General Significance*. Hrsg. von Hintikka, Jaakko und Remes, Unto. Dordrecht: Reidel Publishing Company, S. 105–117.
- Hitchcock, Christopher und Sober, Elliott (2004). „Prediction Versus Accommodation and the Risk of Overfitting“. In: *The British Journal for the Philosophy of Science* 55.1, S. 1–34. DOI: [10.1093/bjps/55.1.1](https://doi.org/10.1093/bjps/55.1.1).
- Jourdain, Philip E. B. (1915). „Newton’s Hypotheses of Ether and of Gravitation from 1672 to 1679“. In: *The Monist* 25, S. 79–106.

- Kepler, Johannes (1619/1997). *The Harmony of the World*. Translated into English with an Introduction and Notes by E.J. Aiton, A.M. Duncan, and J.V. Field. Philadelphia: American Philosophical Society.
- Koyré, Alexandre (1965). *Newtonian Studies*. London: Chapman & Hall.
- Lakatos, Imre (1974). „Falsifikation und die Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme“. In: *Kritik und Erkenntnisfortschritt*. Hrsg. von Lakatos, Imre und Musgrave, Alan. Braunschweig: Vieweg, S. 89–190.
- (1980). *The methodology of scientific research programmes*. Hrsg. von Worrall, John und Currie, Gregory. Cambridge: Cambridge University Press.
- Losee, John (1977). *Wissenschaftstheorie. Eine historische Einführung*. München: Beck.
- Mischel, Theodore (1966). „Pragmatic Aspects of Explanation“. In: *Philosophy of Science* 33.1/2, S. 40–60. URL: <http://www.jstor.org/stable/186436>.
- Mittelstraß, Jürgen und Mainzer, Klaus (2004). „Newton, Isaac“. In: *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*. Hrsg. von Mittelstraß, Jürgen. Stuttgart: Metzler, S. 997–1005.
- Newton, Isaac (1704). *Opticks: Or, a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*. London: Printed for Sam. Smith.
- (1721). *Opticks: Or, a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*. The Third Edition, Corrected. London: Printed for William und John Innys.
- (1726(E3)/1999). *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy: A New Translation*. Hrsg. von Cohen, I. Bernard und Whitman, Anne. Berkeley: University of California Press.
- Pearl, Judea (2000). *Causality. Models, Reasoning, and Inference*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Popper, Karl R. (1983). *Realism and the Aim of Science*. Hrsg. von Bartley, W.W. Totowa: Rowman und Littlefield.
- Pulte, Helmut (2005). *Axiomatik und Empirie. Eine wissenschaftstheoriegeschichtliche Untersuchung zur Mathematischen Naturphilosophie von Newton bis Neumann*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Schurz, Gerhard (2013). *Philosophy of Science. A Unified Approach*. New York: Routledge.
- Smith, George E. (2002). „The methodology of the Principia“. In: *The Cambridge Companion to Newton*. Hrsg. von Cohen, I. Bernard und Smith, George E. Cambridge: Cambridge University Press, S. 138–173.
- Worrall, John (2000). „The Scope, Limits, and Distinctiveness of the Method of ‘Deduction from the Phenomena’: Some Lessons from Newton’s ‘Demonstrations’ in Optics“. In: *The British Journal for the Philosophy of Science* 51.1, S. 45–80. URL: <http://www.jstor.org/stable/3541748>.