

## VORARBEITEN ZUR *THEORIA PHILOSOPHIAE NATURALIS*

Die Entstehungsgeschichte von Boscovichs Theorie, von seinen ersten Veröffentlichungen bis zur endgültigen Darstellung in dem Wiener Hauptwerk<sup>1</sup>, kann man unter drei Gesichtspunkten betrachten. Der erste Gesichtspunkt betrifft die Untersuchung, wie Boscovich zur Bezeichnung der eigenen Theorie als *theoria* kam, der zweite bezieht sich auf die äußere Gestalt der *curva Boscovichiana* und der dritte Gesichtspunkt soll Boscovichs Verhältnis zu Newton klären. Obwohl Boscovich für seine eigene Theorie behauptet, sie befinde sich in der Mitte zwischen Leibniz und Newton (*Theoria*, num. 1), ist seine Auseinandersetzung mit Newton nicht nur leichter zu verfolgen, sondern auch insgesamt wichtiger für die Entstehung seiner Theorie<sup>2</sup>. Daher werde ich zuerst und vor allem sein Verhältnis zu Newton erläutern.

### *Einstellung zu Newtons Physik in der frühesten Phase (bis 1744)*

Zu Boscovichs Studienzeit vertrat den Lehrstuhl für Mathematik Orazio Borgondio (1679–1741), insgesamt 28 Jahre lang (1712–1740). Er war nicht nur ein erfolgreicher akademischer Lehrer, sondern auch ein Liebhaber der lateinischen Dichtung. Von Anfang an zeigte Boscovich ähnliche Affinitäten. Beide, der Lehrer und der Schüler, waren Mitglieder des literarischen Zirkels „Arcadia“ und dichteten lateinische Verse. Auch auf diesem Gebiet übertraf Boscovich seinen Lehrer. Sein Lehrer Borgondio weckte in ihm auch das

---

<sup>1</sup> Der Titel der Wiener Erstaussgabe aus dem Jahre 1758 lautet: „*Philosophiae naturalis theoria*“. Boscovichs Aufenthalt in Wien fällt zwischen dem 5. April 1757 und dem 4. März 1758. An dem Text seines Hauptwerkes hat er seit Jahren gearbeitet. Die letzte Bearbeitung hat er während seines Wiener Aufenthaltes durchgeführt und den abgeschlossenen Text seinem Freund Karl Scherffer aus dem Jesuitenorden für den Druck anvertraut. Worin besteht der Unterschied zur ersten Venediger Ausgabe? Zuerst nur im leicht umgestalteten Titel: „*Theoria philosophiae naturalis*“. In der Wiener Ausgabe erinnert der Titel an Newtons Hauptwerk („*Philosophiae naturalis principia mathematica*“). Mit der Umgestaltung des Titels in der Venediger Ausgabe wollte Boscovich wahrscheinlich auch verbal seine Theorie in den Vordergrund stellen. Wie steht es mit den inhaltlichen, die Grundlagen der Theorie betreffenden Unterschieden? Nach dem Vergleich der beiden Ausgaben kann ich behaupten, dass die Unterschiede nur die geringfügig abweichende Verteilung des ergänzenden Materials, mit kleineren Zusätzen in der Venediger Ausgabe (*Typographus Venetus lectori, Catalogus operum*), betreffen, während der Grundtext fast unverändert geblieben ist.

<sup>2</sup> Auch Leibniz hat seine „*Monadologie*“ (1714) in Wien geschrieben. Seit 1720 gab es eine deutsche Übersetzung, der französische Urtext wurde erst 1840 veröffentlicht. Boscovich kannte dieses Werk nicht. Seine Kenntnisse der Philosophie von Leibniz stammen hauptsächlich aus den Texten der Naturphilosophen aus der Leibnizschule (Gabrielle-Emilie du Châtelet, Leonhard Euler, Johannes Bernoulli, Pierre Louis Maupertuis). Seine Auseinandersetzung mit Leibniz ist auf das *principium rationis sufficientis* eingeschränkt. Die folgenden Texte sind dafür wichtig: „*De maris aestu*“ (1747), num. 85–87 [gegen Eulers Versuch, Trägheitskraft nur mit dem Prinzip vom zureichenden Grunde, also rein apriorisch, abzuleiten]; „*De continuitatis lege*“ (1754), num. 125–130 [gegen Bernoullis Versuch mit dem Prinzip des zureichenden Grundes das Gesetz der Kontinuität zu begründen]; „*Supplementum in Stayum*“ I (1755), num. 22–35 + Fußnote zum Vers 339 des ersten Buches [grundsätzliche Einwände gegen das Prinzip vom zureichenden Grunde: aus diesem Prinzip folgt totaler Determinismus und Aufhebung der menschlichen Freiheit]; „*De lege virium in natura existentium*“ (1755), num. 21 & 23 [die menschliche Freiheit unterbricht die vorausgehende Kausalkette, dadurch wird aber das Gesetz der Kontinuität nicht verletzt]; „*Theoria*“ (1758), num. 556 [die Seele wirkt auf die Materiepunkte des Leibes; die menschliche Freiheit ist mit dem Naturdeterminismus vereinbar].

Interesse an Newtons Physik. So sagte er einmal hinsichtlich der Newton-Studien im *Collegium Romanum*: Boscovich „beginnt, wo ich stehengeblieben bin“.<sup>3</sup> Erhalten sind drei Briefe Borgondios an Boscovich (vom 6., 18. und 25. Juni 1735), in denen er ihm weitere Newton-Studien empfiehlt.<sup>4</sup> Kurze Worte aus einem Brief an den Jesuiten Luigi Marchenti in Bologna, vom 5. April 1735, erinnern uns an diese Zeit. Boscovich schreibt: „Wenn ich Zeit hätte, würde ich sorgfältig Newton studieren“.<sup>5</sup> Warum beklagt sich Boscovich über seinen Zeitmangel für die Newton-Studien? Als Jesuitenzögling musste er den Vorschriften des Ordens gemäß seit etwa 1733 fünf Jahre lang den ziemlich zeitraubenden Lehrdienst an den Unterstufen der Jesuitenschulen leisten. Wir können annehmen, dass er um das Jahr 1735 mit Newtons Physik nur ungenügend vertraut war. Wir haben keine Vorstellung, was er darüber wusste. In der damaligen jesuitischen *ratio studiorum* konnte Newtons Werk – wenn überhaupt im positiven Sinne – nur beiläufig erwähnt werden. Es scheint aber wahrscheinlich, dass sich Boscovich in den nächsten fünf Jahren bis zum Erhalt der Mathematikprofessur im Jahre 1740 im Selbststudium Grundkenntnisse der Physik Newtons angeeignet hat. Die Vertiefung dieses Studiums kann man auch in den 1740-er Jahren voraussetzen.

Welche Ausgaben von Newtons Werken standen ihm zur Verfügung? Ohne Zweifel die Genfer dreibändige Ausgabe der *Principia* (1686), welche die Jesuiten François Jacquier und Thomas Le Seur mit Kommentaren herausgegeben hatten und welche in drei Auflagen erschienen war (1739, 1740, 1742). Wir wissen, dass sich Boscovich in einigen Fällen auf ihren Kommentar beruft. Newtons *Opticks* (1704), mit ihren ersten 16 „Queries“, konnte Boscovich wahrscheinlich nicht im Original lesen. Eine erste lateinische Ausgabe erschien in 1706. Bis zur vierten englischen Ausgabe 1730 wurde die Anzahl der „Queries“ vermehrt, mit der letzten, berühmten „31<sup>st</sup> Query“, welche die späteren Diskussionen über die Grundbausteine der Materie beeinflusste. Die lateinische Ausgabe (*Optices*) war Boscovich zugänglich und er zitiert sie, z.B. schon in *De aurora boreali* (1738, S. 4). In *De materiae divisibilitate* (1748) sagt er euphorisch, dass die letzte „Query“ ihm den Anlass zu allen Überlegungen in dieser Schrift geboten hat.<sup>6</sup>

In der Zeit von 1735 bis 1744, in dieser frühen wissenschaftlichen Phase, veröffentlichte Boscovich 22 Schriften, 8 vor seiner Professur 1740, 14 als *professor matheseos in Collegio Romano*. In den allerersten Schriften wird Newton einige Male zitiert, z.B. erscheint in *De aurora boreali* (1738) ein Zitat aus Newtons *Opticks* zur Angabe der Höhe der Erdatmosphäre.<sup>7</sup> Aber auch wo Boscovich die *hypothesis Terrae motae* thematisiert, ohne Newton beim Namen zu nennen, impliziert das Newtons Physik.

Aufschlussreich ist die Behandlung von Newtons Gravitationsgesetz in *De inaequalitate gravitatis in diversis Terrae locis* (1741), also in seiner Arbeit, die sich mit der Ungleichheit der Gravitation auf der Erdoberfläche beschäftigt. Sein Zweifel an der Gravitationstheorie ist im allgemeinen durch die eigene Unsicherheit hinsichtlich der heliozentrischen Theorie bedingt. Newtons Gravitationsgesetz bezeichnet er in diesem Zusammenhang als *hypothesis gravitationis*, und betont, man solle sich davor hüten, Hypothesen anstelle von Beweisen feilzubieten.<sup>8</sup> Unter dem Ausdruck *hypothesis* meint er in diesem Zusammenhang, genau wie Newton in seiner berühmten Phrase ‚*hypotheses non fingo*‘, Behauptungen, die weder aus den Erscheinungen abgeleitet noch in Experimenten bestätigt worden sind. In dieser Schrift von 1741 ist Boscovich noch kein Newtonianer – aber er anerkennt den hohen Wert

<sup>3</sup> Angelo FABRONI, *Elogio dell'abate Ruggiero Boscovich* (Pisa 1789) 4.

<sup>4</sup> Željko MARKOVIĆ, *Rude Bošković*, Bd. 1 (Zagreb 1968), 62–63.

<sup>5</sup> *Ebd.* 62; 118.

<sup>6</sup> Num. 19: *quae mihi harum omnium meditationum occasionem praebuerunt* („sie hat mir den Anlass zu allen diesen Überlegungen geboten“).

<sup>7</sup> S. 4: *audiatur Newton Optices l. 3. pag. 312.*

<sup>8</sup> *Hypotheses pro demonstrationibus venditandae non sunt*, num. 35.

der Gravitationstheorie bei der Erklärung der kosmologischen Erscheinungen, vor allem hinsichtlich der Planetenbahnen. Die Gravitationstheorie ist aber, sagt er, ‚äußerst willkürlich‘ (*maxime arbitria*), wenn es um die Erklärung der mikroskopischen Festigkeit der Körper nach dem gleichen Gesetz handelt.<sup>9</sup> Daher ist sie nicht geeignet, die Ungleichheit der Gravitation auf der Erdoberfläche zu erklären, die offensichtlich von der inneren Struktur der Erde (*internarum Terrae partium structura*) abhängen soll.

Was wissen wir aufgrund dieser ersten Äußerungen über Boscovichs Verhältnis zu Newtons Physik? Ohne Zweifel ist er einen Schritt näher zur Anerkennung des Gravitationsgesetzes gekommen. Es ist aber wichtig, dass es sich hier schon um eine partielle Akzeptanz handelt. Wie auch in seinen reifen Jahren akzeptiert Boscovich 1741 nur die makroskopische Geltung des Gravitationsgesetzes. Andererseits kann seiner Meinung nach die Struktur des Inneren der Erde nicht nach dem gleichen Gesetz erklärt werden. Schon zu dieser Zeit scheint Boscovich an eine *lex in natura existens* geglaubt zu haben, die noch allgemeinere Geltung beanspruchen kann als Newtons Gravitationsgesetz. Diese Vermutung kann durch den letzten Paragraphen der Schrift *De inaequalitate gravitatis in diversis Terrae locis* bestätigt werden. Boscovich sagt dort (num. 37):

*neque enim dicimus veram esse hanc hypothese-  
sim gravitatis et totam hanc explicatio-  
nem veram esse. Ingenue fatemur hypothe-  
sim esse. Fatemur veram a nobis causam  
ignorari cum plures esse possint. Affir-  
mamus tantum hanc esse posse. Fortasse  
aliquando simplicius occurret aliquid et  
verius.*

„Ich sage weder, dass diese Gravitations-  
hypothese wahr ist, noch dass die ganze  
damit zusammenhängende Erklärung wahr  
ist. Freimütig behaupte ich, dass es um eine  
Hypothese handelt. Ich gestehe aber, dass  
ich die wahre Ursache nicht kenne, weil  
es mehrere Erklärungen geben könnte. Ich  
behaupte nur, dass dies eine Erklärung sein  
kann. Vielleicht wird einmal etwas Einfacheres  
und mehr Wahres auftauchen“.

In *De observationibus astronomicis* (1742), seiner nächsten Schrift, gebraucht er den Ausdruck *in hypothesi Newtoniana* (num. 22). Also scheint seine Beziehung zu Newtons Physik noch immer unverändert zu sein. Vier Monate später, in *Disquisitio in universam astronomiam*, gibt Boscovich eine aufschlussreiche Erläuterung seiner Einstellung zu Newtons Theorie, also der Einstellung, die für diese früheste Phase charakteristisch ist. In dieser Erläuterung betont er drei wichtige Punkte: (1) Newtons System stellt eine Hypothese dar, die keinesfalls unmittelbar aus bloßen Erscheinungen abgeleitet werden kann; (2) es kann nicht bewiesen werden, dass dieses System völlig mit den Erscheinungen übereinstimmt; (3) es enthält eigene Schwierigkeiten, die man nicht ignorieren kann.<sup>10</sup> Die im dritten Punkt erwähnten ‚eigenen Schwierigkeiten‘ – er meint eine Art von immanenten Schwierigkeiten der Newtonschen Physik – bezeichnet Boscovich als ‚zwei sehr schwerwiegende‘ (*duae gravissimae*, num. 58). Die erste ernstzunehmende immanente Schwierigkeit bezieht sich auf die Möglichkeit, dass die Fixsterne wegen der Anziehungskraft der Gravitation ineinander stürzen und eine einheitliche Masse bilden könnten. Die zweite nimmt an, dass Newtons Theorie den Grundbausteinen der Materie eine Wirkung ohne Übertragungsmedium (*sine ullo medio*) zuschreiben müsste. Die erste Schwierigkeit veranlaßt Boscovich seine Kraftkurve so zu gestalten, dass sie in dem Teil, wo sie mit Newtons Gravitationskraft

<sup>9</sup> *Ubi agitur de minimis materiae particulis se mutuo attrahentibus in eadem lege*, wo es um die kleinsten Materieteilchen handelt, die sich nach demselben Gesetz wechselseitig anziehen“, num. 27.

<sup>10</sup> **Num. 54:** *Adhuc tamen affirmamus tria: 1. hypothesim esse quae ex puris phaenomenis immediate deduci non potest; 2. demonstrari non posse eam prorsus cum phaenomenis consentire; 3. habere difficultates suas non contemnendas.*

übereinstimmt, irgendwo die x-Achse schneidet und somit Nullstellen des Gleichgewichts bildet, an denen die Fixsterne ruhen und daher nicht ineinander stürzen. Die zweite große Schwierigkeit erfordert von Boscovich noch weitere Bemühungen, um eine befriedigende Lösung zu finden. Die Wirkung ohne Medium ist eigentlich das berühmte Problem der Fernwirkung (*actio in distans*). Was macht Boscovich damit? Zu dieser Zeit (1742) ist die Fernwirkung unannehmbar. Um 1745 akzeptiert er eine Variante der Fernwirkung und um 1748 versteht er diese Kraftwirkung als eine Art Kraftfeld.

### *Die Ausarbeitung der eigenen Theorie (1745–1747)*

Einen Wendepunkt in der intellektuellen Biographie Boscovichs stellt seine Schrift *De viribus vivis* aus dem Jahre 1745 dar. Mit dieser Abhandlung hat er in eine große Auseinandersetzung über die lebendigen Kräfte eingegriffen und zur definitiven Auflösung dieses Streites beigetragen. Hier interessieren uns zwei Sachen in diesem Werk: sein Verhältnis zu Newton und der erste Entwurf seiner Theorie, die man darin findet. Wenn Boscovich feststellt, dass die lebendigen Kräfte völlig überflüssig (*prorsus superfluae*, num. 9) sind, zitiert er wörtlich die erste Regel aus Newtons berühmtem „Scholium generale“.<sup>11</sup> Newtons Gravitationstheorie bezeichnet er in *De viribus vivis* als *hypothesis* (num. 22–23)<sup>12</sup> und zum erstenmal auch als *sententia* (num. 38).<sup>13</sup> Wenn er in num. 40 zum erstenmal seine eigene Theorie einführt, gebraucht er ebenfalls den Ausdruck *sententia* zu ihrer Bezeichnung.<sup>14</sup>

Wenn ich sage, Boscovich habe in *De viribus vivis* einen ersten Entwurf seiner Theorie angeboten, schulde ich eine Erklärung, warum dies lediglich ein Entwurf ist und noch nicht die ganze Theorie. Nun ist eine solche Erklärung nicht so einfach. Boscovichs *lex virium*, auch in ihrer endgültigen Gestalt, ist leider rein qualitativen Charakters. Daher wird sie mit bloßer Beschreibung, ohne mathematische Formeln, eingeführt und auch später in der Regel so dargestellt. Die Unterschiede zwischen dem Entwurf und der endgültigen Gestalt betreffen vor allem die erweiterte Anwendung seiner Theorie auf alle Gebiete der damaligen Physik. Das äußert sich vor allem an der leicht wandelnden Gestalt der *curva Boscovichiana* und wir werden uns später einige Unterschiede veranschaulichen. Das eine steht aber fest: die Grundbeschreibung seiner Theorie bleibt unverändert von der er-

<sup>11</sup> *Illud enim contendimus, phaenomena omnia ita pendere a vi inertiae et momentaneis ac perpetuo pereuntibus potentiarum actionibus, sive viribus mortuis, ut vires vivae sint prorsus superfluae ac ex illo Newtoni principio satis communiter admisso causas non plures admittendas esse, quam quae verae sint et effectibus explicandis sufficient, omnino e physica reiiciendae.* „Denn wir befürworten die folgende Ansicht: Alle Erscheinungen hängen von der Trägheitskraft und von den augenblicklichen sowie dauernd verschwindenden Wirkungen der Potenzen beziehungsweise von den toten Kräften ab. So sind die lebendigen Kräfte völlig überflüssig. Wenn man Newtons Prinzip, dass nur die Ursachen zugelassen werden sollen, die wahr und zur Erklärung von Wirkungen zureichen, genügend allgemein akzeptiert, muss man die lebendigen Kräfte vollständig aus der Physik ausschließen.“ Ansonsten kommentiert Boscovich zehn Jahre später in den Bemerkungen zu den Versen 1140 und 1156 des ersten Buches von Stays *Philosophia recentior*, Rom 1755, tomus 1, 55–57, ausführlich diese Regeln von Newton.

<sup>12</sup> Num. 22: *in hac hypothesi gravitatis*/num. 23: *in hypothesi gravitatis constantis*.

<sup>13</sup> Num. 30: *in Newtoni sententia*.

<sup>14</sup> Num. 40: *remanet ut nostram sententiam quandam aperiamus quae maiorem etiam simplicitatem inducit et analogiam circa potentias ipsas et eorum agendi modum in quam nos quidem maxime inclinamus, tum ob hanc ipsam simplicitatem et analogiam, tum quod plurimis etiam primariis corporum affectionibus explicandis sit apta* „Es bleibt noch übrig, meine Ansicht zu offenbaren, die auch eine größere Einfachheit und Analogie in bezug auf die Potenzen selbst und ihre Wirkungsweise einführt. Zu dieser Ansicht neige ich einerseits wegen dieser Einfachheit und Analogie und andererseits aus dem Grunde, dass sie zugleich zur Erklärung von vielen primären Eigenschaften der Körper geeignet ist.“

sten Einführung bis zur endgültigen Darstellung. Diese Beschreibung besteht aus einigen Grundvoraussetzungen:

- (i) Berufung auf die *simplicitas et analogia naturae*.
- (ii) Geltung des Kontinuitätsgesetzes.
- (iii) Unmöglichkeit der physischen Berührung.
- (iv) Ablehnung der physischen Wirkung.
- (v) Aufbau der Materie aus unausgedehnten Kraftpunkten.
- (vi) Makrokosmische Anziehung und mikroskopische Abstoßung, mit Nullstellen des Gleichgewichts.

Bei der Einführung der eigenen Theorie in *De viribus vivis* befürwortet Boscovich ausdrücklich Newtons ‚*vires agentes in aliqua distantia*‘ gegenüber Descartes‘ Stoßgesetzen (num. 41). Nun ist es aber noch nicht klar, in welchem Sinne er den umstrittenen Begriff der *actio in distans* akzeptiert. Vorerst ist es nur klar, dass er diesen Begriff im Sinne von *actio physica in distans* ablehnt. In num. 50 heißt es:

*Utimum autem virium attractivarum et repulsivarum nomine, non quod aliquam physicam actionem ponamus particulae distantis in distantem, sed ut hisce vocabulis exprimamus determinationem illam – quae vel sita est in libera Dei lege, vel in natura et essentia particularum corporum, vel in qualitate aliqua – qua particulae ad se invicem conentur recedere vel a se invicem conentur recedere, quaecunque ex iis sit causa physica eius conatus. Haec quidem curva et gravitati Newtonianae et nostrae vi repulsivae satisfaciet.*

„Ich bediene mich des Begriffs der Anziehungs- und Abstoßungskraft nicht um irgendwelche physische Wirkung des einen entfernten Teilchens auf ein anderes entferntes Teilchen anzusetzen, sondern um mit diesen Termini eine Bestimmung auszudrücken – die entweder in dem freien Gesetz Gottes liegt, oder in der Natur und dem Wesen der besonderen Körper, oder in einer bestimmten Eigenschaft. Auf Grund dieser Bestimmung versuchen die Teilchen sich voneinander zu entfernen oder sich einander anzunähern, unabhängig davon, wo die physische Ursache dieses Versuches liegt. Diese Kurve wird sowohl die Newtonsche Gravitation als auch unsere Abstossungskraft zufriedenstellen.“

Hier geht es Boscovich vor allem um den Charakter der Phänomene, die in der Physik seiner Zeit als Anziehung und Abstoßung bezeichnet werden. Mit dem Ausdruck ‚Bestimmung‘ (*determinatio*) umschreibt er gewisse Zustände der Materiepunkte, die sich als Entfernung voneinander und Annäherung zueinander äußern. Dieser Ausdruck betont hier – in *De viribus vivis* – die Gegebenheit dieses Zustandes und soll vor allem auf den möglichen Ursprung des Kraftgesetzes, und zwar im Sinne des metaphysischen Ursprungs, hinweisen (*libera Dei lex, natura et essentia, qualitas*). Boscovich läßt aber die Frage des metaphysischen Ursprungs offen. Das heißt, dass es möglich ist die Natur erfolgreich zu erforschen, ohne eine endgültige Metaphysik zu vertreten.

In den nächsten Jahren nach dem Erscheinen von *De viribus vivis* präsentiert Boscovich seine Theorie immer selbstbewußter. Jetzt betont er auch die Einheit des Gesetzes, das Anziehung und Abstoßung umfassen soll. Er nennt es *lex unica generalissima* (*De cometis*, 1746, num. 15). In diesem Zusammenhang scheint er Newtons Fernwirkung hinzunehmen, aber keineswegs im Sinne von *actio physica in distans* (vgl. z.B. *De maris aestu*, 1747, num. 32).<sup>15</sup> Unter der *actio physica* meint er höchst wahrscheinlich eine Wirkung, die auf-

<sup>15</sup> Num. 32: *verum nihil est opus concipere physicam quandam actionem corporis in corpus distans/ „in der Tat ist es überhaupt nicht nötig, eine bestimmte physische Wirkung eines Körpers auf einen anderen entfernten Körper aufzufassen“.*

grund der physischen Berührung oder durch die physische Übertragung zustande kommt. Die Klärung der Fernwirkung bedeutet den letzten Schritt in der endgültigen Etablierung der eigenen Theorie.

### *Entscheidende Wende in der Entwicklung der Theorie (1748)*

In der Zeit von November 1747 bis Ende August 1748, während der Arbeit an *De materiae divisibilitate* und vor allem an *De lumine, pars secunda*, präsentiert Boscovich seine endgültige Erklärung der Kraftwirkung.<sup>16</sup> Worin besteht diese Wende? Sie besteht vor allem in einer Umformulierung seiner Theorie, so dass sie im Sinne einer modernen Feldtheorie interpretiert werden kann.

Die bis Mitte 1748 verfasste und erst 1757 erschienene Abhandlung *De materiae divisibilitate* wurde nach Boscovichs Rückkehr aus Dubrovnik (am 5. November 1747) von einem Bekannten bestellt. Die Bitte bezog sich auf die Auklärung der unendlichen Teilbarkeit (*de divisibilitate in infinitum*, S. 131), aber Boscovich nutzte die Gelegenheit, seine eigenen Ansichten über die Grundbausteine der Natur zu erörtern.<sup>17</sup> Die Schrift wurde erst neun Jahre später veröffentlicht, mit nachträglich geschriebenen, aufschlussreichen Fußnoten, die uns auch einige Einsichten in die Entwicklung von Boscovichs Ideen verraten.<sup>18</sup> In num. 90 (S. 250) von *De materiae divisibilitate* betont Boscovich seine Akzeptierung der Fernwirkung: „Die Kräftewirkung auf Körperentfernung teile ich mit Newton. Ich habe sie aber mit zusätzlichen Argumenten bewiesen“.<sup>19</sup> Wir begegnen dem Ausdruck ‚*determinatio*‘ in gleicher Bedeutung, wie vorher in *De viribus vivis*, z.B. in num. 18 (S. 163):

*Hisc vocabulis non designo actionem aliquam physicam, quam punctum exerceat in punctum distans, ... sed determinationem illam, undecunque ea proveniet – et sive sita in ipsa punctorum eorundem natura, sive in libera quadam Conditoris lege, sive etiam, si Peripateticis libeat, in accidente aliquo absoluto, ea enim hic non moror; – quam determinationem eadem puncta habent, accedendi ad se invicem vel recedendi, et id ipsum ita ut sive bina puncta ad se mutuo attrahantur sive repellantur, debeant induci semper mutationes status in utroque contrariae et aequales.*

„Mit diesen Ausdrücken [Anziehungs- und Abstoßungskräfte] bezeichne ich keineswegs eine physische Wirkung, welche der eine Punkt auf den anderen entfernten Punkt ausübt, ... sondern eine Bestimmung, unabhängig davon woher diese Bestimmung kommen könnte — sei es, dass sie in der Natur der Punkte liegt, sei es, dass sie in einem freigewollten Gesetz des Schöpfers begründet ist, sei es auch, dass sie, wie es die Peripatetiker wollen, aus einem absoluten Akzident kommt. Diese Punkte haben nämlich die Bestimmung der wechselseitigen Annäherung und der wechselseitigen Entfernung und zwar so, dass im Falle wechselseitiger Anziehung oder Abstoßung zweier Punkte in beiden Punkten die Zustandsänderungen verursacht werden müssen, die von entgegengesetzter Richtung und gleicher Größe sind.“

<sup>16</sup> Es ist interessant, dass er die Zeit vor dieser Wende, also vom 20. Juni bis zum 13. Oktober 1747, fast vier Monate, zum letzten Male in Dubrovnik verbrachte. Sicherlich haben die Gespräche im intellektuellen Kreis von Marin Sorkočević zu seinem Selbstbewusstsein beigetragen.

<sup>17</sup> MARKOVIĆ, Rude Bošković (Anm. 4) 235–236.

<sup>18</sup> Željko MARKOVIĆ (ebd., 242) behauptet, dass der zweite und der dritte Teil, also die Fortsetzung von „De materiae divisibilitate“ unveröffentlicht in der Handschrift vorliegen (unter dem Titel „De principiis corporum“ im Boscovich-Nachlass in Berkeley).

<sup>19</sup> Num. 90 (S. 250): *actio virium in distantia corporum mihi cum Newtono communis est et a me praeterea aliis adhuc rationibus probata.*

Boscovichs Dilemma, wie er Newtons Fernwirkung verstehen soll, ist mit seiner Deutung des Begriffs ‚*determinatio*‘ verknüpft. In seiner reifen Theorie schreibt er den Kraftpunkten eine Zustandsbestimmung (*determinatio*) zu, die eine Deutung der Materie als einen von Kraftfeldern erfüllten Raum ermöglicht. Man muss hier betonen, dass beliebig viele feldtheoretische Ansätze möglich sind, weil Boscovich sein Gesetz nur zum Teil quantitativ festgelegt hat. In *De materiae divisibilitate*, num. 81, erwähnt er Newtons Standpunkt hinsichtlich der Fernwirkung, also als Wirkung ‚*sine contactu et impulsu*‘. In diesem Paragraphen und sonst in dem ganzen Grundtext aus dem Jahre 1748 finden wir noch keine Anspielung auf eine mögliche Deutung der *actio in distans* im Sinne einer Feldtheorie. Bei der Vorbereitung dieser Schrift für den Druck im Jahre 1757 nützt Boscovich die Gelegenheit, eine Fußnote hinzuzufügen (S. 236), in der er seinen endgültigen Standpunkt bezüglich der Fernwirkung äußert:

„*Poterit esse actio tantummodo determinativa, ita ut binae particulae materiae habeant determinationem accedendi ad se invicem, vel recedendi a se invicem, et singulae in se agant, ita ut illa altera determinet tantummodo directionem et magnitudinem eius actionis quam altera in se exercet.*

Die Kraftwirkung könnte nur eine bestimmende Wirkung sein, nämlich so, dass zwei Materieteilchen eine Bestimmung erhalten, sich gegenseitig anzuziehen und sich gegenseitig zu entfernen, und dass die einzelnen Teilchen in sich selbst wirken. So bedeutet die Kraftwirkung, dass das eine Teilchen nur die Richtung und die Größe der Wirkung eines anderen Teilchens bestimmt, dieses andere Teilchen übt aber die Wirkung in sich selbst.“

Boscovich scheint den Materiepunkten bestimmte Zustandseigenschaften zuzuschreiben, die durch die Lage der anderen Materiepunkte bedingt sind. Auf diese Weise erhält jeder Materiepunkt schon durch seine Lage im Raum eine Zustandsbestimmung, die sich in Wirkung äußert. Daher erzeugt jeder Materiepunkt ein Kraftfeld, denn jeder andere Materiepunkt wird durch diesen beeinflusst, je nach der Lage, die er als singulärer Punkt in diesem Krafraum einnimmt. So hat Boscovich eine feldtheoretische Deutung seiner Theorie vorbereitet. Eine ähnliche Äußerung bezüglich der Fernwirkung finden wir in *De lumine, pars secunda*, num. 54. In diesem Paragraphen diskutiert Boscovich zwei mögliche Einwände gegen seine Theorie: erstens, das Zeugnis der Sinne, und zweitens, die Fernwirkung. Seine Antwort auf den ersten Einwand lautet, dass er nur die mathematische Kontinuität voraussetzt, wofür er kein Zeugnis der Sinne braucht, und auf den zweiten, dass aus seiner Theorie keine Fernwirkung folgt (*actio autem puncti in punctum distans omnino non sequitur*). Diesen letzten Punkt erläutert er folgendermaßen:

*Hoc sane pacto omnis actio physica in distans evitatur et actio corporis in corpus, ubi eius motum immutat, non erit actio physica, sed dicetur actio quatenus, mutando positionem respectu illius, determinat conditionem illam, qua determinata, illud alterum corpus in se ipsum agit.*

„Auf diese Weise soll jede physische Fernwirkung vermieden werden. Die Wirkung des einen Körpers auf den anderen, wobei er seine Bewegung ändert, wird keine physische Wirkung sein, sondern man wird sie Wirkung nennen, insofern sie mit der Änderung der Lage in Bezug auf den anderen Körper den Zustand bestimmt, so dass durch die Bestimmung dieses Zustandes der andere Körper in sich selbst wirkt.“

Die Schrift *De materiae divisibilitate* wurde im Frühjahr 1748 geschrieben. Ihr Standpunkt bezüglich der Fernwirkung ist gleich dem in *De viribus vivis*. Boscovichs Schrift *De lu-*

*mine, pars secunda* wurde mit Sicherheit im August 1748 geschrieben.<sup>20</sup> Obwohl sein Wiener Hauptwerk zehn Jahre später veröffentlicht wurde, blieb Boscovichs feldtheoretische Deutung von Newtons *actio in distans* ein fester Bestandteil seiner endgültigen Theorie. Eine weitere Neuheit, die durch die Abhandlung *De materiae divisibilitate* eingeführt wurde, sind die Verknüpfungen von Raum und Zeit, die Boscovichs Raum-Zeit-Lehre beinhalten und zum Grundbestand seiner Theorie gehören. Seine Kraftpunkte sind zugleich räumlich und zeitlich bestimmt.

### *Die Arbeit an der Theorie vor dem Wiener Hauptwerk*

Nach *De lumine, pars secunda* widmet sich Boscovich unerwartet, aber nicht widerwillig, vielen technischen und politischen Arbeiten. Die weitere Arbeit an seiner Theorie wurde ziemlich verlangsamt. Erst im Jahre 1754 veröffentlichte er eine größere Abhandlung unter dem Titel *De continuitatis lege*, die nicht nur das Fundament seiner Theorie, das Prinzip der Kontinuität, behandelte, sondern auch die Gelegenheit bot, eine kurze, aber systematische Darstellung seiner Theorie darzubieten. Die Wirkung wird weiterhin als Zustandsbestimmung des singulären Materiepunktes, ohne Fernwirkung und Zusammenstoß (*determinatio sine actione in distans et sine ullo impulsu*, num. 163) verstanden. Zugleich kündigt Boscovich zum ersten Mal ein ehrgeiziges Unternehmen an, vgl. num. 169: „Es wird auch möglich sein, das Gesetz dieser Kraft durch die einfachste algebraische Formel auszudrücken“.<sup>21</sup> Ein Jahr nach dem Erscheinen dieser Abhandlung hat Boscovich in *De lege virium in natura existentium*, 1755, num. 76 ff, sechs Bedingungen (*sex conditiones*) untersucht, die erfüllt werden müssen, um eine algebraische Formel für sein Kraftgesetz zu finden.<sup>22</sup> Er hat aber nie eine algebraische Formel entwickelt, welche diesen Bedingungen entspricht.

Die 50-er Jahre kennzeichnet unter anderem auch ein Unternehmen, das Boscovich zusammen mit seinem Landsmann Benedikt Stay (1714–1801) vollbrachte. Benedikt Stay gab eine Darstellung der Newtonschen Philosophie in lateinischen Hexametern, „*Philosophia recentior*“, in zehn Büchern, sukzessiv in drei Bänden (Rom 1755, 1760, 1792, insgesamt 24227 Hexameter) heraus. Boscovich war nicht nur Stays Hauptquelle für den Inhalt der Darstellung, er schrieb auch Kommentare zu Stays Dichtung in Form von Fußnoten und Ergänzungen, in denen er die Gelegenheit nutzte, nicht nur Newtons Philosophie zu erläutern, sondern auch ausführlich seine eigenen Ansichten zu vielen naturphilosophischen Themen zu geben.<sup>23</sup>

### *Boscovichs Gebrauch von hypothesis, sententia und theoria*

Alle drei Termini werden bei Boscovich nicht immer ganz genau unterschieden. Einzelne werden sie mehrdeutig gebraucht, manchmal werden sie sogar durcheinander gebracht. Bei der ersten Einführung bezeichnet Boscovich seine Theorie als *sententia*. In der gleichen Schrift wird *sententia* oft für eine umstrittene, aber ernstzunehmende Lehre verwendet („*De viribus vivis*“, 1745, num. 3–7, 9–10, 36–38 etc.). Fast gleiche Bedeutung hat dort der Terminus *hypothesis*, z.B. wenn er in Bezug auf die Gravitationstheorie oder die Lehre

<sup>20</sup> Sie wurde am 11. August 1748 verteidigt. Boscovich schreibt am 31. Juli an seinen Bruder Baro und teilt ihm mit, dass er den zweiten Teil noch nicht geschrieben hat. „*De lumine, pars secunda*“ wurde am 5. September verteidigt. Vgl. MARKOVIĆ, Ruder Bošković (Anm. 4) 225–232.

<sup>21</sup> Num. 169: *poterit ea per simplicissimam etiam algebraicam formulam exprimi.*

<sup>22</sup> Num. 76: *ut hasce conditiones impleamus, formulam inveniemus algebraicam, quae ipsam continebit legem nostram.*

<sup>23</sup> Stays frühere Arbeit behandelte Descartes' Philosophie: „*Philosophiae versibus traditae libri VI*“, (Venedig 1744), insgesamt 10249 Hexameter.



von dem *continuum physicum* gebraucht wird. Ansonsten gebraucht Boscovich *hypothesis* öfter im Sinne einer willkürlichen, nicht bestätigten Annahme. Zugleich bestreitet er nicht die Rolle von Arbeitshypothesen, die ein unentbehrliches Methoden- und Forschungsmittel, eine Übergangsstufe bei der Etablierung von wahren Theorien darstellen. Diese Lehren referiert er abwechselnd als *hypothesis* und *sententia*. Nun begegnen wir in *De viribus vivis* auch dem Ausdruck *theoria*, der in bezug auf eine etablierte, aber nicht unbedingt unumstrittene Lehre gebraucht wird. Warum wählte Boscovich den Terminus *sententia*? Wir wissen es nicht genau, aber wir können bei ihm eine gewisse Unsicherheit über die Tragweite seiner neuen Ideen feststellen.

In „De materiae divisibilitate“ (num. 12, S. 151) finden wir eine interessante spätere Bemerkung, in der er den Sinn seiner *sententia* klärt. In dem vorausgehenden Paragraphen hat er zwei *propositiones* hervorgehoben, die er zur klaren Erörterung seiner Ansicht, also seiner neuen Lehre von den Grundbausteinen der Natur, benötigt. Die erste *propositio* betrifft die Unmöglichkeit des physischen Kontinuums und die zweite bezieht sich auf die weiteren Argumente, die den Bau der Materie aus unteilbaren Punkten beweisen.

In dem älteren Text (der Schrift „De materiae divisibilitate“, num. 12, S. 151) erwähnt er seine *sententia*: „Damit als erstes feststeht, wovon ich überzeugt bin und damit es als bewiesen feststeht, werde ich meine Ansicht (*sententia*) von den unteilbaren Punkten, zu der ich im höchsten Maße neige, erörtern.“<sup>24</sup> Zu diesem Satz hat er später eine Fußnote hinzugefügt, die lautet: „Hier – d. h. in dem Grundtext aus dem Jahre 1748 – wird sie (d. h. die Sentenz) als *hypothesis* erörtert, was zum Nachweis der ersten *propositio* – also der von der Unmöglichkeit des physischen Kontinuums – genügt. Danach wird sie durch die positiven Argumente bestätigt, dass die Sache selbst so feststeht. Hier handelt es sich nicht um eine willkürliche Hypothese, sondern um eine Theorie, die durch die wahrhaften Prinzipien abgeleitet und bewiesen ist.“<sup>25</sup>

Was können wir hier feststellen? In dem Grundtext von „De materiae divisibilitate“ aus dem Jahre 1748 bezeichnet Boscovich seine eigene Theorie als *sententia* (z.B. num. 2, 3, 4 etc.), aber zum ersten Male auch als *theoria* (num. 46, 78). 1748 neigt Boscovich offensichtlich schon dazu, seine als *sententia* eingeführte Theorie als *theoria* zu bezeichnen. Die späteren Zusätze in „De materiae divisibilitate“ aus dem Jahre 1757 bestätigen diesen Trend, denn in diesen verwendet er fast ausschließlich den Terminus *theoria* (S. 131: *mea theoria physicae generalis*). Nun der oben zitierte Text der späteren Bemerkung verrät auch, wie er diesen terminologischen Wechsel auch methodisch versteht. Die in num. 12 von „De materiae divisibilitate“ erwähnten zwei *propositiones* (Unmöglichkeit des physischen Kontinuums und weitere positive Beweisgründe) versteht er durch die spätere Bemerkung als zwei Schritte in der Begründung der eigenen Theorie. Der erste Schritt ist negativ. Es ist nur eine Hypothese über die wahre Zusammensetzung des Kontinuums – die Einsicht gewonnen durch die *reductio ad absurdum* des physischen Kontinuums und diese Einsicht wurde im großen und ganzen schon in „De viribus vivis“ erarbeitet. Der zweite Schritt ist positiv: durch die positiven Beweisgründe wird diese Hypothese eine Theorie. Die Beweisgründe sind zum Teil apriorisch (das Prinzip der Kontinuität) und zum Teil empirisch (der Verlauf der Kraftkurve).

Was können wir daraus schließen? Boscovichs Wahl des Terminus *theoria* hat keine zwingenden Gründe in einer wohlbegründeten Methodenlehre. Seine spärliche Erklärung ist überzeugend, aber sein Gebrauch des Terminus *theoria* ist keinesfalls klar und

<sup>24</sup> *Ut primum constet, quod mihi penitus persuasum est, et habetur pro demonstrato, exponam hanc, in quam inclinari maxime sentio, punctorum indivisibilium sententiam....*

<sup>25</sup> (a). *Hic quidem exponitur ut hypothesis, quod satis est ad evincendam illam primam propositionem; sed deinde positivis argumentis evincitur, rem ita se habere; ut adeo haec non hypothesis arbitraria sit, sed theoria e genuinis principiis deducta ac comprobata.*

konsequent. Aber das eine steht fest: seit 1748 bezeichnet er seine eigene Theorie fast ausschließlich als *theoria*.

### *Die Gestalt der curva Boscovichiana*

Wie änderte sich die Gestalt der *Curva Boscovichiana* im Laufe der Jahre? Die letzte Fassung der Kraftkurve im Wiener Hauptwerk schneidet die Abszisse siebenmal. Zum ersten Mal begegnen wir der Kraftkurve in *De viribus vivis* (1745) in zwei Gestalten. Die erste ist sehr einfach, mit einer einzigen Nullstelle, und soll vorerst nur Newtons Anziehungskraft und Boscovichs Abstoßungskraft unter einem einheitlichen Gesetz umfassen. Die zweite soll schon die Fragen der Kohäsion erklären, so dass diese Gestalt drei Schnittpunkte mit der x-Achse aufweist. Die Fassung in „*De lumine pars secunda*“ (1748) hat schon fünf Nullstellen. Die letzte Gestalt mit sieben Schnittpunkten finden wir zuerst in Carlo Benvenutis Lehrbuch *Synopsis physicae generalis* (1754), das überwiegend Boscovichs Lehrgut enthält, und dann auch in „*De lege virium*“ (1755). Die allmähliche Erweiterung der *curva Boscovichiana* hängt mit dem ehrgeizigen Unternehmen zusammen, alle Gebiete der damaligen Physik durch das einheitliche Kraftgesetz zu erklären.

\* \* \*

Was können wir hinsichtlich der Entwicklungsgeschichte der Theorie von Boscovich aus dem Studium seiner Frühschriften schließen? Seine berühmte *lex virium* wurde allmählich zu einer universellen Theorie erarbeitet. Das steigende Selbstbewusstsein, Newtons Werk fortsetzen zu können, äußert sich doch letztlich in konsistenter Benennung seiner Lehre als *theoria*, obwohl die methodische Begründung dieses Begriffs sehr viel zu wünschen übrig lässt. Die Vervollkommnung seiner *curva Boscovichiana* mag der eindruckvollste Teil seiner Theorie sein. Darin liegt aber auch ihre größte Schwäche: Die Daten für den Verlauf der Kraftkurve sollen aus der empirischer Forschung kommen, aber zugleich soll man eine Formel finden, die diesen Verlauf mathematisch bestimmt. Hier ging Boscovichs Spekulation über die Möglichkeiten der damaligen Experimentalphysik hinaus. Die wichtigste Einsicht, die wir aus dem Studium seiner Frühschriften gewinnen können, ist meiner Meinung nach das Selbstverständnis der Theorie im Sinne einer Kraftfeldtheorie. Man kann den Einwand erheben, dass eine solche Deutung schon bei der Einführung der Theorie in *De viribus vivis* möglich ist. Das würde ich nicht bestreiten – mit der Einschränkung, dass wir sie so interpretieren können, aber Boscovich ist sich dieser Interpretation noch nicht bewusst. Ich glaube gezeigt zu haben, dass Boscovich selbst seine eigene Theorie erst um das Jahr 1748 feldtheoretisch interpretiert, um ihre endgültige Abgrenzung zu Newtons Fernwirkung zu rechtfertigen.

### *Zusammenfassung*

Die Vorarbeiten zu Boscovichs „*Theoria philosophiae naturalis*“ erstrecken sich von der ersten Darstellung der Theorie in „*De viribus vivis*“ (1745) bis zum einzigen Versuch in „*De lege virium*“ (1754), sein Kraftgesetz algebraisch auszudrücken. Die endgültige Gestalt der Theorie in der Wiener Ausgabe (1758), die trotz der Behauptung des Verlegers aus Venedig, seine Ausgabe aus dem Jahre 1763 sei ‚*prima*‘ und ‚*originaria*‘, die unbestritten erste Auflage bleibt, ist das Ergebnis einer zehnjährigen Entwicklung. Drei Elemente sind wichtig für diese Entwicklung: Boscovichs Bezeichnung der eigenen Theorie als *sententia* und *theoria*, die äußere Gestalt der *curva Boscovichiana* und das Verhältnis zu Newton. Schon drei Jahre nach der ersten Darstellung des Kraftgesetzes, in „*De viribus vivis*“ (1745) eingeführt als *sententia*, bezeichnet Boscovich seine eigene Lehre selbstbewusst als *theoria*

der allgemeinen Physik. Die graphische Darstellung des Kraftgesetzes durchgeht eine kontinuierliche Ausarbeitung, vor allem im Zusammenhang mit den Fragen der Anwendung der Theorie auf alle Gebiete der damaligen Naturforschung. Diese Entwicklung kann man sehr gut in den einzelnen Veröffentlichungen verfolgen. Auch Boscovichs Abgrenzung zu Newton kam sehr wahrscheinlich allmählich zustande. Bei der Einführung seiner Theorie befürwortet er ausdrücklich Newtons ‚*vires in corporum distantia agentes*‘ gegenüber Descartes‘ Stoßgesetzen („De viribus vivis“, num. 40). Zugleich ist es aber nicht klar, in welchem Sinne er den umstrittenen Begriff der *actio in distans* akzeptiert. Vorerst ist es nur klar, dass er diesen Begriff im Sinne von *actio physica in distans* ablehnt (vgl. z.B. „De maris aestu“ [1747], num. 32). In der Zeit von November 1747 bis Ende August 1748, während der Arbeit an „De materiae divisibilitate“ und vor allem an „De lumine, pars secunda“, gibt er dann seine definite Erklärung der Kraftwirkung. Er schreibt nämlich den Kraftpunkten eine Zustandsbestimmung zu (*determinatio*), die eine Deutung der Materie als einen von Kraftfeldern erfüllten Raum ermöglicht („De materiae divisibilitate“, num. 18, & „De lumine, pars secunda“, num. 54).

