

LUCA GUZZARDI (Milano)

BOSCOVICH, BOLTZMANN UND
„DIE UNENTBEHRLICHKEIT DER ATOMISTIK IN DER
NATURWISSENSCHAFT“^{1*}

„Das Unendliche!“ Törleß kannte das Wort aus dem Mathematikunterricht. Er hatte sich nie etwas Besonderes darunter vorgestellt [...]. Und nun durchzuckte es ihn wie mit einem Schläge, daß an diesem Worte etwas furchtbar Beunruhigendes hafte. Es kam ihm vor wie ein gezähmter Begriff, mit dem er täglich seine kleinen Kunststückchen gemacht hatte und der nun plötzlich entfesselt worden war.

ROBERT MUSIL, Die Verwirrungen des Zöglings Törless

Einleitung

Die Boscovich-Forschung hat sich – insbesondere hinsichtlich der *Theoria philosophiae naturalis* und der physikalischen Aspekte seiner Tätigkeit – für lange Zeit vor allen Dingen auf die veröffentlichten Schriften beschränkt. Trotzdem hat der verstorbene italienische Mathematikhistoriker Gino Arrighi im Jahr 1980 einen wichtigen und umfangreichen Briefwechsel publiziert, den Boscovich mit einem Mitglied des Patriziats der Republik Lucca unterhielt, nämlich Giovan Stefano Conti.² In diesen Briefen werden viele von den Grundthemen der physikalischen Auffassung Boscovich’ besprochen. Das Streben von Arrighi, der offensichtlich nur Briefe von Boscovich an Conti hatte finden können, ist 1996–1998 mit einer zweibändigen von Edoardo Proverbio herausgegebene Veröffentlichung der Korrespondenz von Conti an den dalmatinischen Gelehrten vervollständigt worden.³ Der uns überlieferte Briefwechsel umfasst insgesamt ungefähr 30 Jahre, seit 1756 bis 1784 und ist in Januar 2009 als fünfter Band von Boscovich’ Korrespondenz im Rahmen der italienischen Edizione Nazionale der Werke des Gelehrten erschienen.

Zu dem schon von Arrighi transkribierten Teil des Briefwechsels gehört ein langer Brief mit der Angabe „Pera bei Konstantinopel, den 26. Februar 1762“, wo Boscovich dem Freund etwa ein Kompendium der „Theoria“ anbietet und erkenntnistheoretische Probleme anspricht. Vor allem diskutiert Boscovich, wie seine Theorie das Problem der Kontinuität löst. Von diesem Brief ausgehend, insbesondere von den Betrachtungen Boscovich’ über die Begriffe von Materie, Kraft und materiellem Punkt, versucht der vorliegende Beitrag einen „roten Faden“ zwischen der physikalischen Auffassung des dalmatinischen Gelehrten und seinen Ideen über die Infinitesimalrechnung zu ziehen, die sowohl in der Korrespondenz als auch in den veröffentlichten Werken auftauchen. Es wird infolgedessen klar gemacht, in welchem Sinn Boscovich nach einer Befreiung der *philosophia naturalis* von der *Idee der stetigen Ausdehnung* (ein Ausdruck, der im oben zitierten Brief vorkommt) strebte und eine Art Atomismus zu diesem Zweck für unentbehrlich hielt. Zum Schluss

¹ Vorliegende Schrift ist durch ein DAAD-Alumni-Stipendium (Sommer 2008) ermöglicht worden. Dem DAAD will ich bei dieser Gelegenheit meinen besten Dank ausdrücken. Ich bin Herrn Ivo Schneider, der meine Forschungen in München betreut hat, für viele und wertvolle Ratschläge sehr dankbar. Diese Gelegenheit will ich endlich auch nutzen, um mich bei Kollegen und Freunden, mit denen ich den Inhalt dieses Beitrags diskutiert habe, zu bedanken: Giulio Giorello, Andrea Pedferri, Edoardo Proverbio, Corrado Sinigaglia.

² Ruggiero Giuseppe BOSCOVICH, *Lettere a Giovan Stefano Conti*, a cura di Gino Arrighi. (Firenze 1980).

³ Giovan Stefano CONTI, *Lettere a Ruggiero Giuseppe Boscovich*, 2 voll. a cura di Edoardo PROVERBIO, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Roma 1996 (I) und 1998 (II).

wird in dieser Hinsicht die Einwirkung Boscovich' auf die Entwicklung der Physik im 19. Jahrhundert durch einen Vergleich mit einer These Ludwigs Boltzmanns über die atomistischen Darstellungen der Natur behandelt.

Im ersten Teil dieses Beitrags werde ich mich zu Boscovich Interpretation der Auffassung der „stetigen Ausdehnung“ der Materie und des Raumes widmen, wie sie sich aus seinem Briefwechsel ableiten lässt. Hier werde ich auch betonen, Boscovich sei von einem engen Zusammenhang zwischen den physikalischen Inhalt der „Theoria“ und einer „*geometrischen* Betrachtungsweise“ überzeugt. Im zweiten Teil werde ich mich auf der Beziehung zwischen Geometrie und Physik in der „Theoria philosophiae naturalis“ konzentrieren: in diesem Kontext werde ich auch kurz erläutern, was hier unter Geometrie zu verstehen ist. Im dritten Teil wird die schon erwähnte These Boltzmanns über die Beziehungen zwischen dem Atomismus und der Anwendung von Differentialgleichungen in der Physik kurz diskutiert. Ich werde zum Schluss diese These in Zusammenhang mit Boscovich' Auffassung der Materie und der Physik bringen, inwieweit sie sich auch zu einem geometrischen und nicht nur analytischen Standpunkt über das Infinitesimalrechnung anwenden lässt. Eine Warnung ist hier allerdings hinzuzufügen. Ein großer Teil des vorliegenden Beitrags behandelt das Thema Infinitesimalkalküls und will seine Wichtigkeit in Bezug auf Boscovich erläutern; damit wird aber nicht behauptet, dass er ein Vertreter der Infinitesimalrechnung durch analytische Methoden war. Die These des vorliegenden Beitrags ist vielmehr, dass Boscovich ein besonderes (geometrisches) Verständnis des Infinitesimalkalküls hatte, das auf seiner atomistischen Auffassung basierte – eine Ansicht, die auch bei Boltzmann vorkommt. Ob Boscovich die eigentliche Quelle dieses Standpunkt ist, bleibt aber – zumindest *meiner* Kenntnissen nach – noch unklar: direkte Hinweise auf Boscovich' Werk sind in den Texten von Boltzmann in der Tat kaum zu finden.

1. Die „stetige Ausdehnung“ der Materie und des Raumes: Boscovich' Urteil

Die Briefe aus der Korrespondenz Boscovich-Conti, die die *Philosophia naturalis* Boscovich' betreffen, stammen meistens aus den Jahren 1760–1762 – also zwischen der ersten Wiener (1758) und der Venediger (1763) Ausgabe der „Theoria philosophiae naturalis“. Boscovich bereiste 1760–1761 Frankreich, die Niederlande, England und Teile Deutschlands.⁴ So ist ein erster Brief, worin sich Boscovich auf sein eigenes Werk bezieht, auf den 26. April 1760 in Paris datiert. Der Gelehrte spielt dabei auf die Reaktionen an, die sein „System“ in Deutschland und vor allem in Frankreich bewirkt habe. Wie bekannt, hatte 1759 der Philosoph Moses Mendelssohn eine Rezension der *Theoria* veröffentlicht,⁵ obschon es meines Wissens noch unklar ist, ob Boscovich etwas davon gewusst hat (es ist zwar wahrscheinlich, dass er über das Bestehen einer solchen Rezension informiert war, weil er einiger Zeit in Deutschland als Gast verschiedener „Case professe“ der Gesellschaft Jesu untergebracht war und im Jahre 1761 den Astronomen und Jesuitenpater Christian Mayer in Heidelberg besucht hat. Trotzdem wissen wir aber von seiner möglichen Reaktion gegenüber Mendelssohn bisher nichts Konkretes).

⁴ Über die Reise und den Aufenthalt siehe Elizabeth HILL, Roger Boscovich. A Biographical Essay. In: Roger Joseph BOSCOVICH, *Studies of His Life and Work*. Hrsg. von Lancelot Law WHITE (London 1961) 51–62; Željko MARKOVIĆ, Ruđer Bošković, 2 Bände (Zagreb 1968–1969) 1. Bd. 478–499; 2. Bd., 591–607.

⁵ Moses MENDELSSOHN, Briefe, die neueste Literatur betreffend, Brief 42–56 (1759). In: Moses Mendelssohns gesammelte Schriften, Bd. 4/1 (Leipzig 1863) 537–538. Die Rezeption der Naturphilosophie Boscovich' in Deutschland ist bis heute kein häufiges Thema der Wissenschafts- und der Philosophiegeschichte. Darüber siehe auch den Beitrag von Inge FRANZ in diesem selben Band und Hans ULLMAIER, *Puncta, particulae et phaenomena: Der dalmatinische Gelehrte Roger Josef Boscovich und seine Naturphilosophie* (Hannover 2005).

Etwas mehr und von großem Interesse berichtet Boscovich über die Diskussionen in Frankreich. Unter den prominentesten „Gesprächspartnern“ dort konnte Boscovich erwarten, Diderot und d’Alembert zu finden. Während der zweite als großer Feind der Jesuiten galt (und Boscovich habe „ein bisschen Angst vor seinem Charakter, und ich bin davon weit entfernt, einen Streit anfangen zu wollen“),⁶ neigte Diderot viel weniger zur Physik und Mathematik, obschon er offensichtlich (so schrieb Boscovich) *in materia di religione è assai piu in là nella stima pubblica* (d.h., *in Beziehung zur Religion in aller Öffentlichkeit viel geschätzter ist*). Tatsächlich konnte Boscovich Diderot auch nicht begegnen und im selben Brief erzählt er, dass er mit d’Alembert in der französischen Akademie der Wissenschaften mehrmals gesprochen habe, aber nie über Physik:

Mit d’Alembert habe ich mehrmals bei gemeinsamen Freunden zusammen gegessen und bei solcher Gelegenheit habe ich mich mit ihm über Hunderte Dinge lang unterhalten, ich habe mehrmals mit ihm bei der Akademie gesprochen, die ich üblicher Weise zwei Mal pro Woche besuche, und bei ihm war ich schon einmal, da er bei mir vorbeigekommen war; immer hat er mich ganz höflich behandelt, doch gab es weder Vertrauen noch Gelegenheit, um sich freundlich zu unterhalten, wie umgekehrt mit vielen anderen, welche ich aber nicht für ganz geeignete halte, um mit denen metaphysische und zugleich geometrische Dinge zu besprechen, wie mein System verlangt. Trotzdem habe ich solche Leute unter den Enzyklopädisten gefunden: da ist jemand, der davon fasziniert geblieben ist und eine französische Zusammenfassung vorbereitet hat.⁷

Über die nach einigen Monaten in der Zeitschrift *Etranger* veröffentlichte Rezension der „Theoria“ beklagt sich Boscovich mit Recht, weil diese, obschon positiv, voll von Missverständnissen war. Warum hält Boscovich dagegen die Enzyklopädisten für Leute, mit denen man über „metaphysische und zugleich geometrische Dinge“ reden kann? Wahrscheinlich kann der Schlüssel in manchen Artikeln der Enzyklopädie gefunden werden, z.B. im Artikel „Atomisme“ (von Yvon) oder in den Artikeln „Corpusculaire“ (aufgenommen von einem Werk von Johann Heinrich Samuel Formey) und „Newtonianisme“ (von d’Alembert selbst). Der Adjektiv „corpusculaire“, schreibt Formey, [bezieht sich] *auf jene Physik, die nach dem Grund der Phänomene durch die Konfiguration, Anordnung und Bewegung der Teile der Körper*⁸ sucht sodass „korpuskolare Philosophie“ in ersten Stelle eine geome-

⁶ Boscovich an Conti, Paris, den 26. April 1760. Hier der Originaltext (Transkription nach Arrighi): *Ho un poco di timore del suo carattere, ed io sono lontanissimo dal voler liti. Egli dall’altra parte è nemico dichiarato de’ Gesuiti [...]*.

⁷ Boscovich an Conti (Anm. 5) Originaltext: *Pure con D’Alembert ho pranzato piu d’una volta dagli amici communi, e in tale occasione ho fatti de’ lunghi discorsi seco di cento cose, gli ho parlato piu volte all’Accademia, dove vò quasi sempre due volte la settimana, e sono stato una volta da lui, essendo egli venuto a rendermi la visita; sempre mi ha trattato con tutta la gentilezza, ma confidenza non vi è stata, ne occasione di parlare amichevolmente, come con altri moltissimi, i quali però non stimo tutti ugualmente proprj per parlare di cose metafisiche e geometriche insieme, come si richiede pel mio sistema. Pure di questi ne ho trovati alcuni anche fra gli Enciclopedisti: vi è qualch’uno, che è rimasto preso di esso, e ne ha fatto un compendio in Francese. Die „Zusammenfassung“ (d.h. die Rezension) von Boscovich’ System wurde im „Journal Etranger“, février 1760, 52–74 (Nachdruck Slatkine Reprints, Genève 1968, tome vi, année 1760, 79–85) veröffentlicht.*

⁸ Artikel „Corpusculaire“. In: „Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers“, IV, 269–270 (hier 269). Hier die vollständige Bezeichnung von Johann Heinrich Samuel FORMEY: *Corpusculaire, adj. (Physique.) c’est ainsi qu’on appelle cete physique qui cherche la raison des phénomènes dans la configuration, la disposition, & le mouvement des parties des corps. En voici une idée un peu plus étendue. La physique corpusculaire suppose que le corps n’est autre chose qu’une masse étendue, & n’y reconnoît rien que ce qui est renfermé dans cete idée, c’est-à-dire une certaine grandeur jointe à la divisibilité des parties, où l’on remarque une figure, une certaine situation, du mouvement & du repos, qui sont des modes de la substance étendue.*

trische Auffassung der Natur ist (es geht nämlich um die Konfiguration und Anordnung der Teilchen von den Körpern – zwei Grundbegriffe die auch in Boscovich' Theoria eine wichtige Rolle spielen). Der obengenannte Verfasser des Artikels „Atomismus“ behauptet weiter, dass die atomistische Lehre in Einklang mit der Existenz von der immateriellen Dingen und vor allem der Seele steht – ein Thema, das Boscovich selbst erläuterte.⁹

Allerdings gab es einen weiteren Kreis, der, wenn schon nicht Boscovich' Erwartungen, so doch zumindest seine Ansprüche enttäuschen musste, nämlich den Kreis seiner Ordensbrüder:

Unter diesen Jesuitenpatern, die für die Vorlesungen zuständig sind, ist hier jemand, der [mein System] unterrichten will, aber nur insofern, als es die bei diesen Alten zu tiefverwurzelten Ideen der stetigen Ausdehnung gestatten werden, als hinge der Unterschied zwischen Materie und Geist wesentlich davon ab, welcher Unterschied hier eigentlich etwas ganz anderes bedeutet.¹⁰

Den (französischen) Jesuitenpatern mangelte die Einsicht, die Boscovich bei den Enzyklopädisten finden konnte: sie waren noch unter der Herrschaft der „zu tief verwurzelten Ideen der stetigen Ausdehnung“, die ihnen nicht gestattete, metaphysische und *zugleich* geometrische Dinge zu besprechen. Der metaphysische und der geometrische Teil sind deswegen zwei untrennbare Aspekte; aber wenn man hier leicht die *Metaphysik* mit dem eigentlichen physikalischen Inhalt der Theoria identifizieren kann (d.h. mit dem „einzigem Gesetz“ der Kräfte *plus* die monadistisch-atomistische Anschauung, die Boscovich im obenzitierten am 26. Februar 1762 aus Pera bei Konstantinopel geschriebenen Brief für das Wesentlichste an seinem System hält), was soll unter *Geometrie* verstanden werden?

2. *Boscovich' esprit de géométrie. Geometrie und Physik in der „Theoria philosophiae naturalis“*

Um diese Frage zu beantworten kann man sich auf einen der verbreitetsten mathematischen Handbüchern der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts beziehen, nämlich das „Dictionnaire Universel de Mathématique et de Physique“ (Paris 1753) von Alexandre Saverien, dessen Bezeichnungen von den meisten Mathematikern und Physikern im Wesentlichen akzeptiert wurden. Die Geometrie gilt in dem „Dictionnaire“ als *Wissenschaft der Beziehungen von allem, was vergrößerungs- und verminderungsfähig ist* [...]. *Unter anderem behandelt sie Linien, Oberflächen, feste Körper, Zeiten, Geschwindigkeiten usw.* Am Ende einer kurzen Darstellung der historischen Entwicklung der Geometrie schreibt er, *dass sie durch die Er-*

⁹ So schreibt Claude YVON (Artikel „Atomisme“, in Encyclopédie (Anm. 7) I, 822–823. Hier 823): *Néanmoins, non-seulement la Pneumatologie n'est pas incompatible avec la doctrine des atomes, mais même elles ont beaucoup de liaison ensemble: aussi les mêmes principes de Philosophie qui avoient conduit les anciens à reconnoître les atomes, les conduisirent aussi à croire qu'il y a des choses immatérielles; & les mêmes maximes qui leur persuaderent que les formes corporelles ne sont pas des entités distinctes de la substance des corps, leur persuaderent aussi que les ames ne sont ni engendrées avec le corps, ni anéanties avec sa mort.* Siehe auch R. BOSCOVICH, *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicum legem virium in natura existentium*. Editio veneta prima, Remondini, (Venetii 1763), § 39; siehe weiter Appendix ad metaphysicam pertinens. De Anima & de Deo zur Theoria, insbesondere §§ 533–535, Ss. 251–253. Siehe endlich Boscovich an Conti, Amsterdam, den 30 Januar 1761; Boscovich an Conti, Pera bei Konstantinopel, den 26. Februar 1762.

¹⁰ Boscovich an Conti, Paris, den 26 April 1760. Originaltext: *Qui tra questi Lettori Gesuiti, vi è alcuno, che vuol dettar[e il mio sistema], quanto gli sarà permesso dalle idee dell' estensione continua troppo radicata presso questi vecchi, come se da essa dipendesse principalmente la differenza fra la materia, e lo spirito, la quale realmente consiste in tutto altro [...].* (Hervorhebung L.G.)

findung des Infinitesimalkalküls durch Leibniz und Newton zu ihrer Vollendung gekommen ist. So unterscheidet Saverien zwischen einer *Geometrie élémentaire*, einer *Geometrie composée*, zu der Viviani, Fermat, Isaac Barrow, la Hire und endlich Descartes gehören würden, einer *Geometrie pratique*, einer *Geometrie souterraine* und einer *Geometrie sublime ou transcendante*, wie er das leibniz-newtonsche Calcul „des infiniment petit“ bezeichnet.¹¹

Es möge vielleicht nicht zufällig sein, dass auch Boscovich in einem Brief an Conti mit dem Datum „Amsterdam, den 30. Januar 1761“ hofft sich für einige Zeit einem neuen Band der „Elementa universae matheseos“ über die „Geometrie der unendlichen und unendlich kleinen Größen [*geometria degli infiniti, e infinitamente piccoli*]“ widmen zu können.¹² Das beweist auch, dass Boscovich keine analytische, sondern lieber eine geometrische Auffassung des Infinitesimalkalküls und der davon abhängigen Begriffe hatte. Und noch im selben Brief schreibt er: *Was die Anziehungskraft betrifft, in meinem Werk [d.h. offensichtlich die Theoria] habe ich sie nicht bewiesen; allerdings habe ich sie von der ganzen Astronomie als bewiesen angenommen, und es gibt heutzutage niemand, welcher sie, wie er auch in der Geometrie, der Mechanik und der ersten Elementen der Astronomie ausgebildet sein mag, für zweifelhaft hält.*¹³

Obschon reine geometrische Beobachtungen im Hintergrund des *opus magnum* Boscovich' bleiben, ist die schon erwähnte „Geometrie der unendlich kleinen Größen“ der „Theoria philosophiae naturalis“ gar nicht fremd. Als Beispiel nehmen wir Boscovich' Stoßtheorie („Theoria“, § 18), deren Hintergrund mit dem Infinitesimalkalkül zusammenhängt. Stellen wir uns vor, dass zwei Massen, deren Geschwindigkeit verschieden ist, zusammenstoßen. Im Augenblick des Stoßes würde ein Quantum der Bewegungsgröße des schnelleren Körpers plötzlich und unmittelbar in eine langsamere übergehen; dann werden beide Körper ihre vom Stoß beeinflusste Bewegung fortsetzen. Boscovich' Meinung nach widersprechen die auf der traditionellen Stoßtheorie basierten Erklärungen dem leibnizschen Kontinuitätsprinzip, das verlangt, dass jede Größe in der „Bewegung“ von einem Minimum zu einem Maximum alle Zwischenwerte annimmt. In Einklang mit Leibniz und Newton – und in Einklang mit der obengenannten Definition der Geometrie von Saverien – darf die Geschwindigkeitsänderung weder plötzlich noch unmittelbar geschehen: sie muss vielmehr als ein stetiger Vorgang verstanden werden. Insbesondere benutzt Boscovich in seiner Kritik eine „geometrische Metapher“:

*Es muss in demselben Anfang der Berührung, in demselben untrennbaren Zeitaugenblick, welcher eine untrennbare Grenze ist zwischen der stetigen Zeit, die der Berührung vorausgeht, und der nachfolgenden (ebenso wie ein Punkt bei den Geometern eine untrennbare Grenze zwischen zwei Segmenten von einer stetigen Linie bildet), eine Geschwindigkeitsänderung vorhanden sein, die augenblicklich geschieht, ohne durch Zwischenstufen zu gehen; und dies übertritt das Kontinuitätsgesetz.*¹⁴

¹¹ Alexandre SAVERIEN, Artikel „Geometrie“. In: „Dictionnaire Universel de Mathématique et de Physique“ (Paris 1753) I. Band, 456–460.

¹² Boscovich an Conti, Amsterdam, den 30. Januar 1761. Originaltext: *Spero anche di lavorar con piu quiete in quel ritiro, un tomo di Stay, che porta tutta l'Optica, e un tomo de' miei elementi, che tratterà della Geometria degli Infiniti, e infinitamente piccoli.* [Hervorhebung L.G.].

¹³ Ebd. Originaltext: *In ordine alla attrazione nelle grandi distanze, io non l'ho provata nella mia opera, ma l'ho supposta provata da tutta l'Astronomia, ne in oggi vi è chi intenda la Geometria, e Meccanica, e sappia i primi elementi della Astronomia, che non la riconosca per indubitata.* [Hervorhebung L.G.]

¹⁴ Roger Boscovich, *Theoria philosophiae naturalis*, § 18, S. 9. Originaltext: *Oportuit sane, in ipso primo initio contactus, in ipso indivisibili momento temporis, quod, inter tempus continuum praecedens contactum, & subsequens, est indivisibilis limes, ut punctum apud Geometras est limes indivisibilis inter duo continuae lineae segmenta, mutatio velocitatum facta fuerit per saltum sine transitu per intermedias, laesa penitus illa continuitatis lege.* [Hervorhebung L.G.].

Dieser Vergleich mit der Geometrie kommt auch in anderen Stellen der „Theoria“ vor, z.B. im § 24, wo es sich um die Definition von Körper, Oberfläche, Linie und Punkt mittels der Geometrie handelt, und weiter im § 33 (und in den nachfolgenden Paragraphen), wobei Boscovich das Kontinuitätsgesetz auf geometrischer Basis erklären will:

*Nun, wie in der Geometrie sind die Punkte die untrennbaren Grenzen von den stetigen Teilen einer Linie (die eigentlich nicht zur Linie selbst gehören), so muss man in der Zeit zwischen Teilen von stetiger Zeit, die den Teilen einer Linie (ebenfalls stetige) entsprechen, und Zeitaugenblicke, die die untrennbaren Grenze von jenen Teilen der Zeit sind (und Punkten entsprechen), unterscheiden. Von hier ab werde ich das Wort **Augenblick** in keinem anderen Sinne benutzen, wenn es sich um Zeit handelt, als eine Bezeichnung von einer untrennbaren Grenze; und einen kleinen Teil von der Zeit –unabhängig davon, wie klein er sein möchte, auch wenn er als infinitesimal betrachtet wird – nenne ich **Tempusculum**.*¹⁵

Offensichtlich versucht Boscovich etwa eine „diskrete Auffassung der Kontinuität zu schaffen“ – eine Auffassung, wo die leibnizsche *Lex continuitatis* in Einklang mit dem Bestehen diskreter Punkte ist. Hier sind die Elementarbausteine der Materie nicht nur einfach und untrennbar, sondern auch unausgedehnt. Um diese „Theorie der Nicht-Ausdehnung“ zu erläutern, bezieht sich Boscovich noch einmal auf seine Schriften über die Infinitesimalrechnung, insbesondere auf „De natura et usu infinitorum et infinite parvorum.“ Er betont in der „Theoria“, dass nur eine *Unendlichkeit von möglichen* Punkte angenommen werden darf; ein *co-existentierendes Kontinuum* (ein „continuo sostanziale, e coesistente“, heißt es im Boscovich-Conti Briefwechsel), oder kurz gesagt, ein aktuelles bloß räumliches Unendliches wird von der Natur ausgeschlossen.¹⁶ Folgende Zeilen zeigen, inwieweit Boscovich’ Perspektive von dem Kontext der Infinitesimalrechnung geprägt ist und inwieweit seine physikalische Auffassung mit mathematischen Begriffen zusammenhängt:

*Jeder Abstand wird endlich sein, und immerhin unendlich trennbar durch Dazwischenlegen von anderen und noch anderen Punkten; diese einzelne Punkte, sobald sie gesetzt werden, werden ebenfalls endlich sein. [...] So gibt es nur eine Unendlichkeit von möglichen Punkten, und kein Unendliche von existierenden Punkten. Hinsichtlich solcher möglichen Punkten, pflege ich die ganze Serie von den möglichen eine Reihe von endlichen Termini [terminis], die ins Unendliche läuft, denn alles, was existiert, endlich sein muss [...].*¹⁷

¹⁵ Ebd. § 33, S. 14. Originaltext: *Quemadmodum in Geometria in lineis puncta sunt indivisibiles limites continuarum lineae partium, non vero partes lineae ipsius; ita in tempore distinguendae erunt partes continui temporis respondentes ipsis lineae partibus, continuae itidem & ipsae, a momentis, quae sunt indivisibiles earum partium limites, & punctis respondet; nec in posterum alio sensu agens de tempore momenti nomen adhibebo, quam eo indivisibilis limitis; particulam vero temporis utcumque exiguum, & habitam etiam pro infinitesima, tempusculum appellabo.*

¹⁶ Theoria § 90, S. 41. Originaltext: *Sed & illud commodum accidit, quod ita omne continuum coexistens eliminabitur e Natura.*

¹⁷ Ebd. Originaltext: *Intervallum quodcumque finitum erit, & divisibile utique in infinitum per interpositionem aliorum, atque aliorum punctorum, quae tamen singula, ubi fuerint posita, finita itidem erunt [...] ut infinitum sit tantummodo in possibilibus, non autem in existentibus, in quibus possibilibus ipsis omnem possibilium seriem idcirco ego appellare soleo costantem terminis finitis in infinitum, quod quaecumque, quae existant, finita esse debeant [...].*

Man muss hier betonen, dass das lateinische Wort *terminus* nicht nur in Zusammenhang mit seiner gewöhnlichen Benutzung im XVIII Jahrhundert (vor allem bei den Mathematikern und Philosophen), sondern auch in der wortwörtlichen Bedeutung zu nehmen ist – nämlich als *Grenzstein*. Wenn Boscovich behauptet, dass der physikalische Raum keineswegs unendlich teilbar ist, geht es seines Erachtens mit der Zeit ganz anders. Zeit und Bewegung sind *wirklich* stetig, d.h. unendlich teilbar. In einem langen Brief an Conti drückt er sich mit diesen Worten aus:

Nun sind Dauern und Bewegung einfache Modalitäten der Substanz. In beiden Fällen werden wir zwei Arten beobachten: die erste ist stetig und unendlich teilbar; die zweite ist einfach, nicht-zusammengesetzt, unteilbar, unausgedehnt. Die erste wird das wahre Dauern und die wahre Bewegung sein, die wir in der Geometrie als *Linie erfassen*; die zweite wird eine *Grenze* [termine] zwischen einem Stück Dauern und dem nächsten bilden.¹⁸

Tempusculum nennt Boscovich in der *Theoria*, wie schon bemerkt, ein begrenztes aber sehr kleines Stück Zeit, „auch wenn es als infinitesimal [d.h. unendlich klein] betrachtet wird“, obwohl die Zeit, als Ganze betrachtet, stetig läuft. Im Briefwechsel mit Conti erklärt er weiter, dass die Elementarbausteine der Materie, die einfach und unausgedehnt sind, sogar entfernt voneinander liegen müssen. Es darf keine Berührung zwischen diesen „Atomen“ oder Teilchen (im Sinne des obengenannten Artikels „Corpusculaire“ in der „Encyclopédie“ von d’Alembert und Diderot) geben. Umgekehrt ist das Kontinuum eine Einwirkung solcher „atomistischen“ – oder korpuskularen, obschon es um Kraftzentren ginge – Struktur der Materie. Man dürfte vielleicht das Kontinuum der Materie eine Reihe von sehr kleinen „Etwasen“ bezeichnen; genauer gesagt würde sich um „eine Reihe von endlichen Termini, die ins Unendliche fortgesetzt wird [una serie di termini finiti continuata all’infinito]“¹⁹ handeln.

3. Eine These Ludwigs Boltzmanns

Der Begriff *Etwise* in Beziehung zu den Atomen wird hier nicht willkürlich eingeführt. Er kommt in einem wohlbekannten Text von Ludwig Boltzmann vor, nämlich in dem Essay, dessen Titel ich für diesen Beitrag benutzt habe: „Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaft“ (1897). Am Ende des Essays schreibt Boltzmann: *Man kann natürlich dem, was wir [...] ‚Elementarkörperchen‘ oder ‚Atome im allgemeinsten Sinne‘ oder ‚Elemente‘ nannten, beliebige andere Namen geben, z.B. ‚Vorstellungseinheiten‘ oder ‚Etwise‘.*²⁰

Boltzmanns Absicht war, eine allgemeine Auffassung zu entwickeln, wobei ein Ganze (unabhängig von dem Gebiet, zu dem dieses Ganze gehört) als Zusammenhang von elementaren Bestandteilen beschreibbar ist. Der Atomismus gilt hier nicht nur als Vorstellung der physikalischen Tatsachen, sondern als erkenntnistheoretisches Programm, wie die neuere Boltzmann-Forschung gezeigt hat – egal ob es sich um bloß materielle Teilchen

¹⁸ Boscovich a Conti, Pera bei Konstantinopel, den 26. Februar 1762. Originaltext: *Ora la durazione, e il movimento sono semplici modalità della sostanza. Nell’una, e nell’altra si potranno considerare due specie, una continua, e divisibile all’infinito, e l’altra semplice, incomposta, indivisibile, inestesa. La prima sarà vera durazione, e movimento corrispondenti a quello, che in Geometria concepiamo per linea, e la seconda, sarà termine fra un pezzo di durazione, e l’altro contiguo [...].* [Hervorhebung L.G.]

¹⁹ *Theoria*, ebd.

²⁰ Ludwig BOLTZMANN, Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaft [1897]. In: *Populäre Schriften* (Leipzig 1905) 157.

oder um Kraftzentren handelt.²¹ So bemerkt Boltzmann am Anfang des Vortrags über die Atomistik: *Außer der Atomistik in ihrer heutigen Form ist noch eine zweite Methode in der theoretischen Physik üblich, nämlich die Darstellung eines möglichst eng begrenzten Tatsachengebietes durch Differentialgleichungen. Wir wollen sie die Phänomenologie auf mathematisch-physikalischer Grundlage nennen.*²² Das Problem ist seines Erachtens, dass diese Auffassung, obschon weder unnötig noch unrichtig, trotzdem unvollkommen ist. Um die Vollkommenheit zu finden, muss die „phänomenologische Methode“, sich selbst als Ausdruck einer atomistischen Auffassung gelten zu lassen.

Noch mehr: die atomistische Auffassung würde sogar den Differentialgleichungen (d.h. der *via analytica* der Infinitesimalrechnung) zugrunde liegen! So bemerkt er: *Ebenso können bestimmte Integrale, welche die Lösung der Differentialgleichung darstellen, im allgemeinen nur durch mechanische Quadraturen berechnet werden, erfordern also wieder zuerst eine Zerlegung in eine endliche Zahl von Teilen.*²³ Boltzmann meint hier, dass das Kontinuum als ein quasi-diskreter Zusammenhang von endlichen Bestandteilen verstanden werden kann: *Man glaube doch nicht, daß man sich durch das Wort Kontinuum oder das Hinschreiben einer Differentialgleichung auch einen klaren Begriff des Kontinuums verschafft habe! Bei näherem Zusehen ist die Differentialgleichung nur der Ausdruck dafür, daß man sich zuerst eine endliche Zahl zu denken hat [...].*²⁴

Sowohl Boscovich als auch Boltzmann (letzterer natürlich in einer mathematisch viel verfeinerteren Form) waren davon überzeugt, dass die Kontinuität aus einem grundlegenden atomistischen Niveau auftaucht. Das Kontinuum wäre sozusagen ein maskierter Atomismus; eine atomistische Auffassung wäre der „unentbehrliche“ Hintergrund, um die Kontinuität nicht nur in der Natur, sondern sogar in der Mathematik zu bilden.

Soweit geht man hinsichtlich der Analogien zwischen dem dalmatinischen Gelehrten aus dem XVIII Jahrhundert – in Wirklichkeit eine kosmopolitische Persönlichkeit, die so intensiv große Teile Europas bis Konstantinopel bereiste (und eine Reise nach Kalifornien geplant hat) – und dem mitteleuropäischen Physiker aus dem „k. u. k.“ Wien, der 130 Jahre später lebte und zum Reisen weniger geneigt war (mit dem Unterschied, dass er „das Eldorado“, wie Boltzmann Amerika nannte, wirklich besucht hat).²⁵ Wie schon erwähnt, ist es viel schwieriger zu verstehen, woher diese Analogien stammen. Wenn man sich dabei der Quellenforschung durch die veröffentlichten Texte Boltzmanns bedient, werden die Erwartungen bald enttäuscht: Der Name Boscovich (oder ein indirekter Hinweis auf ihn und sein Werk überhaupt) taucht kaum auf. Mehr Glück könnte man vielleicht beim Nachschlagen von Dokumenten aus dem Nachlass Boltzmanns haben – oder vielleicht nicht. Es scheint mir deshalb nicht sehr wahrscheinlich, dass Boltzmann eine genaue Kenntnis des Werkes von Boscovich hatte.

So bleibt das Problem: Woher stammt die Verwandtschaft? Ist sie zufällig oder hat sie einen Grund? In gewissem Sinn mag sie tatsächlich zufällig sein: aus Mangel an historiographisch starken Beweisen nehme ich an, dass Boltzmanns Kenntnisse über Boscovich

²¹ Siehe Karl von MEYENN, *Dynamical and statistical conceptions in Boltzmann's physics*. In: *Proceedings of the International Symposium on Ludwig Boltzmann* (Rome, February 9–11, 1989), 141–162; Michael STÖLZNER, *Vienna Indeterminism: Mach, Boltzmann, Exner*. In: *Ludwig Boltzmann. Troubled genius as Philosopher*, 85–111; Juan Ignacio GÓMEZ TUTOR, *Die Atomistik bei Ludwig Boltzmann. Zur wissenschaftlichen und philosophischen Bedeutung einer kontroversen Position am Ende des 19. Jahrhunderts*. In: *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, 35/2, 2004, 371–384.

²² BOLTZMANN, *Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaft* (Anm. 19) 141.

²³ Ebd. 143.

²⁴ Ebd.

²⁵ Siehe BOLTZMANN, *Reise eines deutschen Professors ins Eldorado*. In *Populäre Schriften* (Anm. 19) 403–435.

zu gering waren, um mit Recht von einem direkten Einfluss sprechen zu können. Dieser Zufall hat dennoch einen Grund. In seinem Artikel „Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaft“ betrachtete Boltzmann den Atomismus aus einem allgemein-historischen Standpunkt. So kann er behaupten: *Die Atomistik scheint vom Begriffe des Continuums untrennbar. Offenbar gingen Laplace, Poisson, Cauchy usw. deshalb von atomistischen Betrachtungen aus, weil man sich damals noch klarer bewußt war, daß Differentialgleichungen nur Symbole für atomistische Vorstellungen sind, und daher auch noch lebhafter das Bedürfnis empfand, letztere einfach zu gestalten.*²⁶

Auf einer historischen Ebene scheint mir diese These Boltzmanns im Großen und Ganzen korrekt (man denke z.B. an den „metodo degli indivisibili“ bei Cavalieri und an seine Prämissen bei Galilei), und schließlich könnte man mit Recht zu dieser Liste auch den Name Boscovich hinzufügen. Wenn dieses Argument richtig ist, dann sollte man auch behaupten können, dass der monadistisch-atomistische Standpunkt Boscovich’ in erster Linie auf einer methodologischen und erkenntnistheoretischen Ebene zu verstehen wäre. Boltzmann erachtet den Atomismus als unentbehrlich, weil man beim Studium der Naturwissenschaft tatsächlich immer von atomistischen Annahmen ausgeht. Dementsprechend wollte Boscovich durch seine monadistisch-atomistische Perspektive *jede Kontinuität aufheben*, um *die Wolken, die unsere Vorstellungsfähigkeit verdüstern* zu vertreiben – Wolken, die von den *misterj dell’infinito*²⁷, d.h. von den Geheimnissen des Unendlichen (mag es unendlich groß oder unendlich klein sein!), verursacht sind.

Zusammenfassung

Im Jahr 1980 hat der italienische Mathematikhistoriker Gino Arrighi einen umfangreichen Briefwechsel zwischen Ruggiero G. Boscovich und dem Adligen Giovan Stefano Conti aus Lucca veröffentlicht, in dem viele Aussagen Boscovichs zu den Grundthemen seines physikalischen Denkens zu finden sind. Von diesem Briefwechsel ausgehend, insbesondere von den Betrachtungen Boscovichs über die Begriffe von Materie, Kraft und materiellem Punkt, versucht dieser Beitrag einen „roten Faden“ zwischen der physikalischen Auffassung des dalmatinischen Gelehrten und seinen Ideen über die Infinitesimalrechnung zu ziehen. Aufgrund seiner „geometrischen“ Interpretation des Infinitesimalkalküls und mit einem Vergleich mit den mathematischen Ideen einiger Zeitgenossen wird klar gemacht, in welchem Sinn Boscovich nach einer Befreiung der philosophia naturalis von der „Ideen der stetigen Ausdehnung“ strebte und den Atomismus zu diesem Zweck für unentbehrlich hielt. Zum Schluss wird die Einwirkung Boscovichs auf die Entwicklung der atomistischen Auffassung im 19. Jahrhundert durch einen Vergleich mit Ludwig Boltzmann erörtert, welcher ausdrücklich von einer „Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaft“ gesprochen hat. Obschon eine unmittelbare Einwirkung auf Boltzmann nach den vorliegenden Kenntnissen ausgeschlossen scheint, entwickelte Boltzmann eine historische Perspektive, die nahelegt, dass die Thesen Boscovich dabei eine wichtige indirekte Rolle gespielt haben.

²⁶ BOLTZMANN, Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaft (Anm. 19) 145.

²⁷ Boscovich an Conti, Pera bei Konstantinopel, den 26. Februar 1762. Originaltext: *Dovunque l’infinito, o come io in somiglianti occasioni lo chiamo, serie di termini finiti continuata in infinito, entra per qualunque verso si sia, la nostra mente troppo limitata, e finita si perde, e le idee nostre son troppo deboli per concepirlo con chiarezza. Perciò questi io li chiamo misterj dell’infinito, e li distinguo dagli assurdi, quali ritrovo in una estensione attuale come di linea assolutamente infinita. Gli assurdi mi fanno credere la cosa impossibile; i misteri, le difficoltà di concepire, le nuvole, che offuscano la nostra immaginazione, mi fanno solamente pensare alla debolezza della nostra mente.* Die Hervorhebung entspricht den Ausdrücken, die im Text benutzt worden sind.

