

RUDER BOŠKOVIĆ (BOSCOVICH) UND SEIN MODELL DER MATERIE

Hrsg. von
HELMUTH GRÖSSING und HANS ULLMAIER

Verlag der
Österreichischen Akademie
der Wissenschaften



Wien 2009

OAW

Helmuth Grössing, Hans Ullmaier (Hrsg.)

Ruder Bošković (Boscovich)
und sein Modell der Materie

ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

HERAUSGEGEBEN VON DER KOMMISSION FÜR GESCHICHTE DER
MATHEMATIK, NATURWISSENSCHAFTEN UND MEDIZIN
UNTER DER LEITUNG VON HERMANN HUNGER
BAND 59

Ruđer Bošković (Boscovich) und sein Modell der Materie

Zur 250. Wiederkehr des Jahres der Erstveröffentlichung der
Philosophiae Naturalis Theoria
Wien 1758

Bericht des internationalen Symposions in Wien
im Oktober 2008

Herausgegeben von
Helmuth Grössing und Hans Ullmaier

Verlag der
Österreichischen Akademie
der Wissenschaften



Wien 2009

OAW

Vorgelegt von w. M. HERMANN HUNGER
in der Sitzung der math.-nat. Klasse am 18. Juni 2008

Umschlagbild:
Ruder Bošković (Foto, Privatbesitz)

Die verwendeten Papiersorten sind aus chlorfrei gebleichtem Zellstoff hergestellt,
frei von säurebildenden Bestandteilen und alterungsbeständig.

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-7001-6797-6

Copyright © 2009 by
Österreichische Akademie der Wissenschaften
Wien

Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften
Tel. +43-1-51581/3401–3406, Fax +43-1-51581/3400,
Postfach 471, Postgasse 7, A-1011 Wien
E-Mail: verlag@oeaw.ac.at

Satz und Layout: Maria Scherrer, A-1160 Wien

Druck und Bindung: Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., A-3580 Horn

<http://hw.oeaw.ac.at/6797-6>
<http://verlag.oeaw.ac.at>

INHALTSVERZEICHNIS

IVAN KOPREK SJ (Zagreb) Begrüßungsrede	VII
GERNOT WISSER SJ (Wien) Grußworte	IX
Einleitung der Herausgeber	1
HUBERT REITTERER (Wien) Ruder Bošković, Luka (Lukša) Sorkočević/Sorgo und Joseph Haydn	5
THOMAS NEULINGER SJ (Wien) Die Gesellschaft Jesu in Wien 1740–1773. Eine Skizze	9
MARIA PETZ-GRABENBAUER (Wien) Wissenschaftsbegriff und Botanik zur Zeit des Roger Boscovich. Ein Überblick	17
VOLKER BIALAS (München) Boscovich als ingenieurwissenschaftlicher Gutachter und Wissenschaftsinitiator	29
GEORG SCHUPPENER (Leipzig) Bošković als Mathematiker und Astronom	41
JOSIP TALANGA (Zagreb) Vorarbeiten zur <i>Theoria Philosophiae Naturalis</i>	55
ZVONIMIR ČULJAK (Zagreb) Einige wissenschaftstheoretische Aspekte von Boškovićs Begründung seiner Theorie der Naturphilosophie: Methodischer Realismus (<i>Theoria philosophiae naturalis, Pars I</i>)	67
STIPE KUTLEŠA (Zagreb) Theoria philosophiae naturalis: Anwendung auf die Mechanik (Pars II) und die Physik (Pars III)	83
ANTO MIŠIĆ SJ (Zagreb) Boškovićs Lehre über Raum und Zeit (De Spatio & Tempore)	95
HANS ULLMAIER (Aachen) Boscovich und das heutige Bild der Materie	107
LUCA GUZZARDI (Milano) Boscovich, Boltzmann und „die Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaft“	135
R. WERNER SOUKUP (Wien) Von der <i>curva Boscovichiana</i> in „ <i>De viribus vivis</i> “ zur H_2^+ -Potentialkurve. Boscovich und die moderne theoretische Chemie	145
INGE FRANZ (Leipzig) Die Naturphilosophie des 18. Jahrhunderts unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung der Chemie	157
IVAN KOPREK SJ (Zagreb), Ad Metaphysicam pertinens – De anima. Boškovićs Bild der Seele	171

NIKOLA STANKOVIĆ SJ (Zagreb)	
Ad metaphysicam pertinens – De Deo: Boškovićs Gottesbild	179
LUCA GUZZARDI (Milano)	
Die italienische „Edizione Nazionale“ der Werke und der Korrespondenz von Ruggiero Giuseppe Boscovich	189
PERSONENREGISTER	195
AUTOREN	198

IVAN KOPREK SJ (Zagreb)

Begrüßungsrede zur Eröffnung des Symposiums in Wien

In ihrer ruhmvollen, aber auch schwierigen Geschichte haben die Jesuiten europäische Natur- und Geisteswissenschaft geschrieben. Einer ihrer herausragenden Protagonisten war Josip Ruđer Bošković – der „kroatische Leibniz“, wie ihn der bekannte deutsche Physiker und Nobelpreisträger Werner Heisenberg genannt hat.

Bošković war ein Europäer-nach vor dem heutigen vereinten Europa. In Dubrovnik geboren, war er ein vielseitiger Wissenschaftler, der sich, neben Theologie und Philosophie, mit der Physik, Mathematik, Astronomie, Optik, Archäologie aber auch mit Poesie und Diplomatie beschäftigte. Er schrieb Reisebücher und stand im Briefwechsel mit berühmten öffentlichen Personen seiner Zeit. Er lebte, forschte und hielt Vorträge in vielen europäischen Wissenschaftszentren. In Wien veröffentlichte er im Jahr 1758 (also vor genau 250 Jahren) sein großes Werk mit dem Titel „Die Naturphilosophie reduziert auf das einzige Gesetz der in der Natur wirkenden Kräfte“ (*Philosophiae naturalis theoria redacta ad unicum legem virium in naturae existentium*). Seine darin vertretenen Gedanken wurden schon während seiner Lebenszeit mehrfach angenommen.

Glaube und Wissenschaft waren für Bošković keine unvereinbaren Gegensätze. Im Paragraph 539 seiner Theorie lesen wir: *Was den Göttlichen Naturschöpfer betrifft, erläutert meine Theorie eingehend und aus ihr folgt die Notwendigkeit, Ihn und seine größte und unendliche Kraft, Weisheit und Fügung zu erkennen, was alles in uns tiefe Verehrung und gleichzeitig Dankbarkeit und Liebe hervorrufen, und deswegen entfallen vollkommen die unbedeutenden Träumereien derjenigen, die meinen, daß die Welt zufällig entstanden ist oder daß sie durch eine fatale Notwendigkeit gebildet wurde, oder daß sie seit eh und je an und für sich besteht, und sich nach irgendwelchen eigenen nötigen Gesetzen richtet.*

Der früheste Einfluss von Boškovićs Ideen war in Italien und in Frankreich sichtbar und danach in Großbritannien, wo seine Spur die stärkste zu sein scheint. Obwohl die Rezeption der Theorie Boškovićs auch im deutschen Sprachgebiet bestand, ist sie nicht genügend erforscht. Das wird auch die Aufgabe dieses Symposiums sein, das die Österreichische Akademie der Wissenschaften, die Österreichische Gesellschaft für Wissenschaftsgeschichte und zwei Provinzen der Gesellschaft Jesu – die österreichische und die kroatische – zusammen organisiert haben. Lassen Sie mich daran erinnern, dass die zwei Staaten Kroatien und Österreich, unter anderem nicht nur die politische, wissenschaftliche und Bildungsgeschichte teilen, sondern daß wir, die Jesuiten, beziehungsweise unsere zwei Provinzen, die österreichische und die kroatische, tief verbunden sind. Dieses Symposium findet im Rahmen des 100. Jahrestages der Selbstständigkeit der kroatischen Provinz statt, die im Jahr 1909 aus ihrer Mutterprovinz Österreich entsprang. Ich danke allen, die bei der Organisation dieses Symposiums viel Mühe und Arbeit eingesetzt haben, besonders der Seele und dem Initiator dieses Symposiums, Professor Hans Ullmaier. Allen Teilnehmern wünsche ich eine erfolgreiche und fruchtbare Arbeit.

GERNOT WISSER SJ (Wien)

Grußworte

Sehr geehrte Damen und Herren!

Als Provinzial der Österreichischen Jesuitenprovinz werde ich nicht versuchen, Ihnen zu erklären, dass Roger Boscovich zumindest ein Großösterreicher war und ich daher namens meiner Ordensprovinz auf ihn stolz sein kann – ein Europäer war er jedenfalls. Boscovich war – wie wir heute sagen würden – Ingenieurkonsulent, interessiert an Statik und Wasserwirtschaft. Er war Mathematiker und Physiker, Astronom und Chemiker und natürlich auch Philosoph und Theologe. Vom Standpunkt des 21. Jahrhunderts aus war er eines der letzten Universalgenies, ein Mensch also, der mehr oder minder noch das gesamte Wissen des Abendlandes in sich vereinen konnte.

Ich würde formulieren, Boscovich war einfach Jesuit. Er hat nichts anderes getan als andere Jesuiten auch. In der *Formula Instituti*, dem Gründungsdekret der Gesellschaft Jesu vom 27. September 1540, wird die Gesellschaft Jesu als eine beschrieben, „die vornehmlich dazu errichtet worden ist, um besonders auf den Fortschritt der Seelen in Leben und christlicher Lehre und auf die Verbreitung des Glaubens abzuzielen ...“. In dem Ausdruck „den Seelen helfen“ fanden und finden die Jesuiten bis heute ihre auf dieses päpstliche Schreiben *Regimini militantis Ecclesiae* gegründete Motivation, Menschen auf unterschiedliche Weise dazu zu verhelfen, Selbststand zu gewinnen, sich zu guten Entscheidungen zu befähigen und sodann entschiedener zu leben. Boscovich lebte also, wie die anderen Jesuiten auch, aus diesem Grundauftrag und versuchte ihn mit den Mitteln seiner Zeit und seinem Können entsprechend zu verwirklichen.

Wenn Sie also, Herr Professor Ullmaier, und Sie, Herr Professor Grössing, dieses Symposium initiiert und zusammengestellt haben, dann um dem Wirken Boscovichs und dessen Auswirkungen auf die heutige Zeit nachzugehen. Damit aber wird auch deutlich, wie Jesuiten das „den Seelen helfen“ umsetzten und über Jahrhunderte wirkten und heute noch wirken.

Ich wünsche Ihnen und uns eine fruchtbare Erschließung des großen Universalgelehrten Roger Boscovich.

Einleitung der Herausgeber

„Eine der bemerkenswertesten und am meisten ignorierten Figuren in der Geschichte der modernen europäischen Naturwissenschaft war Roger Boscovich“ schreibt John D. Barrow, ein englischer Physiker und Professor an der Universität Cambridge, und setzt fort: *Sein berühmtestes Werk, die Theoria Philosophiae Naturalis, wurde erstmals 1758 in Wien veröffentlicht. [...] Es war der erste ernsthafte Versuch, die Existenz von Festkörpern in der Natur zu verstehen. [...] er war der erste, der eine einheitliche mathematische Theorie aller Kräfte in der Natur ins Auge fasste, suchte und vorschlug*¹.

In der Tat findet Boscovich, dem Faraday, Maxwell, Kelvin, Thompson und andere ihre Dankesschuld für viele Inspirationen zu ihren bahnbrechenden Arbeiten bescheinigten, und den Heisenberg den ‚kroatischen Leibniz‘ nannte, in der modernen Wissenschaftsgeschichte eine erstaunlich geringe Aufmerksamkeit. Ausnahmen bilden nur Großbritannien und die USA, wo es ein kontinuierliches Interesse an Boscovich gab und gibt, und natürlich sein Heimatland Kroatien. In jüngster Zeit hat auch in Italien eine intensive Boscovich-Forschung eingesetzt: Die Erfassung aller seiner Veröffentlichungen und die Herausgabe seines umfangreichen Briefwechsels ist fast abgeschlossen² und mit der kommentierten Übersetzung seiner Hauptwerke ins Italienische wurde begonnen.

Dagegen sind von einer Boscovich-„Renaissance“ im deutschsprachigen Raum bisher nur vereinzelte Anzeichen³ auszumachen. Um auch dort das Interesse an Boscovich zu fördern und die Nachhaltigkeit seiner Ideen aufzuzeigen, lag es nahe, der 250. Wiederkehr des Jahres der Erstveröffentlichung seiner „Philosophia naturalis theoria“ in Wien mit einem Symposium zu gedenken. War doch die Hauptstadt des habsburgischen Kaiserreichs nicht nur der Erscheinungsort seines wichtigsten Werkes, sondern mit Wien verbanden den Jesuiten Boscovich vielfältige andere Beziehungen: In seinem Ordensbruder Carl Scherffer, einem Physiker an der Wiener Universität, fand er einen wichtigen Gesprächs- und Briefpartner, mit dem Reichskanzler Fürst Kaunitz verband ihn eine fast lebenslange Freundschaft und Kaiserin Maria Theresia beauftragte ihn mit einem Gutachten über Baufehler an der Kuppel des Prunksaals der Hofbibliothek und versuchte in mehreren Audienzen (allerdings vergebens), ihn als Berater an ihren Hof zu binden.

Der Plan zum Symposium wurde 2006 gefasst und erfuhr, ausgehend von der Österreichischen Gesellschaft für Wissenschaftsgeschichte, schnell die Unterstützung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und der Provinzen Kroatien und Österreich der Gesellschaft Jesu. Um die Entstehungsgeschichte, die Inhalte und die nachhaltigen Wirkungen der Naturphilosophie Boscovich möglichst umfassend zu behandeln und Überschneidungen zu vermeiden, wurden die eingeladenen Vortragenden gebeten, bestimmte Themen abzudecken. Fast alle sind den Vorschlägen der Organisatoren gefolgt, sodass die Beiträge in diesem Band als kompakte Quelle für eine weitergehende Beschäftigung mit Boscovich geeignet erscheinen. Wir hoffen, dass damit die Absicht des Symposiums erfüllt wird, Anstöße zu einer Intensivierung der Boscovich-Forschung zu geben und dadurch Boscovich auch in den deutschsprachigen Ländern den Platz in der Wissenschaftsgeschichte zuzuweisen, der ihm gebührt.

¹ Übersetzung aus dem englischen Original: John D. BARROW, *Theories of Everything*, (Oxford 1990) 17 und 18.

² Siehe in diesem Band den Beitrag von Luca GUZZARDI, Die italienische „Edizione Nazionale“ der Werke und der Korrespondenz von Ruggiero Giuseppe Boscovich.

³ Dazu zählen die Übersetzung von „De continuitatis lege“ ins Deutsche von Josip TALANGA, (Heidelberg 2002) und einige Aufsätze zu Teilaspekten der „Theoria philosophiae naturalis“ und anderer Arbeiten Boscovichs.

Das Symposium begann am Freitag, den 3. Oktober um 9:30 im „Theatersaal“⁴ der Österreichischen Akademie der Wissenschaften mit der Begrüßung und einleitenden Bemerkungen durch die beiden Organisatoren. Darauf folgten Grußadressen der Provinziale der Kroatischen und der Österreichischen Provinz der Gesellschaft Jesu, Prof. Ivan KOPREK SJ und Dr. Gernot WISSER SJ, und vom Vizepräsidenten der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Univ. Prof. Dr. Herbert MATIS, der das Symposium offiziell eröffnete.

Im Rahmen der darauf folgenden musikalischen Einleitung mit Sonaten für 2 Violinen von Joseph Haydn wurde im Referat von Hubert REITTERER ein personell-künstlerischer Zusammenhang zwischen den Persönlichkeiten Boscovich, dem zeitweise in Wien wirkenden kroatischen Diplomaten und Komponisten Luka Sorkočević und ihrem Zeitgenossen Joseph Haydn herzustellen versucht.

Der wissenschaftliche Teil des Symposiums begann mit dem Vortrag von Grete KLINGENSTEIN, die überzeugend darlegte, warum es im 18. Jahrhundert in Wien trotz vieler Bemühungen von Leibniz und anderen zu keiner Gründung einer Akademie der Wissenschaften kommen konnte.

Existenz und Wirken des Jesuitenordens sind in dieser Zeit in ideelle und kirchenpolitische Auseinandersetzungen verwickelt (jansenistische und reformkatholische Ideen). Der Vortrag von Thomas NEULINGER SJ hat zunächst die Lage der Jesuiten um 1740 geschildert. Danach wurde – als Stein gewordener Ausdruck der erwähnten Auseinandersetzungen – näher auf die Kapelle der Christenlehr-Bruderschaft in der Kirche Am Hof und auf die neue Aula der Universität am Dr. Ignaz Seipel-Platz eingegangen. Abschließend wurden kurz weitere markante, die Jesuiten betreffende Ereignisse dieser Jahre angeführt.

Das Aufklärungszeitalter ist in seiner Weltanschauung im wesentlichen von einem mathematisch-quantifizierenden Indikator bestimmt, d.h. einem „Anzeiger“, der in einem überwiegendem Maße die geistigen Tendenzen einer bestimmten historischen Situation determiniert, wie Maria PETZ-GRABENBAUER in ihrem Vortrag ausgeführt. Man spricht sogar davon, dass die im 18. Jahrhundert praktizierte Politik des europäischen Gleichgewichts dem mathematisch-quantifizierenden Denken der Zeit verpflichtet sei. Zweifellos kommt dieses Denken aber in der Biologie des 18. Jahrhunderts, speziell in Botanik und Zoologie, in den großen Systembildungen von Karl Linné, die nach (An)Ordnung und Symmetrie streben, zum Tragen.

Im Vortrag von Volker BIALAS wurden hauptsächlich die praktischen Arbeiten von Boscovich im Zusammenhang mit der Begutachtung bautechnischer Projekte, der Analyse von Bauschäden und seine Tätigkeit als Initiator und Ausführer wissenschaftlich-technischer Untersuchungen, vorzugsweise in der Geodäsie, behandelt. Wenn wir bedenken, dass Boscovich vier Jahrzehnte lang als Gutachter in Baustatik und Wasserbauwesen mit großem Erfolg tätig war, so finden wir hier einen besonderen Schwerpunkt seiner Arbeiten.

Nach Georg SCHUPPENER gilt Boscovich als einer der bedeutendsten Mathematiker aus dem Jesuitenorden. Trotzdem ist zu beobachten, dass seine Relevanz für die Entwicklung der Mathematik noch nicht überall gesehen wird. Die Tätigkeit als Mathematiker stellt zwar nur einen unter vielen Teilaspekten des facettenreichen Lebens von Boscovich dar. Dennoch bilden die von ihm hier erzielten Ergebnisse die Grundlage für viele weitere Fragestellungen, mit denen er sich beispielsweise in der Philosophie oder in der Physik befasste. Im zweiten Teil des Vortrages wurde auf Boscovichs Beiträge zur Astronomie und die damit verbundenen Entwicklungen von optischen Instrumenten eingegangen.

⁴ Der Tagungssaal gehörte früher zum Gebäudekomplex der Wiener Jesuitenresidenz und hat seinen Namen von den darin stattfindenden Aufführungen des Jesuitentheaters. Er liegt weniger als 100 m von der Stelle entfernt, wo Boscovich wohnte und an der Fertigstellung seiner „Philosophiae naturalis theoria“ arbeitete.

Die Vorarbeiten zu Boscovichs „*Philosophiae naturalis theoria*“ erstreckten sich, nach Josip TALANGA, von den ersten Anklängen der Theorie in „*De viribus vivis*“ (1745) und „*De lumine pars secunda*“ (1748) über die Rechtfertigung ihrer apriorischen Grundannahmen in „*De continuitatis lege*“ (1754) 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 also das Ergebnis einer mehr als zehnjährigen Entwicklung.

Damit schloß der erste Symposiumstag, welcher die kulturwissenschaftliche Situation in Wien zur Mitte des 18. Jahrhunderts beleuchtete, Beispiele zum breiten Spektrum von Boscovichs wissenschaftlichen Tätigkeiten brachte und auf sein Hauptwerk, die „*Theorie der Naturphilosophie*, reduziert auf ein einziges Gesetz der in der Natur existierenden Kräfte“, einstimmte.

Seine epistemologischen Hintergründe, seine Inhalte und Wirkungen auf nachfolgende Wissenschaftler bildeten die Schwerpunkte des zweiten Tages.

Im ersten Vortrag erörterte Zvonimir ČULJAK wissenschaftstheoretische Aspekte von Boscovichs epochalem naturphilosophischen Werk. Diese Analyse zeigt, dass Boscovichs Äußerungen im ersten Teil seiner „*Theoria*“, wenn sie mit einigen anderen Stellen in seinen Werken dieser ‚reifen‘ Periode verglichen werden, eine konsequente wissenschaftstheoretische Einstellung präsentieren, die jedoch auch mit methodologisch und ontologisch kontroversen Folgen rechnen musste.

Im Vortrag von Stipe KUTLEŠA wurden die Grundannahmen der Boscovichschen Naturphilosophie kurz rekapituliert und danach wurde ausführlich auf die Anwendungen seiner Theorie zur detaillierten Erklärung von Probleme der Mechanik (*Pars II*) und von physikalischen Phänomenen (*Pars III*) eingegangen, wobei letzterer Begriff sehr weitgespannt war – umfasste er doch Themen wie z.B. die Festigkeit von Festkörpern bis hin zu physiologischen Prozessen wie Hören, Riechen und Schmecken.

Anto MIŠIĆ berichtete, dass Boscovich schon in seinen Frühwerken darüber schreibt, dass die Vernunft, die über Raum und Zeit urteilt, als eine Konstruktion zu betrachten sei, die über die Daten der Erfahrung und der Sinne hinausgeht. Hierüber äußert sich Boscovich vor allem auch im Anhang „*De Spatio & Tempore*“ seines Hauptwerkes „*Theoria philosophiae naturalis redacta ad univam legem virium in natura existentium*“.

Hans ULLMAIER rekapitulierte zuerst das derzeitige ‚Standardmodell‘ der Materie, um es dann mit den Inhalten von Boscovichs „*Theoria*“ zu vergleichen. Obwohl letztere nur rein qualitativ sein konnten und sich einige davon später als unzutreffend erwiesen, enthält sein Materiemodell wegweisende Aussagen, die darin erstmals formuliert wurden. Deshalb war die „*Theoria*“ ein wichtiger und unverzichtbarer Schritt auf dem Weg zum heutigen Verständnis der Materie, und hat einen erheblichen Einfluss auf die Arbeiten vieler Physiker und Chemiker des 19. und frühen 20. Jh. ausgeübt. Dies wird durch Zeugnisse berühmter Forscher belegt.

Wie Luca GUZZARDI ausführte, hat der italienische Mathematikhistoriker Gino Arighi im Jahr 1980 einen umfangreichen Briefwechsel zwischen Boscovich und dem Lucaner Adligen Giovan Stefano Conti veröffentlicht, worin viele von den Grundthemen der physikalischen Auffassung Boscovichs zu finden sind. Von diesem Briefwechsel ausgehend, insbesondere von den Betrachtungen Boscovichs über die Begriffe von Materie, Kraft und materiellem Punkt, versuchte dieser Vortrag einen „roten Faden“ zwischen der physikalischen Auffassung des dalmatinischen Gelehrten und seinen Ideen über die Infinitesimalrechnung zu spannen.

R. Werner SOUKUP erläuterte, dass Boscovich zu einem Zeitpunkt, da sich die Chemie noch nicht gänzlich von alchemistischen Vorstellungen verabschiedet hatte, in einer geni-

alen Vorwegnahme eine abstrakte Theorie chemischer Spezies auf der Basis abstoßender und anziehender Kräftezentren vorgestellt hat.

Nach Inge FRANZ erfordert die bewusste Wahrnehmung der Rolle der Vernunft und die damit einhergehende rasche Entwicklung der Naturphilosophie/Naturwissenschaften eine Neubestimmung des Verhältnisses zur Theologie. Hinzu kommt die Ausbreitung deistischer Denkweisen als religionsphilosophische Intention der Aufklärung. Nicht auf diese Denkweisen reduzierbar, aber mit ihr verbunden, entfalten sich Physikotheologien auf allen Gebieten der Naturforschung.

Nach Ivan KOPREK SJ ist Boscovichs Betrachtung des Verhältnisses zwischen Körper und Seele im Anhang „De anima“ der „Theoria“ pluralistisch in dem Sinne, dass er die Wirklichkeit weder rein physisch noch rein psychisch ohne tiefere Beziehung mit dem Physischen begreifen will. Deswegen kann der Sitz des Seele kaum in den Erscheinungen als solchen (psychologischen und physiologischen) und auch nicht durch „Reflexion“ über diese Erscheinungen gefunden werden.

Im abschließenden Vortrag des Symposiums ging Nikola STANKOVIĆ SJ auf Boscovichs Gottesbild ein, wie er es im Anhang „De Deo“ der „Theoria“ dargestellt hat. Boscovich betrachtet die unwahrscheinlichen Kombinationen der *Puncta* und Kräfte, die unsere Welt ausmachen, die Unnotwendigkeit der Struktur unserer Welt, und ähnliche Inhalte seiner Naturphilosophie als Beweis, dass es ein Wesen mit unendlicher Kraft, Weisheit und Vorsehung geben muss, das eben diese Kombinationen ausgewählt und determiniert hat.

Bevor das Symposium mit der Verabschiedung der Teilnehmer endete, gab Luca GUZZARDI einen kurzen Bericht über die in Anm. 2 erwähnte „Edizione Nazionale“ und ihre Nutzungsmöglichkeiten.

Zuletzt ist Dank zu sagen den Sponsoren der Veranstaltung, dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung, dem Kulturamt der Stadt Wien, der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, der Österreichisch-Kroatischen Gesellschaft, der Österreichischen Gesellschaft für Wissenschaftsgeschichte, der Österreichischen Nationalbibliothek (Generaldirektorin Dr. Johanna Rachinger und Univ.-Doz. Dr. Ernst Gamillscheg) dem Rektor der Jesuitenkirche, P. Gustav Schörghofer SJ, sowie den Musikern (Yoko Kubota, Alexander Grössing) und dem Tagungssekretariat. Schließlich danken die Herausgeber Herrn Univ. Prof. Dr. Hermann Hunger, Obmann der Kommission für Geschichte der Naturwissenschaften, Mathematik und Medizin der Österreichischen Akademie der Wissenschaften für die Aufnahme dieses Kongressberichtes in die Veröffentlichungen der Kommission.

Helmuth Grössing und Hans Ullmaier

HUBERT REITTERER (Wien)

RUĐER BOŠKOVIĆ, LUKA (LUKŠA) SORKOČEVIĆ/SORGO
UND JOSEPH HAYDN

Hohe Anwesende, meine Damen und Herren!

Mir ist die gewiss ehrenvolle, aber doch nichts weniger als leichte Aufgabe zugefallen, in dieser Einbegleitung unseres Symposions – die nur als solche, aber nicht als wissenschaftlicher Beitrag verstanden werden will – drei so unterschiedliche Persönlichkeiten wie Ruder Bošković, Luka (Lukša) Sorkočević/Sorgo und Joseph Haydn miteinander zu verbinden. So fühle ich mich wie der mittellateinische Poet, der eine Rede vor einer Versammlung hoher Geistlicher mit den Worten beginnt: [...] *viris doctis sermonem facio. / Sed quod loquor, qui loqui nescio, / necessitas est, non presumpcio.*¹

Necessitas est – es ist notwendig und es ist gerechtfertigt. Denn es gibt tatsächlich eine, wenn auch schmale und an einer Stelle sogar fragwürdige, Brücke zwischen dem Philosophen, Diplomaten, Physiker, Mathematiker und Astronomen Bošković, dem Diplomaten und Komponisten Sorkočević/Sorgo und dem Komponisten Joseph Haydn.

Diese Brücke kann zunächst sowohl durch das Schlagwort „großer Sohn der Stadt“ als auch durch den Namen „Kroatien“ hergestellt werden: Sowohl Bošković als auch Sorkočević/Sorgo stammen aus dem italienisch/kroatischen Ragusa/Dubrovnik, und auch im Werk Joseph Haydns hat man, manchmal allerdings mit zu weit gehenden Schlußfolgerungen, kroatische Elemente festgestellt.² Nur zur Erinnerung: Der maritime Stadtstaat Ragusa (ab dem 15. Jahrhundert parallel dazu auch Dubrovnik genannt) ist im 7. Jahrhundert aus einer italienischen und einer slawischen Siedlung entstanden, war ab 1358 eine unabhängige, selbstregierende Republik, gehörte 1804–1814 zu den Illyrischen Provinzen des napoleonischen Frankreich, war nach dem Wiener Kongress ein Teil des habsburgischen Kronlandes Dalmatien, 1918–1941 des Ersten, nach 1945 des Zweiten Jugoslawien und ist seit 1991 eine Stadt in der Republik Kroatien. Er gilt als frühes Zentrum der Entwicklung der südslawischen, insbesondere der kroatischen, Kultur und Sprache. Dies erstreckte sich v.a. auf die Gebiete der Literatur, Malerei, Musik, Mathematik und Physik.

Bošković und die Musik? Zu diesem Thema habe ich fachlich freilich fast nichts beizutragen. Zu meiner Entschuldigung sei es erlaubt, aus einer von Herrn Univ.-Prof. Hans Ullmaier mir freundlichst zur Verfügung gestellten Mitteilung zu zitieren.³ Er schreibt: [Bošković] *scheint sich [...] wenig aus Musik gemacht zu haben, denn in seinen vielen Briefen [...] findet sich (soviel ich weiß) nie etwas über einen Konzertbesuch oder eine Bekanntschaft mit einem Musiker oder Komponisten.* Es gibt aber, so Prof. Ullmaier, *eine Veröffentlichung von Bošković über ein Musik-Thema, wobei aus dem Titel allerdings zu vermuten ist, dass ihr Inhalt eher „physikalisch“ als „künstlerisch“ war: „Della legge di continuità nella scala musicale“ Milano 1772.*

¹ Die Gedichte des Archipoeta, kritisch bearbeitet von Heinrich WATENPUHL, herausgegeben von Heinrich KREFELD (Heidelberg 1958) Nr. 1, Vers 2–4, 47.

² Die Bemühungen, Joseph Haydn als kroatischen Komponisten zu reklamieren, sind aus dem nationalen Kontext ihrer Zeit zu verstehen. Vgl. dazu etwa Franz GRASBERGER, Die Hymnen Österreichs (Tutzing 1968) 42–49 (bezüglich der Melodie des *Gott! erhalte*) und die grundsätzlichen Überlegungen von Koraljka KOS, Die angeblichen Zitate von Volksmusik in Werken der Wiener Klassik. In: Internationaler Musikwissenschaftlicher Kongreß zum Mozartjahr 1991 Baden-Wien. Bericht, hrsg. von Ingrid FUCHS, Bd. 1 (Tutzing 1993) 225–240.

³ Ich habe Herrn Univ.-Prof. Helmuth Grössing für seine freundliche Vermittlung zu danken.

Da dieses Werk bis jetzt lediglich bibliographisch nachweisbar zu sein scheint, bleibt für mich jetzt nur Raum für Spekulationen. Wird in ihm das Thema der *musica mundana* berührt, wie die Musiktheoretiker des Mittelalters (aufbauend auf den kosmologischen Theorien der antiken Philosophie) die harmonische Ordnung im Weltall oder die Harmonie der Sphären bezeichnet und abgehandelt haben? Immerhin wird im Zusammenhang mit dieser die siebenstufige Tonskala mit der siebenteiligen Planetenskala verglichen. Wohl nicht wahrscheinlich! Oder wurde von dem Mathematiker Bošković die Lehre von den drei Proportionen, der arithmetischen, der geometrischen und der harmonischen, angesprochen, die in der Antike und im Mittelalter im Bezug auf die Musik weitgehend von den Gesichtspunkten der Zahlengesetzlichkeit innerhalb einer Tonfolge oder Tonreihe beeinflusst war? Wenn ich an dieser Stelle eine Vermutung äußern darf: Könnte es sich nicht um eine Untersuchung über die Tonbestimmung handeln, also, nach Hugo Riemann, um „die mathematische Bestimmung der Tonhöhenverhältnisse, die Feststellung der relativen Schwingungszahlen oder Saitenlängen, welche den einzelnen Intervallen zukommen?“⁴

Hier habe ich abzubrechen: *Loquor, qui loqui nescio!* Ein Kapitel „Bošković und die Musik“ dürfte wohl nur mit Mühe behandelt werden können, es sei denn, wir geben uns mit einem Wort Thomas Manns zufrieden: *Es nimmt ja die Mathesis, als angewandte Logik, die sich dennoch in rein und hoch Abstrakten hält, eine eigentümliche Mittelstellung zwischen den humanistischen und den realistischen Wissenschaften ein [...]* Auf die humanistischen und somit auch auf die Musik und die Wissenschaft von ihr, die im „Dr. Faustus“, dem dieses Zitat entnommen ist, eine so große Rolle spielen.⁵

Und doch gibt es Bezüge zwischen Bošković und Luka Sorkočević/Sorgo, jenem Komponisten, auf den ich nunmehr zu sprechen kommen werde. Den ersten verdanke ich einer Bemerkung im Artikel „Sorgo, Michael Anton“ im Biographischen Lexikon Constant von Wurzbachs: *Als im Jahre 1787 der berühmte Mathematiker Boskovich starb, setzte er Sorgo zum Erben seines ganzen handschriftlichen Nachlasses ein, der aber nicht mehr ganz unversehrt in Ragusa eintraf.*⁶ (Michael) Anton (Antun) Sorkočević/Sorgo ist in der Geschichte seiner Vaterstadt als Rektor, deren Geschichtsschreiber, als Erforscher ihrer Archäologie, und als Dichter ja wohlbekannt, auf ihn und seine seit dem 13. Jahrhundert bestehende und eine der führenden Positionen in der Geschichte von Dubrovnik/Ragusa einnehmende Rolle einzugehen, ist hier nicht der Platz. Anzumerken ist aber, dass er Giulio Bajamontis „Elogio del Boscovich“ auf eigene Kosten hat drucken lassen.⁷

Auch Luka war ein Angehöriger dieser Familie, und – diesen Hinweis verdanke ich wiederum Herrn Professor Hans Ullmaier – Bošković ist mit ihm sicher bekannt geworden, als er sich im Jahre 1747 einige Monate in einem ihrer Sommerhäuser aufhielt.

Wer war nun Luka Sorkočević/ Sorgo? Die Literatur über ihn ist reichhaltig, auch sein kompositorisches Werk wird nunmehr wieder erschlossen.⁸ Er wurde im Jahre 1734 in Dubrovnik/Ragusa geboren, zu einer Zeit, als das Musikleben der Stadt (im Gegensatz zu deren für das 18. Jahrhundert zu konstatierenden politischen und wirtschaftlichen Be-

⁴ Hugo Riemanns *Musik-Lexikon*, 11. Auflage, bearbeitet von Alfred EINSTEIN, Bd. 2, (Berlin 1929) 1856.

⁵ Thomas MANN, *Dr. Faustus*, Wien o.J., 67.

⁶ Constant von WURZBACH, *Biographisches Lexikon des Kaiserthums Oesterreich ...*, Tl. 36, (Wien 1878) 25.

⁷ EBD., Tl. 2, 1857, 84 (Artikel „Boscovich, Roger Joseph“).

⁸ Neben den gängigen Musiklexika wie etwa *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, 2. Ausgabe, Personenteil, Bd. 15, (Kassel-Stuttgart 2006) und *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 2nd Edition, Bd. 23 (London 2001) (beide mit Werksverzeichnis und Literatur) vgl. Josip ANDREIS, *Music in Croatia*, (Zagreb 1976) 95–98, *Muzička enciklopedija*, 2. Aufl., Bd. 3 (Zagreb 1977), Luka i Antun Sorkočević, ed. Stanislav TUKSAR (Zagreb 1983), und *Leksikon jugoslavenske muzike*, Bd. 2 (Zagreb 1984).

deutungslosigkeit) eine nicht geringe Höhe aufwies. (Ob, nebenbei gesagt, der kolportierte Ausspruch der Kaiserin Maria Theresia: *Wer hätte gedacht, daß Ruder Bošković in Ragusa geboren ist?* auf Wahrheit beruht, kann ich nicht beurteilen).⁹ Die Republik ließ ihre Musiker in Italien ausbilden, unterhielt eine kommunale Musikbanda und ein Orchester und wies eine beachtliche Anzahl von ausländischen und einheimischen Musikkräften auf. So hat auch Luka in seiner Heimatstadt und in Rom Kontrapunkt und Komposition studiert. Er bekleidete dann, der Tradition seiner Familie folgend, in der Republik hohe öffentliche Ämter und vertrat sie u.a. auch 1781-1782 am Wiener Kaiserhof Josephs II. In seinen frühen Jahren (etwa zwischen 1754 und 1770) komponierte er neben Kammermusik 7 Symphonien, die ersten Beispiele für diese Gattung auf dem Boden des heutigen Kroatien. Sie sind alle 3sätzig (Typus schnell – langsam – schnell), stilistisch der italienischen vorklassischen Symphonie etwa eines Giuseppe Sammartini zuzuordnen und weisen Sorkočević mit mancher Ungeschicklichkeit in der Kompositionstechnik und ihren Mängeln in der Instrumentierung zwar als hochbegabten Amateur, nicht aber als Musiker im professionellen Sinne aus. In ihrer lebendigen Frische und brillanten Ornamentation reihen sich diese Symphonien jedoch durchaus in die musikalische Sprache ihrer Zeit ein.¹⁰ Übrigens war Lukas Sohn Antun, Diplomat wie sein Vater, Verfasser von historischen und kulturhistorischen Werken, ebenfalls als Komponist (Kirchenmusik, 1 Symphonie, Ouvertüren, Kammermusik) tätig; seine Sonate für Klavier zu 4 Händen war vielleicht die erste ihrer Art in der Musik Kroatiens. Sein Vater hatte eine solche Komposition übrigens in Wien gehört.¹¹

Ich habe schon Lukas diplomatischen Aufenthalt in Wien 1781–82 erwähnt. Er hat über diesen ein ausführliches Tagebuch (in italienischer Sprache) geführt, dessen Relevanz auch für die Musik von meiner Zagreber Kollegin Prof. Vjera Katalinić in einem Aufsatz aufgezeigt worden ist. Sie hat mir diesen dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt, sodass ich mich im Folgenden auf sie beziehen kann.¹² Luka Sorkočević/Sorgo hat in Wien zahlreichen kulturellen Veranstaltungen beigewohnt, sich in Opern- und Konzertbesuchen mit den musikalischen Produktionen in der Stadt vertraut gemacht und ist auch mit mehreren Persönlichkeiten ihres Musik- und literarischen Lebens in Kontakt getreten. Zu diesen gehörten Pietro Metastasio, Christoph Willibald Gluck, die von Haydn hochgeschätzte Komponistin Marianne Martinez und schließlich auch Joseph Haydn selbst. Ich zitiere:

Ab wann Sorkočevićs Bekanntschaft mit Joseph Haydn existiert, läßt sich aus dem Tagebuch nicht erschließen. Die einzige Begegnung, die er beschreibt, bekräftigt die Annahme, daß eine freundliche Beziehung zwischen ihnen bereits früher bestanden hatte. Haydn statete ihm nämlich einen Besuch am Stephanitag (also am 26. Dezember) ab. Er zeigte ihm dabei seine sechs neuen Streichquartette [...] Wahrscheinlich handelte es sich dabei um die Quartette op. 33, die „Russischen Quartette“. In einem freundlichen Gespräch öffnete Haydn seine Seele und klagte über die Unmöglichkeit eines Wirkens am Wiener Hof wegen der Abneigung, die der Kaiser gegenüber ihm selbst und seine Musik habe. Und dann

⁹ Josip ANDREIS, *Music in Croatia* (Anm. 8) 93.

¹⁰ Vgl. Josip ANDREIS, Stanislav TUKSAR, beide Anm. 8, und Korjalka Kos, Luka Sorkočević et sa place dans la musique croate et européenne du 18ème siècle. In: *Most/The Bridge: a Journal of Croatian Literature*, Bd. 3 (Zagreb 1991) 322–337.

¹¹ Zu Anton (Antun) Sorkočević/Sorgo vgl. die Anm. 8 angeführte Literatur sowie die Materialien im Institut Österreichisches Biographisches Lexikon 1815–1950 und biographische Dokumentation, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Zentrum für Neuzeit- und Zeitgeschichtsforschung.

¹² Vjera KATALINIĆ, Luka Sorkočevićs Wiener Tagebuch (1781–1782). In: *Muzikološki zbornik*, Bd. XL, (Zagreb 2004) 187–196.

sagte Haydn: *„La gran Duchesse¹³ mi fece venire nell' appartamento e l'Imperatore se é tosto levato, e sortito dalle stanze. Haydn meint, der Grund könnte in der Beziehung des Kaisers zu Esterhazy liegen, der, so Haydn, immer wieder versuche, den Kaiser systematisch zu meiden.* Und Vjera Katalinić bemerkt noch: *Über Haydns Musik gibt es hier¹⁴ von Sorkočević keinerlei Äußerungen.*¹⁵

Joseph Haydn. Ich habe am Beginn von der Fragwürdigkeit meiner Brücke gesprochen. Um dies nun im Bezug auf das gehörte und das noch zu hörende Musikstück zu präzisieren: Haydn hat zwar 6 Duos für Violine und Bratsche geschrieben, die unter anderem auch für 2 Violinen bearbeitet worden sind, unsere gegenständlichen Stücke stammen jedoch mit größter Wahrscheinlichkeit nicht von ihm, trotz des Anscheins, den die Ausgabe, nach der sie gespielt werden, zu erwecken sucht.¹⁶ Sie werden in der Fachliteratur vielmehr entweder Carlo Campioni oder Antonín Kammel zugeschrieben.¹⁷ Der ab 1737 in Italien nachweisbare Campioni, u.a. Kapellmeister des Großherzogs von Toskana, verdankte seinen europäischen Ruf seinen kammermusikalischen Werken, die stilistisch vom Spätbarock über den sogenannten galanten Stil bis zur Frühklassik reichen. Der Böhme Antonín Kammel spielte eine große Rolle im Musikleben Londons und komponierte (vorwiegend für Streicher) Kammermusik im frühklassischen Stil, was gelegentlich auch zu Verwechslungen mit Frühwerken Joseph Haydns geführt hat.

Meine sehr geehrten Damen und Herren!

Ich habe versucht, eine Brücke herzustellen. Nicht mit der Autorität eines pontifex im antik-römischen Stil, sondern lediglich, um den Namensträger dieses Symposions mit der Musik in Verbindung zu setzen. Ob diese nun von Joseph Haydn stammt oder nicht – ich will trotzdem mit einem Zitat aus einem seiner Werke schließen, einem Werk, das im Jahre 1808 ganz nahe von hier, im Großen Festsaal unserer Akademie, zu Ehren Joseph Haydns aufgeführt worden ist: Ich meine sein Oratorium „Die Schöpfung“, in deren Schlusschor des 1. Teiles es heißt: *Die Himmel erzählen die Ehre Gottes / Und seiner Hände Werk zeigt an das Firmament.* Ich glaube, daß dieser Lobpreis des Herrn nach dem 4. Schöpfungstag, der Erschaffung der „Lichter an der Veste des Himmels“, auch seinen Platz im Denken von Ruder Bošković gehabt hat.

¹³ Es handelt sich dabei um die Großfürstin Maria Fedorowna, die mit ihrem Gatten Großfürst Paul von Russland zu Besuch in Wien weilte und dabei auch bei Haydn einige Klavierstunden genommen hat. (Anm. H. R.)

¹⁴ Gemeint ist das Tagebuch. (Anm. H. R.)

¹⁵ Eine von der Literatur (z.B. Josip ANDREIS, Music in Croatia Anm. 8, 95) hervorgehobene „Freundschaft“ Sorkočevićs mit den von ihm genannten Persönlichkeiten läßt sich aus diesen Tagebuchnotizen allerdings nicht ableiten.

¹⁶ Zur Sache s. Joseph HAYDN, Streichduos, herausgegeben von Andreas FRIESENHAGEN – Ulrich MAZURWICZ (München 2004), bes. IXf., 59–61, und Anthony van HOBOKEN, Joseph Haydn. Thematisch-bibliographisches Werkverzeichnis, Bd. 1 (Mainz 1957) 518. Bei den gespielten Stücken handelt sich um mit dem Namen Haydns versehene Apokryphe (6 Sonaten/6 Sonatas für 2 Violinen/for 6 Violins. Hoboken VI: G 1, herausgegeben/edited by Adolf HOFFMANN, Edition Schott, Mainz – London – Berlin 1981).

¹⁷ Zu Carlo Campioni s. Die Musik in Geschichte und Gegenwart (Anm. 8, Bd. 4), zu Antonín Kammel ebd., Bd. 9, 2003.

THOMAS NEULINGER SJ (WIEN)

DIE GESELLSCHAFT JESU IN WIEN 1740–1773

Eine Skizze

Das Thema „Die Gesellschaft Jesu in Wien von 1740 bis 1773“ ist unter mehrfacher Rücksicht ein umfangreiches und komplexes. Umfangreich und komplex zum einen aufgrund der Zeitspanne, die abzudecken ist, und der zahlreichen unterschiedlichen Aktivitäten der Jesuiten selbst. Umfangreich und komplex aber zum anderen, weil der Jesuitenorden gerade in diesen Jahren verwickelt wird in ideelle und kirchenpolitische Auseinandersetzungen sowie betroffen ist von Reformen und Zentralisierungsmaßnahmen staatlicher Behörden und Einrichtungen unter Maria Theresia (1740–1780). Karl Vocelka beschreibt den Zeitgeist folgendermaßen: *Langsam* [d.h. in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts] *begann sich bei den Eliten der Habsburgermonarchie [...] das Gedankengut der Aufklärung durchzusetzen. Ab der Mitte des 18. Jahrhunderts wurden die jansenistischen und reformkatholischen Ideen dominant. Der Jansenismus [...] trat gegen die ‚oberflächliche‘ barocke Frömmigkeit auf und zielte auf eine strengere, verinnerlichte Form von Frömmigkeit ab.*¹ – und war, das sei angefügt, stark antijesuitisch ausgerichtet.

Dies alles hat zur Folge, dass die Existenz und das Wirken der Jesuiten in dieser Zeit von zwei Faktoren geprägt sind: auf der einen Seite von den Aktivitäten des Ordens, der überkommene Arbeiten fortführt, diese teilweise ändert und reformiert, darüber hinaus aber auch Neues beginnt und aufbaut, auf der anderen Seite von Gegnern der Gesellschaft Jesu, denen es ein Anliegen ist, den Einfluss des Ordens zurückzudrängen, was auf vielen Gebieten im Laufe der Jahre gelingt – wobei beide Seiten mit ihren jeweiligen Aktivitäten sich auch gegenseitig beeinflussen.

Absicht der vorliegenden Arbeit ist es, auf wesentliche Ereignisse und Vorgänge hinzuweisen, die von der Gesellschaft Jesu ausgehen oder sie betreffen. Um diese Absicht zu verwirklichen, wird in einem ersten Schritt der Ausgangspunkt, die Lage der Jesuiten um 1740 geschildert. Danach wird näher auf zwei Bauten eingegangen, auf die Kapelle der Christenlehr-Bruderschaft in der Kirche Am Hof und die neue Aula der Universität am Dr. Ignaz Seipel-Platz, denn diese können als Stein gewordener Ausdruck der beiden oben erwähnten Strömungen angesehen werden. In einem dritten abschließenden Schritt werden kurz weitere markante, die Jesuiten betreffende Ereignisse aus diesen Jahren angeführt.

1. Die Ausgangslage: Häuser und Tätigkeiten der Jesuiten in Wien um 1740

Vorweg sei gesagt: Kaiser Leopold I. (1658–1705) gilt als letzter großer Förderer der Jesuiten, unter seinem Sohn Kaiser Karl VI. (1711–1740) aber erstarken die Kritiker und

¹ Karl VOCELKA, Kirchengeschichte. In: Wien. Geschichte einer Stadt, hrsg. von Peter CSENDES, Ferdinand OPLL, Bd. 2 Die frühneuzeitliche Residenz (16. bis 18. Jahrhundert), hrsg. v. Karl VOCELKA, Anna TRANINGER (Wien 2003) 342; zum Jansenismus in Österreich vgl. Peter HERSCHE, Der Spätjansenismus in Österreich, (Wien 1977) (= Veröffentlichungen der Kommission für Geschichte Österreichs Bd. 7); Elisabeth KOVÁCS (Hrsg.), Katholische Aufklärung und Josephinismus (Wien 1979); darin besonders Peter HERSCHE, Der österreichische Spätjansenismus. Neue Thesen und Fragestellungen, 180–193; Adam SEIGFRIED, Die Dogmatik im 18. Jahrhundert unter dem Einfluß von Aufklärung und Jansenismus, 241–265; Andreas LAUN, Die Moralthologie im 18. Jahrhundert unter dem Einfluß von Jansenismus und Aufklärung, 266–294; vgl. auch Christine VOGEL, Der Untergang der Gesellschaft Jesu als europäisches Medienereignis (1758–1773). Publizistische Debatten im Spannungsfeld von Aufklärung und Gegenklärung, (= Veröffentlichungen des Instituts für Europäische Geschichte Mainz. Abteilung für Universalgeschichte, Bd. 207) (Mainz 2006).

Gegner des Ordens.² Bereits 1735 erfolgt eine erste Reform des Unterrichtswesens³, die Änderungen von den Jesuiten und ihren von der Ratio studiorum⁴ geprägten Bildungsinstitutionen verlangt – unter anderem wertet sie die deutsche Sprache im Unterricht auf und verankert das Geschichtstudium im Lehrplan. Unter Maria Theresia verschärft sich die Lage⁵ für die Gesellschaft Jesu deutlich, bis die Aufhebung des Ordens durch Papst Klemens XIV. 1773 den Auseinandersetzungen ein abruptes Ende bereitet.

Was die Jesuiten in Wien betrifft, so waren die in der Haupt- und Residenzstadt gelegenen Häuser Teil der Provinciae Austriae der Gesellschaft Jesu, die damals Österreich und Ungarn umfasste⁶ und im Jahr 1740 1.621 Mitglieder zählte⁷. Anzumerken ist, dass das 18. Jahrhundert von den Mitgliedszahlen her keine Zeit der Krise, sondern im Gegenteil eines starken Wachstums darstellt: Von 1.247 Jesuiten im Jahr 1700 stieg die Zahl auf 1.906 im Jahr 1767, erst danach kam es zu einem eher geringfügigen Rückgang auf 1.845 im Jahr der Aufhebung 1773⁸. Sitz des Provinzials war Wien, genauer das Professhaus Am Hof. In Wien selbst lebten 1740 311 Jesuiten, 68 davon in der Domus professa, 124 im Akademischen Kolleg am heutigen Dr. Ignaz Seipel-Platz (davon 75 Ordensstudenten) und 119 im Noviziat in der Annagasse (davon 91 Novizen – wobei anzufügen ist, dass es für die Länder der ungarischen Krone ein weiteres Noviziat in Trenčín gab, mit 49 Novizen in diesem Jahr).

1.1 Das Professhaus Am Hof

Eine der Hauptarbeiten der Jesuiten dieses Hauses⁹ war die Führung eines Gymnasiums mit vier Klassen, das 1737 von 322 Schülern besucht wurde. Im Professhaus wohnten aber auch die Prediger für den Hof und den Stephansdom sowie die Hofbeichtväter, wobei im

² Vgl. Johann WRBA, Hundertfünfzig Jahre von den Jesuiten geprägte Universität. In: Günther HAMANN, Kurt MÜHLBERGER, Franz SKACEL (Hrsg.), Das alte Universitätsviertel in Wien. 1385–1985 (Wien 1985) 52–72, hier 66–67.

³ Vgl. Grete KLINGENSTEIN, Vorstufen der thesianischen Studienreformen in der Regierungszeit Karls VI., MIOG 76 (1968) 327–377; Gerhart PICHLER, Das Studienwesen des Erzherzogtums unter der Enns (Wien und Niederösterreich) 1740–1870, 2 Bde. (Frankfurt a.M. 1981), hier Bd. 1, 22–28; Helmut ENGELBRECHT, Geschichte des österreichischen Bildungswesens. Erziehung und Unterricht auf dem Boden Österreichs, Bd. 3: Von der frühen Aufklärung bis zum Vormärz (Wien 1984) 43; Gerald GRIMM, Die Schulreform Maria Theresias 1747–1775. Das österreichische Gymnasium zwischen Standesschule und allgemeiner Lehranstalt im Spannungsfeld von Ordensschulwesen, thesianischem Reformabsolutismus und Aufklärungspädagogik (= Aspekte pädagogischer Innovation Bd. 10), 257–268 (Frankfurt a.M. 1987).

⁴ Zur Ratio studiorum und dem Schulwesen der Jesuiten vgl. Rüdiger FUNIOK, Harald SCHÖNDORF (Hrsg.), Ignatius von Loyola und die Pädagogik der Jesuiten. Ein Modell für Schule und Persönlichkeitsentwicklung, Donauwörth 2000, (= Reihe Geschichte und Reflexion); für Österreich vgl. Marie-Therese ORTNER, Die Jesuiten in ihrer Bedeutung für das österreichische Bildungswesen vor und nach der Aufhebung des Ordens im Jahre 1773, ungedr. Diplomarbeit (Wien 1994).

⁵ Vgl. WRBA, Hundertfünfzig Jahre von den Jesuiten geprägte Universität (Anm. 2) 69–72; GRIMM, Die Schulreform Maria Theresias (Anm. 3) passim.

⁶ Böhmen war seit 1623 eine eigene Provinz, Tirol gehörte zur Oberdeutschen Provinz.

⁷ Für diese und die weiteren Angaben siehe Ladislaus LUKÁCS, Catalogi Personarum et Officiorum Provinciae Austriae S.I., Bd. 8 (1734–1747) (Romae 1994) (pro anno 1740, 363–424).

⁸ Vgl. L.[aszlo] SZILAS, Austria. I. Antigua, in, Diccionario histórico de la Compañía de Jesús. Biográfico-temático, Bd. 1, (Rom – Madrid 2001) 277–292 (bes. 286–292, Siglo XVIII), hier 286.

⁹ Vgl. Bernhard DUHR, Geschichte der Jesuiten in den Ländern deutscher Zunge, Bd. 4/1, (München – Regensburg 1928) 353; zur Österreichischen Provinz im 18. Jahrhundert vgl. 345–401, zu Wien 349–366.

Katalog für 1740 acht Jesuiten als Beichtväter für die kaiserliche Familie und den Hof angeführt werden. Weiters wurde von hier aus eine rege katechetische Tätigkeit entfaltet, an der Katechismus-Prozession des Jahres 1743 etwa nahmen über 5.000 Kinder teil, zudem wurden 1.200 Katechismen verteilt. Dazu kam die Leitung von mindestens acht Kongregationen¹⁰. Seelsorglich betreut wurden zudem Gefangene und das Bürgerspital. Schließlich ist noch zu erwähnen, dass seit einem Breve Urbans VIII. aus dem Jahr 1643 der Beichtvater des Kaisers für alle Truppen im kaiserlichen Heer quasi Armeebischof (Capellanus maior) war – der Obere des Professhauses aber hatte als Superior missionis castrens die disziplinäre Aufsicht über die als Militärseelsorger dienenden Jesuiten inne.¹¹

1.2 Das Collegium academicum

Die Jesuiten des Akademischen Kollegs¹² waren vor allem im universitären und schulischen Unterricht tätig. 1738 gab es 2.300 Studenten; gemäß der durch die Pragmatische Sanktion¹³ von 1623 erfolgten Inkorporation des Jesuitenkollegs in die Wiener Universität stellten die Jesuiten die meisten Professoren für Theologie und Philosophie und unterrichteten nach dem Katalog für 1740 folgende Fächer: Logik, Ethik, Physik, Metaphysik, Mathematik und Geschichte sowie Hebräisch, Heilige Schrift, (dogmatische) Theologie, Kasuistik und Kontroverstheologie. Was das Gymnasium betrifft, so besuchten 1741 1.323 Schüler die sechs Klassen dieser Schule.

1735 wurde der Neubau der Bibliothek vollendet, im selben Jahr die erst kurz zuvor (1732) gebaute Sternwarte vergrößert und mit neuen Instrumenten ausgestattet; zudem errichtete die Kongregation ein neues Theater.

Von den Patres dieser Niederlassung wurden fünf Kongregationen betreut und drei Konvikte: das Seminar St. Ignatius und Pankratius mit mehr als 120 Theologen, Philosophen und Humanisten, St. Barbara mit etwas über 100 Konviktoern und das Pazmanium mit etwa 60 Alumnern.

1.3 St. Anna

Das dritte Jesuitenhaus in Wien war das Noviziat¹⁴ in der Annagasse. Der Natur eines solchen Ausbildungshauses entsprechend, hat es keine großen Aktivitäten nach außen hin entfaltet. Von Bedeutung ist aber die hier angesiedelte sogenannte Katechetische Bibliothek zu St. Anna¹⁵, eine Stiftung des Weltpriesters Sigismund Sauter, die dieser 1696 den Jesuiten zur Leitung und Verwaltung anvertraute, zu dem Zweck, aus den Zinsen katechetische Schriften und Traktätchen zu finanzieren und unter das Volk zu bringen – ein Auftrag, dem sich die Jesuiten gerade in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts voll Eifer widmeten. Zu erwähnen ist schließlich noch die Beteiligung an der Christenlehre – so waren im Jahr 1740 Novizen auf 15 Stationen tätig.

¹⁰ Zu den Kongregationen in Wien und ihrer Bedeutung vgl. VOELKA, Kirchengeschichte (Anm. 1) 357f.

¹¹ Vgl. DUHR, Geschichte der Jesuiten (Anm. 9) Bd. 4/2, 283–285.

¹² Vgl. Bernhard DUHR, Geschichte der Jesuiten in den Ländern deutscher Zunge, Bd. 4/2, (München–Regensburg 1928) 283–285.

¹³ Vgl. WRBA, Hundertfünfzig Jahre von den Jesuiten geprägte Universität (Anm. 2) 55–56.

¹⁴ Vgl. DUHR, Jesuiten 4/1 (Anm. 9) 357f.

¹⁵ Vgl. Johannes HOFINGER, Geschichte des Katechismus in Österreich von Canisius bis zur Gegenwart, (= Forschungen zur Geschichte des innerkirchlichen Lebens Heft 5/6), (Innsbruck 1937) 5f; eine Liste der verbreiteten Schriften findet sich 10–12.

2. Zwei Programm-Bauten

2.1 Die Franz Regis-Kapelle

Die Neugestaltung dieser Kapelle wurde von P. Ignaz Parhamer¹⁶ betrieben und 1754 abgeschlossen. Diese Neugestaltung sowie die dahinter stehende Absicht hat Luigi Ronzoni¹⁷ in einer Studie untersucht, auf die ich mich im Folgenden beziehe.

Parhamer wirkte seit 1746 in Wien und leitete unter anderem die Christenlehr-Bruderschaft¹⁸, die der Jesuit P. Adam Sandschuster 1711 in Wien eingeführt hatte. Ziel dieser Bruderschaft war die Verbreitung und Vertiefung des religiösen Wissens, wobei die Teilnahme vom siebenten bis zum zwanzigsten Lebensjahr verpflichtend war. An Sonn- und Feiertagen versammelten sich die Kinder und Jugendlichen in einer Kirche. Je zehn waren (ihrem Alter, Wissen und Geschlecht entsprechend) in sogenannte „Scharen“ eingeteilt. „Ansteller/innen“ sorgten für Ordnung, „Ausfrager/innen“ prüften, ob die entsprechenden Abschnitte des Katechismus auch gelernt worden waren. „Abteilungen“ bestanden aus 10 bis 15 Scharen, unterstanden einem „Vorsteher“ und führten eine Fahne. Aufgrund der Förderung durch kirchliche und staatliche Autoritäten verbreitete sich die Christenlehr-Bruderschaft in ganz Wien, verblieb aber unter der Leitung der Jesuiten.

Einmal im Jahr wurden alle Mitglieder zu einer großen Christenlehrprozession versammelt, von der es für das Jahr 1752 einen Augenzeugenbericht der beiden Florentiner Bartolommeo und Lorenzo Corsini gibt, die sich auf ihrer Kavaliertour in Wien aufhielten und in deren Reisetagebuch sich Folgendes findet:

17.000 Knaben und Mädchen zogen in einer Prozession vorbei. Sie führten Standarten und verschiedene Apparate (maschine) mit sich. Sie waren in verschiedene Companien unterteilt, jede trug Uniformkleidung. Manche stellten in ihrer Kleidung Engel dar, andere die verschiedenen Hierarchien der Heiligen. An ihrer Spitze stand jeweils ein mit einer Lanze gerüsteter Offizier. Den Abschluß der Prozession bildete ein Bischof in Pontifikalgewändern mit einem Diakon und vielen weiteren Priestern im Chorhemd. Hinter allen kamen drei große Apparate, aufgebaut wie Altäre, auf denen mehrere Kinder angebunden standen, die verschiedene Heilige darstellten. Die Lobeshymnen, die sie während der gesamten Prozession sangen, waren deutsch. Die padri gesuiti sorgten für die Ordnung und für den geregelten Ablauf. Die Menge stellte sich am Jesuiten-Platz [sc. Am Hof] auf, wo drei Dispute über die Christenlehre von Kindern auf den großen Apparaten abgehalten wurden. Einer wurde besonders unter dem Fenster des Herrn Nuntius errichtet. Das ist die Art und Weise, wie die padri gesuiti in einem Land, das sich den Häretikern verschiedenster Sorten hingibt, den Kult des Herrn fördern und die Jugend in der christlichen Religion instruieren.¹⁹

¹⁶ Vgl. Michael SCHAICH, Parhamer, Ignaz. In: BBKL 6 (1993) 1536–1537; H.[elmut] PLATZGUMMER, Parhamer (Parhammer), Ignaz. In: *Diccionario histórico de la Compañía de Jesús. Biográfico-temático*, Bd. 3 (Rom – Madrid 2001) 3044f.

¹⁷ Luigi A. RONZONI, Ignaz Parhamer und die Christenlehr-Bruderschaft. Die Franz Regis-Kapelle in der Jesuitenkirche am Hof in Wien. In: Herbert KARNER, Werner TELESKO (Hrsg.), *Die Jesuiten in Wien. Zur Kunst- und Kulturgeschichte der österreichischen Ordensprovinz der „Gesellschaft Jesu“ im 17. und 18. Jahrhundert*, (= Österreichische Akademie der Wissenschaften. Veröffentlichungen der Kommission für Kunstgeschichte Bd. 5) (Wien 2003) 99–112.

¹⁸ Zu den Christenlehr-Bruderschaften allgemein vgl. Eugen PAUL, *Geschichte der christlichen Erziehung*, Bd. 2 Barock und Aufklärung (Freiburg 1995) 157–163 (Exkurs 4, Christenlehrbruderschaften und ähnliche Vereinigungen); für Österreich vgl. ENGELBRECHT, *Bildungswesen* (Anm. 3) 31–33.

¹⁹ Francesca MORANDINI, Vienna alla metà del secolo XVIII – Nella descrizione del manoscritto 684 del'Archivio di Stato di Firenze. In: *MÖStA* (Festschrift Richard Blaas) Bd. 31 (1978) 121–135, bes. 130, zit. nach RONZONI, Parhamer (Anm. 17) 102.

Für diese Prozession wurde auf Initiative Parhamers in der Jesuitenkirche Am Hof die dritte Seitenkapelle (vom Presbyterium aus gezählt) auf der Nordseite mit einer neuen Gesamtausstattung versehen. *Da die Kapellen untereinander mit Durchbrüchen verbunden sind, ergab sich die einfache Möglichkeit, am großen Ehrentag die Menge der Bruderschaftsmitglieder in einer ständigen Prozession am Altar ... vorbeileiten zu können.*²⁰ Von besonderer Bedeutung sind einige Details der Ausstattung. Auf dem linken Seitenmedaillon findet sich ein Bild von Papst Pius V., der die Christenlehr-Bruderschaft 1571 anerkannt und bestätigt hatte. Auf der rechten Seite findet sich eine Darstellung von Clemens XI. und damit ein Bild mit einer zeitgeschichtlichen Aussage. Denn Clemens XI. war nicht nur der Papst, in dessen Regierungszeit die Christenlehr-Bruderschaft in Wien ihren Anfang nahm, sondern hatte auch mit den beiden Konstitutionen „Vineam Domini Sabaoth“ (1705) und „Unigenitus Dei Filius“ (1713) gegen die Jansenisten in Frankreich Stellung bezogen. Ronzoni schreibt deshalb der Entscheidung des Ordens, ausgerechnet diesen Papst in der neugestalteten Kapelle abzubilden, eine tiefere Bedeutung zu:

*Dadurch, daß die ‚Socie-tas Jesu‘ den großen Vorkämpfer gegen den [ich ergänze hier: jansenistischen] Irrglauben gleichsam zu den Ehren der Altäre erhob, dokumentierte sie unmißverständlich ihre unverrückbare Position in Glaubensfragen. ... Explizit gegen diese [sc. ihre philojansenistischen] Feinde richtete sich die jesuitische Mahnung, an die päpstliche Verurteilung des Jansenismus zu denken! So wurden aktuelles Zeitgeschehen und die Nöte der ‚Gesellschaft Jesu‘ in die skulptierte Form einer Reliefdarstellung umgewandelt.*²¹

Dies ist aber nicht das einzige Detail von Interesse, auch auf das Deckenfresko von Franz Anton Maulbertsch ist hinzuweisen. Denn es präsentiert auffällig die Größe und Bedeutung der Christenlehr-Bruderschaft – so hält etwa ein Kavalier eine Tafel, auf der zu lesen steht: „Adulti utriusque sexus 20.000“ – 20.000 Mitglieder beiderlei Geschlechts²².

Alles in allem zeigt sich: Die Neugestaltung der Kapelle war mit einer Absicht und einer Botschaft verbunden. Um nochmals Ronzoni zu zitieren: „Die ‚Societas Jesu‘ zeigte in der Franz Regis-Kapelle, welche Wirkung der von ihr vertretene rechte Glaube erlangen konnte, und daß ihr Orden dafür an vorderster Front ungebrochen kämpfte.“²³

2.2 Die sogenannte Neue Aula der Universität

Während die Jesuiten 1754 die Neugestaltung der Franz Regis-Kapelle veranlassten, wurde in den Jahren 1753–1756 von staatlicher Seite auf dem heutigen Dr. Ignaz Seipel-Platz ein neuer Universitätsbau errichtet. Herbert Karner hat in einer Arbeit die Architektur und das damit verbundene Programm untersucht.²⁴ Er weist darin meines Erachtens überzeugend nach, *dass es ein Anliegen des Neubaus [ist], das streng jesuitisch-gegenreformatorische*

²⁰ RONZONI, Parhamer (Anm. 17) 103.

²¹ RONZONI, Parhamer (Anm. 17) 110.

²² Diese Aufschrift wurde 1935 bei einer Restaurierung des Freskos getilgt – vgl. Franz Martin HABERDITZL, Franz Anton Maulbertsch 1725–1796, hrsg. v. Gerbert FRODL, Michael KRAPF (Wien 2006) 107 (zum Fresko in der Franz Regis-Kapelle 106–108), bei der letzten Renovierung wurde diese Tilgung aber 2008 wieder rückgängig gemacht.

²³ RONZONI, Parhamer (Anm. 17) 112.

²⁴ Herbert KARNER, Wien – Vom Jesuiterplatz zum Universitätsplatz, Architektur und Programm. In: Martin SCHEUTZ, Wolfgang SCHMALE, Dana ŠTEFANOVÁ (Hrsg.), Orte des Wissens. Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft zur Erforschung des achtzehnten Jahrhunderts, Bd. 18/19 (Bochum 2004) 397–412. Vgl. auch Moritz CSÁKY, Peter STACHEL (Hrsg.), Die Verortung von Gedächtnis, Wien 2001, (= Orte des Gedächtnisses, hrsg. v. Moritz CSÁKY); darin Moritz CSÁKY, Altes Universitätsviertel, Erinnerungsraum, Gedächtnisort, 257–277, sowie Werner TELESKO, Kunsthistorische Bemerkungen zum „alten Universitätsviertel“ in Wien als „Gedächtnisort“, 279–302.

*Bezugssystem, das den Platz gebunden hat, aufzubrechen. Eine dem Neubau immanente Eigenschaft ist es, den Platz zu entauratisieren und ihn ideologisch neu zu gewichten.*²⁵

Dies zeigt sich besonders deutlich bei einer Gegenüberstellung und einem Vergleich von Kirchenfassade und Fassade des neuen Universitätsgebäudes. Was die Kirche betrifft, so schreibt Karner:

*Über dem kaiserlichen Stifterwappen im Erdgeschoss befinden sich in den Nischen des Obergeschosses die beiden Ordensheiligen Ignatius von Loyola und Franz Xaver, darüber die Heiligen Katharina und Barbara, die Patroninnen der Philosophischen Fakultät beziehungsweise der Schuljugend, sowie die Heiligen Josef, seit 1676 Patron des Heiligen Römischen Reiches, und Leopold, seit 1663 Landespatron von Österreich. Die Gesellschaft Jesu, die Universität, das Römische Reich und Österreich sind kurz gesagt die Bestandteile eines Bildprogramms mit sehr umfassendem Anspruch, das um den (für den Orden wie für Ferdinand II.) Identität stiftenden gegenreformatorischen Aspekt ergänzt wird, der mit dem zweizeiligen Inschriftenband zum Ausdruck kommt.*²⁶

Von meiner Seite aus würde ich noch ergänzend anfügen: Das Faktum, dass sich dieses Bildprogramm auf der Fassade des Kirchengebäudes findet, weist die Universität insgesamt als eine Institution aus, die dem kirchlichen Bereich angehört und untersteht.

Das auf allerhöchsten Beschluss errichtete und von Jean Nicolas Jadot entworfene Universitätsgebäude aber vermittelt eine andere Botschaft. Die Tatsache, dass die Fassade dieses Gebäudes sich nicht aus der inneren Struktur des Baus ergibt, sondern von dieser unabhängig gestaltet ist, macht deutlich, dass es hier um eine Aussage nach außen geht, die sich am Bildprogramm ablesen lässt:

*Bauherr und gültiger territorialer Anspruch der Universität ... werden mit dem monumentalen kaiserlichen Kombinationswappen zentral über der Attika, den kleinen Wappenschilden zwischen den beiden Fakultätsgruppen, links das Wappen von Neu-Österreich, rechts wahrscheinlich von Alt-Österreich (heute leer), sowie mit den Wappen über den Seitenportalen, in der Bäckerstraße jenes des Königreiches Ungarn und in der Sonnenfelsgasse jenes des Königreiches Böhmen, dokumentiert.*²⁷

Die Universität wird damit dem staatlichen Bereich zugeordnet, ja mehr noch, dem Staat und seinen Autoritäten unterstellt und von ihnen in Dienst genommen – Bildung ist im Verständnis der Herrscherin keine kirchliche Angelegenheit mehr, sondern eine des Staates²⁸. Dies zeigt sich auch daran, dass die Promotionen in diesen Jahren in den Festsaal dieses Gebäudes verlegt werden und nicht mehr (so wie bis dahin üblich) in St. Stephan stattfinden.²⁹

So steht das neue Gebäude für ein neues Verständnis von Universität, das sich davor und danach in neuen staatlichen Regelungen und Vorschriften für den universitären Bereich niedergeschlagen hat. So waren 1752 im Rahmen der vor allem von Gerard Van Swieten betriebenen Reform der Universität neue Studienpläne³⁰ für die Philosophische und

²⁵ KARNER, Jesuiterplatzl (Anm. 24) 411.

²⁶ KARNER, Jesuiterplatzl, 399.

²⁷ KARNER, Jesuiterplatzl, 408 – Was die Wappen von Alt- bzw. Neu-Österreich betrifft, so bedürfen diese Ausführungen einer Korrektur, da die Adler des Wappens von Altösterreich links erhalten sind, der Schild rechts (vermutlich mit dem Bindenschild) aber leer ist; zu Alt- und Neuösterreich als Wappen vgl. kurz Richard PERGER, Wappen. In: Felix CZEIKE, Historisches Lexikon Wien, Bd. 5 (Wien 1997) 586f.

²⁸ Vgl. GRIMM, Die Schulreform Maria Theresias (Anm. 3) 93–104.

²⁹ Vgl. Ulrike DENK, Schulwesen und Universität. In: Wien. Geschichte einer Stadt, hrsg. von Peter CSENDES, Ferdinand OPLL, Bd. 2 Die frühneuzeitliche Residenz (16. bis 18. Jahrhundert) (Anm. 1) 365–421, hier 395.

³⁰ Vgl. Rudolf KINK, Geschichte der kaiserlichen Universität zu Wien, Bd. 1 Geschichtliche Darstellung der Entstehung und Entwicklung der Universität bis zur Neuzeit. Sammt urkundlichen Beila-

Theologische Fakultät erlassen worden, die sich gegen die Jesuiten richteten. Auch erhielten diese beiden Fakultäten nun Direktoren, die zunächst noch Jesuiten waren: P. Joseph Frantz für das philosophische, P. Ludwig Debiel für das theologische Studium. 1759 aber wurden sie – auf Betreiben des damaligen Erzbischofs von Wien Christoph Anton Graf Migazzi³¹ – ihres Amtes enthoben und durch die Jansenisten und Jesuiten-Gegner Ambros Simon Stock³² (Theologie) und Johann Peter Simen (Philosophie) ersetzt.³³ Dies hatte unter anderem zur Folge, dass nun im Bereich der Dogmatik auch die augustinische und die thomistische Theologie zu unterrichten war und dass im Bereich der Moraltheologie der von den Jesuiten vertretene Probabilismus verboten wurde.³⁴ Bereits zwei Jahre zuvor (1757), im Zuge der allgemeinen Universitätsreform³⁵, hatte der Rektor des Jesuitenkollegs seinen Platz im Konsistorium der Universität verloren. Was die Schulen betrifft, so wurde 1752 eine neue Studienordnung für Gymnasien auf der Linie der Anordnungen von 1735 erlassen, nun allerdings mit einer ihre Befolgung kontrollierenden staatlichen Schulaufsicht verbunden.³⁶

3. Weitere markante Ereignisse

In den dreißig Jahren, um die es hier geht, finden sich über die bereits geschilderten Vorgänge hinaus zahlreiche weitere Ereignisse, die in Zusammenhang mit den Aktivitäten der Jesuiten, ihrer Gegner und der Auseinandersetzung dieser beiden Seiten stehen. Als Beispiele dafür seien genannt:

1746 nimmt Maria Theresia das Angebot der Jesuiten an, ein Seminarium nobilium zu führen, und noch im selben Jahr nimmt das nach der Herrscherin benannte Collegium Theresianum³⁷ im früheren Schloss Karls VI. Favorita seine Tätigkeit auf. Ziel dieser Ritterakademie ist die Ausbildung für den Staatsdienst, weshalb auch Französisch, Reichsrecht und Reichsgeschichte, Staats- und Wirtschaftswissenschaften, bürgerliche und militärische Baukunst u.Ä. unterrichtet werden.

Im Jahr 1756 wird von den Jesuiten in Mauer ein eigenes Exerzitienhaus mit 35 Zimmern gebaut³⁸; in den folgenden Jahren Exerzitienkurse unterschiedlicher Art angeboten werden.

1758 gründet Erzbischof Migazzi ein eigenes Priesterseminar für die Erzdiözese Wien, um einen Klerus heranzubilden, der nicht mehr den Jesuiten und den von ihnen vertretenen Positionen verbunden ist, sondern der Lehre des Jansenismus folgt.³⁹

gen (Wien 1854) 458–463; ENGELBRECHT, Bildungswesen (Anm. 3) 189–192; DENK, Schulwesen und Universität (Anm. 29) 394–396; Peter STACHEL, Das österreichische Bildungssystem zwischen 1749 und 1918. In: Karl ACHAM (Hrsg.), Geschichte der österreichischen Humanwissenschaften, Bd. 1 Historischer Kontext, wissenschaftssoziologische Befunde und methodologische Voraussetzungen (Wien 1999) 115–146.

³¹ Zu Migazzis Rolle vgl. Peter HERSCHE, Erzbischof Migazzi und die Anfänge der jansenistischen Bewegung in Wien. In: MÖStA 24 (1971) 280–309.

³² Zu Stock vgl. HERSCHE, Spätjansenismus in Österreich (Anm. 1) 70–78; zu Simen 142.

³³ Vgl. WRBA, Hundertfünfzig Jahre von den Jesuiten geprägte Universität (Anm. 2) 70; HERSCHE, Spätjansenismus in Österreich (Anm. 1) 68.

³⁴ Vgl. HERSCHE, Spätjansenismus in Österreich (Anm. 1) 68, 103.

³⁵ Vgl. KINK, Geschichte der kaiserlichen Universität zu Wien (Anm. 30) 432–502, hier bes. 490–492.

³⁶ Vgl. PICHLER, Studienwesen (Anm. 3) Bd. 1, 30–37; ENGELBRECHT, Bildungswesen (Anm. 3) 146–148; GRIMM, Die Schulreform Maria Theresias (Anm. 3) 288–298; vgl. auch Wilhelm KAMMERER, Die Wiener Gymnasien von 1740–1848, ungedr. phil. Diss. (Wien 1951).

³⁷ Vgl. PICHLER, Studienwesen (Anm. 3) Bd. 2, 2, 693–707; DUHR, Jesuiten 4/1 (Anm. 9) 358–365; Eugen GUGLIA, Das Theresianum in Wien. Vergangenheit und Gegenwart (Wien 1912).

³⁸ DUHR, Jesuiten 4/1 (Anm. 9) 352.

³⁹ Vgl. HERSCHE, Spätjansenismus in Österreich (Anm. 1) 67f.

1760 verbietet Maria Theresia das Schultheater, *damit nicht die studierende Jugend mit ungeheurem Zeitverlust von weit nützlicheren Dingen so oft abgehalten werde*⁴⁰.

Im Jahr darauf (1761) wird auf Wunsch der Diözese Gran mit einem kaiserlichen Befehl den Jesuiten die Leitung des Pazmaneums, des ungarischen Priesterseminars in Wien, genommen.⁴¹

1767 ernennt Maria Theresia den Propst des Augustinerchorherrenstiftes St. Dorothea, den Jansenisten und Jesuitengegner Ignaz Müller, zu ihrem Confessor extraordinarius⁴² – praktisch aber ersetzt er den Jesuiten Ignaz Kampmiller, auch wenn dieser offizieller Beichtvater bis zur Aufhebung des Ordens 1773 bleibt. Dies ist aber kein singulärer Akt, sondern der Höhepunkt einer Entwicklung⁴³: Während am Beginn der Regentschaft Maria Theresias noch alle Hofbeichtväterstellen mit Jesuiten besetzt worden waren, erfolgte 1760 erstmals die Berufung eines Jansenisten, nämlich für Isabella von Parma, die erste Gemahlin des Thronfolgers Joseph, und seit dem Jahr 1767 sind etwa die Hälfte der Stellen mit Jesuiten, die andere Hälfte mit Jansenisten besetzt. Hersche schreibt dazu:

*Mit der Ablösung der Jesuiten als Hofbeichtväter gelang den Jansenisten der vielleicht bemerkenswerteste Einbruch in das traditionelle Gefüge der habsburgischen Monarchie.*⁴⁴

Und:

*Besonders empörend für die Betroffenen [d.h. die Jesuiten] aber war, daß die Herrscherin nicht einmal unparteiisch gesinnte Beichtväter an ihre Stelle setzte, sondern ihre verhassten Gegner, die Jansenisten.*⁴⁵

Im gleichen Jahr 1767 schließlich, nur sechs Jahre vor der Aufhebung des Ordens, erhält das 1714 eingerichtete Museum mathematicum am Akademischen Kolleg mit Apparaten für Optik, Hydraulik und Pneumatik sowie Astronomie und Geographie neue Maschinen und Instrumente.⁴⁶

4. Schluss

Die Jahre von 1740 bis 1773 sind, was die Gesellschaft Jesu in Wien betrifft, bewegte, spannende und spannungsreiche Jahre. Wie die Ausführungen gezeigt haben, sind einerseits die Jesuiten eine lebendige, hoch aktive und geistig rege⁴⁷ Ordensgemeinschaft. Gleichzeitig sind aber auch die Gegner des Ordens aktiv und arbeiten darauf hin, den Einfluss der Gesellschaft Jesu am Hof, in Schule und Universität zurückzudrängen. Der Streit, die Auseinandersetzung und die gegenseitige Beeinflussung der beiden Parteien prägen die Jahre wesentlich – bis schließlich die Aufhebung 1773 der Auseinandersetzung von außen ein Ende bereitet.

⁴⁰ DUHR, Jesuiten 4/1 (Anm. 1) 351.

⁴¹ Ebd. 353.

⁴² Vgl. HERSCHE, Spätjansenismus in Österreich, 128; zu Müller vgl. ebd., 125–134.

⁴³ Vgl. HERSCHE, Spätjansenismus in Österreich (Anm. 1) 134–148 (Die jansenistischen Hofbeichtväter); vgl. auch 148–162 (Das Herrscherhaus und der Jansenismus).

⁴⁴ Ebd. 135.

⁴⁵ Ebd. 137.

⁴⁶ DUHR, Jesuiten 4/1 (Anm. 1) 350.

⁴⁷ Vgl. auch Ladislaus [László] SZILAS, Die österreichische Ordensprovinz im Jahre 1773. Eine historisch-statistische Untersuchung. In: Archivum Historicum Societatis Iesu 47 (1978) 97–158; 297–349.

MARIA PETZ-GRABENBAUER (Wien)

WISSENSCHAFTSBEGRIFF UND BOTANIK ZUR ZEIT DES ROGER BOSCOVICH *Ein Überblick*

Eine augenfällige Besonderheit in der historischen Betrachtung der Entwicklung der Naturwissenschaften in der Epoche der Aufklärung ist an der Theologie absehbar, wobei im besonderen die zunehmende Emanzipation der „Philosophie“ in ihrer erkenntnistheoretischen Bedeutung für die Betrachtung der Natur bedeutende Paradigmenwechsel auslösen sollte.¹ Diesbezügliche philosophische Konzepte entstanden bereits im 17. Jahrhundert, führten aber erst im Verlauf des 18. Jahrhunderts in „biologischen Fragestellungen“ zu einschneidenden Veränderungen.²

Der holländische Philosoph Baruch Spinoza (1632–1677) stellte dem Dualismus von René Descartes seinen „mechanischen Pantheismus“ entgegen, eine Lehre von der „Einheit der Substanz“ – der Substanz, die durch sich selbst existiert, also Natur und Geist zugleich ist. Hatte Descartes drei „Substanzen“ angenommen, eine unendliche (und damit meint er den Schöpfer) und zwei endliche (das menschliche Denken und die Ausdehnung), so gibt es für Spinoza nur eine Substanz, die unendlich, unteilbar, ewig und notwendig ist. Als „natura naturans“ (= erzeugende Natur) wirkt das Unendliche nicht von außen auf die Dinge, sondern in ihnen selbst. Es ist „jenes ewige und unendlich Seyende, welches wir *deus sive natura* (Gott oder Natur) nennen.“³

Einschneidend waren die philosophischen Betrachtungen des Physikers Isaak Newton (1643–1727), der, auf Grundlage seiner mathematisch-physikalischen Forschungen, in seiner „*Philosophia naturalis principia mathematica*“ 1687 die Grundgesetze der klassischen Mechanik niederschrieb. Im Unterschied zu Descartes war Newton davon überzeugt, daß alle Bewegungen einer nicht-materiellen „Kraft“ zuzuordnen sind. Eine Kraft (Gravitation), die er folglich auch mathematisch beweisen konnte. Als Newton um 1717 diese „Gravitation“ auch bei biologisch-chemischen Erscheinungen zu suchen begann, beeinflusste diese in zunehmendem Maße auch die Meinungsbildung bei der Entwicklung neuer biologischer Theorien.⁴

Auch das Weltbild des Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) bindet in alternativer Weise zur Mechanik an diese Theorien an, indem Leibniz die Welt in einer Anzahl von Einheiten aufgebaut sieht (Monaden), wobei jede als ein nichtmaterielles Zentrum der Lebens-

¹ Ulrich KROLZIK, Das physikotheologische Naturverständnis und sein Einfluß auf das naturwissenschaftliche Denken im 18. Jahrhundert, in: *Medizinhistorisches Jahrbuch* 15, 1980, 90–102.

² Helmuth GRÖSSING, Naturwissenschaft und Aufklärung. Zum Verständnis des Wissenschaftsbegriffs der Aufklärung, in: *Katholische Aufklärung und Josephinismus* ed. Elisabeth Kovács (Wien 1979) 323–331. Zu dieser Thematik siehe auch: Alexander PEINE, *Innovation und Paradigma* (Bielefeld 2006).

³ Zitat bei Ilse JAHN, *Biologische Fragestellungen in der Epoche der Aufklärung*, in: *Geschichte der Biologie*, ed. Ilse JAHN, Erika KRAUSSE, Heidelberg (Berlin, 2000) 231ff.; Michael ESFELD, *Ontischer Holismus versus methodischer Reduktionismus. Ein Widerspruch in der Naturphilosophie von Descartes und Spinoza*. In: *Ein Widerspruch in der Naturphilosophie von Descartes und Spinoza*. In: *Philosophia Naturalis* 32 (1995) 71–99.; Wolfgang BARTUSCHAT, *Baruch de Spinoza*, (München 1996) 33ff.; Maria Cecilia Abdo FERREZ, *Die Produktivität der Macht. Eine Analyse der politischen Theorie von Baruch Spinoza* (Berlin – Buenos Aires, 2006) 25ff.

⁴ John COTTINGHAM, *Plato's Sun and Descartes's Stove: Contemplation and Control in Cartesian Philosophy*. In: *Rationalism, Platonism and God* ed. Michael AYERS, (New York 2007) 21ff.; Descartes hielt die Existenz eines „leeren Raumes“ für unmöglich und erklärte alle Bewegungen der Himmelskörper wie auch der irdischen Körper durch Übertragung materieller Impulse.

kraft zu verstehen ist. Die Monadenlehre⁵ findet sich in vielen Erklärungsversuchen biologischer Phänomene, und im naturgeschichtlichen Ordnungssystem (Stufenleiter-System) des 18. Jahrhunderts. 1705 äußert sich Leibniz in seinen Betrachtungen über das Prinzip des Lebens zu den damals aktuellen biologischen Streitfragen der Präformationstheorie, nahm an den mikroskopischen Entdeckungen Antony van Loewenhooks regen Anteil und erklärte das Weltganze als „ideale exakte Uhr“, die – einmal geschaffen – keines göttlichen Eingreifens mehr bedarf.⁶

An Leibniz knüpfte der Lehrer Immanuel Kants (1724–1804), Christian von Wolff (1679–1754), an, der ebenfalls als Mathematiker und Physiker die Philosophie von Leibniz systematisierte und popularisierte. Wolff erstrebte mit der *Grundlegung einer wissenschaftlichen Philosophie eine konsequente Anwendung der Vernunft in allen Lebensbereichen*.

Wolffs „Systemphilosophie“ beeindruckte die Zeitgenossen durch ihren Inhalt, ihre Methodik und Universalität, rief aber auch Kritik hervor, einerseits von Pietismus und Theologie, andererseits von den von den englischen Philosophen Francis Bacon und John Locke vertretenen Empirismus, der im 18. Jahrhundert von David Hume (1711–1776) neu formuliert wird. In seiner Untersuchung über den menschlichen Verstand (1748) weist Hume alle Metaphysik zurück und betont: *Ursachen und Wirkungen sind nicht durch Vernunft, sondern durch Erfahrung zu entdecken*.⁷ Dieser Aufklärungsphilosophie schloß sich im Wesentlichen dann Immanuel Kant durch seine Erkenntniskritik an.

Roger Joseph Boscovich in Wien

Als Roger Joseph Boscovich 1757 nach Wien reiste, war er bereits 46 Jahre alt, galt als Vermittler in diplomatischen Missionen, sowohl im Auftrag des Papstes als auch des kaiserlichen Hofes, war äußerst gewandt und hatte bereits den Ruf eines führenden Naturwissenschaftlers seiner Zeit erlangt.⁸ Als Mitglied der bedeutendsten wissenschaftlichen Akademien Europas und vor allem als „Fellow of the Royal Society“ zählten viele wichtige Persönlichkeiten zu seinen Freunden, so die Päpste Benedikt XIV. und Klemens XIII., aber auch Maria Theresia und ihr an allen Wissenschaften interessierter Mann, Kaiser Franz I. Stephan (von Lothringen).

Obwohl Boscovich dem Jesuitenorden zugehörig versuchte das Kaiserpaar und Kanzler Wenzel Kaunitz den Gelehrten als wissenschaftlichen Berater an den Wiener Hof zu binden. Doch leider vergebens. Boscovich arbeitete in Wien unbeirrt an seinem Lebenswerk, der „*Theoria philosophiae naturalis*“⁹, in der es sein Hauptbestreben war, eine auf Newtons Kraftkonzept beruhende, allumfassende Erklärung der elementaren Struktur der Materie zu geben und über die er selbst folgendermaßen reflektiert: *Die folgende Theorie ... stellt ein System vor, das in der Mitte zwischen dem von Leibniz und dem von Newton liegt: es hat sehr viel gemein mit beiden ... unterscheidet sich sehr stark von beiden ... ist immens viel einfacher als beide ...*¹⁰

⁵ Stephen F. MASON, Geschichte der Naturwissenschaft in der Entwicklung ihrer Denkweisen (Stuttgart 1991) 421ff.

⁶ Georg SÜSSMANN, Die klassische Naturphilosophie bei Newton und Leibniz, (Würzburg 1998).

⁷ HUME 1748, IV, 1, zit. nach der dt. Übers. von Herbert HERRING (1967) 44.

⁸ Rudger Joseph BOSCOVICH, Des Abt Joseph Boscovich Reise von Constantinopel, durch Romanien, Bulgarien, und die Moldau nach Lemberg in Pohlen (Leipzig 1779).

⁹ Rudger Joseph BOSCOVICH, *Philosophiae naturalis theoria redacta ad unicum legem virium in natura existentium* (Viennae 1758).

¹⁰ Hans ULLMAIER, Vom Kraftgesetz des Ruder Boscovich zum Bohrsche Atommodell, in: Mitteilungen der Österreichischen Gesellschaft für Wissenschaftsgeschichte 25, 67ff.

Seine „Theoria“ überarbeitete er in Wien ein zweites Mal¹¹, in einer Stadt, von der ausgehend durch die Einflußnahme Gerard Van Swietens, es zu großen Veränderungen innerhalb der Universitätssysteme in der Habsburger Monarchie gekommen war¹². Vor allem die Neuordnung biologischer Lehrinhalte¹³ dürften hier Boscovich zumindest gedanklich äußerst bewegt, als Angehörigen des Jesuitenordens in ihm vielleicht sogar Betroffenheit ausgelöst haben.

Freundschaftlich mit dem Kaiserhaus verbunden, wurde Boscovich gleich am Anfang seines Wienaufenthaltes mit dem wohl teuersten wissenschaftlichen Projekt, das bis dahin jemals vom Kaiserhaus finanziert wurde, konfrontiert: Es war dies die Anlage eines holländisch botanischen Gartens in Schönbrunn, für dessen Bepflanzung der Kaiser die Ausstattung einer wissenschaftlichen Expedition ins damalige „Westindien“ genehmigte und dafür die runde Summe von mehr als 30 000 Gulden ausgeben sollte.¹⁴

Dieses Projekt stand im direkten Zusammenhang mit den zeitgenössischen botanischen Forschungen, ausgelöst durch das gesteigerte überstaatliche, politische Gewinndenken hinsichtlich der praktischen Nutzbarmachung der Fortschritte in den Naturwissenschaften, aber auch mit den politischen Ideen des Merkantilismus, basierend auf den Populationstheorien Christian Wolffs. Diesen Ideen folgend legte bereits im Jahr 1749 der Protomedicus Van Swieten seine Ideen zur Neuordnung und Verbesserung der medizinischen Fakultät Maria Theresia vor, mit dem primären Gedanken, den Jesuiten diese zu entziehen. Dabei hob Van Swieten hervor, daß es, um fähiges Heilpersonal auszubilden, in Wien gänzlich an einem Unterricht in Botanik und Chemie mangle.¹⁵ Nach seiner Ansicht sollten beide Fachgebiete von einem Professor unterrichtet und im Interesse des Lehrvortrages sollte zusätzlich ein chemisches Laboratorium eingerichtet werden. Für den Unterricht gänzlich unentbehrlich erschien ihm auch ein botanischer Garten.¹⁶ Somit brachte die Reform der Wiener Medizinischen Fakultät im Jahre 1749 für die Ausbildung und Prüfung der angehenden Apotheker und Ärzte viele Erneuerungen. Vor allem wurde die Neuanstellung eines für die Mediziner wie Pharmazeuten gleich wichtigen Professors für Botanik und Chemie genehmigt und

¹¹ Zur Biographie s. u. a. Elizabeth Hill, Biographical Essay. In: Rudger Joseph Boscovich, ed. Lancelot Law Whyte (London 1961) 18–101.

¹² Ebd., 28.

¹³ Hierzu siehe Grete Klingenstein, Staatsverwaltung und kirchliche Autorität im 18. Jahrhundert. Das Problem der Zensur in der thesianischen Reform (München 1970); Erna Lesky, Adam Wandruszka (Hrsg.), Gerard van Swieten und seine Zeit. Internationales Symposium veranst. von d. Univ. Wien im Institut für Geschichte der Med. 8.–10. Mai 1972 (Wien 1973) (= Studien zur Geschichte der Universität Wien, Band 8); Erna Lesky, Meilensteine der Wiener Medizin. Große Ärzte Österreichs in drei Jahrhunderten (Wien 1981); zuletzt Peter Stachel, Das österreichische Bildungssystem zwischen 1749 und 1918. In: Karl Acham (Hrsg.) Geschichte der österreichischen Humanwissenschaften Bd.1: Historischer Kontext, wissenschaftssoziologische Befunde und methodologische Voraussetzungen (Wien 1999) 115–146.

¹⁴ Maria Petz-Grabenauber, Zu Leben und Werk von Nikolaus Joseph Freiherr von Jacquin. In: Wiener Geschichtsblätter, Heft 4, 1995, 126ff.; Christa Riedl-Dorn, Das Haus der Wunder. Zur Geschichte des Naturhistorischen Museums in Wien, 1998, 29ff.

¹⁵ Alois Kernbauer, Zwischen Zunft und Wissenschaft: Der österreichische Apotheker- und Pharmazeutenstand in der Krise: von der Mitte des 19. Jhs bis 1922, Geschichte der Pharmazieausbildung in Österreich 2 (Graz 1989) 25.

¹⁶ Maria Petz-Grabenauber, Zu Leben und Werk von Nikolaus Joseph Freiherr von Jacquin (Anm. 14) 121–150; Dies., Nikolaus von Jacquin und die erste Forschungsreise des Hauses Habsburg in die Karibik, in: Lothringens Erbe, hrsg. Renate Zedinger (Wien 2000) 197–206; Dies., Bausteine für eine zusammenfassende Geschichte des Botanischen Gartens der Universität Wien von 1754 bis 1945. In: Mitteilungen der Österreichischen Gesellschaft für Wissenschaftsgeschichte 19, Wien 1999, 105–121.

ein für den wissenschaftlichen Unterricht besonders notwendig erscheinender botanischer Garten in der damaligen ungarischen Vorstadt (dem heutigen Rennweg) geplant.¹⁷

Dieser Entwicklung folgend kaufte 1753 Kaiser Franz I. Stephan während der großangelegten Umgestaltung der Schönbrunner Gartenanlage von der Gemeinde Hietzing ein zusätzliches Grundstück und ließ auf diesem Areal einen weiteren für wissenschaftliche Zwecke dienenden *holländisch botanischen Garten* von ausgesuchten europäischen Hortologen einrichten.¹⁸

Einen Garten, den der Kaiser fast jeden Tag besuchte und der als sein Lieblingprojekt galt. Denn die Ausstattung mit exotischen, bis dahin unbekanntem Gewächsen, gepflanzt nach einem dazumal revolutionären System, dem System des schwedischen Botanikers Carl von Linné, sollte zum großen Wettspiel des Regenten mit anderen Herrscherhäusern werden.¹⁹

Doch auch in der Wiener Gesellschaft hatte man an der Liebhaberei des Kaisers Gefallen gefunden. So wie in Frankreich sich die Damen der Gesellschaft mit Zirkel und Fernrohr darstellen ließen, hielt in den Konversationsgepflogenheiten der Wiener Salons neben Musik und Literatur auch die moderne Wissenschaft „Botanik“ ihren Einzug. Somit war das neue Forschungsgebiet Mitte des 18. Jahrhunderts in Wien bereits als eigene Disziplin etabliert und zur Modewissenschaft geworden. Ein eher unbeachtetes Teilgebiet innerhalb der Naturwissenschaft, das bislang an den traditionellen deutschen Universitäten in zwei unterschiedlichen Fakultäten gelehrt wurde. Ein Teil der naturwissenschaftlichen Gebiete war in der Medizinischen Fakultät verankert, hier besonders die neue Disziplin Chemie, welche die Pflanzenkunde und die *Materia medica* (Pharmakologie) miteinbezog. Aber auch an den Philosophischen Fakultäten, wo primär die Mathematik, Astronomie und Physik (auch Naturlehre genannt) gelehrt wurden, sollten sehr bald die drei Naturreiche, die Pflanzen, Tiere und Mineralien, dirigiert durch die Fächer Chemie und Botanik einen besonderen Stellenwert einnehmen. Zweifelsohne führte dies zu Vermischungen mit dem Lehrangebot der Medizinischen Fakultäten und trug sehr bald auch zu Verwirrungen bei.

Ende des 18. Jahrhunderts gliederten sich aus den medizinischen und philosophischen Fächern immer mehr die Bereiche der biologischen Forschungsprobleme heraus und wurden als eigene Fach(lehr)gebiete selbständig. Diese Entwicklung war zum einen die Folge der zeitgemäßen und neuen Anforderungen an die Medizin, die eine gesonderte Ausbildung ihrer Fachvertreter notwendig machte, zum anderen nahmen die Land- und Forstwirtschaft als auch die Bergbauwissenschaften einen immer breiteren Stellenwert in den verschiedensten Forschungsbereichen ein. Wissenschaftlich ausgerichtete Reisen zur wirtschaftlichen Erforschung fremder Länder vermehrten das Wissen in bislang ungeahntem Ausmaß. Daraus resultierend wurden vermehrt neue Wege zur Bestimmung und Wiedererkennung der verschiedenartigen Naturlausformungen gesucht. Eine wesentliche Methode dabei war das Sammeln von Naturobjekten, wobei mitunter große Sammlungen aus Privatbesitz in öffentliches Eigentum übertragen wurden. Hier sind v.a. die schon sehr früh in Europa angelegten botanischen Gärten zu erwähnen, wo primär Pflanzen zusammengetragen wurden und das Bedürfnis nach einem international gültigen System entstand, um die Ordnung der Natur zu erkennen und gleichsam nachzuvollziehen.

¹⁷ Ebd.

¹⁸ Beatrix HAJÓS, *Die Schönbrunner Schloßgärten. Eine topographische Kulturgeschichte* (Wien, Köln, Weimar 1995) 183ff.; Maria PETZ-GRABENBAUER, *Nikolaus Jacquin und die Botanischen Gärten in Wien*, in: Österreichisches Bundesdenkmalamt ed., *Österreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege*, 2003, H. 3/4., 498ff. Marianne KLEMUN, *Der Holländische Garten in Schönbrunn, Inszenierte Natur und Botanik im Herrschaftlichen Selbstverständnis des Kaiserhauses*, in: ebd., 426ff.

¹⁹ Maria PETZ-GRABENBAUER, *Zu Leben und Werk von Nikolaus Joseph Freiherr von Jacquin* (Anm. 14) 121–150.

Tonangebend für diese Entwicklung im 18. Jahrhundert war die Persönlichkeit des aus Schweden stammenden Carl von Linné, der durch sein pionierhaftes Wirken erstmals verbindliche Regeln für Nomenklatur und Terminologie, für die Form von Art- und Gattungsdiagnosen und für die Kennzeichnung von Sammelobjekten einführte.²⁰ Sein hierarchisch-enkaptisches Ordnungssystem, das er 1735 mit feststehenden Kategorien von Klassen, Ordnungen, Gattungen und Arten konzipierte und in mehreren Auflagen immer wieder veränderte, folgte älteren Vorbildern, wie z.B. dem des Philosophen, Physiologen und Botanikers in Pisa, Andrea Cesalpino (1519–1603), oder dem des Cambridger Theologen, Naturforschers und Altphilologen John Ray (1627–1705).²¹

Das physikotheologische Weltbild des Carl Linné

Der am 23. Mai 1707 in Rashult (= 110 km von Lund entfernt) geborene Carl Linné gehörte zu den Naturforschern, die sich bemühten, das „Buch der Natur“ zu lesen, während sie die Natur selbst als Offenbarung Gottes neben der Bibelübersetzung betrachteten und dabei beharrlich an dem Glauben festhielten, daß die Schöpfung unveränderlich sei.²²

Linné war der Sohn der evangelischen Pfarrerstochter Christina Broderson (1688–1733) und des Geistlichen Nils Ingermarsson (1674–1748), der sich auf Grund einer großen Liebe zu einer mächtigen alten Linde in der Heimat seiner Vorfahren den Familiennamen „Linneus“ zulegte.²³ Seinem Vater, ein begeisterter Gärtner und Blumenfreund, der mit Vorliebe ausgesuchte Bäume und seltene Pflanzen als einen lebendigen Lobgesang Gottes um sein Pfarrhaus anpflanzte, gelang es, einen der schönsten Gärten der ganzen Gegend an anzulegen.²⁴ Die Schönheit der Natur immer vor Augen wuchs Carl Linné demzufolge mit einer immensen Liebe zur Natur auf, zählte jedoch in der Schule zu den schlechtesten Schülern, sodaß die Lehrer dem Vater nahelegten, den Sohn besser zu einem Handwerker in die Lehre zu geben. Erst ein Jahr vor Abschluß des Gymnasiums erkannte der Hausarzt der Familie Linné, Johann Rothmann, der gleichzeitig auch Physik am Gymnasium unterrichtete, das physikalische und mathematische Talent von Carl Linné und bemerkte auch, daß er eine Vielzahl von Pflanzennamen auswendig kannte. Somit gelang es ihm trotz aller Hindernisse ein Medizinstudium abzuschließen, wiederum sehr zum Leidwesen seines Vaters, der ihn lieber als seinen Nachfolger gesehen hätte.²⁵ Als Naturforscher blieb Carl Linné im Grunde seines Herzens sehr wohl dem Vorbild des Vaters treu und betrachtete alle Ausformungen der Natur zeit seines Lebens als einen Ausdruck göttlicher Kraft. Wenn Carl Linné Naturforschung betrieb, so geschah dies im Auftrag an ihn als einem vom Schöpfer Erwählten.²⁶ Nicht Erkenntnis dieser Schöpfung als Selbstzweck, geschweige denn zur wirtschaftlichen Nutzung stand im Vordergrund seiner Naturbetrachtung, sondern die in der Bemühung um Erkenntnis und aus derselben erwachsenden Verherrlichung Gottes.²⁷ Eigenes Einfühl-

²⁰ Maria PETZ-GRABENBAUER, Zu Leben und Werk von Nikolaus Joseph Freiherr von Jacquin (Anm. 14) 121–150; Ilse JAHN, Biologische Fragestellungen in der Epoche der Aufklärung (Anm. 3) 237ff.

²¹ Dieter MOLLENHAUER, Die Vielfalt: die Formen der Lebewesen-Morphologie und Systematik und ihre Geschichte. In: Lebenswissen, hrsg. Ekkehard HÖXTERMAN & Hartmut H. HILGER, 2007, 290ff.

²² Ulrich KROLZIK, Das physikotheologische Naturverständnis (Anm. 1) 90–102.

²³ Lisbet KOERNER, Linnaeus: Nature and Nation, Massachusetts (London 2000) 19ff.

²⁴ Karl MÄGDEFRAU, Geschichte der Botanik. Leben und Leistung großer Forscher (Stuttgart 1973) 52ff.

²⁵ Heinz GOERKE, Carl von Linné, Arzt-Naturforscher-Systematiker 1707–1778 (Berlin 1966) 24ff.

²⁶ Sten LINDROTH, The two faces of Linnaeus, in: Linnaeus, the man and his work ed. Tore Frängesmyr, (Berkeley – Los Angeles – London 1983) 1ff.

²⁷ Elis MALMESTRÖM, Die religiöse Entwicklung und die Weltanschauung Carl von Linnés. In: Zeitschrift für systematische Theologie 19, 1942, 31ff.

ungsvermögen, die Sexualtheorien des Londoner Botanikers und Arztes Nehemiah Grew (1644–1712) und des Tübinger Mediziners und Botanikprofessors Joachim Camerarius d.J. (1534–1598), aber auch noch aristotelische Einflüsse führten sein Interesse hin zu den Blüten der Pflanzen, die zur Hauptgrundlage seiner Untersuchungen wurden und schließlich zur Begründung seines revolutionären Pflanzensystems führten.²⁸ Bereits 1731 skizzierte er in seinem „Systema naturae“ ein Sexualsystem, das auf Verteilung, Zahl und Verwachsung der Staub- und Fruchtblätter begründet ist²⁹ und konnte sich bei den Kategorien seines Systems der Natur auf eine Reihe grundlegender Vorbilder stützen. So ist hier vor allem der Pariser Gartenvorsteher Joseph Pitton de Tournefort (1656–1708) zu erwähnen. Mit seinem System wurde Carl Linné bereits während seiner Gymnasialzeit durch den Hausarzt der Familie Linné, Johann Rothmann, vertraut gemacht.³⁰ Tournefort entwickelte ein auf Blüten gegründetes Pflanzensystem, das er in seinen „Éléments de Botanique“ im Jahr 1694 veröffentlichte. Sein streng hierarchisches System gliederte er in Klassen, Sektionen, Gattungen und Arten, wobei es eine besondere Leistung war, daß er durchgehend Gattungsdiagnosen aufstellte. Tournefort stützte sich dabei auf Arbeiten des englischen Theologen und Naturhistorikers John Ray (1628–1705), der in gleicher Weise Linné nachhaltigst beeindruckt sollte.³¹ Im Besonderen wurde Linné durch das künstliche Pflanzensystem des Professors der Medizin und Direktors des Botanischen Gartens der Universität Pisa, Andrea Cesalpino (1519–1603), beeinflusst, den er „primus versus systematicus“ nannte und der Bäume, Sträucher, Kräuter etc. ... nach bestimmten Merkmalen im Bau der Früchte weiter untergliederte.³²

Der Schweizer Gaspard (Kaspar) Bauhin (1560–1624) stellte in seinem „Botanischen Theater“ dem Modell Cesalpinos bereits ein natürliches Ordnungssystem gegenüber, das die Gesamtgestalt der Pflanze berücksichtigte. Er führte im Jahr 1623 morphologisch ähnliche Pflanzen erstmals in Gattungen (genera) zusammen und gab ihnen substantivische Namen, die Linné übernehmen sollte. Die dazugehörigen Arten (species) wurden mit einem oder mehreren originellen Adjektiven differenziert.

Von hier war es nicht mehr weit zu einer binären Nomenklatur. Die Vorzüge einer aus zwei Worten bestehenden Benennung hatte bereits August Quirinus-Rivinus im Jahr 1690 gerühmt, sich jedoch selbst nicht nach dieser Empfehlung gerichtet. Linné hingegen hatte in konsequenter Weise die binäre Nomenklatur durchgeführt und damit eine ganz wesentliche Grundlage für die gesamte Biologie geschaffen. Durch die zweiteiligen Pflanzennamen, bestehend aus substantivischen Gattungs- und adjektivischen Artnamen, fielen die bis dahin üblichen, oft zeilenlangen, von jedem Verfasser anders dargestellten Benennungen, die sog. „Phrasen“, weg.³³

Darüber hinaus teilte Linné das Pflanzenreich in 24 Klassen ein, von denen er die I.–XXIII. Klasse „Publicae“ nannte und die Erläuterung hinzufügte: *Nuptiae coram totum mundum visibilem apertae celebrantur.*

²⁸ Dieter MOLLENHAUER, Die Vielfalt: Die Formen der Lebewesen – Morphologie und Systematik und ihre Geschichte (Anm. 21) 295.

²⁹ Frans A. STAFLEU, Linnaeus and the Linnaeans. The spreading of their ideas in systematic botany, 1735–1789 (Utrecht 1971) 115ff. Anne BÄUMER, Geschichte der Biologie des 17. und 18. Jahrhunderts 3 (Frankfurt am Main 1996) 257ff. Zu den Anfängen der Systematik vgl. MÄGDEFRAU (1992) 43ff. und JAHN (1998) 219.

³⁰ MÄGDEFRAU, Geschichte der Botanik (Anm. 24) 61ff.; STAFLEU, Linnaeus and the Linnaeans (Anm. 29) 118ff.

³¹ MOLLENHAUER, Die Vielfalt: Die Formen der Lebewesen (Anm. 21) 295.

³² MÄGDEFRAU, Geschichte der Botanik (Anm. 24) 44ff.

³³ Siehe u.a. STAFLEU, Linnaeus and the Linnaeans (Anm. 29) 79ff. Lisbet KOERNER, Linnaeus: Nature and Nation, Massachusetts (London 2000) 15ff.



Carl Linné in Lappentracht und Frauenmütze. In Händen hält er die „*Linna borealis*“ (Moosglöckchen), das Jan Frederick Gronovius nach Linné benannte.
Kolorierter Kupferstich nach einem Portrait von M. Hoffman,
Holland 1735–1738.

Die XXIV. Klasse nennt er „Clandestinae“ und fügte die Erläuterung hinzu: *Nuptiae clam instituuntur; des weiteren Phanerogame und Cryptogame.*³⁴ So glücklich sich die Staubgefäße und Fruchtblätter als Klassifikationsmerkmal für die praktische Arbeit erwiesen, denn hier lagen Zahlenverhältnisse vor, die sich kurz und eindeutig angeben ließen, so bedenklich waren für das damalige Sittenbewußtsein seine beigefügten Vergleiche und Erläuterungen aus dem menschlichen Eheleben. Sogar Johann Wolfgang von Goethe, der Linné über alle Maßen verehrte, kann nicht umhin, fast acht Jahrzehnte später darüber folgendermaßen zu urteilen: *Wenn unschuldige Seelen, um durch eigenes Studium weiter zu kommen, botanische Lehrbücher in die Hand nehmen, können sie nicht verbergen, daß ihr sittliches Gefühl beleidigt sei: die ewigen Hochzeiten, die man nicht los wird, wobei die Monogamie, auf welche Sitte, Gesetz und Religion gegründet sind, ganz in vage Lüsterheit sich auflöst, bleiben dem reinen Menschensinn unerträglich.*³⁵

Hierbei ist freilich zu bedenken, daß es sich bei dem lateinischen Wort *nuptiae* um ein sogenanntes Singularetantum handelt, sodaß dies nicht als „Ausschweifungen“ interpretiert werden muß sondern als eine einzige, in hehrem Idealismus vollzogene Ehe verstanden werden kann.³⁶

Aber dennoch erlebte zu seinen Lebzeiten sein „Systema Naturae“ zwölf Auflagen. Die erste bestand nur aus vierzehn Folioblättern, die zwölfte umfaßte zweitausenddreihundert Seiten in drei Oktavbänden.

Da Linné die Zusammenfassung von Gattungen und Arten in Gruppen, die sich aus dem Grad ihrer Verwandtschaft ergaben, noch nicht kannte, eine Abstammungslehre im heutigen Sinne ihm gänzlich fremd war, blieb ihm nichts anderes übrig, als sich auf ein solcherart künstlich geschaffenes System zu berufen. Die Zuverlässigkeit seines Erklärungsversuchs, daß die Grundlage seines Systems die Lehre von der Konstanz der Art darstellt, soll er durch oft wiederholte Aussaaten der gleichen Art in seinem Garten in Uppsala erprobt haben. Allerdings mußte er im Laufe seines Lebens erkennen, daß völlige Artkonstanz doch nicht besteht.³⁷

Erst nachdem die Pflanzenarten mittels der binären Nomenklatur, die für die, wie gesagt, Gattung ein lateinisches Substantiv und als Artbezeichnung ein hinzugefügtes lateinisches Adjektiv vorsah, eindeutig benannt waren (1753) führte Linné 1758, in der 10. Auflage seines „Systema Naturae“, das gleiche Nomenklaturprinzip auch für das Tierreich ein.³⁸

Grundsätzlich war Linné Anhänger der im 18. Jahrhundert üblichen Vorstellung der Stufenleiter, in der das Niedere dem Höheren zu dienen hat, wobei das Niedrigste die unbelebte Natur, die Steine und Minerale sind, auf die das Pflanzenreich und schließlich das Tierreich folgen. Den Menschen stellte Linné an die Spitze des Tierreichs, bezeichnete ihn

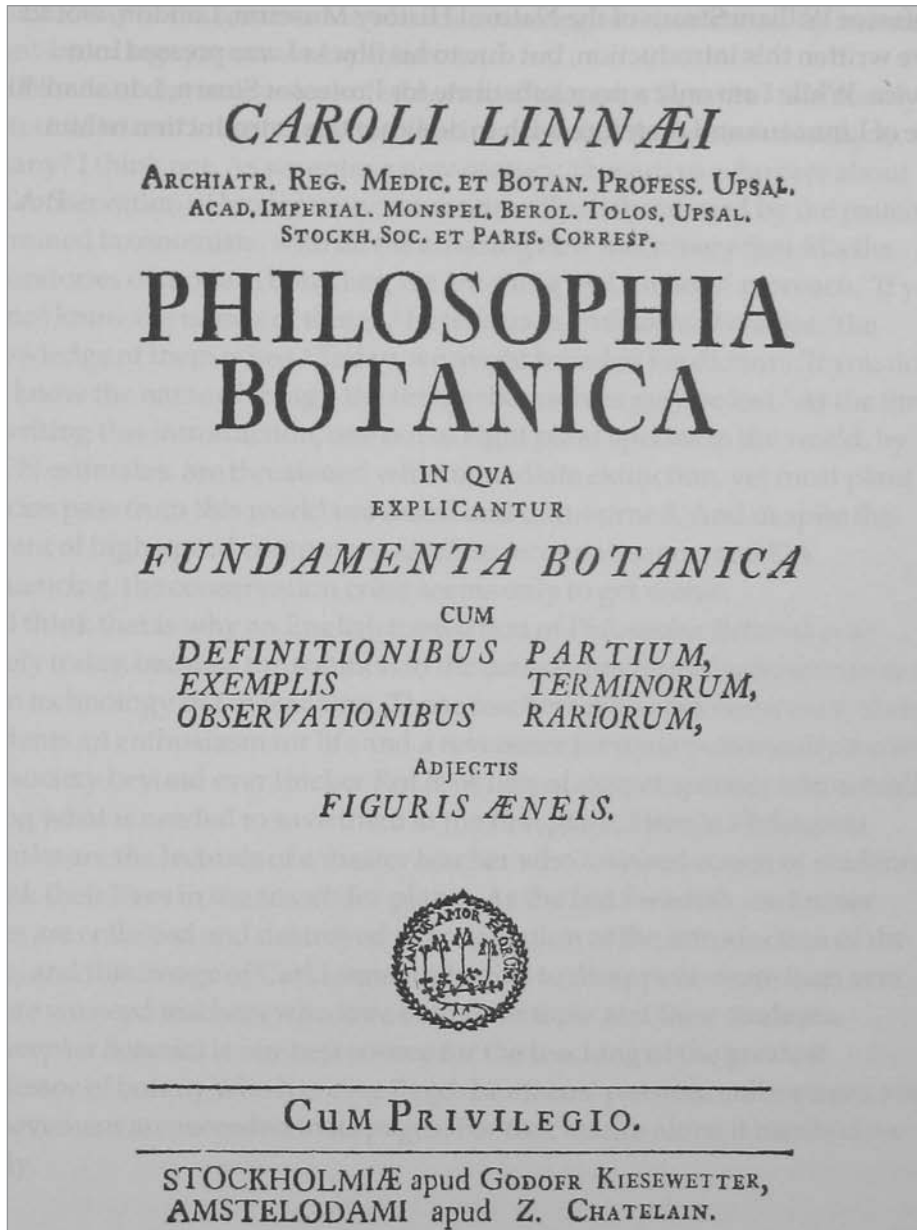
³⁴ MÄGDEFRAU, Geschichte der Botanik (Anm. 24) 61ff.; STAFLEU, Linnaeus and the Linnaeans (Anm. 29) 115ff.

³⁵ MÄGDEFRAU, Geschichte der Botanik (Anm. 24) 44ff.

³⁶ Für diesen Hinweis danke ich ganz besonders Herrn Prof. Hubert Reitterer, Wien.

³⁷ Staffan MÜLLER-WILLE, Genealogie, Naturgeschichte und Naturgesetz bei Linné und Buffon. In: Genealogie als Denkform in Mittelalter und Früher Neuzeit, hrsg. Kilian HECK und Berhard JAHN (Tübingen 2000) 109–119ff.

³⁸ Zu Carl Linné siehe u.a.: Knut HAGBERG, Carl Linnaeus (Stockholm 1939); DERS., Carl Linnaeus, Den Linneanska Traditionen (Stockholm 1951); Hans QUERNER, Über Linnés ökologische Vorstellungen. In: Heinz GOERKE (Hrsg.) Carl von Linné. Beiträge zu Zeitgeist, Werk und Wirkungsgeschichte (Hamburg 1980). Heinz GOERKE, Carl von Linné. Arzt- Naturforscher-Systematiker (Stuttgart 1989); Armin GEUS, Von der Naturgeschichte zur Geschichtlichkeit der Natur. In: Andreas GROTE (Hrsg.), Macrococosmos in Microcosmo (Opladen 1994); Olof DIXELIUS, Linnétraditionen i svensk Litteratur. En kritisk översikt. In: KUNGL: VITTERHETS HISTORIE OCH ANTIKVI-TETS AKADEMIEN, Filologiskt arkiv 42 (Stockholm 2000).



Carl Linné, *Philosophia Botanica*, Titelblatt,
 Stockholm – Amsterdam 1751.

auch ausdrücklich als Primaten, eine zu seiner Zeit sehr progressive Entscheidung, wobei er sich bereits über kirchliche Divergenzen hinwegsetzte.³⁹

Obwohl er den *homo sapiens* in das Tierreich als eine Gattung in die Ordnung der Primaten einordnete, bedeutete sein System für einige Forscher eine Behinderung v.a. für die Entfaltung der Entwicklungslehre. Der französische Naturforscher und Mathematiker George-Louis Leclerc, Comte de Buffon (1707–1788) kritisierte das Linnésche System u.a. mit dem Argument, daß Gattung und Art keine objektiven Begriffe seien, sondern nur Namen für eine praktische Einteilung einer komplizierten Wirklichkeit. Auch die Anschauung, daß nichts als das Individuum außerhalb des Geistes existent sei, entfachte erneut den mittelalterlichen Disput zwischen Realismus und Nominalismus.⁴⁰ Auf Buffon reagierte Linné, indem er immer wieder vor dessen Beredsamkeit warnte und er weigerte sich auch in einem Raum zu essen, wo man Buffons Bild neben dem seinen aufgestellt hatte. In zugänglicheren Augenblicken gab Linné zu, daß sein System unvollständig, die Einteilung der Pflanzenwelt nach geschlechtlichen Merkmalen nicht allumfassend sei.⁴¹

Schließlich schlug er in seiner „Philosophia botanica“ ein natürliches System, das den Gesamtbau der Pflanze berücksichtige, mit 67 Familien vor. In seiner „Philosophia botanica“ ist besonders darauf hinzuweisen, daß Carl Linné mit seiner klaren Ordnung, die er in seinem „Systema naturae“ vorgegeben hatte, nicht unbedingt einen Hauptauftrag an einen systematischen Botaniker erblickte. Wie er mit folgender Niederschrift zugab, war u.a. ein wissenschaftliches Ziel von ihm auch ein „natürliches System“: *Methodi naturalis fragmenta studiose inquirenda sunt. Primum et ultimum hoc in botanicis desideratum est*. Sicherlich konnte ihm sein System, ebensowenig wie später den vielen anderen Systematikern, die noch nicht die deszendenztheoretische Basis kannten, keine Erklärung eines erst in nachfolgender Zeit entwickelten phylogenetischen Entwicklungsverlaufes des Pflanzenreiches bieten; denn die Arten galten ihm als Produkte der Schöpfung, die größeren Gruppen nicht als Entwicklungsreihen, sondern als ein Ausdruck eines unabänderlichen Schöpfungsplanes. Sein System sollte nicht die Art in ihrer Fortentwicklung, sondern die Schöpfung der Formen zur Darstellung bringen. Besonders in diesem Zusammenhang verdient es hervorgehoben zu werden, daß Linné die Zeit für den Ausbau eines natürlichen Systems für noch nicht gekommen hielt, sein unsterbliches Verdienst ist es jedoch, daß er mit allem Nachdruck auf die Wichtigkeit eines solchen immer wieder hingewiesen hat.⁴²

In Linnés Fußstapfen setzten Hunderte von enthusiastischen Gelehrten die botanische Forschung fort. Es entstanden alternative Pflanzensysteme nach „natürlichen“ Methoden, wobei hier besonders die französische Botanikerfamilie Jussieu hervorzuheben ist, mit der Linné in sehr großer Freundschaft verbunden war.

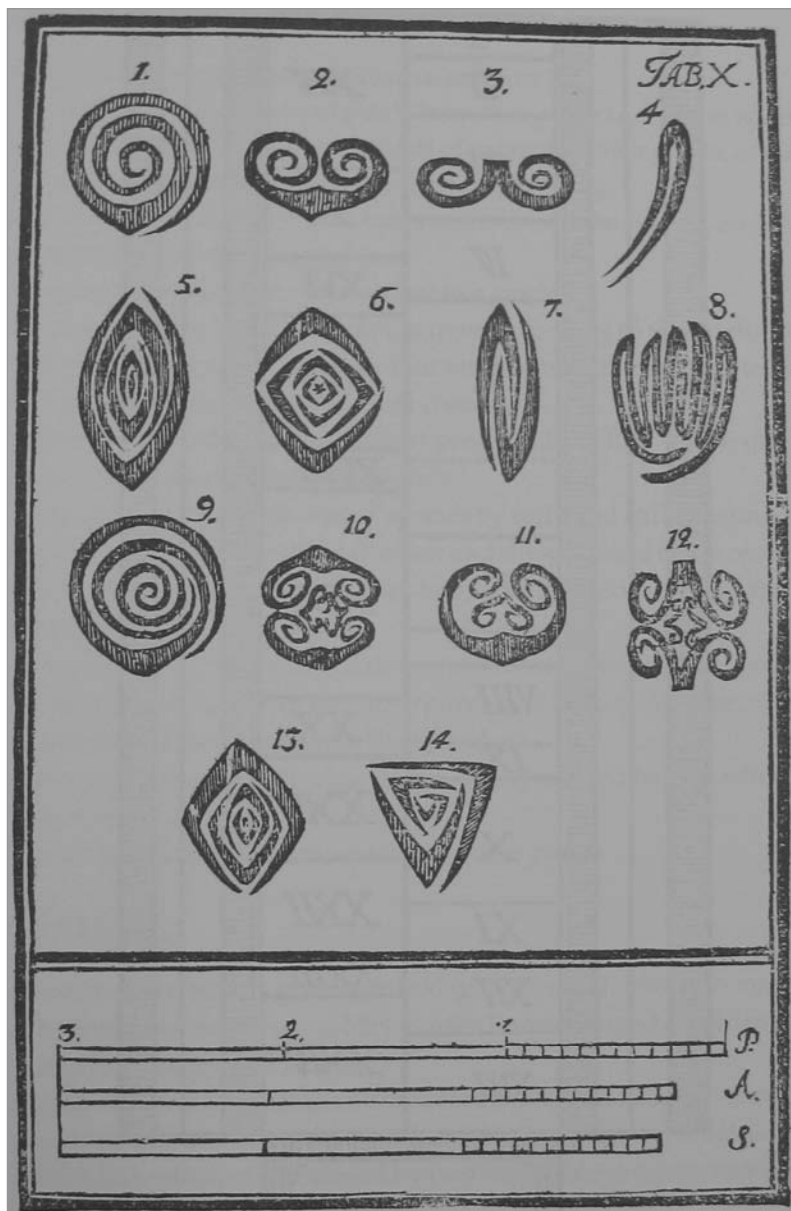
Neue Paradigmen ergaben sich auch für die Pflanzenphysiologie, veranlaßt durch die neuen Erkenntnisse in der Physik eines Luigi Galvani und in der Chemie eines Antoine Lavoisier. Im Brennpunkt der Interessen Ende des 17. Jahrhunderts stand die individuelle Entwicklung der Organismen. Die artspezifische Gestaltbildung war Gegenstand

³⁹ Philipp C. RITTERBUSH, *Overtures to biology. The speculations of eighteenth-century naturalists* (London 1964) 112ff.

⁴⁰ Phillip Reid SLOAN, *The Buffon-Linnaeus Controversy*. In: *Isis* 67, 75 und 356ff. MÜLLER-WILLE, *Genealogie, Naturgeschichte und Naturgesetz bei Linné und Buffon* (Anm. 37) 109–119.

⁴¹ Ilse JAHN, *Biologische Fragestellungen in der Epoche der Aufklärung*. In: *Geschichte der Biologie*, ed. Ilse JAHN, Erika KRAUSSE (Heidelberg – Berlin, 2000), 237ff.

⁴² Friedrich VIERHAPPER, *Karl von Linné. Zu seinem 200. Geburtstag*. In: *Botanische Rundschau* 24, 1907, 4ff.; Richard von WETTSTEIN, *Handbuch der Systematischen Botanik*, 2. Aufl. (Leipzig – Wien 1911) 3ff.; Staffan MÜLLER-WILLE, *Genealogie, Naturgeschichte und Naturgesetz bei Linné und Buffon*. In: *Genealogie als Denkform, in Mittelalter und Früher Neuzeit* hrsg. Kilian HECK und Berhard JAHN (Tübingen 2000) 111ff.



Blattquerschnitte mit Maßstäben. In: Carl Linné, *Philosophia Botanica*, Tab. X, Stockholm – Amsterdam 1751.

von Kreuzungsexperimenten, die zu Vererbungsgesetzen hinleiteten und die Sexualität der Pflanzen vor allem durch Josef Koelreuter bewiesen.

Durch die Lehre des Schweizer Naturforschers Albrecht von Haller, der „der lebenden Faser“ spezifische Eigenschaften zuschrieb, vollzog sich in der bis dahin mechanistischen Interpretation von Lebensprozessen ein bedeutender Wandel. Nahezu alle pflanzenphysiologischen Versuche wurden in der Folge unter diesem Paradigma durchgeführt.⁴³ Gleich der Gravitationslehre des Isaak Newton wurden nun Lebensprozesse durch eine der lebenden Substanz innewohnenden „Kraft“ definiert, mit physikalischen Erscheinungen gleichgesetzt, und der Galvanismus als das Wesen des Lebens aufgefaßt. Die Gegenüberstellung der organisierten Körper zur anorganischen Natur führte schlußendlich um 1800 zur Bildung des Begriffs BIOLOGIE.⁴⁴

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß zu den bisher genannten Persönlichkeiten noch eine große Anzahl von Naturforschern zu dieser Entwicklung beigetragen haben, die aber hier unerwähnt bleiben müssen. Hervorheben möchte ich abschließend jedoch noch einmal die Persönlichkeit Carl von Linnés, der nicht nur durch sein botanisches Lebenswerk, sondern auch durch seine persönliche Ausdruckskraft richtungsweisend das Kultur- und Geistesleben des Zeitalters der Aufklärung geprägt hat. Goethe bezeichnete Linné vor Shakespeare und Spinoza als die größte Persönlichkeit, die seine Philosophie des Lebens beeinflusst hat.

1761 wurde der schon zu seiner Zeit hochgeschätzte Linné für sein 7000 Seiten umfassendes Lebenswerk geadelt. Er hatte es seinem Physiklehrer Johann Rothmann zu verdanken, daß er der Fügung entging, den ehrbaren Beruf eines Schusters erlernen zu müssen, und er verstarb im selben Jahr (1778) wie François Marie Arouet Voltaire und Jean Jacques Rousseau. Rousseau, der Linnés „Philosophia botanica“ übersetzt hatte, verbeugt sich in einem Brief (1771) tief vor der Persönlichkeit des großen Gelehrten: *Empfangen Sie, lieber Herr, die Hochachtung eines sehr Unwissenden aber sehr Eifrigen unter Ihren Schülern, der der Meditation über Ihre Schriften einen großen Teil seiner Seelenruhe verdankt. ... Ich verehere Sie von ganzem Herzen!*⁴⁵

⁴³ Ilse JAHN, Biologische Fragestellungen in der Epoche der Aufklärung (Anm. 3) 234.

⁴⁴ Ebd.

⁴⁵ MÄGDEFRAU, Geschichte der Botanik (Anm. 67ff.; Patrick RILEY, Life and Works of Jean Jacques Rousseau (1712–1778). In: The Cambridge Companion to Rousseau, hrsg. Patrick RILEY (Massachusetts 2000) 6ff. – Mein besonderer Dank gilt Helmuth Grössing, der mir bei der Deutung der Schriften Carl Linnés viele wertvolle Hinweise gegeben konnte.

VOLKER BIALAS (München)

BOSCOVICH ALS INGENIEURWISSENSCHAFTLICHER GUTACHTER UND WISSENSCHAFTSINITIATOR

1. Einführung

Mit der vorliegenden Thematik werden hauptsächlich die praktischen Arbeiten von Boscovich im Zusammenhang mit der Begutachtung technischer Projekte und seine Tätigkeit als Initiator und Berater wissenschaftlicher Untersuchungen, vorzugsweise in der Astronomie und Geodäsie, behandelt. Dagegen werden in diesem Beitrag Inhalt und Wirkung seiner theoretischen Arbeiten, insbesondere seines Hauptwerkes „*Theoria philosophiae naturalis*“ von 1758, das einen neuen theoretischen Entwurf der Mikrostruktur der Materie und der Massenpunkt-Mechanik zum Inhalt hat, nicht erörtert.

Bedenken wir, daß Boscovich nicht weniger als vier Jahrzehnte als Gutachter auf den Gebieten des Wasserbauwesens und der Baustatik mit großem Erfolg tätig war, so haben wir es hier überhaupt mit einem Schwerpunkt seiner Tätigkeiten, der gesondert zu würdigen ist, zu tun.

Allerdings war die Ausführung derartiger praxisbezogener Arbeiten durch Theoretiker der sich herausbildenden exakten Naturwissenschaften um 1750 nicht ungewöhnlich. So legte beispielsweise der Jesuit Leonardo Ximenes, Professor für Geographie und Mathematik, Gründer einer Sternwarte in Florenz und zugleich Boscovichs größter Rivale auf dem Gebiet der Hydrodynamik, zahlreiche Gutachten über die Regulierung von Flüssen und über die Schiffbarkeit des Po vor. Noch fehlte es jedoch an speziellen ingenieurwissenschaftlichen Ausbildungsstätten, wie sie für die neuen technischen Großprojekte der sich herausbildenden Industriegesellschaft bald erforderlich waren.

Boscovich, im Jahr 1740, also bereits im Alter von 29 Jahren, auf den Lehrstuhl für Mathematik am *Collegium Romanum* berufen, wurde bald darauf durch Vermittlung von Kardinal Valenti Gonzaga von Papst Benedikt XIV. (1740–1758) mit der Bearbeitung ingenieurwissenschaftlicher Arbeiten beauftragt, später auch von dessen Nachfolger Klemens XIII. (1758–1769), von Kaiserin Maria Theresia (1740–1780) und anderen Potentaten.

2. *Boscovich als baustatischer Gutachter*

Mit derartigen technisch-wissenschaftlichen Problemstellungen verbanden sich für Boscovich häufig diplomatische Aufgaben, wie beispielsweise bei der Entscheidung über das Ozzeri-Projekt in Wien im Jahr 1757. Dabei ging es um einen Streit wegen einer Drainage in der Grenzregion zwischen der habsburgerischen Toscana und der Republik Lucca, die Boscovich als ihren Sachverständigen gewann und an den Kaiserlichen Hof schickte. Es sollte ein neuer Kanal, der vom Lago di Bientina gespeist werden sollte, durch die Ebene von Luccese und die Stadt Lucca geführt werden und einen Teil des bereits bestehenden Kanals von Ozzeri miteinbeziehen.¹ Sein Gegenspieler, der die Interessen der Toscana verteidigte, war der schon genannte Leonardo Ximenes (1716–1786). Boscovich gewann in diesem Streit und erhielt daraufhin von der Republik Lucca im selben Jahr 1757 den Adelstitel verliehen, den Boscovich aber nach den Bestimmungen seines Ordens nicht annehmen durfte.

¹ Guiseppe Ruggiero BOSCOVICH, *Riflessioni sulla relazione dell' abato Ximenes, appartenente al progetto d' un nuovo Ozzeri nello stato Lucchese*. In: *Opere Idrauliche* 1823, 199–226; hier No. 4 auf 199–200.

Zu dieser Zeit hatte sich Boscovich auf dem Gebiet der Baustatik bereits einen Namen gemacht, vor allem durch eine Expertise über die Stabilität und die Bauschäden der Kuppel der Peterskirche in Rom des Jahres 1742, die er im Auftrag des Papstes gemeinsam mit den Mathematikern François Jacquier und Thomas Le Seur ausführte.² (Abb. 1)

Das Ungewöhnliche in der Vorgehensweise dieser Arbeiten, die von Boscovich geleitet wurden, bestand darin, daß nicht allein von den Erfahrungsregeln der Baufachleute ausgegangen wurde, sondern die Standfestigkeit des Bauwerkes auch nach wissenschaftlichen Methoden geprüft wurde. Dementsprechend stand am Anfang der Untersuchung eine Art Rechtfertigung der neuen Methode gegenüber den Praktikern:

„Wir sind vielleicht verpflichtet, uns bei den vielen zu entschuldigen, die nicht nur die Praxis der Theorie vorziehen, sondern überhaupt allein die Praxis für notwendig und angebracht halten, die Theorie dagegen für schädlich.“³

Die Berechnung lief darauf hinaus, die Größe des Horizontalschubs der Kuppel, dem die eingebauten eisernen Zugringe standzuhalten hatten, zu bestimmen. Das zugrunde liegende statische Prinzip, schon Leonardo da Vinci bekannt, lautete:

„(Die einfache Maschine), die imstande ist, ein Gewicht G um die Höhe h zu heben, kann auch ein Gewicht $n \cdot G$ um die Höhe $\frac{1}{n} \cdot h$ heben.“

Bei Boscovich resultiert aus diesem Prinzip die folgende dynamische Gleichgewichtsbedingung:⁴

*Zwei gegeneinander gerichtete Kräfte sind dann im Gleichgewicht, wenn die Geschwindigkeit der Bewegung der ersten infolge der Wirkung der zweiten größeren Kraft um so viel größer ist als die Geschwindigkeit der zweiten Kraft (wie die zweite Kraft an sich größer als die erste ist). Daraus folgt also, daß die Energie oder das Moment einer Kraft mit der Geschwindigkeit wächst oder sich verringert. Seine Größe ergibt sich aus dem Produkt Kraft mal Weg, der bei geringerer Intensität der eigenen Richtung entgegengesetzt ist und, wenn die Intensität höher ist, gleiche Richtung hat.*⁵

Für den tatsächlichen Verlauf der Risse aufgrund der Bewegung der Kuppel wurde dann ein graphisches Schema aufgestellt, aus dem auf geometrischem Wege das Verhältnis der Verschiebungswege der Massen des Bauwerkes und der sich dehnenden eisernen Zugringe entnommen wurde. Als Ergebnis wurde schließlich der Einbau weiterer Eisenringe für notwendig erachtet. Dieser Vorschlag wurde dann etwa zwei Jahre später vom Architekten Luigi Vanvitelli (1700–1773) ausgeführt. Mit dieser Expertise über die Schäden der Peterskirche und deren Behebung, so fragwürdig sie auch den Praktikern unter den Bauleuten erschien, hatte Boscovich alle Kriterien erfüllt, die zu dieser Zeit an einen Sachverständigen zu stellen waren.

Allgemein gesagt ist ein Sachverständiger derjenige, der über einen Sachverhalt zuverlässig Auskunft geben kann und zur Lösung des Problems das Objekt selbst in Augenschein nimmt. Dabei sollte er über den Wissensstand seiner Zeit verfügen, um der Problemstel-

² Roger Joseph BOSCOVICH, Parere di tre Matematici sopra i danni, che si sono trovati nella cupola di S. Pietro sul fine dell' Anno MDCCXLII. Di nostro Signore Papa Benedetto XIV.

³ Zitiert nach: Hans STRAUB, Boscovich und die Anfänge der Baustatik. In: Actes du Symposium International R.J. Bošćović 1959, Livre 1 (Beograd 1959) hier 206.

⁴ BOSCOVICH, Parere (Anm. 2) p. XXVI.

⁵ *Due forze, che contrastano insieme, allora sono in equilibrio, quando la velocità del moto, che far dovrebbe la prima contro la direzione sua propria nell' essere superata dalla seconda, tante volte è più grande della velocità, che la seconda avrebbe pur nella propria sua direzione, quante volte la seconda forza considerata in sé stessa, è maggiore della prima. Quindi ne viene che l'energia, o l momento, di una forza cresce o scema, quanto pur cresce o scema la spiegata velocità, e per avere la sua misura conviene moltiplicar esse forza per la via, che contro alla sua propria direzione farebbe se fosse vinta, e a seconda della medesima, se vincitrice.*

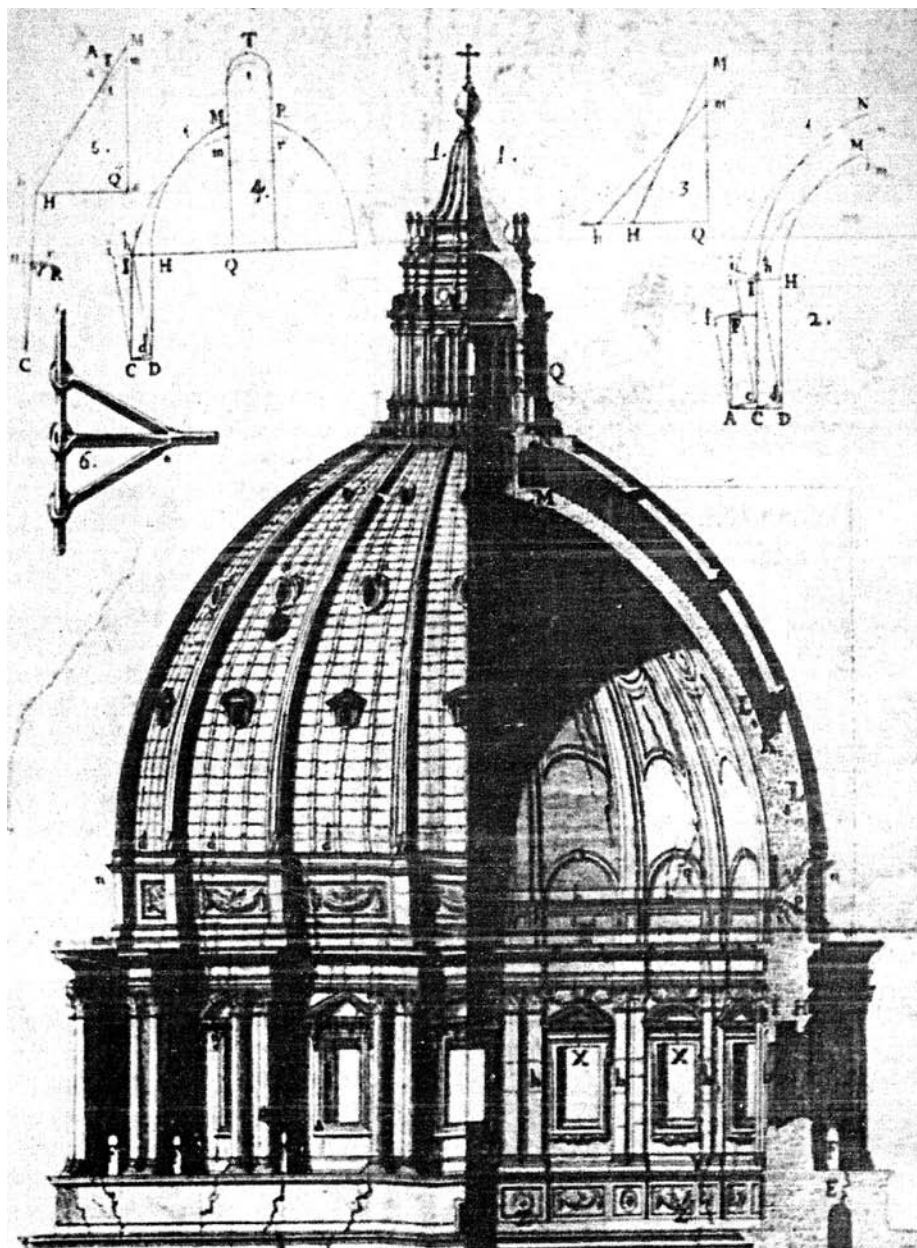


Abb. 1. Die Kuppel von St. Peter zu Rom. Boscovichs geometrische Figuren zur mathematischen Analyse der Risse. (Aus: Žarko DADIĆ 1990.)

lung optimal gerecht werden zu können. Des Weiteren muß er den Mut haben, vielleicht auch neue Wege einzuschlagen. Schließlich soll er die Bewertung des Problems und die von ihm gefundene Lösung in möglichst objektiver Form vorlegen.⁶

⁶ Ulrich SANNER, Ein Bild des Sachverständigen in Geschichte und Gegenwart (Kippenheim 1986).

Es war daher nicht überraschend, daß Boscovich bald nach seiner Ankunft in Wien am 6. April 1757 von Kaiserin *Maria Theresia* mit einem neuen baulichen Gutachten, das schadhafte Bauwerk der Hofbibliothek betreffend, beauftragt wurde. Dieser Bau wurde von Kaiser Karl VI. (1711–1740) im Jahr 1722 in Auftrag gegeben und nach Plänen von Johann Bernhard Fischer von Erlach (1656–1723) von seinem Sohn Joseph Emanuel Fischer von Erlach (1693–1742) in den Jahren 1723–1726 errichtet.

In diesem Zusammenhang ist beachtenswert, daß Kaiser Karl VI. für die neue Bibliothek eine Benützungordnung erließ, in der es u.a. heißt:

„Kaiser Karl, Sohn des erhabenen Leopold Augustus, widmet allgemeiner Nutzung seine Bibliothek. Niemand soll heimlich eintreten, noch Hand an die Bücherschränke legen ... Der Benützer braucht nicht zu bezahlen, er soll reicher von dannen gehen und öfter wiederkehren.“⁷

Für Boscovich war evident, daß die sichtbaren Risse und Sprünge eine Instabilität der Fundamente des Bauwerks erkennen ließen. Sie wiesen nach seinen Beobachtungen eine Abweichung von 12 Zoll gegen die Lotrichtung auf.⁸ Insbesondere bestand die Gefahr des Einsturzes des Prunksaales bereits drei bis vier Jahrzehnte nach seiner Erbauung. Entgegen den Angaben in neueren Biographien hat Boscovich keine Denkschrift über die Hofbibliothek im Jahr 1757 oder 1758 veröffentlicht, sondern eine handschriftlich ausgefertigte Expertise *Maria Theresia* zum 46. Geburtstag „am glücklichen Jahrestag ihrer Geburt“, also am 13. Mai 1763, überbracht. Diese Handschrift findet sich heute noch im Handschriftenbestand der Österreichischen Nationalbibliothek.⁹ Auf dem Titelblatt dieser 18seitigen Schrift mit dem Titel „Scrittura sulli danni osservati nel' edificio della Bibliotheca Cesarea di Vienna“ (Schrift über die festgestellten Schäden am Bauwerk der Kaiserlichen Bibliothek zu Wien) vergleicht Boscovich die erforderliche Stabilität der Bibliothek mit dem von den Göttern gesegneten Leben der „Großen Theresia“ (Abb. 2, Titelblatt).

Die Schrift selbst ist nach dem Vorbild der früheren Expertise über St. Peter zu Rom angelegt. Sie behandelt nach der baulichen Beschreibung der Bibliothek systematisch

- unter § 1 die festgestellten Schäden des Bauwerks;
- unter § 2 das System der erfolgten Bewegungen in diesen Teilen;
- unter § 3 die Ursachen der erfolgten Bewegungen und
- unter § 4 die Hilfsmittel, die Schäden zu beseitigen.

Auch hier verwendet Boscovich zur Lösung eines baustatischen Teilproblems eine einfache vektorielle Kräfteanordnung in graphischer Form.¹⁰ Indessen ist auch bei dieser Expertise von Boscovich zu berücksichtigen, daß noch andere Fachleute mit dem baulichen Zustand der Bibliothek beschäftigt waren. So war seit 1760 Nicolas Paccassi (1716–1790), der Hofarchitekt und Nachfolger Fischer von Erlachs, mit den baulichen Problemen der Hofbibliothek befaßt. Paccassi gilt als der repräsentativste österreichische Baumeister der Theresianischen Zeit. Er machte sich u.a. mit dem Umbau von Schönbrunn einen Namen und war seit 1768 Mitglied der Wiener Akademie der Bildenden Künste. Boscovich beriet

⁷ Zitat nach Irina KUBADINOW, Die Österreichische Nationalbibliothek (München 2004) 20.

⁸ No. 15 in der Wiener Hs., Österreichische Nationalbibliothek, Cod. 13989 (vgl. Anm. 9).

⁹ Die Hs. ist enthalten als Cod. 13989 in t. VII (1875) der Handschriftensammlung. Sie ist nachgewiesen bei Carlos SOMMERVOGEL, Bibliothèque de la Compagnie de Jésus, Vol. I, Bruxelles 1890, allerdings mit dem falschen Jahresvermerk 1783.

¹⁰ Der Verfasser dankt der Handschriftensammlung der Österreichischen Nationalbibliothek für die Überlassung einer Kopie des Originalgutachtens von Boscovich wie auch ihrem Direktor, Herrn Dr. Andreas Fingernagel, für die Erlaubnis, die Titelseite hier zu reproduzieren.

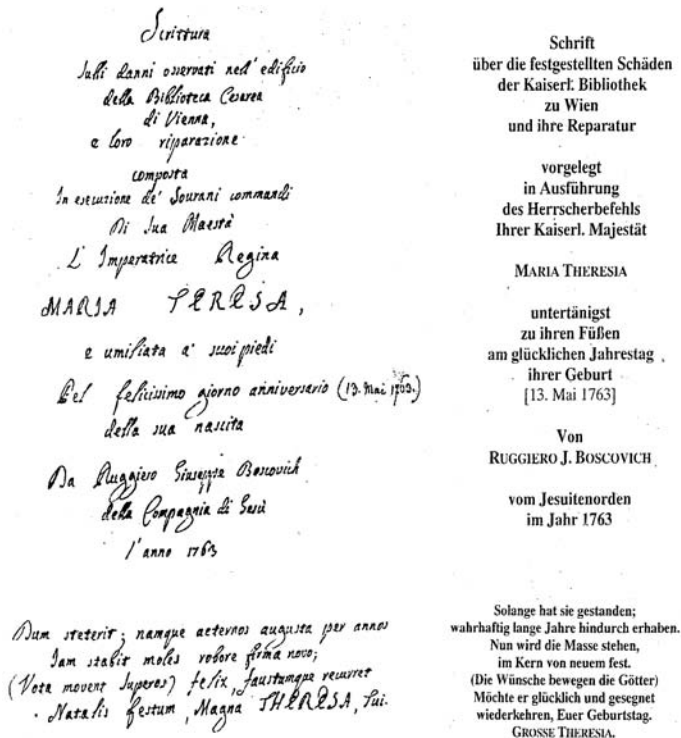


Abb. 2: Boscovichs Denkschrift über die Schäden der Hofbibliothek zu Wien.
 (Hs. Wien, Österr. Nat.bibl. Cod. 13989, No. 72.)¹¹

Paccassi in baustatischen Fragen.¹² Er überbrachte seine *Scrittura* am 13. Mai 1763. Paccassi brachte eine eigene Denkschrift zum selben Gegenstand nur wenige Wochen später am 8. Juni desselben Jahres heraus. Boscovich erwähnt ausdrücklich die als „Risse“ bezeichneten architektonische Zeichnungen von Paccassi¹³, während dieser seinerseits die Zusammenarbeit mit Boscovich in seiner Denkschrift hervorhebt:

... Dies ist mein gedanckhen, wie ich es in jtaliano den P. Boscovich samt denen Rissen gegeben, so daß mehrere anzeigen, worüber er seine Meinung Ihro Mayt: behändiget; Er hat mir Beydes zurück gestöllet, so ich in allenfahl Ihro Mayt: und Euer Exzellenz [Generalhofbaudirektor Losy v. Losynsthal] aufweisen köne ...¹⁴

Beide Memoranden waren dann die Grundlage für die bald darauf begonnene Renovierung. Dafür erhielt Paccassi 46.000 fl. ausbezahlt. Zunächst wurden die Kelleröffnungen vermauert. Des Weiteren wurden die Vierungspfeiler mit Gurtbögen aus Stein versehen, und die Kuppelschale erhielt Eisenschließen, um so das Gewicht der Kuppel besser auszugleichen und vorhandene Mauerschäden zu beheben. Im Zuge dieser Renovierung wurde

¹¹ Ms. Cod. 13989 (Anm. 8), No. 72.

¹² Josef STUMMVOLL (Hrsg.), Geschichte der Österreichischen Nationalbibliothek. Erster Teil: Die Hofbibliothek (1368–1922) (Wien 1968) 245.

¹³ Ms. Cod. 13989 (Anm. 8), No. 76.

¹⁴ Robert TEICHL, Die Rettung des Prunksaals der Wiener Hofbibliothek durch Nicolas Paccassi. In: Josef Stummvoll (Hrsg.), Die Österreichische Nationalbibliothek. Festschrift für Josef Bick (Wien 1948) 616.

auch das heutige Treppenhaus erbaut.¹⁵ Insgesamt spielte hier bei den baustatischen Untersuchungen die wissenschaftliche Begründung aber eine geringere Rolle als in der Expertise von Boscovich über den baulichen Zustand der Kuppel von St. Peter.

3. Boscovich als Hydroingenieur

Der andere große Aufgabenbereich von Boscovichs Gutachtertätigkeit umfaßte hydraulische Untersuchungen hauptsächlich der Jahre 1751–1774 und betraf natürliche Gewässer, Sumpfe und künstliche Wasserbauwerke, wie Kanäle, Brunnen und Hafenanlagen (vgl. *Übersicht 1*).¹⁶

Jahr	Projekt / Veröffentlichung
1751	Über Schäden der hölzernen Hafenmole vom Fiumicino, dem schiffbaren Arm des Flusses Tiber
1756/ 57	Das Ozzeri-Projekt. Die Kontroverse über die Fluten in der Grenzregion zwischen Lucca und der Toscana
1764	Hydrologische Untersuchung zur Trockenlegung der Pontinischen Sumpfe, mit Einschluß der Bewertung eines früheren Projekts von Manfredi und Bertaglia
1764	Über die Dämme entlang des Flusses Po
1764	Über die Ursachen des Hafens von Rimini. Publikation: <i>Del Porto di Rimini. Memorie (1765)</i>
1765	Publikation: <i>Wissenschaftlicher Brief über die Prinzipien der Hydrodynamik</i> , in: <i>Antonio Lecchi, Idrostatica</i> .
1766	Bericht über die Fluten in der Perugia-Region
1771	Über Schäden am Hafen von Savona
1771	Bericht über den Fluß Tidone in der Piacenza-Region
1772	Über die Renovierung der Brunnen von Perugia
1773	Über die Mündung des Flusses Adige. Vergleich mit den Vorschlägen von Antonio Lorgna und Šimun Stratik für die Verbesserung des Flußbettes
1774	Instruktionen für die Drainage der Pontinischen Sumpfe

Übersicht 1: Boscovichs Arbeiten
als Hydroingenieur.

Auch hier bildete die Verbindung von Mechanik und Geometrie, wie Boscovich bereits zu Beginn seiner Lehrtätigkeit am Collegium Romanum in einem Brief an den Vater eines Studenten hervorhob, einen wichtigen Ansatzpunkt für die Bearbeitung hydromechanischer Probleme.¹⁷ Ihm ging es um die Weiterentwicklung der *Mathesis mixta*, der Angewandten Mathematik, bei der Bearbeitung von Problemstellungen des sich zu dieser Zeit herausbildenden und gegen Ende des Jahrhunderts sich auch im zivilen Bereich institutio-

¹⁵ STUMMVOLL, Geschichte der Österreichischen Nationalbibliothek (Anm. 12).

¹⁶ Übersicht nach: Ivica MARTINOVIĆ, Ruder Bošćović's expert analyses in Hydraulic Engineering. In: Valentin POZAIĆ (Hrsg.), Jesuits among the Croats. Proceedings of the international Symposium: Jesuits in the religious, scientific and cultural life among the Croats, October 8–11, 1990 (Zagreb 2000), 66f.

¹⁷ MARTINOVIĆ, Ruder Bošćović's expert analyses in Hydraulic Engineering (Anm. 16), S.66.

nalisierenden Ingenieurwesens. Trotz der zahlreichen wasserbautechnischen Projekte, die Boscovich begutachtete oder bearbeitete, wurden zu seinen Lebzeiten auf dem Gebiet der Hydraulik nur zwei Arbeiten veröffentlicht. Das war einmal ein Beitrag über die Prinzipien der Hydrodynamik für ein Werk über Hydrostatik des befreundeten Paters Antonio Lecchi (1702–1776). Darin erörterte Boscovich in der Form eines wissenschaftlichen Briefes an Lecchi die geometrische Darstellung der Durchschnittsgeschwindigkeit einer Flüssigkeit.¹⁸ Auch hier wie schon bei der Lösung baustatischer Probleme ist für Boscovichs Vorgehensweise charakteristisch, daß er nicht den Calculus der Infinitesimalrechnung benutzte, sondern die geometrische Methode von unendlich kleinen Größen, die für ihn „die Macht der Geometrie verkörperte“.¹⁹

Das andere, mehr empirische Projekt, das zu einer Publikation führte, betraf die Untersuchung der Schäden des Hafens von Rimini (*Abb. 3*).

Seine sorgfältigen Studien der örtlichen Gegebenheiten umfaßten Messungen der Tiefe des Hafens sowie Beobachtungen der Strömungen, der Phänomene der angrenzenden Küsten und der Wirkungen des Meeres. Ebenso berücksichtigte er die Erfahrungen der Hafenvärter, der hafenkundigen Fischer und Seeleute. Über seine Expertise fertigte Boscovich eine schriftliche Ausarbeitung an, die der üblichen Systematik folgte:

Articulo Primo: Über den früheren und gegenwärtigen Zustand des Hafens.

Articulo Secondo: Über die Ursachen der Schäden des Hafens.

Articulo Terzo: Über die Abhilfen der Schäden.²⁰

Die Hauptbedrohung erkannte Boscovich in der unheilvollen Tätigkeit des Flusses Marecchia, der eine Verschlammung an seiner Mündung verursachte und so durch die entstehenden Sandbänke den Hafen praktisch verriegelte.

Fragen wir abschließend für diesen Teil nach den wesentlichen Merkmalen von Boscovichs ingenieurwissenschaftlichen Gutachtertätigkeit. Immer wieder hat es Boscovich verstanden, über eine bloß empirische Vorgehensweise auch mathematische Prinzipien der theoretischen Mechanik in geometrischer Form in Anwendung zu bringen. Davon zeugen beispielsweise die Berücksichtigung der Gleichgewichtsbedingung gegeneinander wirkender Kräfte bei der baustatischen Untersuchung der Verschiebungswege der Massen des betreffenden Bauwerks wie auch die Anwendung der mathematischen Eigenschaften einer Zykloide bei der Erklärung der Verhältnisse der Wasserbewegung im Hafen von Rimini. Gewiß beschränkt Boscovich dabei auch neue Wege. Jedoch waren bei der Lösung baustatischer und hydraulischer Probleme auch andere Gelehrte erfolgreich tätig, und der Name Boscovich würde kaum unter den Namen anderer Ordensbrüder, wie Leonardo Ximenes, Antonio Lecchi und Francesco Puccinelli, hervorleuchten, würde man nicht auch seine überragenden mathematisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten auf den Gebieten Physik, Geodäsie, Astronomie und instrumentelle Optik berücksichtigen. Gerade seine hervorragenden astronomischen und geodätischen Kenntnisse haben Boscovich dazu geführt, internationale wissenschaftliche Projekte zur weiteren Beförderung dieser Wissenschaften zu initiieren. Davon soll nun noch die Rede sein.

¹⁸ Lettera del Padre Boscovich sulli principi ... in: Antonio LECCHI, *Idrostatica* ..., (Milano 1765) 319–345.

¹⁹ Željko MARKOVIĆ, Boščović, Rudjer J. In: *Dictionary of Scientific Biographies*, Vol. 2 (New York 1970) 330.

²⁰ Del porto di Rimini. Memorie del Padre Rugiero Guiseppe Boscovich. In: *Opere Idrauliche 1823*, 345–408. Vgl. auch MARTINOVIĆ, Ruder Boščović's expert analyses in Hydraulic Engineering (Anm. 16).

DEL PORTO
DI RIMINI
MEMORIE
DEL PADRE
RUGGIERO GIUSEPPE
BOSCOVICH
DELLA COMPAGNIA DI GESU'.



IN PESARO, MDCCLXV.

PRESSO DONNINO RICCI.
CON LICENZA DE' SUPERIORI.

Abb. 3: Boscovich, Del porto di Rimini, 1765.

4. *Boscovich als Initiator astronomischer und geodätischer Projekte*

Um 1750 befand sich die Astronomie in einer Phase rascher Entwicklung, in der sich mit der Himmelsmechanik und der Stellarastronomie zwei klassische Zweige der Astronomie herausbildeten. In der Himmelsmechanik ging es darum, auf der Grundlage der Newtonschen Mechanik und vorzugsweise mit Hilfe der algebraischen Methode der Analysis zu einer genauen Berechnung der Bewegungen der Himmelskörper und ihrer Örter an der Himmelssphäre für beliebige Zeitpunkte zu gelangen. Auf diesem Gebiet waren die Arbeiten französischer Astronomen und Mathematiker von überragender Bedeutung, während Boscovich, der den Calculus in algebraischer Form nicht benutzte, vergleichsweise wenig zu den neuen Erkenntnissen beitrug.

Immerhin entwickelte er Methoden zur Berechnung von Kometen- und Asteroiden-Bahnen aus drei Beobachtungen und beeinflusste damit einschlägige Arbeiten von Gauß und Laplace.²¹ In kosmologischen Fragen verfolgte er, ohne jedoch bei seinen Zeitgenossen Zustimmung zu finden, physikalisch-relativistische Ansätze und vermutete Abweichungen von Newtons Gravitationsgesetz bei großen Distanzen.²²

Größere Beiträge von Boscovich liegen für die Stellarastronomie vor, und auf diesem Gebiet konnte er sowohl mit französischen wie auch mit britischen Astronomen, die sich besonders durch ihre Beobachtungstätigkeit und neue Entdeckungen am Sternenhimmel auszeichneten, in näheren Kontakt treten. Eine von Boscovich mehrfach behandelte Problemstellung betraf die Dimensionierung des Sonnensystems oder die Bestimmung der Sonnenparallaxe. Dazu hatte bereits im Jahr 1716 Edmund Halley eine Methode publiziert, bei einem scheinbaren Durchgang oder Transit der Venus durch die Sonnenscheibe die Momente des Eintritts und Austritts der Venus von verschiedenen Orten der Erde aus zu beobachten. Dabei sind der mittlere Erdradius und die Sonnenparallaxe, also der Winkel, unter den der Äquatordurchmesser der Erde vom Mittelpunkt der Sonne aus erscheinen würde, die wesentlichen numerischen Daten. Die Beobachtung des Planeten gestattet dann nach dem 3. Keplerschen Gesetz die Berechnung der Entfernung Erde-Sonne, also der astronomischen Einheit.²³ Zu diesem Thema veröffentlichte Boscovich im Jahr 1737 eine Arbeit über einen Merkur-Transit,²⁴ die ihn als Astronomen bekannt machte.

Während eines Aufenthalts in England im Jahr 1760 legte er der Royal Society in London eine Abhandlung über den nächsten Venus-Transit des Jahre 1761 vor und machte Vorschläge, an welchen Orten zweckmäßigerweise beobachtet werden sollte, so u.a. auch in Konstantinopel.²⁵ Seine Absicht, diesen Venus-Durchgang in Konstantinopel am 6. Juni 1761 selber zu beobachten und seine Beobachtungen mit denen anderer Astronomen an anderen Orten zu vergleichen, ließ sich allerdings nicht realisieren. Er wollte mit dem neuen Venezianischen Botschafter Pietro Correr (1707–1768), der die Schiffsreise vorbereitete, reisen. Doch dieser, aufgehalten durch andere Angelegenheiten, verspätete sich erheblich, so daß der Zielort erst im September 1761, also drei Monate nach dem astronomischen

²¹ Zdenek KOPAL, The astronomical contributions of R. J. Bošković. In: *Actes du Symposium International R. J. Bošković* 1958, Livre 1 (Beograd 1959) 59–65.

²² A. POLIKAROV, Zum heutigen Stand des kosmologischen Problems. In: *Actes du Symposium International R. J. Bošković* (Dubrovnik 1961) Livre 2 (Beograd 1962).

²³ Volker BIALAS, Vom Himmelsmythos zum Weltgesetz. Eine Kulturgeschichte der Astronomie (Wien 1998), 299f.

²⁴ Roger Joseph BOSCOVICH, De Mercurii novissimo infra Solem transitu. Dissertation habita in Seminario Romano SJ (Romae 1737).

²⁵ Roger Joseph BOSCOVICH, De proximo Veneris sub Sole transitu. In: *Philosophical Transactions*, Vol. 51 (1759/60), 865–888.

Ereignis, erreicht wurde. Über seine Rückreise auf dem Landweg veröffentlichte Boscovich dann einen detaillierten Reisebericht, der in verschiedene Sprachen übersetzt wurde.²⁶

Indessen war er nun in den Gelehrtenkreisen Englands soweit bekannt geworden, daß er für das Jahr 1769, in dem erneut ein Venus-Durchgang zu beobachten war, von James Douglas, dem Präsidenten der Royal Society, dazu eingeladen wurde, eine entsprechende Forschungsreise nach der damals noch spanischen Kolonie Kalifornien zu leiten. Um diese Zeit verschärfen sich jedoch die Spannungen zwischen Spanien und dem Jesuitenorden, so daß Boscovich vom Kaiserlichen Hof in Wien die notwendige Genehmigung der Reise verweigert wurde. Dafür ausschlaggebend war das negative Votum des Österreichischen Staatskanzlers Wenzel Anton v. Kaunitz (1711–1794), der als Wegbereiter der Aufklärung in Österreich gilt. Graf v. Kaunitz entwickelte zu dieser Zeit Pläne zu einer grundsätzlichen Reform im Verhältnis von Staat und Kirche zugunsten des Staates und schaffte 1768 die Steuerfreiheit des Klerus ab.

Boscovichs astronomische Arbeiten waren von Anfang an stark praxisbezogen. Bereits in einer frühen Arbeit des Jahres 1742 erörterte er die Konstruktion und Genauigkeit verschiedener astronomischer Instrumente, wie Fernrohr mit Mikrometer, Quadrant und Pendeluhr.²⁷ So erfüllte er alle Voraussetzungen für den Aufbau und die Leitung einer neuen Sternwarte in Brera bei Milano, deren Gründung nicht nur im Interesse des dortigen Jesuitenkollegiums lag. Die Förderung der wissenschaftlichen Forschung, so auch auf dem Gebiet der Astronomie, wurde ebenso von dem für die Lombardei zuständigen Wiener Hof unterstützt, der unter dem Einfluß der Ideen des aufgeklärten Absolutismus eine Reform des Bildungswesens eingeleitet hatte. Zuständig für den Vollzug des Reformwerks des Staatskanzlers v. Kaunitz war der österreichische Botschafter in Neapel Graf Carl Joseph Gotthart Firmian (1718–1799), der seit 1756 auch für die Lombardei bevollmächtigt war.

Boscovich war ab 1764 bei der baulichen Konstruktion und der Organisation des Observatoriums maßgeblich beteiligt.²⁸ Für die Anfangsjahre entwarf er ein detailliertes Forschungs- und Beobachtungsprogramm, wobei er den Hauptakzent auf die Bestimmung der Koordinaten der Fixsterne im Äquatorsystem als verfeinertes Bezugssystem anderer zu beobachtender Himmelskörper legte. Als ein Beispiel aus seinem Forschungsprogramm, das weitere Forschungen initiierte, sei der Vorschlag eines Experimentes zur Bestimmung der Aberration des Lichtes genannt. Mit diesem astronomischen Terminus wird die Schwankung der Sternenerörter infolge der Überlagerung des Lichtes beim Durchgang durch den Tubus des Fernrohrs mit der Bewegung der Erde um die Sonne bezeichnet. Hierbei wollte Boscovich die Beobachtungen mit Hilfe eines normalen Teleskops mit denen eines zweiten mit Wasser gefüllten Teleskops vergleichen. Darüber schrieb er eine Mitteilung an seinen französischen Ordenbruder Joseph Jérôme Lalande, die dieser in seiner „Astronomie“ abdruckte.²⁹

Noch mehr als in der Astronomie fand der kroatisch-italienische Universalgelehrte sein genuines Arbeitsgebiet in der Geodäsie, und hier übte er einen erheblichen Einfluß auf die internationale Wissenschaft aus, so daß er als einer der führenden Geodäten seiner Zeit gelten kann. Die *Geodäsie*, die Wissenschaft der Erdvermessung, war seit den bahnbrechenden Arbeiten von Newton um das hydrostatische Prinzip erweitert worden, demzu-

²⁶ In deutscher Sprache erschien der Bericht durch Johann Gottlieb Emmanuel BREITKOPF (Hrsg.), Des Abt Joseph Boscovich Reise von Constatinopel durch Romanien, Bulgarien und die Moldau nach Polen. Aus dem Französischen (Leipzig 1779).

²⁷ Roger Joseph BOSCOVICH, De observationibus astronomicis et quo pertingat earundem certitudo. Dissertatio habita in Seminario Romano SJ (Romae 1742).

²⁸ Žarko DADIĆ, Ruđer Bošković. Kroatisch-Englische Ausgabe (Zagreb 1990) 133ff.

²⁹ KOPAL, The astronomical contributions of R. J. Bošković (Anm. 21) 1959.

folge die Oberfläche der Erde eine Fläche gleichen Potentials der wirkenden Kräfte, also eine Äquipotentialfläche, und der Erdkörper selbst eine Gleichgewichtsfigur darstellte. Die Massenzusammensetzung der oberen Erdschichten war für die Ausformung der Erdfigur von entscheidender Bedeutung gewesen. Daher mußten die geometrischen Parameter der Erde, wie Halbachse des Äquators und Abplattung an den Polen, mit den physikalisch-astronomischen Parametern, wie Schwere und Lotrichtungen in den Oberflächenpunkten, eng zusammenhängen.

Dementsprechend war empirisch nachzuweisen, daß bei einem an den Rotationspolen der Erde abgeplatteten Erdellipsoid sowohl die Länge des Sekundenpendels unter dem Einfluß wachsender Schwere als auch die Bogenlänge eines Meridiangrades vom Äquator zu den Polen hin zunehmen. Entsprechende Daten hat Newton unter Berücksichtigung neuerer Beobachtungen in der zweiten (1713) und dritten Auflage (1726) seiner *Principia* veröffentlicht (s. *Übersicht 2*).³⁰

Breite	Pendellänge		Länge eines Meridiangrades (in Toise) nach Newtons <i>Prinipia</i>	
	Fuß	Linien	2. Auflage	3. Auflage
0°	3	7,468	56909 t	56637 t
10	3	7,526	56931	56659
20	3	7,692	56996	56724
30	3	7,984	57096	56823
40	3	8,261	57218	56945
50	3	8,594	57348	57074
60	3	8,907	57470	57196
70	3	9,162	57570	57295
80	3	9,329	57635	57360
90	3	9,378	57657	57382

Übersicht 2: Empirischer Nachweis des abgeplatteten Erdellipoids.
Länge des Sekundenpendels und Größe der Meridiangrade nach Newton.

Von diesen neuen wissenschaftlichen Grundlagen ausgehend, schlug Boscovich vor, zur genauen Bestimmung der Erdfigur Meridianbogenmessungen in verschiedenen Regionen der Erde auszuführen, und zwar in möglichst fern von Gebirgen liegenden Ebenen, um den störenden Einfluß der Gebirgsmassen auf die Richtung der Lotlinien und damit auf die astronomisch-geodätischen Messungen gering zu halten.³¹

Seine Anregungen führten zu neuen, die aufgeworfenen Probleme aber nicht endgültig klärenden Meridianbogenmessungen durch Giovanni Batista Beccaria 1763/64 in Piemont bei Turin, durch Charles Mason und Jeremiah Dixon 1764–1768 in Nordamerika und durch Joseph Liesganig 1768 in Österreich/Ungarn. Boscovichs eigener bedeutender Beitrag war die in den Jahren 1750–53 gemeinsam mit seinem Ordensbruder Christopher Maire auf Anordnung von Papst Benedikt XIV. unternommene geodätische Vermessung des Kirchenstaates. Dadurch war er jedoch verhindert, an geodätischen Messungen in Brasilien teilzunehmen, die um diese Zeit auf Einladung des portugiesischen Königs von Jesuiten zur Ausarbeitung einer geographischen Karte ausgeführt werden sollten.

³⁰ Volker BIALAS, *Erdgestalt, Kosmologie und Weltanschauung. Die Geschichte der Geodäsie als Teil der Kulturgeschichte der Menschheit* (Stuttgart 1982), 112.

³¹ Christopher MAIRE, R.J. BOSCOVICH, *Voyage astronomique et géographique dans l'état de l'église* (Paris 1770) 36–37. Französische Übersetzung der lateinischen Ausgabe von 1755. Ein entsprechender Hinweis findet sich ebenso in: ZACHS *Monatliche Correspondenz* 8 (1803), 507–527 und 27 (1813), 272–281.

Damit ist der Abschluß dieser Übersicht über wichtige Arbeiten von Boscovich auf verschiedenen Gebieten der Ingenieurwissenschaften und der Naturwissenschaften erreicht. Wenn Leibniz am Beginn des 18. Jahrhunderts die Forderung erhoben hat, dass ein Fortschritt der Wissenschaften nicht anders als in der Einheit von Theorie und Praxis zu erreichen wäre, so hat Boscovich wie kaum ein anderer mit seinen vielfältigen Arbeiten seiner Zeit dem Leibnizschen Anspruch Genüge tun können.

BOSCOVICH ALS MATHEMATIKER UND ASTRONOM

1. Vorbemerkungen

Ruder Boscovich gilt als einer der bedeutendsten Mathematiker aus dem Jesuitenorden. So zählt MacDonnell ihn zu den zwölf wichtigsten geometrisch orientierten Mathematikern aus dem Orden vor dessen Aufhebung im Jahre 1773.¹ Auch Stanojević z.B. bezeichnet ihn als *one of the most brilliant scientists of the 18th century*.² Vor diesem Hintergrund ist es bemerkenswert, dass Boscovichs Bedeutung für die Wissenschaften, u.a. für die Mathematik, offenkundig heute noch nicht überall gesehen wird. Dies gilt insbesondere für den deutschsprachigen Bereich, in dem Boscovich (anders als z.B. im englischsprachigen Raum) nach seinem Tode schnell nahezu völlig vergessen wurde, was bis heute fortwirkt.³

Die Tätigkeit als Mathematiker stellt zwar nur einen unter vielen Teilaspekten des facettenreichen Lebens von Ruder Boscovich dar. Jedoch bilden die von ihm im Bereich der Mathematik erzielten Ergebnisse die Grundlage für viele weitere Themen, mit denen sich Boscovich beschäftigte. Zudem tragen sie dazu bei, den Namen Boscovichs bis heute lebendig zu halten. Auch ein Blick auf die Titel der weit über 100 Publikationen, die die „Bibliothèque de la Compagnie de Jésus“ unter seinem Namen auflistet,⁴ zeigt, welchen deutlichen Anteil mathematische und mathematiknahe, insbesondere auch astronomische Themen im Lebenswerk von Boscovich einnehmen.

Ziel der folgenden Darstellung ist es, einen Überblick über Boscovichs mathematische Tätigkeit und ihr Umfeld zu geben, wobei allerdings aus grundsätzlichen Erwägungen die Betrachtung seiner „Theoria“ ausgeklammert werden soll. Aus dem Charakter eines Überblicks resultiert, dass hier eine eingehendere Darstellung einzelner Werke in der Regel nicht möglich ist. Von Boscovichs Tätigkeit als Mathematiker kaum zu trennen ist insbesondere sein astronomisches Wirken. Seine Aktivitäten auf diesem Gebiet wurden zwar schon andernorts zusammenfassend dargestellt.⁵ Dennoch soll auf Grund der Relevanz für das Gesamtwerk von Boscovich auch dieser Teil seiner wissenschaftlichen Tätigkeit hier zumindest am Rande betrachtet werden.

2. Boscovichs mathematische Laufbahn

Boscovich trat im Jahre 1725 in den Jesuitenorden ein und studierte Theologie und Mathematik am Kolleg in Rom. Im Jahre 1740 wurde er dort Professor für Mathematik.⁶ Im „Jesuiten-Lexikon“ von Koch wird dazu hervorgehoben, dass er „seinen Lehrer Borgondi noch vor Vollendung seiner theol. Ausbildung als Prof. der Mathematik vertreten“ durfte.⁷

¹ Joseph MACDONNELL, Jesuit Mathematicians before the Suppression. In: *Archivum Historicum Societatis Iesu* 45 (1976) 139.

² Magda STANOJEVIĆ, Proof of the Hero's formula according to R. Boscovich. In: *Mathematical Communications* 2 (1997) 87.

³ Hans ULLMAIER, Boscovichs Vitrometer. Ein historisches optisches Instrument. In: *Cardanus. Jahrbuch für Wissenschaftsgeschichte* 5 (2005) 16.

⁴ Carlos SOMMERVOGEL, *Bibliothèque de la Compagnie de Jésus*, Bd. 1, Sp. 1828ff.

⁵ dazu Hans ULLMAIER, *Puncta, particulae et phaenomena. Der dalmatinische Gelehrte Roger Joseph Boscovich und seine Naturphilosophie. TROLL-Tromøer Studien zur Kulturwissenschaft* 2 (Hannover 2005) 39ff.

⁶ *Lexikon bedeutender Mathematiker*, hrsg. von Siegfried GOTTWALD, Hans-Joachim ILGAUDS, Karl-Heinz SCHLOTE (Thun, Frankfurt 1990) 69.

⁷ Ludwig KOCH, *Jesuiten-Lexikon. Die Gesellschaft Jesu einst und jetzt.* (Paderborn 1934) Sp. 236.

Auch wenn dieses Faktum eine gewisse Auszeichnung für Boscovich bedeutete und als Indiz dafür gewertet werden kann, dass seine besondere mathematische Begabung erkannt worden war, so ist doch die Tatsache allein, dass Jesuiten eine Mathematik-Professur vor dem Ende ihrer theologischen Studien übernahmen, an sich nicht selten gewesen, zählte doch die Mathematik zu den philosophischen Disziplinen, deren Aufgabe vor allem in der Vorbereitung auf die Theologie lag.⁸ Für viele Lehrkräfte im Jesuitenorden und so auch am Collegium Romanum stellte die Mathematikprofessur vor diesem Hintergrund lediglich eine Durchgangsstation dar, die ein bis zwei Jahre wahrgenommen wurde, ehe man „höhere“, d.h. philosophische oder theologische Aufgaben übernahm. Demgegenüber war Boscovich in der Position des Mathematikprofessors mehr als 20 Jahre lang dort tätig.⁹

Für das römische Kolleg besaß Boscovich in vielerlei Hinsicht große Bedeutung, bemühte er sich doch beispielsweise um die Einrichtung einer Sternwarte am Kolleg.¹⁰ Gerade in jener Zeit, in der Boscovich an das Collegium Romanum kam, vollzog sich dort ein radikaler Wechsel in der astronomischen Lehre, nämlich weg von der traditionellen geozentrischen Astronomie.¹¹ Unter Boscovich setzten sich diese Veränderungen in der Lehre im Bereich der Astronomie fort. Jedoch wurde noch in den frühen Schriften Boscovichs die Bewegung der Erde um die Sonne gemäß der traditionellen katholischen Leitlinie allein als Hypothese behandelt.¹² Insofern stellte Boscovich hier traditionelle Positionen noch nicht infrage.¹³

Zu Boscovichs Leistungen in seiner italienischen Zeit zählen u.a. seine Beteiligung an den Stabilitätsberechnungen für die Kuppel des Petersdoms 1742/43 oder auch seine Meridianmessungen zwischen Rom und Rimini.¹⁴ Über die Meridianmessungen berichtete er in seiner 1755 in Rom erschienenen Schrift „De litteraria expeditione“. Bedeutsam ist dieses Werk vor allem auch wegen Boscovichs Beschäftigung mit der Thematik der Fehlerminimierung.¹⁵

Versteht man Mathematik in einem breiten Sinne, so kann man zahlreiche Dissertationen, die Boscovich am römischen Kolleg verfasste, durchaus in den Bereich der angewandten Mathematik einordnen. Hierin befasste er sich u.a. mit klassischen Themen, wie beispielsweise den Gezeiten,¹⁶ der Kinetik oder auch der Gravitation.¹⁷

Im Jahre 1763 erhielt Boscovich eine Professur für Mathematik an der Universität in Pavia, die er im Jahre 1764 antrat.¹⁸ Dort stellte er bereits im ersten Jahr für seine Studenten eine Liste mit grundlegenden Werken zusammen. Zu den von Boscovich dabei aufgeführten Autoren zählen Agnesi, Euler, Huygens, d’Alembert, Newton, MacLaurin, Cramer, Gregory, Mayer, Simpson, Cotes, Halley, Bernoulli, Leibniz, Descartes und Galilei.¹⁹

⁸ Zu solch frühen Tätigkeiten als Mathematik-Professor z.B. Georg Schuppener, Jesuitische Mathematik in Prag im 16. und 17. Jahrhundert (1556–1640) (Leipzig 1999) 53ff.

⁹ auch Juan Casanovas, Boscovich’s Early Astronomical Studies at the Collegio Romano. In: Piers Bursill-Hall (Hrsg.), R. J. Boscovich. Vita e attività scientifica. Atti del Convegno, Roma, 23–27 maggio 1988 (Rom 1993) 237.

¹⁰ Koch, Jesuiten-Lexikon (Anm. 7) Sp. 236.

¹¹ Casanovas, Boscovich’s Early Astronomical Studies (Anm. 9) 240f.

¹² Paolo Casini, Boscovich and the Hypothesis Terrae Motae. In: Bursill-Hall (Anm. 9) 229ff.

¹³ Casanovas, Boscovich’s Early Astronomical Studies (Anm. 9) 241.

¹⁴ Lexikon bedeutender Mathematiker (Anm. 6) 70.

¹⁵ MacDonnell, Jesuit Mathematicians before the Suppression (Anm. 1) 144.

¹⁶ Ruder Boscovich, Dissertatio de Maris Aestu (Rom 1747).

¹⁷ Ruder Boscovich, De Viribus Vivis (Rom 1745).

¹⁸ Ullmaier, Puncta, particulae et phaenomena (Anm. 5) 40.

¹⁹ Richard William Farebrother, Studies in the history of probability and statistics XLII. Further details of contacts between Boscovich and Simpson in June 1760. In: Biometrika 77 (1990) 398.



L'Osservatorio di Brera nel 1778.

Abb. 1: Sternwarte in Brera

Das akademische Umfeld, das Boscovich allerdings in Pavia vorfand, war für ihn wenig inspirierend. Seine Ferien verbrachte er daher häufig im Jesuitenkolleg Santa Maria di Brera nördlich von Mailand. Hier engagierte sich Boscovich für die astronomischen Beobachtungsmöglichkeiten: Die dortigen Ordensangehörigen wollten nämlich eine neue Sternwarte errichten.²⁰ So beauftragte ihn der Rektor der Kollegs in Brera damit, einen Plan für die Konstruktion eines neuen Observatoriums auszuarbeiten. In den folgenden Jahren war Boscovich dann rastlos damit beschäftigt, die Realisierung dieser Sternwarte zu beaufsichtigen.²¹ Dennoch bekleidete er vor 1769 in Brera keine offizielle Position am Observatorium. Dessen Leitung oblag trotz Boscovichs fundamentaler Rolle bei Aufbau und Nutzung der Sternwarte weiter seinem Mitbruder Louis Lagrange.²² Das Verhältnis von Boscovich und Lagrange war dabei offenkundig von einer gewissen Rivalität geprägt,²³ was angesichts der Tatsache, dass Lagrange als offizieller Leiter bei den Entscheidungen nicht mehr entscheidend war und andererseits Boscovichs Tätigkeit wiederum nicht in

einer offiziellen Funktion erfolgte, leicht nachvollziehbar ist. Diese Spannungen erwiesen sich bei der Realisierung des Observatoriums durchaus als hinderlich. Insbesondere den geplanten Bau eines Doppelteleskops konnte Boscovich selbst als Kodirektor ab 1770 bis zu seiner Entlassung 1772 in Brera nicht durchsetzen.²⁴ Aber auch technische und finanzielle Probleme behinderten die Ausstattung der Sternwarte mit geeigneten Instrumenten.²⁵

Im Jahre der Aufhebung des Jesuitenordens 1773 wurde Boscovich in der französischen Marine „Direktor der Optik“, ausgestattet mit einer Besoldung von 8.000 Livres. Während seines Aufenthaltes in Frankreich verkehrte er mit u.a. Clairaut²⁶ und Lalande. Ferner traf er in dieser Zeit auch nicht-französische Wissenschaftler wie Benjamin Franklin oder Joseph Priestley.²⁷

²⁰ ULLMAIER, *Puncta, particulae et phaenomena* (Anm. 5) 40.

²¹ Edoardo PROVERBIO, R. G. Boscovich's Determination of Instrumental Errors in Observation. In: *Archive for History of Exact Sciences* 38 (1988) 137.

²² Ebd. 138f.

²³ Dokumente zur Auseinandersetzung mit Louis Lagrange am Observatorium von Brera finden sich im Boscovich-Archiv in Berkeley. Dazu Roger HAHN, *The Boscovich Archives at Berkeley*. In: *Isis* 56 (1965) 75.

²⁴ ULLMAIER, *Puncta, particulae et phaenomena* (Anm. 5) 41ff.

²⁵ Ebd. 45; ULLMAIER, *Boscovichs Vitrometer* (Anm. 3) 28f.

²⁶ Boscovich verweist auf Clairaut in seiner „Abhandlung von den verbesserten Dioptrischen Fernröhren“ (1765) sogar mit den Worten „jener große Mathematiker“ (17).

²⁷ Lancelot Law WHYTE, R. J. Boscovich S.J., F.R.S. (1711–1787), and the Mathematics of Atomism. In: *Notes and Records of the Royal Society of London* 13 (1958) 40.

Doch die Tätigkeit in Frankreich verlief für Boscovich auf Grund von Anfeindungen, vor allem von d'Alembert, wenig erfreulich und endete damit, dass Boscovich das Amt ruhen ließ. Im Anschluss daran ließ er sich in Bassano nieder, wo er seine fünfbändigen „Opera pertinentia ad Opticam et Astronomiam“ (1785) edierte. Diese widmete er Ludwig XVI., wohl auch als Dank für dessen Unterstützung.

Gerade das negative Verhältnis zwischen Boscovich und d'Alembert findet in der biografischen Literatur besondere Beachtung. Ausgangspunkt für die Feindseligkeiten zwischen beiden Gelehrten waren schon Boscovichs Meridianmessungen im Kirchenstaat.²⁸ Differenzen resultierten aber auch aus ihren recht unterschiedlichen Herangehensweisen an bestimmte wissenschaftliche Fragen: Genannt seien hier Boscovichs geometrisches Verständnis von Mathematik und auch seine in jesuitischer Tradition stehende Neigung, Grundfragen zunächst philosophisch zu reflektieren, was sich in seinen naturphilosophischen Konzepten der Begriffe Zeit, Raum, Kraft und Kontinuität ausdrückt. Dem anti-jesuitisch eingestellten d'Alembert war dies ohne Zweifel höchst suspekt.²⁹ Zudem gehörte d'Alembert der analytisch orientierten Richtung der Mathematik zu.

In d'Alemberts und Boscovichs Auseinandersetzung wurden zahlreiche andere Gelehrte hineingezogen bzw. veranlasst, sich für oder gegen Boscovich zu positionieren. Die hieraus resultierenden Spannungen und Komplikationen können als wesentlich dafür angesehen werden, dass Boscovich große Schwierigkeiten hatte, Akzeptanz in der französischen Wissenschaftlergemeinschaft seiner Zeit zu gewinnen.³⁰ Deutlich legt der Briefwechsel Boscovichs Zeugnis ab von der Distanz, enthält er doch u.a. durchaus abfällige Bemerkungen gegen d'Alembert.

Oster geht in seiner Schrift sogar so weit, das Verhältnis zu d'Alembert indirekt als Todesursache für Boscovich anzusehen:

„Sein verletzter Stolz und die Erbitterung gegen seine Feinde erregten sein Gemüt so, daß er in Melancholie und Irrsinn verfiel. Eine hinzutretende Krankheit raffte ihn am 13. Februar 1787 dahin.“³¹

Trotz aller negativen Implikationen, die dem Verhältnis von Boscovich und d'Alembert zugeschrieben werden, lassen sich dennoch auch andere, produktive Aspekte hierin sehen. So wurde wohl Boscovichs Beschäftigung mit Logarithmen durch d'Alemberts Artikel über Logarithmen in Diderots „Encyclopédie“ provoziert.³² Auch die Diskussion über manche konzeptuellen Fragen der Mathematik wäre ohne diese Auseinandersetzung und die damit verbundene Konkurrenzsituation nicht in einer solchen Intensität geführt worden.

3. Spezielle mathematische Leistungen

Grundsätzlich sei darauf hingewiesen, dass sich zu Boscovichs Zeit der Zugang zur Mathematik in zwei Hauptströmungen spaltete, nämlich einerseits in ein analytisches und andererseits in ein geometrisches Verständnis der Mathematik und ihrer Grundlagen.³³ Obwohl nach Einschätzung von Homann Boscovich nicht über eine stringente Theorie der Mathematik verfügte, so steht er doch im Wesentlichen in der geometrischen Tradition, u.a. auch wegen des Bezuges zu den Phänomenen der Wirklichkeit.³⁴

²⁸ Melchior OSTER, Roger Joseph Boscovich als Naturphilosoph (Köln 1909) 5.

²⁹ Roger HAHN, The Ideological and Institutional Difficulties of a Jesuit Scientist in Paris. In: BURSILL-HALL (Anm. 9) 6ff.

³⁰ Dazu auch HAHN, The Boscovich Archives at Berkeley (Anm. 23) 76f.

³¹ OSTER, Roger Joseph Boscovich als Naturphilosoph (Anm. 28) 6.

³² HAHN, The Boscovich Archives at Berkeley (Anm. 23) 74.

³³ Frederick Anthony HOMANN, Boscovich's Philosophy of Mathematics. In: Synthesis Philosophica 8 (1989) 560.

³⁴ Ebd. 563f.

In diese geometrische Tradition ordnet sich weitgehend auch jenes Werk ein, das als bedeutendstes mathematisches Werk von Boscovich gelten kann, nämlich dessen in den Jahren 1754–57 in Rom erschienene dreibändige Schrift „Elementa matheseos universae“.³⁵ Hier befasst Boscovich sich im ersten Band mit geometrischen und trigonometrischen Fragen. Der zweite Band beschäftigt sich mit der Algebra³⁶ und der dritte mit Kegelschnitten. Im dritten Band findet sich aber neben den Kegelschnitten auch noch ein umfangreicher Anhang, der sich aus geometrischer Sicht mit der Frage der Kontinuität befasst. Hier äußert sich Boscovich zu unendlich fernen Punkten, einem Thema, das erst 1822 von Jean-Victor Poncelet abschließend behandelt wurde. Das Gesetz der Kontinuität, u.a. schon von Leibniz unter Rückgriff auf Aristoteles formuliert, besagt vereinfacht formuliert, dass jede Größe im Übergang von einem Wert zu einem anderen alle dazwischen liegenden Werte annehmen muss, wobei keine Sprünge eintreten.³⁷

In diesem thematischen Kontext sind auch andere Schriften Boscovichs bedeutsam: In seiner Abhandlung „De natura et usu infinitorum et infinite parvorum“ (Rom 1741) befasst er sich mit dem unendlich Großen und Kleinen. Seine 1754 in Rom erschienene Schrift „De Continuitatis Lege“ bietet Boscovichs Sicht auf die Kontinuität der Menge der reellen Zahlen.³⁸ Bemerkenswerterweise behandelt er auch diese Frage aus geometrischer Perspektive, indem er Strecken und deren Teilung betrachtet. Dabei setzt er sich – durchaus naheliegend – auch mit dem Zenonschen Paradoxon von Achill und der Schildkröte auseinander.³⁹

Von besonderer Relevanz aus mathematischer Sicht sind Boscovichs Beiträge zur sphärischen Trigonometrie und zur Fehlerkorrektur, die insbesondere für die Verbesserung von Beobachtungsdaten von Bedeutung sind. So thematisiert er im Band IV der „Opera pertinentia ad Opticam et Astronomiam“ (Opusculum III) Fehler von optisch-astronomischen Instrumenten und erörtert Möglichkeiten der Fehlerkorrektur.⁴⁰ Grundlage der Berechnungen sind Differenzialgleichungen aus der sphärischen Trigonometrie.⁴¹ Analoges gilt für die „Abhandlung von den verbesserten Dioptrischen Fernröhren“, in der gerade auch die Fehlerkorrektur mit betreffenden Verfahren eine zentrale Rolle spielt.

Auch in Boscovichs Werk „De Solis ac Lunae Defectibus Libri V“ (1760) wird die Fehlerkorrektur thematisiert. Boscovich legt hier eine geometrische Lösung der Frage nach der Minimierung von Beobachtungsfehlern vor, wobei die Summe der Residuen 0, die Summe ihrer Beträge minimal sein soll. Die von Laplace später analytisch umgeformte Lösung kann als Vorläufer der Regression gelten.⁴²

Ausgangspunkt seiner vielfältigen Bemühungen um die Fehlerkorrektur waren wohl wesentlich die von ihm durchgeführten Meridianmessungen, die er zusammen mit Christopher Maire in den 1750er Jahren in Italien durchführte. Dabei erwies sich das Verfahren der

³⁵ STANOJEVIĆ, Proof of the Hero's formula according to R. Boscovich (Anm. 2) 88.

³⁶ Zur Einschätzung seiner Algebra s. Robin Elaine RIDER, In a Foreign Language: Boscovich and Algebra. In: BURSILL-HALL (Anm. 9) 467ff.

³⁷ Es sei darauf hingewiesen, dass Boscovich in seiner „Theoria“ die Kontinuität primär als Eigenschaft der Bewegung auffasst und somit Probleme mit seiner Hypothese von diskreten Kraftpunkten umgeht. Dazu HOMANN, Boscovich's Philosophy of Mathematics (Anm. 33) 561.

³⁸ Ruder BOSCOVICH, De Continuitatis Lege et ejus Consectariis Pertinentibus ad prima Materiae Elementa eorumque Vires. (Rom 1754); STANOJEVIĆ, Proof of the Hero's formula according to R. Boscovich (Anm. 2) 88.

³⁹ BOSCOVICH, De Continuitatis Lege (Anm. 38) 19f.

⁴⁰ PROVERBIO, R. G. Boscovich's Determination of Instrumental Errors in Observation (Anm. 21) 140ff.

⁴¹ Näheres dazu ebd., 144ff.

⁴² Stephen Mack STIGLER, Studies in the history of probability and statistics XL, Boscovich, Simpson and a 1760 manuscript note on fitting a linear relation, in, Biometrika 71 (1984) 615; FAREBROTHER, Studies in the history of probability and statistics XLII (Anm. 19) 397ff.

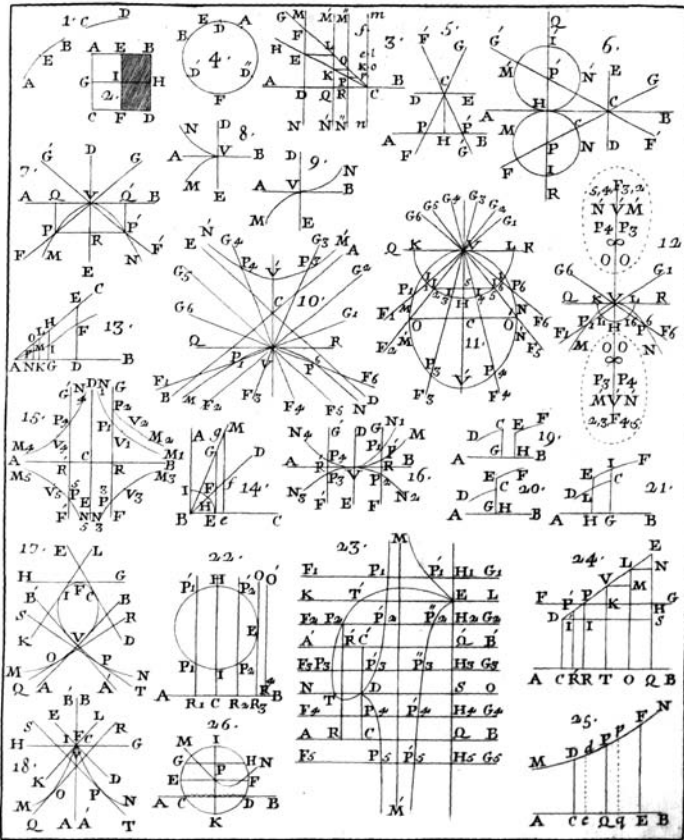


Abb. 2: Konstruktionszeichnungen aus „De Continuitatis Lege“, insbesondere auch zur Thematik der Kegelschnitte

kleinsten Abweichungsquadrate als wenig geeignet, was Boscovich veranlasste, nach neuen Methoden zu suchen.⁴³ Auf die von Boscovich in der Schrift „De litteraria expeditione“ entwickelte Methode der Minimierung der Absolutsumme der Residuen bezog sich später auch Gauß; so nutzte er die Vorarbeiten Boscovichs u.a. bei der von ihm durchgeführten Hannoverschen Landvermessung.

Im Zusammenhang mit der Fehlerkorrektur beschäftigte sich Boscovich auch mit den Fragen, mit welcher Wahrscheinlichkeit Fehler überhaupt auftreten, welche Kombinationen von sich ggf. ausgleichenden Fehlerereignissen existieren, welche dieser Kombinationen in der Summe der Fehler zu einem bestimmten Wert führen können usw.⁴⁴

Neben den bereits erwähnten Fragen der sphärischen Trigonometrie und der Fehlerkorrektur befasste sich Boscovich mit einer Vielzahl weiterer mathematischer und auch astronomischer Themen. Einen vollständigen Überblick zu geben ist hier nicht möglich. Die Breite des von Boscovich behandelten Spektrums möge an den folgenden Beispielen deutlich werden:

Eines derjenigen mathematisch-geometrischen Themen, die Boscovich immer wieder beschäftigten, waren die Kegelschnitte. Dieses Thema findet sich nicht nur in den „Elementa matheseos universae“, sondern beispielsweise auch in „De Determinanda Orbita

⁴³ Oscar Borisovič SHEYNIN, R. J. Boscovich's Work on Probability. In: Archive for the History of Exact Sciences 9 (1972/73) 307ff. Das konkrete Verfahren wird ausführlich bei Sheynin erläutert.

⁴⁴ Ebd. 317f.

Planetæ“ (1749) im Zusammenhang mit den Planetenbahnen⁴⁵ sowie in der Schrift „De Continuitatis Lege“.⁴⁶

Doch auch andere geometrische Themen können genannt werden: Im Vorfeld der Veröffentlichung des dritten Bandes seiner „Elementa matheseos universae“ beschäftigte sich Boscovich beispielsweise mit der Problematik der Transformation geometrischer Loci. Gemeinsam mit der Abhandlung „Sectionum conicarum elementa“ veröffentlichte er dann dort auch eine Abhandlung über die betreffende Thematik mit dem Titel „De transformatione locorum geometricorum“.⁴⁷

In seinen Supplementen zu Benedict Stays „Philosophiae Recentioris“ befasst sich Boscovich nicht nur mit diversen astronomischen und geografischen Fragen, sondern beispielsweise auch mit der Ausbreitung von Tönen⁴⁸ oder auch mit der Geometrie der Bienenwaben.⁴⁹

Auch klassische Themen fanden Boscovichs Interesse. So enthält der fünfte Band seiner „Opera pertinentia ad Opticam et Astronomiam“ z.B. einen Beweis der bekannten Heronschen Formel zur Bestimmung der Fläche eines Dreiecks aus vorgegebenen drei Seitenlängen.⁵⁰

Mathematische Themen außerhalb der Geometrie spielen für das Gesamtwerk Boscovichs eine deutlich geringere Rolle, sie sind jedoch durchaus erwähnenswert. Aufzuführen ist hier die bereits erwähnte Algebra, die den zweiten Band seiner „Elementa“ füllt. Mit Themen aus der Stochastik beschäftigte sich Boscovich im Laufe seines Lebens ebenfalls: Hierzu gehören die oben genannte Diskussion über Fehlerkombinationen und deren Auftrittswahrscheinlichkeit. Ferner belegt ein Manuskript aus dem Jahre 1765, dass sich Boscovich, wenngleich nur auf elementarem Niveau, auch mit den Wahrscheinlichkeiten bei einer Lotterie auseinander setzte.⁵¹

Allgemein bekannt ist, dass die Rezeption Newtons bei Boscovich eine ganz besonders herausragende Rolle spielte. Den Beginn der Boscovichschen Newtonianismus markiert nach Ansicht von Casanovas die Schrift „De Aestu Maris“ aus dem Jahre 1747.⁵² Wie stark bereits in frühen Jahren die Anlehnung an Newton bei Boscovich ist, lässt sich schon aus bloßen formalen Aspekten erkennen: In seiner Schrift „De Determinanda Orbita Planetæ“ findet sich bereits auf der ersten Textseite die Berufung auf Newtons „Principia“.⁵³ In seinen „De Solis ac Lunae Defectibus Libri V“ von 1760 formuliert Boscovich sogar eine Apotheose Newtons (V, 9–13).⁵⁴

Boscovichs Interessen für Physik und Mathematik finden ihre Fortsetzung auch in philosophischen Erwägungen über die materielle Welt. Nach kleineren Abhandlungen zu dieser

⁴⁵ Ruder BOSCOVICH, De Determinanda Orbita Planetæ ex datis vi, celeritate & directione in dato puncto (Rom 1749) passim.

⁴⁶ BOSCOVICH, De Continuitatis Lege (Anm. 38) 32ff.

⁴⁷ Hierzu Ivica MARTINOVIĆ, Bošković's Theory of the Transformations of Geometric Loci, Program, Axiomatics, Sources. In: Zbornik radova međunarodnog znanstvenog skupa o Ruderu Boškoviću. Dubrovnik 5.–7. Listopada 1987 (Zagreb 1991) 79ff.

⁴⁸ Philosophiae Recentioris a Benedicto STAY [...] Versibus Traditae Libri X ad Silvium Valentium Cardinalem Amplissimum cum Adnotationibus, et Supplementis P. Rogerii Josephi Boscovich S. J. 2 Bde. (Rom 1755).

⁴⁹ Ebd. 498ff.

⁵⁰ STANOJEVIĆ, Proof of the Hero's formula according to R. Boscovich (Anm. 2) 84ff.

⁵¹ SHEYNIN, R. J. Boscovich's Work on Probability (Anm. 43) 318f.

⁵² CASANOVAS, Boscovich's Early Astronomical Studies (Anm. 9) 242.

⁵³ BOSCOVICH, De Determinanda Orbita Planetæ (Anm. 45) 1.

⁵⁴ Dazu auch Ante KADIĆ, A Literary and Spiritual Profile of Boscovich. In: BURSILL-HALL (Anm. 9) 22.

Thematik⁵⁵ („De materiae divisibilitate et de principiis corporum dissertatio“, 1748; „De Continuitatis Lege“, 1754; „De lege virium in natura existentium“, 1755) erschien 1758 in Wien seine „Philosophiae naturalis theoria“. Nicht zufällig ähnelt der Titel der Schrift dem des Newtonschen Fundamentalwerkes „Philosophiae naturalis principia mathematica“ (1687). Boscovich setzt sich in seinem Werk von der peripatetischen Naturerklärung ab.

Auch in der Astronomie besaß Boscovich breit gefächerte Interessen. Verbindungen mit Mathematik, Physik und wissenschaftlichem Instrumentenbau sind dabei allgegenwärtig. So gehen physikalische, mathematisch-geometrische und astronomische Fragestellungen in Boscovichs Werk oftmals ineinander über. Exemplarisch soll hier nur die Schrift „De Lunæ Atmosphæra“ (Rom 1753) erwähnt werden, in der u.a. Fragen der Astronomie, der Optik, der Geometrie und Trigonometrie erörtert werden. Aber auch Vorgehensweisen der Algebra unter Berufung auf Euler finden sich hier sowie erneut die Thematik der Fehlerkorrektur.⁵⁶

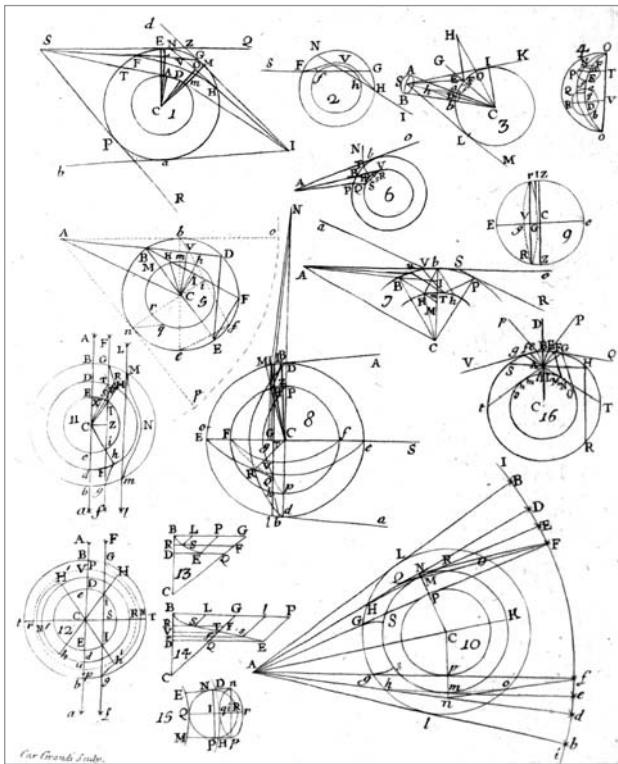


Abb. 3: Konstruktionszeichnungen aus „De Lunæ Atmosphæra“

Das monumentale Werk „Opera pertinentia ad Opticam et Astronomiam“ zeugt ebenfalls deutlich von dem aus heutiger Sicht interdisziplinären Repertoire: Die beiden ersten Bände befassen sich mit den optischen Grundlagen von Teleskopen sowie mit deren Konstruktion und Anwendung. Breiten Raum nimmt dabei insbesondere das Thema der Lichtbrechung ein. Der dritten Band wendet sich dann den Anwendungen in der Astronomie zu. Er beginnt damit, die Umlaufbahn eines Kometen aus drei Beobachtungsdaten zu ermitteln. Dabei

⁵⁵ Im Folgenden zitiert nach KOCH, Jesuiten-Lexikon (Anm. 7) Sp. 237. Auch die Edition von Stays „Philosophiae Recentioris“ (Anm. 48) muss hierzu gerechnet werden.

⁵⁶ Ruder BOSCOVICH, De Lunæ Atmosphæra Dissertatio (Rom 1753); z.B. zur Fehlerkorrektur, 36f.

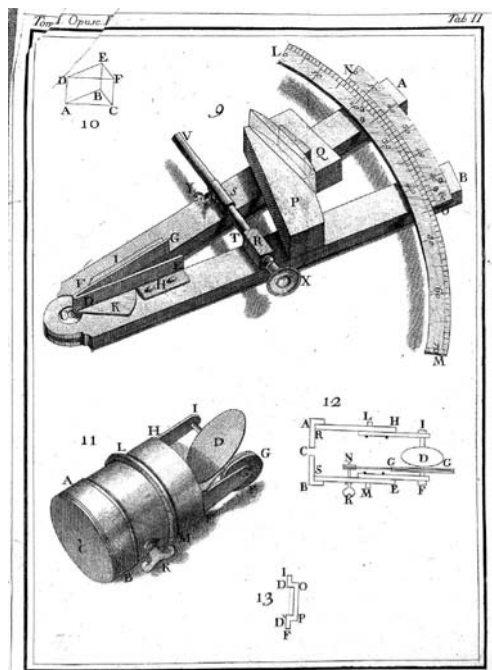


Abb. 4: Boscovichs (zweites) Vitrometrum, aus: „Opera pertinentia ad Opticam et Astronomiam“, Bd. 1

wendet Boscovich auch Methoden der sphärischen Geometrie an.

Die approximative Bahnberechnung aus drei Beobachtungen hatte Boscovich im Übrigen bereits in seiner 1746 erschienenen Schrift „De cometis“ behandelt, so dass er das Thema hier wieder aufgreift.⁵⁷ Noch früher, nämlich in seiner Abhandlung „De maculis solaribus“ aus dem Jahre 1736 hatte Boscovich eine geometrische Lösung einer ähnlichen Frage gegeben, nämlich wie aus drei Beobachtungen eines Fleckens der Äquator eines Himmelskörpers bestimmt werden könne.⁵⁸

Im zweiten Teil des dritten Bandes der „Opera pertinentia“ befasst er sich ferner mit dem damals neu (1781 durch William Herschel) entdeckten Planeten Uranus und dessen Bahn, die er ebenfalls aus den Beobachtungsdaten zu errechnen sucht. Der vierte Band ist den Messinstrumenten gewidmet, beginnend mit dem Mauerquadranten über den Sextanten und zahlreiche andere Instrumente bis hin zu Sonnenuhren. Außerdem behandelt

Boscovich hier die Korrektur von bei den Messungen auftretenden Fehlern. Der fünfte Band enthält schließlich diverse Themen aus der Astronomie, u.a. die kurzgefasste Darstellung der Astronomie für Seefahrer, die später unter dem Titel „Abriss der Astronomie“ auch in deutscher Sprache erschien.⁵⁹

Im Zusammenhang mit der Astronomie und der Optik verdient Erwähnung, dass sich Boscovich auch selbst mit der Konstruktion wissenschaftlicher Instrumente beschäftigte. So stellt er in der „Abhandlung von den verbesserten Dioptrischen Fernröhren“ ein von ihm so genanntes „Vitrometrum“ vor, das dazu dienen sollte, „so wohl die Brechungs- als Farbenzerstreuungskraft verschiedener Gläser zu untersuchen, und miteinander zu vergleichen“.⁶⁰ Auf diesem Wege sollte zu einer Verbesserung der damals gebräuchlichen Teleskope beigetragen werden, indem der Einfluss des Farbfehlers (der so genannten chromatischen Aberration) der Glaslinsen vermindert werden sollte.⁶¹ Insofern fügen sich auch diese Bemühungen Boscovichs in das vom ihm immer wieder aufgegriffene Themenfeld

⁵⁷ Žarko DADIĆ, On Boscovich's Theoretical Astronomy. In: BURSILL-HALL (Anm. 9) 245ff.

⁵⁸ Constant von WURZBACH, Biographisches Lexikon des Kaiserthums Österreich, Bd. 2 (Wien 1857) 83.

⁵⁹ Ruder BOSCOVICH, Abriss der Astronomie, mit Rücksicht (sic!) auf ihre Verbindung zur Schifffahrt (Leipzig 1787).

⁶⁰ Ruder BOSCOVICH, Abhandlung von den verbesserten Dioptrischen Fernröhren, aus den Sammlungen des Instituts zu Bologna, sammt einem Anhang des Uebersetzers [Karl Scherffer] (Wien 1765) 19. Das Instrument und seine Konstruktion werden bei ULLMAIER, Boscovichs Vitrometer (Anm. 3), speziell 29ff., ausführlich und anschaulich behandelt.

⁶¹ ULLMAIER, Boscovichs Vitrometer (Anm. 3) 18.

der Fehlerkorrektur ein. Das Instrument war Resultat langjähriger Zusammenarbeit (ab 1763) mit Giovan Stefano Conti (1720–1791), die darauf ausgerichtet war, geeignete achromatische Linsen herzustellen. Auf Grund der noch nicht ausgereiften Produktionsverfahren für Glas ließ sich dieses Ziel jedoch nicht erreichen.⁶²

4. *Verständliche Wissenschaft*

Bekanntermaßen war Boscovich auch in literarischer Weise produktiv.⁶³ Bemerkenswert ist dabei, dass sich die literarische und die mathematisch-naturwissenschaftliche Seite Boscovichs durchaus verschränken:⁶⁴

Als großes Verdienst von Boscovich kann gesehen werden, dass er bestrebt war, Wissenschaft verständlich darzustellen und zugleich ihre praktische Anwendbarkeit zu beachten. Ein gutes Beispiel ist hier der bereits erwähnte „Abriss der Astronomie“ (1787), der im frz. Original bereits 1775 für den Herzog von Chartres entstand. Hier werden in verständlicher Weise die Grundbegriffe der Astronomie, die wichtigsten Theorien z.B. zur Planetenbewegung, aber auch die wichtigsten Instrumente und ihr Gebrauch beschrieben und erklärt.⁶⁵ Dabei handelt es sich im besten Sinne um populäre Wissenschaft.

Bereits von Zeitgenossen wurde Boscovichs Vermögen, Wissenschaft einfach und verständlich darzustellen, gesehen: So schreibt Johannes Schmidel in seinem Vorwort zu den von ihm herausgegebenen und auf Boscovich fußenden „Elementa Trigonometriae Sphaericae“: „Tria in hoc opusculo erant nobis proposita: Brevitas, facilitas, et utilitas. [...] Secuti sumus hoc in opusculo Clariss. Rogerium Boscovich, ob singularem eius et brevitatem et facilitatem [...]“.⁶⁶

Besonders beachtenswert und aus heutiger Sicht ungewöhnlich ist ferner auch Boscovichs Bemühen, Wissenschaft in literarischer Form zu vermitteln. Eine solche schöngestige Präsentation von Wissenschaft bietet die Schrift „De Solis ac Lunae Defectibus Libri V“. Dieses Werk behandelt verschiedene Themen der Sonnen- und Mondbeobachtung, vor allem im Hinblick auf Sonnen- und Mondfinsternisse. Boscovich verfasste es in Hexametern und widmete es der Royal Society. Bereits als Student hatte Boscovich 1735 ein Gedicht mit 300 Versen über Eklipsen geschrieben. Dieses bildete die Grundlage für „De Solis ac Lunae Defectibus Libri V“.⁶⁷

Nicht nur von der poetischen Form der Hexameter her, sondern auch durch Bezugnahmen auf klassische Motive der Antike und speziell der griechisch-römischen Mythologie ist dieses astronomische Werk an die antike Dichtung angelehnt. Sprachlich und formal orientierte sich Boscovich dabei an Horaz, Ovid und Vergil, vor allem aber an Lukrez und dessen Werk „De rerum natura“.⁶⁸

Da durch die Versform und die Bezugnahmen auf die antike Mythologie natürlich inhaltliche Einschränkungen in der Darstellung der astronomischen Themen gegeben sind, finden sich die wesentlichen Aussagen zu astronomischen Beobachtungen in den beigegebenen Fußnoten. Dasselbe gilt auch für Boscovichs Ausführungen zu theoretischen Fragen der Astronomie. So gelingt es dem Autor, einen Überblick über die wichtigsten Fragen der Astronomie zu geben. Behandelt werden u.a. die Planetenbewegungen, konkret auch die

⁶² Ebd. 29, 33f.

⁶³ z.B. KADIĆ, A Literary and Spiritual Profile of Boscovich. (Anm. 54) 21.

⁶⁴ Dieses Thema behandelt ausführlich Sante GRACIOTTI, Le idee e l'arte del letterato Boscovich. In: BURSILL-HALL (Anm. 9) 27ff.

⁶⁵ BOSCOVICH, Abriss der Astronomie (Anm. 59).

⁶⁶ Johannes SCHMIDEL (Hrsg.), Elementa Trigonometriae Sphaericae ex Clar. Rogerio Boscovich excerpta [...] (Breslau 1778) 3f.

⁶⁷ KADIĆ, A Literary and Spiritual Profile of Boscovich (Anm. 54) 21.

⁶⁸ Ebd. 21.

Keplerschen Gesetze (25ff.), ferner der Venustransit (72), Kometen (z.B. 82) oder auch Fragen der Beobachtungen und der Beobachtungsinstrumente, um nur einige wenige Beispiele aus dem breiten Themenspektrum zu erwähnen. Zu vielen Teilfragen kann Boscovich dabei auf eigene bereits zuvor erschienene Schriften verweisen, die in einem beeindruckenden und etliche Dutzend Titel umfassenden Publikationsverzeichnis aufgeführt sind, das in der Venediger Ausgabe von 1761 die bis dahin veröffentlichten Schriften verzeichnet und dem Werk vorangestellt ist.

Die Ausführungen Boscovichs beschränken sich in diesem Werk jedoch nicht nur auf Astronomisches, sondern der Verfasser setzt sich auch mit diversen anderen naturwissenschaftlichen Themen im Umfeld auseinander, so mit der Newtonschen Optik, speziell mit Newtons Theorie des Lichtes.⁶⁹ Erwähnung verdient vor allem, dass Boscovich intensiv zeitgenössische Beobachtungen auswertet und in seine Darstellung einfließen lässt.⁷⁰

Gerade dieses Werk zeigt aber auch, dass literarischer und wissenschaftlicher Zugang zur Astronomie durchaus nebeneinander stehen können. Die literarische Bearbeitung der Thematik relativiert oder mindert nicht den wissenschaftlichen Gehalt des Werkes, da die wissenschaftlichen Erkenntnisse sich separat in den Fußnoten finden. Vielmehr kann man diese Schrift sowohl als literarisches als auch als wissenschaftliches Werk lesen; es vermag also auch eine Zielgruppe anzusprechen, die über reine Astronomie hinausgeht.

Unter dem Aspekt der Popularisierung von Wissenschaft kann die Form der Darstellung als beachtenswerter Ansatz angesehen werden. Noch heute böte der Text Möglichkeiten zur disziplinübergreifenden Rezeption,⁷¹ indem beispielsweise ausgewählte Teile des Werkes im fortgeschrittenen Latein-Unterricht gelesen würden. An ihnen ließen sich nicht allein sprachlich-poetologische Erkenntnisse gewinnen, sondern der Text eröffnete auch die Gelegenheit, die Rezeption antiker Muster in neulateinischer Dichtung zu erarbeiten und schließlich auch über Astronomie zu sprechen – ein durchaus ambitioniertes, aber gewiss lohnendes pädagogisches Vorhaben.

Die von Boscovich gewählte, aus heutiger Sicht sehr ungewöhnlich wirkende Form der Darstellung wurde in der wissenschaftshistorischen Diskussion jedoch nicht überall goutiert. Stigler beispielsweise bewertet Boscovichs Ausführungen despektierlich als *an obscure commentary on a Latin poem*,⁷² wobei hier wohl weniger die inhaltliche Klarheit der Bemerkungen Boscovichs als dessen Form gemeint sind.⁷³ Zwar hält auch Kadić das Werk nicht für literarisch bedeutsam,⁷⁴ es muss aber festgestellt werden, dass eine Betrachtung aus latinistischer Sicht durchaus zu anderen Einschätzungen führen könnte. Selbst von Zeitgenossen wurde das Werk in seiner Darstellung negativ bewertet, so von Jean-Baptiste-Joseph Delambre.

In der Tat muss man aus rationaler Perspektive konzedieren, dass die Form des Werkes – setzt man den Fokus auf die rein mathematisch-astronomische Wissensvermittlung – für die Rezeption nicht optimal ist. Allerdings finden sich in der Literatur auch andere, d.i. überaus positive Wertungen der Darstellung. So schreibt beispielsweise Wurzbach hierzu:

„Dieses Gedicht zeichnet sich durch die Eleganz der Sprache aus und beurkundet eine seltene Fertigkeit, den abstractesten Gegenstand in der anmuthigen Form der Poesie und dabei allgemein verständlich darzustellen.“⁷⁵

⁶⁹ Dieser Thematik widmet sich insbesondere das fünfte Buch (268ff.).

⁷⁰ So erwähnt er beispielsweise im zweiten Buch verschiedene Expeditionen und deren (astronomische) Beobachtungen (z.B. 77).

⁷¹ So auch schon angeregt bei ULLMAIER, *Puncta, particulae et phaenomena* (Anm. 5) 47.

⁷² STIGLER, *Studies in the history of probability and statistics XL* (Anm. 42) 618f.

⁷³ Dies wird verdeutlicht von FAREBROTHER, *Studies in the history of probability and statistics XLII* (Anm. 19) 399.

⁷⁴ KADIĆ, *A Literary and Spiritual Profile of Boscovich* (Anm. 54) 23.

⁷⁵ WURZBACH, *Biographisches Lexikon des Kaiserthums Österreich Bd. 2* (Anm. 58) 84.

Als Zeichen dafür, dass die betreffende Art und Weise der Vermittlung wissenschaftlicher Ergebnisse durchaus angenommen wurden, kann die Tatsache gewertet werden, dass die Anmerkungen des Werkes ins Französische übersetzt wurden und die Schrift so unter dem Titel „Les Eclipses“ erneut erschien.⁷⁶

Vorbilder für die Darstellung wissenschaftlicher Themen in metrisierter Sprache gibt es durchaus in Boscovichs Zeit. Bestes Beispiel ist hier das Werk „Philosophiae Recentioris“ von Benedict Stay, das Boscovich 1755 in Rom in zwei Bänden herausgab.⁷⁷ Die zehn Bücher dieser Schrift sind ebenfalls in Versen verfasst, zu denen Boscovich Anmerkungen und Kommentare hinzufügte.⁷⁸ Aber auch in der Nachfolge Boscovichs lassen sich poetische Darstellungen mathematisch-naturwissenschaftlicher Ergebnisse belegen: Boscovichs Schüler Brno Dzamanjić schrieb u.a. ein Gedicht mit dem Titel „Echo“ (Rom 1764), in dem er die ihm von Boscovich vermittelte Theorie des Echos behandelte.⁷⁹

In der historiografischen Bewertung wird der wissenschaftliche Gehalt von Werken in poetischer Form allerdings später dem literarischen Aspekt untergeordnet. Demgemäß teilt beispielsweise Wurzbach sowohl die Edition der Stayschen Schrift „Philosophiae Recentioris“ wie auch Boscovichs eigenes Werk „De Solis ac Lunae Defectibus Libri V“ den poetischen Werken zu.⁸⁰

5. Fazit und Ausblick

Wenn man lediglich Boscovichs Wirken im Bereich der Mathematik und Astronomie betrachtet, wird man allorten konfrontiert mit seiner Universalgelehrsamkeit oder – wie man es aus heutiger Sicht formulieren könnte – seiner Interdisziplinarität. Generell können Boscovichs mathematisch-astronomischen Begabungen und Tätigkeiten nicht von denen in zahlreichen anderen Disziplinen getrennt werden. Selbst mit der Dichtkunst lassen sich Verbindungen erkennen, wie das Werk „De Solis ac Lunae Defectibus“ beweist.

Bis heute zeigen Boscovichs mathematisch-naturwissenschaftlichen, aber auch die naturphilosophischen Ergebnisse deutliche Nachwirkungen. Dies gilt beispielsweise für seine Bemühungen um die Fehlerkorrektur, die die Grundlage für die heute z.B. in der Wirtschaftsmathematik so beliebte Regression lieferten. Auch Boscovichs Atomtheorie erweist sich heute noch als aktuell, insbesondere bei der Erklärung und Modellierung von Anziehung und Abstoßung, wie sie in der Polymerforschung einsetzbar sind.⁸¹

Für seine Zeit war Boscovichs Wirken im Bereich der Mathematik und Astronomie in mehrfacher Hinsicht bemerkenswert. Zu nennen sind hier u.a. seine Rolle bei der Propagierung der Newtonschen Ideen im Jesuitenorden, seine wegweisenden Ergebnisse bei der Anwendung der Geometrie, so in der Fehlerkorrektur zur Verbesserung von Beobachtungsmöglichkeiten oder auch seine Bemühungen um die literarische Darstellung von mathematischen und astronomischen Themen usw. Aus diesen Gründen gehörte Boscovich im 18. Jahrhundert ohne Zweifel zu den allgemein bekannten Wissenschaftlern, wie beispielsweise seine Qualifizierung als „Der berühmte Boscovich“ in der „Vorrede des Uebersetzers“ zum „Abriss der Astronomie“ (Leipzig 1787) bezeugt;⁸² und auch in der Historiografie sei-

⁷⁶ KADIĆ, A Literary and Spiritual Profile of Boscovich (Anm. 54) 22.

⁷⁷ Zu Boscovichs Verhältnis zu Benedict Stay s. KADIĆ, A Literary and Spiritual Profile of Boscovich (Anm. 54) 13f.

⁷⁸ STAY, Philosophiae Recentioris (Anm. 48).

⁷⁹ KADIĆ, A Literary and Spiritual Profile of Boscovich (Anm. 54) 15.

⁸⁰ WURZBACH, Biographisches Lexikon des Kaiserthums Österreich, Bd. 2 (Anm. 58) 84.

⁸¹ DRAGOSLAV STOILJKOVIĆ, Importance of Boscovich's theory of natural philosophy for polymer science. In: Polimeri. Časopis za plastiku i gumu 28 (2007) 29ff.

⁸² Vorrede des Uebersetzers, III.

ner Zeit wird Boscovich angemessen und vielfach gewürdigt.⁸³ In dieser Hinsicht besteht in der heutigen Literatur noch deutlicher Nachholbedarf.

Dank

Der Verfasser dankt der Forschungsbibliothek Gotha für die Unterstützung bei der Literaturbeschaffung. Die Erstellung dieser Studie erfolgte wesentlich während eines Forschungsaufenthaltes an der Forschungsbibliothek Gotha, der durch ein Herzog-Ernst-Stipendium der Fritz-Thyssen-Stiftung finanziert wurde. Hierfür sei der Stiftung und den zuständigen Gremien herzlicher Dank ausgesprochen.

Zusammenfassung

Mathematik und Astronomie spielten in der wissenschaftlichen Vita Ruder Boscovichs eine zentrale Rolle. Thematische Schwerpunkte lagen dabei vor allem im Bereich geometrischer und trigonometrischer Fragen. Hierzu gehört beispielsweise die intensive Behandlung der Kegelschnitte genauso wie die Bahnberechnung von Himmelskörpern aus vorgegebenen Daten. Zu dem nahezu unüberschaubaren Spektrum mathematischer und astronomischer Themen, denen sich Boscovich widmete, zählen ferner das Gesetz der Kontinuität, die Frage nach den unendlich fernen Punkten oder auch die Möglichkeiten der Fehlerkorrektur, die ihn u.a. mit Blick auf die Verbesserung von geodätischen Messungen, von astronomischen Beobachtungen und hinsichtlich der Konstruktion von wissenschaftlichen Instrumenten interessierten.

Die von Boscovich in der Mathematik und in der Astronomie erzielten Ergebnisse bildeten vielfach die Grundlage für weitere Fragestellungen, mit denen er sich in der Philosophie oder in der Physik befasste. Dennoch wurde dieser Aspekt ebenso wie Boscovichs Position in der Geschichte der Mathematik – speziell im deutschsprachigen Raum – bislang noch nicht angemessen gewürdigt. Der vorliegende Beitrag gibt daher einen Überblick über Boscovichs Wirken in diesen Disziplinen.

Generell werden nicht nur wesentliche Schriften von Boscovich zur Mathematik und Astronomie kurz vorgestellt, sondern auch Facetten seines Lebens betrachtet, die von seiner Beschäftigung mit Astronomie und Mathematik wesentlich geprägt wurden: z.B. sein Engagement für die Errichtung und Ausstattung eines Observatoriums am Kolleg in Brera (Mailand) oder auch die intensiven Auseinandersetzungen mit d'Alembert.

Abschließend wird noch ein aus heutiger Sicht eher am Rande liegender Aspekt der Wissenschaftlerpersönlichkeit Boscovich näher untersucht, nämlich sein Bemühen um die verständliche bzw. literarische Darstellung von wissenschaftlichen Ergebnissen, speziell aus der Astronomie.

⁸³ Luigi PEPE, Boscovich and the Mathematical Historiography of His Time. In: BURSILL-HALL (Anm. 9) 502ff.

VORARBEITEN ZUR *THEORIA PHILOSOPHIAE NATURALIS*

Die Entstehungsgeschichte von Boscovichs Theorie, von seinen ersten Veröffentlichungen bis zur endgültigen Darstellung in dem Wiener Hauptwerk¹, 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 Theorie². 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

¹ 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.

² 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“.³ Erhalten sind drei Briefe Borgondios an Boscovich (vom 6., 18. und 25. Juni 1735), in denen er ihm weitere Newton-Studien empfiehlt.⁴ 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“.⁵ 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 „31st 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.⁶

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.⁷ 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.⁸ 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

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

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

⁵ *Ebd.* 62; 118.

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

⁷ S. 4: *audiatur Newton Optices l. 3. pag. 312.*

⁸ *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.⁹ 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.¹⁰ 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

⁹ *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.

¹⁰ **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“.¹¹ Newtons Gravitationstheorie bezeichnet er in *De viribus vivis* als *hypothesis* (num. 22–23)¹² und zum erstenmal auch als *sententia* (num. 38).¹³ Wenn er in num. 40 zum erstenmal seine eigene Theorie einführt, gebraucht er ebenfalls den Ausdruck *sententia* zu ihrer Bezeichnung.¹⁴

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-

¹¹ *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.

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

¹³ Num. 30: *in Newtoni sententia*.

¹⁴ 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).¹⁵ Unter der *actio physica* meint er höchst wahrscheinlich eine Wirkung, die auf-

¹⁵ 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.¹⁶ 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.¹⁷ 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.¹⁸ 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“.¹⁹ 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.“

¹⁶ 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.

¹⁷ MARKOVIĆ, Rude Bošković (Anm. 4) 235–236.

¹⁸ 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).

¹⁹ 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.²⁰ 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“.²¹ 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.²² 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.²³

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

²⁰ 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.

²¹ Num. 169: *poterit ea per simplicissimam etiam algebraicam formulam exprimi.*

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

²³ 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.“²⁴ 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.“²⁵

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

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

²⁵ (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 Benvenuto's 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 empirischen 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).

ZVONIMIR ČULJAK (Zagreb)

EINIGE WISSENSCHAFTSTHEORETISCHE ASPEKTE
VON BOŠKOVIĆS BEGRÜNDUNG SEINER THEORIE DER
NATURPHILOSOPHIE: METHODOLOGISCHER REALISMUS
(*Theoria philosophiae naturalis, Pars I*)

Einleitung: Periodisierung und Typologie

Wissenschaftshistorisch und wissenschaftstheoretisch gesehen, ist Boškovićs Werk ein heterogenes und in gewissem Sinne inkonsistentes Ganzes. Diese Heterogenität und Inkonsistenz kann durch eine intrinsische Evolution seines naturwissenschaftlichen und naturphilosophischen sowie seines methodologischen und allgemein wissenschaftstheoretischen Denkens erklärt werden. Die Periodisierung seiner naturwissenschaftlichen und naturphilosophischen Karriere ist eine relativ einfache Aufgabe: Es gibt die Periode *vor* und die Periode *nach* der ersten Formulierung seiner Kräftetheorie (1736–1745; 1745–1786). Boškovićs wissenschaftstheoretische Ansichten haben sich parallel zur Entwicklung seiner Kräftetheorie im Verlauf zweier Hauptschaffensperioden geändert, die mit den oben genannten Zeitabschnitten mehr oder weniger übereinstimmen und die man m.E. als *antirealistische* (instrumentalistische bzw. konventionalistische bzw. konstruktivistische) Periode einerseits und *realistische* Periode andererseits bezeichnen könnte.

Diese Perioden selbst dürften jedoch nicht als ausschließlich antirealistisch oder ausschließlich realistisch interpretiert werden, sondern als Perioden, die überwiegend realistisch bzw. antirealistisch waren. Daraus ergab sich nämlich eine dauerhafte Inkonsistenz in der Wissenschaftstheorie von Ruder Bošković: **Gewisse antirealistische Elemente** (etwa die These von der Unterbestimmtheit fundamentaler wissenschaftlicher Hypothesen durch die Beobachtung oder der implizit konstruktive Charakter der Materiepunkte in seinem Modell der Materie) sind auch in seinen späten Arbeiten ersichtlich. Jedenfalls scheint *wissenschaftlicher Realismus* die beste Bezeichnung für mehrere sonst unkorrelierbare wissenschaftstheoretische Aspekte seines Werkes zu sein. Die zweite Interpretationsschwierigkeit geht auf die Tatsache zurück, dass Bošković keine rein wissenschaftstheoretischen oder methodologischen Traktate verfasste: Seine methodologischen und allgemein wissenschaftstheoretischen Ansichten formulierte er in zerstreuten Fragmenten oder, im besten Fall, innerhalb einzelner Abschnitte in seinen naturwissenschaftlichen und naturphilosophischen Texten, oft ad hoc und manchmal als lediglich implizite Folgerungen seiner naturphilosophischen Betrachtungen.

So verstanden, lässt sich sein Antirealismus schon von seiner ersten Veröffentlichung mit dem Titel „De maculis solaribus exercitatio astronomica“ (1736) bis zum ersten Teil seiner Abhandlung *De lumine* (1748) verfolgen. Die zweite, realistische Schaffensphase beginnt im Zeitraum nach der ersten Formulierung seiner Kräftetheorie in der Abhandlung *De viribus vivis* (1745), präziser: im zweiten Teil seiner Abhandlung *De lumine* (1748). In den Abhandlungen *De continuitatis lege* (1754), in seinen *Supplementa* und *Adnotationes* zum Lehrgedicht *Philosophia recentior* von B. Stay, das in zehn Büchern bzw. drei Bänden erschien (1755, 1762, 1766), und besonders in Boškovićs Hauptwerk *Theoria philosophiae naturalis* (1758/1763) (im weiteren Text: *Theoria*) kommt diese „realistische Wende“ zu ihrer vollen Entfaltung. *Theoria* ist der Höhepunkt sowohl der naturphilosophischen Entwicklung Boškovićs einschließlich der vollständigen Formulierung seiner Kräftetheorie als auch seiner wissenschaftstheoretischen Entwicklung in Richtung eines wissenschaftlichen Realismus. Boškovićs Realismus kann als eine komplexe Folge seiner wissenschaftlichen Reifung, des Newton'schen Einflusses und vor allem seiner wissenschaftstheoretischen

Überzeugung, dass die besten Theorien, vor allem seine eigene, die Wahrheit von der realen Welt verkünden, erklärt werden.

Was ich hier als „wissenschaftlichen Realismus“ bezeichne, wird oft in vier Thesen zusammengefasst:¹

- (1) Die theoretischen Termini in den wissenschaftlichen Theorien sind als referentielle Ausdrücke zu betrachten;
- (2) die erfolgreichen wissenschaftlichen Theorien sind als approximativ wahre bestätigbar und durch die normale wissenschaftliche Evidenz schon oft bestätigt;
- (3) die von den Wissenschaften beschriebene Wirklichkeit ist grundsätzlich von unseren Gedanken oder „theoretischen Verpflichtungen“ unabhängig;
- (4) der geschichtliche Fortschritt der reifen Wissenschaft ist kumulativ und besteht aus sukzessiv genauer werdenden Approximationen an die Wahrheit hinsichtlich der beobachtbaren sowie unbeobachtbaren Phänomene.

Die Thesen (1) und (2) können als *semantisch*, die These (3) als *metaphysisch* und These (4) als *entwicklungstheoretisch* bezeichnet werden. Dieses Schema kann man durch zwei zusätzliche realistische Thesen, eine *methodologische* sowie eine *kausal-* und *erklärungs-theoretische* These, weiter zergliedern:

- (5) Die wissenschaftliche Forschung ist im Grunde ein *Entdeckungsverfahren*;
- (6) die kausalen Relationen sind *real*, und die kausalen Erklärungen sind *wahr*.

Alle diese Thesen wurden in Boškovićs Arbeiten explizit oder implizit ausgedrückt. Hier werde ich mich jedoch auf die These (5) in der Version von Bošković konzentrieren bzw. auf einige *methodologische* Aspekte seines wissenschaftlichen Realismus, die primär im ersten Teil von *Theoria* zum Ausdruck kommen.² Unter dem Ausdruck „methodologisch“ verstehe ich hier zuerst einen Inbegriff der Forschungs-, Bestätigungs- und Rechtfertigungsverfahren, die Bošković verwendete oder als normativ betrachtete.

Grundriss der Theorie: Kräfte, Materiepunkte und Raum als „Bausteine“ der Natur

Theoria ist vielleicht *das naturphilosophische Hauptwerk der Epoche*, wie Ernst Cassirer (1922) hervorhob. Die Bedeutung dieser Schrift wird aber oft damit begründet, dass Bošković darin eine Synthese der Newtonschen und Leibnizschen Naturphilosophie, vor allem der Newtonschen Gravitationstheorie und der Leibnizschen Monadologie vollzogen habe.³ Bošković selbst war für diese Deutung verantwortlich: Im Anhang erklärte er,

¹ Diese Gliederung stammt von R. BOYD, On the Current Status of Scientific Realism. In: R. BOYD, Ph. GASPER, J. D. TROUT (Hrsg.), *The Philosophy of Science* (Cambridge, Mass. – London, MIT, 1991) 196–197.

² Ausführlichere Betrachtungen dieser und anderer Aspekte des wissenschaftlichen Realismus bei Bošković sind zu finden in: Zvonimir ČULJAK, *Hypothesen und Phänomene. Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie Ruder Boškovićs zwischen Realismus und Antirealismus* (Würzburg 1998). Einzelne Analysen zum Thema des Boškovićschen Realismus sind nachzulesen in: Zvonimir ČULJAK, *Bošković's Unobservables* (= *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 7, No. 3, 1993, 211–223; „Some aspects of explanation in Bošković“, *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 9, No. 3, 1995, 73–84 und DERS., *Bošković und das Problem der primären und sekundären Qualitäten*. In: J. ZOVKO (Hrsg.), *Kroatische Philosophie im europäischen Kontext*, (St. Augustin 2003) 3–17.

³ Zu den Hauptelementen der Theorie Boškovićs vgl. vor allem Lancelot Law WHYTE, R. J. Boscovich, S.J., F.R.S. (1711–1787), and the Mathematics of Atomism (= *Notes and Records of the Royal Society* 13, 1958) 34–48; Željko MARKOVIĆ, *Boscovich's 'Theoria'*. In: Lancelot Law WHYTE (Hrsg.), *Roger*

dass seine Theorie *ein System zwischen dem Leibnizschen und dem Newtonschen (systema medium inter Leibnitianum et Newtonianum)* darstelle. Vom Letzteren übernehme er die Theorie von abstandsabhängigen anziehenden und abstoßenden Kräften, vom Ersteren die Annahme der Existenz völlig einfacher und unausgedehnter Elemente (*Theoria*, n. 1–2).⁴ Vom Letzteren unterscheide sich sein System in der Annahme eines einzigen Erklärungsprinzips, nämlich seines eigenen Kräftegesetzes, das er an die Stelle der drei Newton'schen Prinzipien – Gravitation, Kohäsion und Fermentation – setze, sowie in der Ablehnung der instantanen Geschwindigkeitsänderung; vom Ersteren wiederum unterscheide es sich in der Annahme der Homogenität der elementaren Punkte, aus deren Anordnungen und Kombinationen *alle Massenunterschiede (omnis massarum discrimen)* entstünden, sowie in der Ablehnung der kontinuierlich ausgedehnten Materie. Streng genommen, konnte Bošković die Idee der Materiepunkte und ihrer räumlichen Kombinationen als des letzten Prinzips der Materiestruktur auch von einigen anderen Autoren, u.a. von Newton selbst, übernehmen,⁵ sodass Leibniz hier, abgesehen von einigen anderen naturphilosophischen Elementen, nur als rhetorisches Exempel dient.

Boškovićs *Kräfte*theorie führt alle Naturwissenschaften, vor allem Physik, Astronomie und die damals entstehende Chemie, zwar nur programmatisch, auf *ein einziges Kräftegesetz* zurück. Der volle Titel seines Hauptwerkes – *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicam legem virium in natura existentium* [Eine Theorie der Naturphilosophie, die auf ein einziges Gesetz der in der Natur bestehenden Kräfte zurückgeführt wird]⁶ – verweist auf seine *reduktionistische* wie auch *realistische* Methodologie und Erklärungsstrategie. Sein Kräftegesetz postuliert abstandsabhängige Wechselwirkungen zwischen den Materiepunkten (*puncta materiae*), sodass die Kraft bei kleinsten Abständen abstoßend ist. Wenn die Abstände gegen Null streben, wird die Kraft unendlich groß, sodass sie jeden Kontakt zwischen den Teilchen und dadurch die instantane Änderung der Geschwindigkeit verhindert. Bei Abstandsvergrößerungen wechselt die Kraft mehrmals zwischen anziehenden und abstoßenden Werten, und bei sehr großen Abständen wird sie schließlich gemäß dem Gravitationsgesetz anziehend. Die Punkte des Gleichgewichts bzw. die Nullpunkte auf der

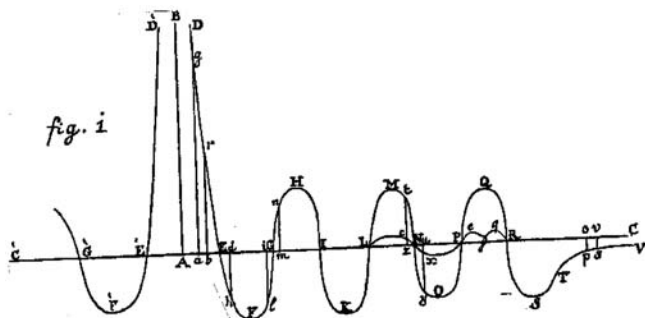
Joseph Boscovich. *Studies of His Life and Work on the 250th Anniversary of his Birth* (London 1961) 127–152; Lancelot Law Whyte, *Boscovich's Atomism*. In: Whyte, Roger Joseph Boscovich (Anm. 3) 102–126; Željko Marković, Rude Bošković, 1. Teil, (Zagreb 1968) 410–455; Melchior Oster, *Roger Joseph Boscovich als Naturphilosoph* (Dissertation), Druck von Heinrich Theissing, (Köln 1909) 7–44. Eine kritische Darstellung von Boškovićs Theorie, vornehmlich hinsichtlich ihrer Relation zur Naturphilosophie in Großbritannien im 18. Jh., findet sich in der klassischen historischen Arbeit R. E. Schofield's, *Mechanism and Materialism. British Natural Philosophy in the Age of Reason*, (Princeton, N. J., 1970) besonders 236–241, und passim.

⁴ Wo in den Werken Boškovićs eine Numerierung der Paragraphen durchgeführt wurde, ist es üblich, sie nach der Nummer des Paragraphen zu zitieren, sonst auf die gewöhnliche Weise nach der Seitennummer.

⁵ Vgl. dazu J. E. McGuire, *Atoms and the 'Analogy of Nature'. Newton's Third Rule of Philosophizing* (=Studies in History and Philosophy of Science 1, 1970) 3–58, sowie Čuljak, *Hypothesen und Phänomene*, (Anm.2) Einleitung.

⁶ „*Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicam legem virium in natura existentium*“. Typographia Remondiniana (Venedig 1763), 1. Auflage Wien 1758. Die englische Übersetzung von „*Theoria*“ erschien 1922. Vgl. „*A Theory of Natural Philosophy*“, 1966, übers. von J. M. Child, (Cambridge – London 1966). In der französischen Übersetzung seines Werks „*De solis ac Lunae defectibus*“ unter dem Titel *Les Eclipses*, S. 534, spricht Bošković auch über eine französische Übersetzung von „*Theoria*“, die 1779 unter seiner Leitung fertiggestellt, aber nicht gedruckt wurde. Vgl. dazu Carlos Sommervogel, „*Bibliothèque de la Compagnie de Jésus*“ (Louvain 1960) col. 1841; Marković, Rude Bošković (Anm. 3) 1. Teil, 456–457. Die kroatische Übersetzung „*Teorija prirodne filozofije*“ (übers. von J. Stipišić, Zagreb, SNL/Institut za filozofiju) erschien erst 1974 und leider nicht ohne beträchtliche Fehler.

Kraftkurve, die sich an den Grenzen zwischen den Anziehungs- und Abstoßungsbereichen befinden, bezeichnet Bošković entweder als Grenzen der Kohäsion (d.h. Lagen der relativen Stabilität) oder als Grenzen der Inkohäsion (d.h. Lagen der Instabilität). Diese Unterscheidung sollte alle makroskopischen Eigenschaften der Körper, vor allem den Unterschied zwischen den starren oder elastischen Körpern, erklären.



Die allgemeine Form der Kraftkurve, Bošković, *Theoria*, Fig. 1

Die Materie ist für Bošković offensichtlich kein in einem leeren Raum kontinuierlich ausgedehnter Stoff: Ihre Existenz und Struktur geht eher auf die *diskreten* Strukturen der Materiepunkte und ihre kontinuierlichen Wechselwirkungen zurück. Es gebe keine harten korpuskularen Atome, sondern letztendlich nur die *räumlichen Anordnungen der Kraftpunkte*, die die echten „Bausteine“ der Natur sind.

„Kontext der Entdeckung“ und „Kontext der Rechtfertigung“

Methodologisch ist Boškovićs **durch die Forderung des Autors nach der Erforschung und Beschreibung „Theoria“** der fundamentalen physikalischen (unbeobachtbaren) Struktur der Welt geprägt. Diese Einstellung steht in einem scharfen Kontrast zu seinen früheren Bemühungen um die Konstruktion einer empirisch adäquaten und technisch bequemen Hypothese ohne Wahrheitsanspruch, wie aus den Abhandlungen „De viribus vivis“ (1745) (n. 61 und *passim*) und „De materiae divisibilitate et principii corporum“ (1748) (n. 90)⁷ hervorgeht. In diesen früheren Abhandlungen interpretierte Bošković den wissenschaftlichen Beitrag seiner erstmals formulierten Kräftetheorie und seines Modells der physikalischen Punkte als einen wunderbaren empirischen und explanatorischen Erfolg.⁸

Obwohl Bošković damals seine Theorie als universelles Erklärungsschema konzipierte, ging er davon aus, dass sie eine empirisch adäquate Konstruktion sei, die man nicht als buchstäblich wahr oder als falsch interpretieren sollte, sondern als ein Instrument zur „Retung der Phänomene“. Sie sei durch die empirische Evidenz unterbestimmt und mit der Hypothese der kontinuierlichen Materie sowie mit der atomistischen Hypothese empirisch äquivalent. Ihre zentralen theoretischen Termini seien nicht referentiell, da die darin postulierten theoretischen Entitäten, *puncta physica* bzw. *puncta materiae*, und ihre räumliche

⁷ Für eine ausführliche Analyse zu diesem Punkt vgl. ČULJAK, Hypothesen und Phänomene (Anm. 2)

⁸ „Mirum autem quam ea particularum idea explicandis plurimis corporum phaenomenis perquam idonea sit“, „De viribus vivis“ (Rom 1745), n. 49; „mirum autem quam facile ex hac ipsa particularum constitutione deriventur plurimae diversorum corporum proprietates et discrimina“, „De materiae divisibilitate et principii corporum“. In: *Memorie sopra la Fisica e Istoria Naturale di diversi Valentuomini*, [Text der Abhandlung aus 1748 mit den „Adnotationes“ Boškovićs aus dem Jahr 1757], Tomo quarto (Lucca 1757) 131–258. n. 39.

Anordnung keiner realen, außertheoretischen Struktur unbedingt entsprechen sollten. Deshalb bezeichnete Bošković seine Kräftetheorie am Anfang der Abhandlung „De materiae divisibilitate et principiis corporum“ als „reine“ und „willkürliche Hypothese“ (*hypotesis pura* und *arbitraria*). Der *konstruktive* Charakter seines Modells der Materiepunkte und der *instrumentelle* Charakter seiner Kräftehypothese waren im Einklang mit der allgemeinen Überzeugung Boškovićs vom *konventionellen* Charakter der theoretischen Termini und Sätze überhaupt. In demselben Jahr, in dem diese Abhandlung vermutlich verfasst wurde, bezeichnete Bošković seine Kräftehypothese konsequent als *Theorie* und qualifizierte sie eindeutig als eine wahre Darstellung der realen Welt. Im zweiten Teil der Abhandlung *De lumine* (1748) beschrieb er sie als „eine Theorie der Kräfte, die in der Natur bestehen (*in natura existentium*) und aus denen wir die gesamte Mechanik ableiten“.⁹ Die Gesetze, nach denen diese Kräfte wirken, „beobachten wir in der Natur“ (*in natura observamus*), was diese Theorie „auf wunderbare Weise bestätigt“ (*mirum in modum confirmat*).¹⁰ In der Abhandlung *De continuitatis lege* (1754) wurde diese Bewunderung jedoch durch eine realistische Erklärung ihres empirischen Erfolgs rationalisiert. Denn ihr Erfolg beruhe darauf, dass sie aus den beobachtbaren Regularitäten in der Natur durch eine systematische *Analyse* abgeleitet worden sei und sie für diese Regularitäten als die beste Erklärung diene.¹¹

In *Theoria* legt Bošković **seine Kräftetheorie systematisch dar und bestimmt zugleich** ihren methodologischen Status. Aus dem Inhaltsverzeichnis des Buches und aus einigen Aussagen in den einführenden Passagen ist ersichtlich, dass Bošković, in zeitgenössischen Termini ausgedrückt, eine rudimentäre Analyse „im Kontext der Entdeckung“ auch als eine Art „rationaler Rekonstruktion“ seiner Theorie bzw. eine Analyse „im Kontext der Rechtfertigung“ durchführte. Gemäß Boškovićs eigenen Worten im Inhaltsverzeichnis, die sich auf die Passagen nn. 16–32 beziehen, handelte es sich dort einerseits um eine Darstellung des „Anlasses der Entdeckung der Theorie“ (*occasio invendae theoriae*) und andererseits um „eine analytische Ableitung der entdeckten Theorie“ (*analytica deductio inventae theoriae*) (*Theoria*, xxxviii). Dass Bošković aber an dieser Unterscheidung nicht konsequent festgehalten hat, zeigt sich im Titel des ersten Teils, der sich auf die Erörterung zum Thema der Rechtfertigung bezieht: „Darstellung, analytische Ableitung und Verteidigung der Theorie“ (*expositio, analytica deductio und vindicatio theoriae*).

Jedenfalls ist Boškovićs Beschreibung der Theorie (Analyse „im Kontext der Entdeckung“) nachhaltig durch seinen Realismus geprägt. Er beschreibt das Verfahren, das ihn zur Kräftetheorie führte, nicht als kontrolliertes Konstruktionsverfahren innerhalb eines Gedankenexperiments, das etwa für seine Abhandlungen „De viribus vivis“ (1745) und „De materiae divisibilitate et principiis corporum“ (1748) charakteristisch ist, sondern als eine echte *Entdeckung*, die anfangs ein völlig *kontingentes* Ergebnis war. Im ersten Fall war seine Theorie ein Konstrukt, das mit der unzugänglichen und unerforschlichen Natur nicht unbedingt korrespondieren sollte. Im zweiten Fall soll eine *grundlegende und vorher verborgene Regularität* in der Natur – die Kontinuität der Bewegung beim Zusammenstoß von Körpern – durch einen *Zufall* enthüllt worden sein. Nach seinem Bericht in „*Theoria*“ soll er im Jahre 1745 unerwartet auf die Kräftetheorie gekommen sein (*incidi*),¹² und zwar gerade während der Niederschrift der Abhandlung von den lebendigen Kräften, als er versuchte, das Problem der Entstehung der Geschwindigkeit (*productio velocitatis*) beim Zusammenstoß von Körpern zu lösen. Die Ergebnisse der kontingenten Entdeckung würden, so Bošković, **durch ein richtiges Schlussfolgern** (*recta ratiocinatio*) gefestigt:

⁹ „De lumine, pars secunda“ (Rom 1748) n. 2.

¹⁰ Ebd. n. 18.

¹¹ „De continuitatis lege et eius consecrariis pertinentibus ad prima materiae elementa eorumque vires“ (Rom 1754) n. 2.

¹² „*Theoria*“ (Anm. 6) n. 1.

*Sogleich zeigte sich mir, dass es für Schläge dieser Art, die freilich eine endliche Geschwindigkeit zu einem Zeitpunkt einführen sollten, einige andere Gesetze der Wirkung geben muss. Nachdem ich dies jedoch tiefer betrachtete, bin ich darauf gekommen, dass diese Wirkungsweise, wenn wir **die richtige Methode** des Schlussfolgerns verwenden, aus der Natur entfernt werden muss, die überall dasselbe Kräftegesetz und denselben Grundsatz der Wirkung anwendet; dass nämlich der unmittelbare Impuls eines Körpers auf einen anderen und der unmittelbare Schlag ohne jenes Herstellen der endlichen Geschwindigkeit zu einem unteilbaren Zeitpunkt und folglich ohne einen gewissen Sprung und die Verletzung des Gesetzes, das man 'Kontinuitätsgesetz' nennt, nicht stattfinden kann. Ich war der Ansicht, dass durch ein freilich ausreichend gültiges Verfahren bewiesen werden kann, dass **dieses Gesetz sicherlich in der Natur vorhanden ist.**¹³ (Hervorhebung von Z. Č.)*

Auf der Grundlage der so entstandenen Theorie wurde danach die gesamte Theorie der Naturphilosophie Boškovičs aufgebaut. Der Anlass dafür wäre wieder ein kontingentes Ereignis, das stattfand, als Boškovič sich mit dem Problem der Oszillation dreier Körper beschäftigte. „Ich kam zufällig“ (*casu incidi*), äußerte sich Boškovič, „auf einen äußerst einfachen und eleganten Lehrsatz zum Vergleichen der Kräfte dreier aufeinander wirkender Massen, der [...] den Augen der Mechaniker bisher entging (*effugit hucusque mechanicorum oculos*)“.¹⁴ Durch die Metapher „Augen der Mechaniker“ machte Boškovič darauf aufmerksam, dass dieser Lehrsatz eine zu *entdeckende*, nicht aber eine zu *konstruierende* Sache war. Schließlich stellte er fest, dass die Form der „Kraftkurve“ (*curva virium*) „durch richtiges Schlussfolgern aus den Naturphänomenen und aus den wahren Grundsätzen abgeleitet“ würde (*directa ratiocinatione a naturae phaenomenis et genuinis principiis deducta*).¹⁵ Dadurch wurde seiner Kräftetheorie definitiv die Rolle einer fundamentalen wissenschaftlichen Theorie zugewiesen. Dabei erscheint Boškovič nicht nur als wissenschaftlicher, sondern auch als „dogmatischer“ Realist, der von der Wahrheit seiner Theorie restlos überzeugt ist.

Die oben angegebenen Ausdrücke indizieren zugleich, wie Boškovič seine Analyse im „Kontext der Rechtfertigung“ durchführte. Er trat für eine Art *Fundationalismus* ein, eine epistemologische Theorie, nach der die Rechtfertigung wissenschaftlicher Hypothesen als ihre *Fundierung*, d.h. als ihre Ableitung aus den fundamentalen Gesetzen zu erklären ist. Boškovičs Rekonstruktion des logischen Gerüsts der Theorie wurde als (i) Deduktion des Kräftegesetzes aus dem Kontinuitätsgesetz (das sich auf Natur- und Konstruktionsprozesse bezieht, nicht aber auf die Materie), (ii) als geometrische Rekonstruktion durch die Kraftkurve (*curva virium*) und (iii) als Verteidigung durch die induktiven und metaphysischen Beweise (*probatio ab inductione, probatio metaphysica*) vollzogen.¹⁶ Das dritte Element inkorporiert sowohl die Verifizierungs- bzw. Bestätigungsverfahren als auch die Deduktion aus bestimmten metaphysischen Annahmen.

Mit dem Ausdruck *probatio metaphysica* meinte Boškovič einerseits die metaphysische Begründung des Kontinuitätsgesetzes und folglich seines eigenen Kräftegesetzes, für das die Annahme der unendlich und kontinuierlich wachsenden repulsiven Kraft bis zu den infinitesimalen Abständen zwischen den Materiepunkten von zentraler Bedeutung war. Diese metaphysischen Argumente berufen sich zuerst auf die aristotelische Konzeption der Kontinuität, die auf der Idee der *gemeinsamen Grenze* zweier Raum- oder Zeitintervalle gründet (*Theoria*, nn. 48ff, *De lege continuitatis*, passim). Andererseits lässt sich diese *probatio* als die Ableitung aus der Annahme der „Analogie und Einfachheit der Natur“

¹³ Ebd. nn. 16–17.

¹⁴ „Theoria“, 1763, (Anm. 6) n. 6.

¹⁵ Ebd. n. 80.

¹⁶ Diese Bezeichnungen erscheinen nur im Inhaltsverzeichnis des Werkes. Vgl. „Theoria“, XXXVIII.

(*analogia et simplicitas naturae*) verstehen. Diese Phrase erscheint an zahlreichen Stellen in den Werken Boškovićs, sporadisch auch als Formel „Analogie und Gleichförmigkeit der Natur“ (*analogia et uniformitas naturae*). Die Voraussetzung der Analogie und Einfachheit/Gleichförmigkeit der Natur war für Bošković, **obwohl er sie nicht erklärte, induktiv** und a priori legitimiert, sodass sie als zusätzliche Komponente in der Verteidigung der Theorie diene. Implizit sei die Analogie und Einfachheit der Natur eine Eigenschaft der realen Welt, der beobachtbaren sowie der unbeobachtbaren, die darauf gründete, dass alle Phänomene durch *dieselben Kausalgesetze*, immerhin jedoch sehr *wenige* Gesetze dieser Art, entstünden und folglich erklärt werden könnten.¹⁷ Diese Annahme hatte auch eine epistemologische Konsequenz: Die Gleichförmigkeit der Natur, so Bošković, sei zugleich eine notwendige Bedingung der Möglichkeit naturwissenschaftlichen Wissens, im Sinne wahrer oder wahrheitsähnlicher und gerechtfertigter naturwissenschaftlicher Hypothesen. Wäre die Natur nicht gleichförmig, wären alle unsere Forschungsmethoden, die uns zu gesetzmäßigen Generalisierungen führen, unzuverlässig, und folglich alle unsere wissenschaftlichen Meinungen falsch und unberechtigt.

„Die wahre Methode“ (I): Analyse und Synthese

Bošković war der Meinung, die „wahre Methode der naturwissenschaftlichen Forschung“ (*vera philosophandi methodus*) oder einfach die Forschungsmethode (*methodus investigationis*) sei die sukzessive Anwendung von *Analyse und Synthese* bzw. eine Art Induktion und Deduktion, deren Gültigkeit und Zuverlässigkeit auf den Beobachtungen und keineswegs auf der außerwissenschaftlichen Autorität beruht.¹⁸ Am Beispiel seiner Interpretation der Newton'schen Gravitationstheorie ist ersichtlich, dass die Analyse für Bošković ein *heuristisches* Verfahren ist, das von den Phänomenen, d.h. den kinematischen Wirkungen der unbeobachtbaren Ursachen, zu den Ursachen bzw. zu den Hypothesen von diesen Ursachen führt. Die Synthese hingegen geht von den Ursachen zu ihren beobachtbaren Folgen und wird zugleich als eine *Bestätigung* der Theorie und der durch die Analyse entdeckten Naturgesetze ausgeführt:

... wir schreiten von der **Analyse**, durch die man zu ihr [zur Gravitation] kam, zur **Synthese** fort, durch die wir ihre Folgen [der Gravitation] einsehen, und zwar so, dass aus ihr einerseits durch eine gewisse Regression das abgeleitet wird, wovon wir ausgegangen sind, andererseits das, nach dessen Gesetzen wir nur durch Beobachtungen vergeblich suchen würden, obwohl wir die meisten [Gesetze], sobald wir sie durch die Theorie erfunden haben, mit den Beobachtungen vergleichen und die Theorie selbst aufgrund der immer größeren Übereinstimmung [mit den Beobachtungen] bestätigen können.¹⁹ (Hervorhebung von Z. Č.)

¹⁷ In dieser Bedeutung erscheint der Ausdruck *analogia et simplicitas naturae* an vielen Stellen in mehreren späteren Werken Boškovićs. Hier kann nur auf einige dieser Stellen aufmerksam gemacht werden. Vgl. dazu vor allem „De lumine, pars secunda“ nn. 50, 52, 53; „Adnotationes“, in: Benedikt STAY, „Philosophia recentior“ Band II, (Rom 1760) 63, 241; „Supplementa“. In: Ebd. n. 374. In den „Adnotationes“ in STAYS „Philosophia recentior“, Band III, (Rom 1766), 102, taucht die Formel *analogia simplex* auf, in ders. Schrift auf S. 397 auch *simplicitas et uniformitas naturae*. In derselben Bedeutung erscheint die Formel *analogia naturae* auch in der Gemeinschaftsarbeit Christopher MAIRE, BOŠKOVIĆ, „De litteraria expeditione per pontificiam ditionem ad dimetiendos duos meridiani gradus et corrigendam mappam geographicam“ (Rom 1755) n. 52.

¹⁸ „Supplementa“ und „Adnotationes“. In: STAY, „Philosophia recentior“ (Anm. 17) Band II, n. 58, 57–58, und in „Adnotationes“. In: STAY, „Philosophia recentior“, Band III, 397.

¹⁹ ... *ut ab analysi qua ad eam devenitum est pergamus ad synthesim qua eius consecutaria videamus, ut ex ipsa deduci possint tum per certum regressum ea, ex quibus ad ipsam devenimus, tum*

Durch die Methode der Analyse und Synthese können die Existenz und die Eigenschaften der bisher *unbekannten* Elemente der Realität abgeleitet werden. Dies würde im deduktiven Schritt (Synthese) dieses Verfahrens vollzogen (**Bošković bezeichnete diesen Schritt untypischerweise als *regressio***, obwohl es sich hier nach der traditionellen Terminologie um einen Teil der Synthese, also *compositio* handelt).²⁰ Dieser Schritt enthält eigentlich zwei getrennte Ableitungen. Die eine ist die Deduktion der bekannten Phänomene („von denen wir ausgegangen sind“) aus der durch die Analyse gefundenen fundamentalen Gesetzmäßigkeit (z.B. Gravitation), also eine Art der Prüfung der gesamten Analyse. Die andere ist die Ableitung gewisser noch unbekannter Elemente aus dieser Gesetzmäßigkeit, d.h. eine *Vermutung* darüber, was ebenso unbeobachtbar ist („nach dessen Gesetzen wir nur durch die Beobachtungen vergeblich suchen“). Dieser Teil der Synthese ist *progressiv* oder *ampliativ*. Die Unbeobachtbarkeit der bisher unbekannteren Elemente ist deshalb nur relativ in Bezug auf unser Wissen: Nachdem **Bošković die Theorie aufgestellt hat, stellt er bezüglich** der meisten solcher damals unbekannter Regelmäßigkeiten fest, dass sie mit den beobachtbaren Phänomenen übereinstimmen. Die Theorie selbst wird auf diese Weise durch die Beobachtungen *bestätigt* (*comprobatur*).

Boškovićs Anmerkung, dass die durch die Analyse entdeckten Naturgesetze vergeblich „nur durch Beobachtungen“ (*per solas observationes*) gesucht wurden, ist hier bemerkenswert: Sie impliziert, dass die Analyse (in Kombination mit der Synthese) keine übliche induktive oder *bottom-up*-Prozedur ist, sondern dass sie von Anfang an gewisse theoretische Elemente einschließt und als ein deduktives oder *top-down*-Verfahren angewandt wird. Eine zusätzliche Qualität dieser Methode besteht darin, dass diese Gesetze sich auf den Bereich der *unbeobachtbaren* Entitäten und Prozesse beziehen, sodass sie als eine systematische Anwendung des Schlussfolgerns auf das Unbeobachtbare betrachtet werden könnte.

Dass die Analyse in Kombination mit der Synthese ein heuristisches Instrument zur Entdeckung der grundlegenden unbeobachtbaren Struktur der Realität, der Materiepunkte und ihrer Eigenschaften ist, zeigte Bošković in seinen Werken an mehreren Stellen. Etwa in *Theoria* stellte er fest, man entdecke durch die Analyse (die Bošković hier zugleich als *chemische* Analyse versteht), dass die Elemente der Materie *einfach* und *gleichartig* seien:

*Es ist zu bemerken, [...] dass die Natur selbst und die Reihe der Analyse selbst uns zur Einfachheit und Gleichartigkeit der Elemente führt, da man, je mehr die Analyse fortschreitet, zu desto kleineren und untereinander weniger verschiedenen Elementen kommt, wie es bei den chemischen Auflösungen feststeht.*²¹

Die Ergebnisse dieser Analyse werden durch den Grundsatz der *Analogie der Natur* gerechtfertigt:

*Die aus der Betrachtung der Natur selbst abgeleitete Analogie führt uns nicht zur Verschiedenartigkeit, sondern zur Gleichartigkeit der Elemente.*²²

alia quorum leges frustra per solas observationes quaereremus, licet plerasque ubi per theoriam invenerimus possimus cum observationibus conferre et ex consensu semper magis theoriam ipsam confirmare, „Supplementa“. In: STAY, „Philosophia recentior“ (Anm. 17) Band II, n. 170.

²⁰ Ebenso schreibt er in seinem Brief an Conti vom 26. Februar 1762 von einem *regresso sintetico*. Vgl. „Lettere a Giovan Stefano Conti“. Hrsg. von Gino ARRIGHI, (Florenz 1980) 79.

²¹ *Monuendum, [...] ipsam naturam et ipsum analyseos ordinem nos ducere ad simplicitatem et homogeneitatem elementorum, cum nimirum quo analysis promovetur magis eo ad pauciora et inter se minus discrepantia principia deveniatur, uti patet in resolutionibus chemicis.* „Theoria“ (Anm. 6) n. 98.

²² *Analogia ex ipsa naturae consideratione derivata non ad difformitatem, sed ad conformitatem elementorum nos ducit.* Ebd. n. 99.

Die Feststellung der Eigenschaften der Materiepunkte wird durch die *Synthese* (Deduktion aus dem Kräftegesetz) abgeschlossen:

*Aus einem positiven Beweisgrund, der aus dem positiv bewiesenen Kräftegesetz ausersehen ist, wurde die Einfachheit und Unausgedehnteit der ersten Elemente der Materie deduziert und durch so viele andere Indizien unterstützt beziehungsweise durch die aus ihnen abgeleiteten Vorteile bestätigt.*²³

Es gebe positive Gründe (*argumenta positiva*) für die Existenz nicht nur der unbeobachtbaren Materiepunkte, sondern auch der physikalischen Wechselwirkungen zwischen ihnen, sagt Bošković. **Sie seien weder Fernwirkungen** (*actiones in distans*) noch verborgene Qualitäten (*qualitates occultae*), sondern Bestimmungen (*determinationes*) zur Bewegung. Anders als in der Abhandlung *De viribus vivis* ist nun die Existenz der Kräfte eine positive Tatsache. Denn es gibt *ebenso positive Beweisgründe, die die Existenz dieser Bestimmung beweisen*,²⁴ sodass *dies alles zeigt, dass das Gesetz solcher Kräfte nicht verborgen, sondern offensichtlich ist*.²⁵

Wenn auch unsere Wahrnehmungsfähigkeiten unveränderlich beschränkt seien, gebe es in uns andere kognitive Fähigkeiten, etwa Reflexionsfähigkeit und Einbildungskraft, die uns eine Einsicht in die Natur des *Unwahrnehmbaren* ermöglichen, räumt Bošković ein.²⁶ Die Reflexion ist für ihn ein kognitiver Prozess, durch den die Hypothesen aus den beobachtbaren Phänomenen mittels der Analyse ermittelt und festgestellt sowie mittels der Synthese, die uns von den unbeobachtbaren Ursachen zu den beobachtbaren Phänomenen führt, bestätigt und gerechtfertigt werden. Die Reflexion ist folglich ein Ersatz für den Mangel an direkter Wahrnehmbarkeit bzw. Beobachtbarkeit mikrophysikalischer Objekte, jedoch zugleich auch eine Erweiterung unseres Erkenntnisvermögens auf den Bereich des Unbeobachtbaren. Unter den wahrnehmbaren bzw. beobachtbaren Phänomenen gebe es, so Bošković, für unsere Reflexionsfähigkeit sowie Einbildungskraft genug Indizien, aufgrund derer wir auf die Existenz und auf die Eigenschaften der Materiepunkte schließen könnten.

Die Reflexion verteidige zugleich die Zuverlässigkeit der analytisch-synthetischen Ableitungen gegen einige Vorurteile des „gesunden Verstandes“. Denn mit ihrer Hilfe seien die Materiepunkte, die prinzipiell unbeobachtbaren Entitäten, doch zugänglich:

*Deshalb ist diese Schwierigkeit, die diejenigen haben, welche bekennen, dass sie die einfachen, unteilbaren und unausgedehnten Materiepunkte, die ohne jede Gestalt sind, sich nicht vorstellen können, ein Vorurteil. Denn sie konnten Beispiele solcher Punkte nicht durch die Sinne haben und ihre Ideen durch die Sinne erwerben. Sie müssen sie sich aber durch die Reflexion bilden, wenn irgendein Grund darauf hinwiese, dass sie in der Natur existieren.*²⁷

²³ *Positivo argumento, a lege virium positive demonstrata desumpto, simplicitas et inextensio primorum materiae elementorum deducatur et tam multis aliis vel indiis fulciatur vel emolumentis inde derivatis confirmetur.* „Theoria“ (Anm. 6) n. 91.

²⁴ *Argumenta iidem positiva quae ipsius eiusmodi determinationis existentiam probant.* Ebd. n. 101.

²⁵ *Haec omnia non occultam, sed patentem reddunt eiusmodi virium legem.* Ebd.

²⁶ Vgl. dazu „De continuitatis lege“ nn. 11, 20; „Supplementa“. In: STAY, „Philosophia recentior“ (Anm. 17) Band I, n. 95.

²⁷ *Quare praeiudicium est quoddam ea difficultas quam habent qui puncta materiae simplicia, indivisibilia, inextensa, carentia omni figura se non posse concipere profitentur. Eiusmodi punctorum exempla per sensus habere non potuerunt, nec eorum ideas per sensus haurire. Reflexione sibi eas comparare debent si ratio quaeipiam ea in natura existere indicaret.* „Supplementa“. In: STAY, „Philosophia recentior“ (Anm. 17) Band I, n. 95.

Die Reflexion könne uns von diesen Vorurteilen befreien und zur richtigen Erkenntnis von der Natur des Unbeobachtbaren führen (dass nämlich die scheinbar kontinuierliche Materie aus den diskret gelagerten, unteilbaren und unausgedehnten Materiepunkten besteht):

*Vieles davon erscheint denjenigen als äußerst unklar, die in den Ursprung ihrer Ideen nicht tiefer eingedrungen sind und die nicht über eine hinlängliche Fähigkeit verfügen, aus den Ideen, die sie durch die Sinne erwarben, andere Ideen durch die Reflexion zu bilden, die mit dem **gesunden Verstand**²⁸ und mit dem **Wesen der Dinge** mehr in Übereinstimmung wären. Nicht nur unteilbare und unausgedehnte, sondern auch unendlich viele teilbare Größen entgehen unseren Sinnen, die uns völlig im Stich lassen, wenn man zu gewissen Grenzen der verkleinerten Größen kommt. [...] **Man soll der Wahrnehmung die Reflexion zugesellen.** Wenn man berücksichtigt, dass irgendeine endliche Ausgedehntheit ihr Ende haben muss und dass es bei dem, was die Teile haben sollte, kein Ende [in der Zahl] seiner Teile gibt, dann wird es sofort klar werden, dass es fürwahr ein Ende gibt und dass dies die Teile und die Ausgedehntheit nicht hat, und **dass das Unausgedehnte von dem Unausgedehnten nicht berührt werden kann, weil sie sich zugleich vereinigen würden.**²⁹ (Hervorhebung von Z. Č.)*

In der Abhandlung „De viribus vivis“ (1745) wurde die Ableitung der physikalischen Punkte aus dem Kontinuitätsgesetz und aus der Idee von der abstoßenden Kraft nur als eine Derivation innerhalb eines zweckmäßigen konzeptuellen Schemas vollzogen. In den *Supplementa* sowie in *Theoria* dagegen entsprächen die durch die Reflexion gebildeten Ideen „dem gesunden Verstand und dem Wesen der Dinge“ (*rectae rationi et rerum naturae*). Da die theoretischen Entitäten (Materiepunkte) dadurch als reale Entitäten festgesetzt wurden, müssen die theoretischen Termini als referentielle Ausdrücke und die Theorie, die sie postuliert, als wahr(heitsähnlich) betrachtet werden.

Dies alles weist darauf hin, dass es bei der Anwendung der Analyse und Synthese eigentlich um eine Art *hypothetische Induktion* oder *Abduktion* handelt, die für die realistische Argumentationsstrategie von Naturwissenschaftlern wie etwa J. Kepler und I. Newton oder Wissenschaftstheoretikern wie Ch. S. Pierce bis zu ihren heutigen Nachfolgern so charakteristisch ist.³⁰

²⁸ Es ist nicht klar, was Bošković hier mit „recta ratio“ eigentlich meinte. Vielleicht stammt die Wendung aus den üblichen Cicero-Paraphrasen des Ausdrucks *orthos logos*, übernommen aus der *Nicomachischen Ethik* von Aristoteles, was hier und an anderen vergleichbaren Stellen in Boškovićs Werken als „richtige Vernunft“, „Besonnenheit“ oder, vielleicht besser, als „gesunder [menschlicher] Verstand“ übersetzt werden sollte.

²⁹ *Multa autem horum obscurissima videntur iis qui in suarum idearum originem altius non penetrarunt, nec ab iis quas per sensus hauserunt satis norunt alias per reflexionem efformare rectae rationi et rerum naturae magis conformes. Non indivisibilia tantummodo et inextensa, verum etiam divisibiles magnitudines numero infinitae nostros sensus effugiunt qui, ubi ad quosdam imminutae magnitudinis limites devenit, nos omnino destituunt. Hinc a prima infantia, tam per visum quam per tactum, divisibilium extensarum quantitatum perceptiones hausimus innumerabiles, quibus ita paulatim assuevimus ut quotiescunque puncti cuiuspiam ideam excitare volumus in nostris mentibus, globuli cuiusdam extensi in longum, latum et profundum excitemus ideam, quem globulum alteri globulo adiungimus et longissimum etiam ipsorum ordinem globulorum consideramus. [...] Accedat sensuum perceptioni reflexio. Consideretur illud finitam extensionem quamcumque debere habere suum finem, nec id quod partes habeat posse interioribus sui partibus finem esse et patebit illico finem revera haberi ac partibus et extensione carere, nec posse inextensum ab inextenso contingi, quia simul coeant.* „De continuitatis lege“ n. 11.

³⁰ Allgemeine Betrachtungen zum Thema der Abduktion/hypothetischen Induktion in historischer Perspektive und in Verbindung mit Bošković sind nachzulesen in: ČULJAK, *Hypothesen und Phänomene* (Anm. 2). Zur maßgeblichen Unterscheidung zwischen der enumerativen und hypothetischen Induktion vgl. etwa Harmans klassische Arbeiten: G. H. HARMAN, *Inference to the Best Explanation*. In: *The Philosophical Review* 74, 1965, 88–95; DERS., „Induction“. In: M. SWAIN (Hrsg.), *Induction*,

„Die wahre Methode (II): hypothetische Induktion

Boškovićs Konzeption der Induktion wurde hauptsächlich in der Abhandlung *De continuitatis lege* (1754),³¹ danach kurz in den *Adnotationes* und im Artikel „De principio inductionis“ in seinen *Supplementa* zum ersten Band des Stay'schen Gedichtes „Philosophia recentior“³² (1755) formuliert. Boškovićs Induktionskonzeption aus der Abhandlung „De continuitatis lege“ (nn. 134–135) wurde wörtlich in *Theoria* übertragen (n. 40). Einige Elemente dieser Konzeption können auch anhand der Stellen, an denen Bošković die Methode der Analyse und Synthese betrachtete, eruiert werden. Denn die Analyse ist für Bošković insofern mit der Induktion gleichbedeutend, als die induktive Methode den Zugang zur grundlegenden Struktur der Naturphänomene ermöglicht.

Boškovićs explizite Unterscheidung zwischen der „vollständigen“ (*perfecta*) und „unvollständigen“ (*imperfecta*) Induktion kommt sehr nah an die heutige Unterscheidung zwischen der *enumerativen* und der *hypothetischen* Induktion bzw. Abduktion als der Methode des Schlussfolgerns auf das Unbeobachtete sowie Unbeobachtbare heran. Interessanterweise knüpfte er mit dieser Unterscheidung an die Induktionskonzeption an, die er in der dritten *regula* Newtons fand.³³

Diese Regel enthält ein Prinzip der Induktion, und zwar nicht der vollständigen, nämlich einer solchen, [die darin bestünde,] dass wir daraus, dass eine Eigenschaft in jedem einzelnen Ding bewiesen ist, diese [Eigenschaft] allen Bestandteilen der Menge dieser Dinge allgemein zuweisen, sondern der unvollständigen, dass wir das, was wir in sehr vielen untereinander ähnlichen Dingen wahrnehmen – gesetzt, dass keines von den ähnlichen Dingen gefunden wird, das ihm widerspricht –, auf andere Dinge derselben Art erweitern, bei denen es noch nicht beobachtet werden konnte. Das Prinzip einer solchen [Induktion], auch wenn es sorgfältig angewandt wird, ist freilich nicht unwiderlegbar, es ist jedoch das geeignetste Forschungsprinzip, und deshalb gebrauchen wir es allenthalben in allen Wissenschaften und zum Nutzen für das menschliche Leben selbst. (Hervorhebung von Z. Č)³⁴

Acceptance, and Rational Belief (Dordrecht 1970) 83–99; DERS., Induction: enumerative and hypothetical. In: J. DANCY, E. SOSA, A Companion to Epistemology (Oxford 1996) 200–206. Zur hypothetischen Induktion bzw. zum Schluss auf die beste Erklärung als der realistischen Argumentationsstrategie vgl. die ebenso klassische Darstellung und Verteidigung in: P. LIPTON, Inference to the Best Explanation, 2nd edition, Routledge, 2004.

³¹ Vgl. „De continuitatis lege“ nn. 134–136. Diese Passagen wurden wörtlich in „Theoria“ (Anm. 6) n. 40, übertragen.

³² Vgl. „Adnotationes“ und „Supplementa“. In: STAY, „Philosophia recentior“ (Anm. 17) Band I, 55–57, nn. 89–95.

³³ J. E. McGuire war der Meinung, dass Bošković seine Anwendung der Abduktion durch seine Kritik der dritten Newtonschen Regel rechtfertigte: *Boscovich is critical of the third rule on the grounds that induction does not support the transference of many physical properties to the parts of phenomena.* J. E. MCGUIRE, Atoms and the ‘Analogy of Nature’ (Anm. 5) 3. Wenn auch diese komparative Interpretation richtig wäre, entdeckte Bošković selbst eben in der dritten Regel Newtons ein Muster für seine Konzeption der „unvollständigen Induktion“ bzw. der hypothetischen Induktion.

³⁴ *Haec regula principium inductionis continet, non perfectae, ut cum a proprietate in singularibus omnibus demonstrata eandem generaliter omnibus collectionem illorum constituentibus tribuimus, sed imperfectam, cum quae deprehendimus in plurimis similibus inter se, nullo similibus contrario invento extendimus ad reliqua eiusdem generis, in quibus nondum observare rem licuit. Principium huiusmodi caute adhibitum [...] non est quidem infallibile, est tamen principium investigationi aptissimum et eo passim utimur in omnibus facultatibus et in ipso humane vitae usu.* „Adnotationes“. In: STAY, „Philosophia recentior“ (Anm. 17) Band I, 55–56.

Bei der vollständigen Induktion wird eine Eigenschaft, die bei *jedem* einzelnen Ding oder Bestandteil einer Menge *beobachtet* wurde, zur Eigenschaft *aller* dieser einzelnen Dinge oder Bestandteile. Die vollständige Induktion sei also, so Bošković, die enumerative Induktion, die ihre Generalisierungen nicht außerhalb der Sphäre des Beobachteten ausführe. Deshalb eignet sich dieser Induktionstyp für Bošković nicht zur naturwissenschaftlichen Anwendung, da dadurch keine relevanten oder interessanten Erklärungen und Voraussagen gemacht werden könnten.

Die unvollständige Induktion versteht Bošković offensichtlich als *eine Methode, um auf das Unbeobachtbare zu schließen*:

*Jene so umfassende Induktion, die wir vollziehen, muss uns veranlassen, dieses Gesetz auch für diejenigen Fälle allgemein zuzulassen, in denen wir unmittelbar durch Beobachtungen nicht feststellen können, ob es in ihnen erhalten wird, wie beim Zusammenstoß von Körpern.*³⁵

Diese Induktion diene folglich zur Erforschung der *unbeobachtbaren Ursachen* und trete an die Stelle des Leibniz'schen Grundsatzes des zurechnenden Grundes:

*Nachdem dieser Grund aufgegeben wurde, werden wir zwei andere vortragen, den einen aus den metaphysischen Prinzipien, den anderen aus der Induktion, die vornehmlich überall in der Physik von größtem Nutzen sein muss, da wir mindestens die ersten Ursachen entweder immer oder fast immer notwendigerweise nicht kennen, weil wir die Natur nur mit der freilich schwachen Hilfe unserer Sinne erforschen.*³⁶

Deshalb nennt Bošković diese Induktion, durch die man aus den Eigenschaften der beobachtbaren Körper auf die Eigenschaften ihrer unbeobachtbaren Teile oder auf die unbeobachtbaren Ursachen der Phänomene schließt, auch „physikalische Induktion“ (*inductio physica*). Mit diesem Ausdruck bezeichnet er ebenso jede unvollständige Induktion, durch die man die Naturgesetze ableitet, die auch in den Bereichen der Phänomene, in denen sie noch nicht getestet wurden, gelten sollten. Die Beschreibung dieser Induktionsart entspricht dem generellen *Probabilismus* Boškovićs:

*Die physikalische Induktion ist nicht durchweg sicher und enthält keine unwiderlegbare Gewissheit, sondern eine trügerische Wahrscheinlichkeit.*³⁷

Die hypothetische Induktion bzw. Abduktion ist also eine unvollständige Induktion, die vornehmlich zur Erforschung der unbeobachtbaren Teile der Körper oder unbeobachtbaren Ursachen der Phänomene sowie zur Rechtfertigung unserer Schlüsse auf das Unbeobachtbare verwendet wird. Diese Funktion der hypothetischen Induktion kommt vor allem im Rahmen von Boškovićs Betrachtungen der absoluten und relativen bzw. primären und sekundären Eigenschaften zum Ausdruck. Die Verwendung der hypothetischen Induktion ist insofern für den Realismus Boškovićs kennzeichnend, als durch sie die Dichotomie zwischen dem Absoluten und dem Relativen, folglich auch zwischen dem Beobachtbaren und dem Unbeobachtbaren völlig relativiert wird.

³⁵ *Illa tam ampla inductio quam habemus debet nos movere ad illam generaliter admittendam etiam pro iis casibus in quibus determinare immediate per observationes non possumus an eadem habeatur, uti est collisio corporum.* „Theoria“ (Anm.6) n. 43.

³⁶ *Ea igitur ratione ommissa, binas proferemus, alteram ex metaphysicis principiis, alteram ex inductione quae in physicis potissimum summi ubique usus esse debet, cum causas saltem primas vel semper vel fere semper ignorari a nobis necesse sit naturam sola, satis illa quidem tenui nostrorum sensuum ope investigantibus,* „De continuitatis lege“ n. 131.

³⁷ [...] *inductionem physicam non esse prorsus certam, nec habere evidentiam infallibilem, sed fallacem probabilitatem.* „Adnotationes“. In: STAY, „Philosophia recentior“ (Anm. 17) Band III, 310.

Zugleich kann die vollständige Induktion, ebenso wie die unvollständige, nicht als beweiskräftig betrachtet werden. Denn, *um beweiskräftig zu sein, müsste die [vollständige] Induktion alle möglichen Einzelfälle aufzählen. Sie kann folglich bei der Festlegung der Naturgesetze nicht angewandt werden.*³⁸ (Hervorhebung von Z. Č.)

Die *unvollständige Induktion* ist jene Induktion, bei der die Generalisierung auch auf die noch nicht beobachteten Einzelfälle erweitert wird. Verglichen mit der vollständigen Induktion hat die unvollständige Induktion für Bošković offensichtlich wichtige methodologische Vorteile, die ihre logische Defizienz ersetzen. Sie sei widerlegbar (*non infallibilis*), enthalte die Möglichkeit von Fehlern (*erroris capax*) und sei nicht beweiskräftig (*non demonstrativa*);³⁹ trotzdem sei das Prinzip der unvollständigen Induktion „das geeignetste Forschungsprinzip“ (*principium investigationis aptissimum*). Dafür gebe es zwei Hauptgründe. Der erste Grund liege in der positiven Rolle der unvollständigen Induktion gerade bei der Festlegung der Naturgesetze (*legibus stabiliendis*), der zweite in ihrer erfolgreichen Anwendung im Bereich des Unbeobachtbaren.

Die unvollständige Induktion diene, so Bošković, zur Festlegung eines Naturgesetzes unter drei Bedingungen: (i) dass dieses Gesetz in allen präzise untersuchten Einzelfällen bestätigt (*observari*) oder entdeckt werde (*inveniri*), (ii) dass diese Fälle zahlreich seien (*non sunt in exiguo numero*) und (iii) dass durch diese Induktion in den Fällen der scheinbaren (*prima fronte*) Verletzung dieses Gesetzes alles in Einklang mit diesem Gesetz gebracht werden könne, „obwohl auf keine Weise unmittelbar bekannt werden kann, ob dies gerade auf diese Weise in Einklang gebracht wird“.⁴⁰

Die letzte Bedingung zeigt, dass die unvollständige Induktion als hypothetische Induktion in einem zweiten Sinne zu verstehen ist: Sie führt in diesem Fall zur Hypothese, die die *beste Erklärung* einer *prima facie* irregulären Evidenz (z.B. der scheinbaren Diskontinuität) ist. Sie kann aus einer grundlegenden Regularität (Kontinuitätsgesetz) abgeleitet werden, obwohl eine *notwendige* Verbindung zwischen dem Gesetz und dieser Evidenz nicht festgestellt werden kann.

In Boškovićs Abhandlung *De maris aestu* etwa kam die hypothetische Induktion in der Rechtfertigung der Gravitationstheorie zur Anwendung. Der Schluss auf die Existenz der Gravitationskraft aus der gegenseitigen Anziehung der Planeten und ihrer Satelliten sowie aus den Störungen ihrer Bahnen sei plausibler als die Erklärung der Planetenbewegungen durch die Wirbelhypothese.⁴¹ Es sei ebenso plausibler, den Widerstand, den wir bei der Berührung der festen Körper erfahren, durch die Annahme der gegenseitigen Gravitationsanziehung zwischen ihren Partikeln zu erklären als durch die Annahme ihrer Undurchdringlichkeit. Dadurch werde der Schluss auf die Existenz der Gravitation im Bereich des Unbeobachtbaren als *Schluss auf die beste Erklärung* vollzogen:

Darin soll man eine äußerst umfassende Induktion zugunsten der gegenseitigen Gravitation so vieler Körper sehen, sogar aller jener Körper, bei denen sie durch eine andere Methode erfahren werden kann. Diese ist tatsächlich viel umfassender als die Induktion, durch die wir die Undurchdringlichkeit der Körper ableiten, die wir nur bei denjenigen irdischen Körpern beobachten, die wir manchmal berühren. Und

³⁸ *Inductio, ut demonstrationis vim habeat, debet omnes singulares casus, quicumque haberi possunt, percurrere. Ea in naturae legibus stabiliendis locum habere non potest.* „De continuitatis lege“, n. 134; „Theoria“ (Anm. 6) n. 4.

³⁹ „Supplementa“, in: STAY, „Philosophia recentior“ (Anm. 17) Band I, n. 90.

⁴⁰ „Licet, an eo potissimum pacto concilientur, immedie innotescere nequaquam possit“, „De continuitatis lege“ n. 134; „Theoria“ (Anm. 6) n. 40.

⁴¹ Vgl. dazu „De maris aestu“ (Rom 1747) n. 37.

*deshalb wird die gegenseitige Gravitation mit mehr Recht auf alle Partikeln der Materie erweitert als die Undurchdringlichkeit.*⁴² (Hervorhebung von Z. Č.)

Um gerechtfertigt zu sein, sollte die hypothetische Induktion möglichst umfassend sein (*amplissima*), umfassender als die Induktion, die auf das Beobachtbare beschränkt ist. Insofern wäre die induktive Ableitung „mit mehr Recht“ (*potiore iure*) vollzogen. Durch sie wird eine Hypothese abgeleitet, die eine plausiblere Erklärung geben sollte als irgendeine andere Hypothese. Dies zeigt, dass sich die unvollständige Induktion auch als Methode zur *Evaluierung* konkurrierender Hypothesen bzw. zur Rechtfertigung aufgestellter Hypothesen eignet.

Bei der enumerativen Induktion geht die Generalisierung von der Evidenz einzelner beobachtbarer oder beobachteter Instanzen aus. Bei der hypothetischen Induktion wird aus der empirischen Evidenz eine wahrscheinlich wahre Hypothese abgeleitet, die als beste Erklärung dieser Evidenz dient, d.h. als beste unter den konkurrierenden Erklärungshypothesen. Danach wird diese Hypothese in die Prämissen des abduktiven Arguments aufgenommen, und im Schlusssatz erhalten wir diese Hypothese als einen wahren oder sehr wahrscheinlichen Satz:

$$\frac{(H_1 \rightarrow E) \vee (H_2 \rightarrow E) \vee (H_3 \rightarrow E) \dots \vee (H_n \rightarrow E)}{P(H_1) > P(H_2) \wedge (P(H_1) > P(H_3)) \dots \wedge (P(H_1) > P(H_n))}$$

(sehr wahrscheinlich) H_1 .

Dank dieser zwei Anwendungsweisen der hypothetischen Induktion – einerseits als Methode, um auf das Unbeobachtbare zu schließen, und andererseits, um auf die beste Erklärung zu schließen – konnte Bošković die Bereiche des Unbeobachtbaren und des Beobachtbaren als epistemologisch und ontologisch integriert betrachten. Eine wichtige Rolle bei dieser Integrierung spielte auch das *Kontinuitätsgesetz*, das für die beiden Bereiche gilt. Ebenso wie alle physikalischen *Entitäten* die erwähnten absoluten Eigenschaften hätten, vor allem die Undurchdringlichkeit, so seien alle *Vorgänge* in der Natur, beobachtbare und unbeobachtbare, *kontinuierlich*, sagt Bošković. **Dies werde durch die hypothetische Induktion ermittelt:**

*Daraus ist offensichtlich, dass durch diese Art der Induktion sowohl die Undurchdringlichkeit als auch das Kontinuitätsgesetz vollauf geprüft und bewiesen werden, und dass die Undurchdringlichkeit auf alle wie auch immer geringen Partikeln der Körper sowie das Kontinuitätsgesetz auf alle wie auch immer geringen Grade, die in einem Moment angefügt werden, erweitert werden müssen.*⁴³

Das Kontinuitätsgesetz gelte als fundamentaler Grundsatz im Bereich des Beobachtbaren. Alle unsere Experimente und Beobachtungen bestätigen, dass die Phänomene diesem Gesetz folgen.⁴⁴ Um eine befriedigende Erklärung dafür zu geben, behauptete Bošković, dass es notwendig sei, „seine Existenz in der Natur“ (*eius in natura existentiam*) anzunehmen.⁴⁵

⁴² *En igitur inductionem amplissimam pro gravitate mutua tot corporum, immo omnium eorum corporum in quibus eam aliqua methodo experiri licet. Profecto haec es multo amplior quam inductio, qua corporum impenetrabilitatem eruimus, quam immediate observamus in iis tantum corporibus terrestribus quae aliquando attigimus. Ac proinde potiore iure ad omnes materiae particulas extendetur gravitas mutua, quam impenetrabilitas.* Ebd.

⁴³ *Et his patet et impenetrabilitatem et continuitatis legem per eiusmodi inductionis genus abunde probari atque evinci, illam quidem ad quascunque utcunque exiguas particulas corporum, hanc ad gradus utcunque exiguos momento temporis adiectos debere extendi.* „Theoria“ (Anm. 6) n. 41. Vgl. auch ebd. n. 43.

⁴⁴ Vgl. dazu etwa Bošković „De continuitatis lege“ n. 138, „Theoria“ (Anm. 6) n. 39, passim.

⁴⁵ „De continuitatis lege“ n. 5; „Theoria“ (Anm. 6) n. 38.

Die Kontinuität werde überall in der Natur erhalten (*servatur*).⁴⁶ Als Realist war Bošković folglich der Ansicht, das Kontinuitätsgesetz habe absolute Bedeutung, d.h., es gelte auch im Bereich des Unbeobachtbaren. Dies veranlasste ihn in seinem Briefwechsel mit G. S. Conti zu dem Schluss, dass das Kontinuitätsgesetz, trotz der Tatsache, dass es induktiv aus den Phänomenen abgeleitet wurde, ein *a priori* bewiesenes Gesetz sei:

*Io non dimostro a priori alcuna parte della mia teoria, ma solo il suo fondamento consistente nella legge di continuità.*⁴⁷

Dies bedeutet für Bošković, dass das Kontinuitätsgesetz nicht nur eine beobachtbare und unbeobachtbare Regularität ist, sondern auch eine *notwendige Bedingung* aller Vorgänge in der Natur. Um das Kontinuitätsgesetz gegen die scheinbaren Fälle von Diskontinuität in der Natur zu verteidigen, postulierte Bošković, wie gezeigt, einerseits die *abstoßende Kraft* bei kleinsten Abständen, andererseits die *Materiepunkte*. Auf beide Weisen sollte etwa die unmittelbare Berührung der Körper und folglich die momentane Änderung der Geschwindigkeit verhindert werden.

Zusammenfassung

Schon in seinen Abhandlungen „De lumine (pars secunda)“ (1748), „De continuitatis lege“ (1754) und in den „Supplementa“ zu Stays Leergedicht „Philosophia recentiori“ (1755) beschrieb Bošković die Entstehung und die Rechtfertigung seiner Kräftelehre von einem eindeutig realistischen Standpunkt aus. Sein *wissenschaftlicher Realismus* äußert sich in mehreren Aspekten besonders im ersten Teil seines Hauptwerkes „Theoria philosophiae naturalis“ (1758/1763). Im Fokus dieser Abhandlung ist sein *methodologischer Realismus*, der seinem früheren methodologischen Antirealismus (Instrumentalismus, Konstruktivismus) gegenübergestellt wird. In mehreren Passagen von „Theoria“ und in anderen Werken dieser Periode beschrieb Bošković sein Verfahren als echte *Entdeckung* einer bisher verborgenen und in der Natur existierenden Regularität (d.h. des Kräftegesetzes). Im „Kontext der Rechtfertigung“ verfuhr Bošković als *Fundationalist*, für den die Annahme von der Analogie und Einfachheit der Natur, das Kontinuitätsgesetz für die Vorgänge und sein Kräftegesetz die fundamentalen Hypothesen seiner Theorie und dadurch die fundamentalen Hypothesen bei der Erklärung aller Naturphänomene waren. In Boškovićs Methodologie, d.h. in seinen Forschungs-, Bestätigungs- und Rechtfertigungsverfahren spielte die Methode der Analyse und Synthese, die er eigentlich als hypothetische Induktion verstand, eine zentrale Rolle. Die hypothetische Induktion verwandte Bošković sowohl als eine *heuristische Methode*, um auf das Unbeobachtbare zu schließen, als auch eine Methode, um auf die beste Erklärung zu schließen, die zur *Evaluation* seiner fundamentalen Hypothesen (des Kontinuitäts- und des Kräftegesetzes) diene. Diese Erörterung sollte zeigen, dass Boškovićs Äußerungen im ersten Teil von „Theoria“, wenn sie mit einigen anderen Stellen in seinen Werken dieser „reifen“ Periode verglichen werden, eine konsequente methodologische Einstellung präsentieren. In „Theoria“ sowie in seinen anderen Werken scheint Bošković, naturphilosophisch und wissenschaftstheoretisch, vor allem hinsichtlich der Frage des Realismus erstaunlich modern, zugleich aber tief in der Tradition verankert gewesen zu sein.

⁴⁶ „De continuitatis lege“ n. 138, „Theoria“ n. 39.

⁴⁷ Lettere a Giovan Stefano Conti (Anm. 20) 77.

THEORIA PHILOSOPHIAE NATURALIS:
ANWENDUNG AUF DIE MECHANIK (PARS II) UND
DIE PHYSIK (PARS III)

1. Einführung

Die Theorie der Naturphilosophie ist gewiss das wichtigste Werk von Boscovich.¹ Sie ist auch ein bedeutender Beitrag zur europäischen und internationalen Philosophie der Natur. In diesem Werk ist Boscovichs originelle Theorie der Kurve der Kräfte und der Materiestruktur² erläutert, die Generationen von Wissenschaftlern und Philosophen beeinflusst hat und auch in der heutigen Wissenschaft ihre Aktualität besitzt.³ Die Grundidee der ganzen

¹ „Philosophiae naturalis theoria redacta ad unicum legem virium in natura existentium. Auctore P. Rogerio Josepho Boscovich Societatis Jesu publico Matheseos professore in Collegio Romano. Anno M.DCC.LVIII“. Prostat Vienna Austriae. In officina libraria Kaliwodiana. Die zweite Werkausgabe ist unter etwas geändertem Titel publiziert worden, „Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicum legem virium in natura existentium auctore P. Rogerio Josepho Boscovich Societatis Jesu, nunc ab ipso perpolitata, et aucta, at a plurimis praecedentium editionum mendis expurgata. Editio Veneta prima ipso auctore praesente, et corrigente. Venetiis, MDCCLXIII. Ex **Typographia Remondiniana**“. Die englische Übersetzung ist unter folgendem Titel herausgegeben worden, „A Theory of Natural Philosophy. Put forward and explained by **Roger Joseph Boscovich, S.J.** Latin – English edition. From the text of the first Venetian edition published under the personal superintendence of the author in 1763. With a short life of Boscovich“ (Chicago and London.1922) (Dieselbe Übersetzung wurde veröffentlicht vom Institut of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1966). Die lateinisch-kroatische Ausgabe ist unter folgendem Titel veröffentlicht worden, „Teorija prirodne filozofije svadena na jedan jedini zakon sila koje postoje u prirodi kojih je autor o. Ruđer Josip Bošković Družbe Isusove. On ju je sam sada dotjerao i proširio i očistio od brojnih pogrešaka. Prvo Mletačko izdanje tiskano u njegovu prisustvu i ispravljeno od njega samog. U Veneciji MDCCLXIII. Tiskara Remondini“.

² Vgl. **Željko MARKOVIĆ**, Boscovich's Theoria. In: Roger Joseph Boscovich. S.J., F.R.S., 1711–1787. Studies on his Life and Work on the 250th Anniversary of his Birth, edited by Lancelot Law White (London1961) 127–152; Ivo ŠLAUS, Forces in Modern Physics and in Bošković's 'Theoria'. In: The Philosophy of Science of Ruđer Bošković. Proceedings of the Symposium of the Institute of Philosophy and Theology, S. J., (Zagreb 1987) 101–144; Dubravko TADIĆ, Bošković's Theories on the Structure of Ma. In: The Philosophy of Science of Ruđer Bošković. Proceedings of the Symposium of the Institute of Philosophy and Theology, S. J (Zagreb 1987) 115–130; Hans ULLMAIER, Puncta, particulae et phaenomena. **Der dalmatinische Gelehrte Roger Joseph Boscovich** zund seine Naturphilosophie (Hannover-Laatzten 2005) 47–103.

³ Vgl. **William L. PEIRCE**, Boscovich and the British Chemists. In: Roger Joseph Boscovich. S.J., F.R.S., 1711–1787. Studies on his Life and Work on the 250th Anniversary of his Birth. Edited by Lancelot Law White (London 1961) 153–167; Robert E. SCHOFIELD, Boscovich and Priestley's Theory of Ma. In: Ebd. 168–172; **Alma SODNIK-ZUPANEC**, Die Entwicklung von Bošković's Naturphilosophie in einigen philosophischen Texten der 18. Jahrhu. In: Actes du Symposium international R. J. Bošković (Beograd, Zagreb, Ljubljana 1961) 283–289; J. ZEMPLÉN, Roger Boscovich's Influence upon Physics in Hun. In: Ebd. 291–297; **Peter M. HARMAN**, Boscovich and British Natural Philosophy. In: Piers BURSILL-HALL (Hrsg.), R. J. Boscovich. Vita e attività scientifica – His Life and Scientific Work. (= Atti del Convegno Roma, 23–27 maggio 1988, Istituto della Enciclopedia Italiana) (Roma 1993) 561–575; Frank A. J. L. JAMES, Reality or Rhetoric? Boscovichianism in Britain, the Cases of Davy, Herchel and Far. In: Ebd. 577–585; L. Pearce WILLIAMS, Boscovich, Mako, Davy and Far. In: Ebd. 587–599; David B. WILSON, Boscovich and Ke. In: Ebd. 601–613; Stipe KUTLEŠA, Reception of Boscovich's Natural Philosophy in Britain. In: Interpreting Tradition and Modernity. Institut za filozofiju, (Zagreb 2004) 147–191; Hans ULLMAIER, Puncta, particulae et phaenomena. (Ann. 2) 117–137.

Boscovichschen Theorie ist in seiner bekannten Kurve der Kräfte (*curva Boscovichiana*) enthalten. Seine Theorie hat er auf die Mechanik angewandt (zweiter Teil des Werks „Theoria“) sowie auf die Physik (dritter Teil der „Theoria“). Vorausgehend sollte man in Kürze die Prinzipien anführen, in denen seine Theorie ihren Ursprung hat und die Elemente der Kräfte der Kurve erläutern.

2. Ausgangspunkte für Boscovichs Theorie der Naturphilosophie

Ausgangspunkte der Boscovichschen Theorie der Naturphilosophie sind die Prinzipien der Einfachheit und Ähnlichkeit/Analogie (*simplicitas et analogia naturae*),⁴ sowie auch das Prinzip der Kontinuität (*lex continuitatis*).⁵ Das macht die deduktive Seite der Theorie von Boscovich aus. Der empirische Ansatzpunkt für die Theorie ist die Analyse eines Problems gewesen, das zu jener Zeit im Mittelpunkt des Wissenschaftsinteresses stand: Der Zusammenstoß von Körpern, ein Problem, das eine Art Test für das Kontinuitätsprinzip⁶ darstellte. Ohne tiefer in die Analyse dieses Problems einzudringen, muss man dennoch sagen, dass der Zusammenstoß der Körper das Kontinuitätsgesetz⁷ in Frage stellen würde, da es beim unmittelbaren Kontakt der zusammenstoßenden Körper zu unumgänglicher Störung/Bruch dieses Gesetzes kommt. Boscovich setzte sich für die Bewahrung des Kontinuitätsprinzips ein, aus dem die Boscovichsche Theorie und die Kurve der Kräfte hervorgegangen sind, was den Weg in die „neue Welt“ Boscovichs freigemacht hat.

Die Boscovich-Kurve der Kräfte stellt visuell eine ziemlich komplexe Kurve dar, weshalb man ihr schwierig eine genaue analytische Form⁸ oder Formel zuweisen kann. Er selbst war sich dessen bewusst, war aber dennoch der Ansicht, dass seine Kurve der Kräfte die einfachste Form hat. Im Unterschied zu der gesamten Tradition innerhalb der man schon zu Platos Zeit die Gerade als die einfachste Kurve betrachtete, ändert Boscovich dieses traditionell festgesetzte und allgemein akzeptierte Kriterium der Einfachheit. Sein Kriterium der Einfachheit stellte gerade seine Kurve der Kräfte dar, d.h. ihre Form (Abb. 1).

⁴ Vgl. **Abhandlung von BOSCOVICH**, De viribus vivis dissertatio auctore P. Rogero Josepho Boscovich. S. J. Matheseos Professor in Collegio Romano (Romae, MDCCXLV) Sumptibus Venantii Monaldini Bibliopolae in Via Cursus. Typis Komarek. (nachfolgend = VV) Nr. 5, 9, 24, 37, 47; „Theoria Philosophiae Naturalis“ (nachfolgend = ThPhN) Nr. 28, 31, 38.

⁵ Vgl. **Abhandlungen von BOSCOVICH**, De continuitatis lege et eius consecrariis pertinentibus ad prima materiae elementa eorumque vires Dissertatio auctore P. Rogero Josepho Boscovich Societatis Jesu publico Matheseos professore in Collegio Romano (Romae MDCCLIV). Ex Typographia Generosi Salomoni. Apud Venantium Monaldini bibliopolam in via Cursus (nachfolgend = CL); Lateinisch-deutsche Ausgabe, Rogerius Josephus BOSCOVICH, De continuitatis lege – Über das Gesetz der Kontinuität (Heidelberg 2002); DERS., De lege virium in natura existentium Dissertatio habita in Collegio Romano a Patribus Soc. Jesu IV. Septembris anni MDCCLV. (Romae 1755) Typis Joannis Generosi Salomoni (nachfolgend = LV) Nr. 1, 3; VV, Nr. 45; ThPhN, Nr. 32, 39, 52, 55, 57, 62, 143–152.

⁶ ThPhN (Anm. 4) Nr. 16–18, 22, 31–38, 142–152; Zum Begriff Kontinuität im Denken von Boscovich siehe J. HOLSTMARK, Die Wandlung des Kontinuitätsbegriffs in der Physik im Laufe der Z. In: Actes du Symposium international R. J. Bošković (Beograd, Zagreb, Ljubljana 1961) 97–102; S. SAMBURSKI, Stoic Continuum Theory and Boscovich's Concept of. In: Ebd. 103–105; Ernest STIPANIĆ, Continuité de la ligne chez Bošković et Ded. In: Ebd. 115–124; Gordon G. BRITTAN, The Role of the Law of Continuity in Boscovich's Theory of Matter, in: Piers BURSILL-HALL (Hrsg.) (Anm. 3). 215–227.

⁷ Usp. ThPhN, br. 39–44, 48–63, 69, 104–106.

⁸ Ebd. Nr. 11, 116.

3. Elemente der Boscovichschen Kurve der Kräfte

Die Boscovichsche Kurve der Kräfte beschreibt die zwischen zwei mikroskopischen Teilchen (Boscovichsche *puncta*, die den Elementarteilchen der heutigen Physik entsprechen) herrschende Kraft. Unter der Annahme, dass ein Teilchen sich in der Position A (Ausgangspunkt des Koordinatensystems) befindet (Abb. 1), während ein anderes Teilchen irgendwo (am beliebigen Ort) auf der Abszissenachse x liegt, dann wirkt zwischen diesen zwei Teilchen die Boscovichsche anziehend-abstossende Kraft, die durch die *curva Boscovichiana* dargestellt wird.

Es gibt drei Grundelemente der Kurve der Kräfte: (a) Bögen⁹ (asymptotische und mittlere; beide Arten können sowohl abstoßende wie anziehende Bögen sein), (b) Punkte in denen die Kurve die Abszissenachse (x -Achse) schneidet: die „Grenzen“ der Kohäsion bzw. Nonkohäsion,¹⁰ (c) Flächen zwischen der Abszissenachse und der Kurve (können endlich oder unendlich sein).¹¹

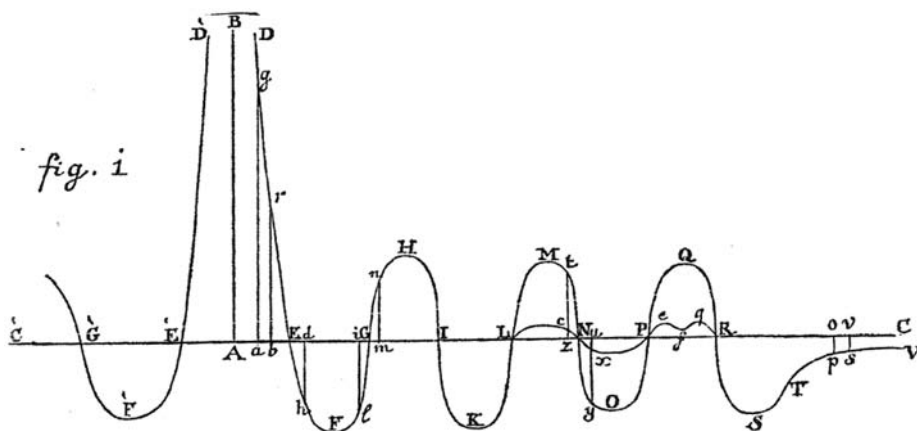


Abb. 1

Der abstoßende asymptotische Bogen ist eine originelle Annahme von Boscovich.¹² Er ist eine unmittelbare Folge von Boscovichs Bestrebungen, das Kontinuitätsgesetz aufrechtzuerhalten. Damit dies erreicht werden kann, darf es beim Zusammenstoß der Kugeln nicht zu einer direkten Berührung oder zu einer Kontinuitätsstörung kommen.¹³ Die Kraft, die den Kontakt verhindert, ist die abstoßende Kraft. Die These, dass kein Kontakt vorhanden

⁹ ThPhN, Nr. 167–178.

¹⁰ Ebd. Nr. 179–188.

¹¹ Ebd. Nr. 172–178.

¹² ThPhN, Nr. 74–80; vgl. T. P. ANGELITCH, Über das Kraftgesetz von Boscovich. In: Actes du Symposium international R. J. Bošković (Ann. 3) 151–156; Manche waren der Meinung, dass Gowin Knight als Erster die Idee von der anziehenden und abstoßenden Kraft im folgendem Werk ausgearbeitet hat, An Attempt to demonstrate, that all the Phaenomena in Nature may be explained by two simple active Principles Attraction and Repulsion, (London 1748). Boscovich hat drei Jahre davor in seiner Abhandlung „De viribus vivis“ (Von der lebendigen Kräften) 1745 die Theorie der anziehenden-abstoßenden Kräften begründet De viribus vivis (O živim silama, Von der lebendigen Kräften) (1745) Vgl. Stipe KUTLEŠA, Reception of Boscovich's Natural Philosophy in Br. (Ann. 3) 149.

¹³ ThPhN, Nr. 30, 71–73.

ist, ist eine weitere eigenartige und originelle Behauptung Boscovichs, die notwendig aus seinem Grundgesetz über die Kurve der Kräfte hervorgeht. Den zweiten asymptotischen Bogen, welcher der Gravitationsanziehung entspricht, übernimmt Boscovich von Newton, ist jedoch der Überzeugung, dass er auf sehr großen Entfernungen nicht wie $1/x^2$ abnimmt, sondern er behauptet, dass die Kurve der Kräfte die Abszissenachse sogar mehrere Male durchschneiden kann, womit er von Newtons Gravitationsgesetz abweicht.¹⁴ Wenn dem nicht so wäre, könnte es aufgrund der zwischen den Fixsternen bestehenden Anziehungskräfte zum Einsturz des Weltalls kommen. Anhand von mittleren (sich anziehenden und/oder abstoßenden) Bögen wird eine Vielzahl von Naturerscheinungen erklärt. Boscovichs Korrektur des Newtonschen Gravitationsgesetzes stellt seine Theorie nicht in Frage, vielmehr bekräftigt sie diese, indem sie eine größere Anzahl der Phänomene umfasst als das Gravitationsgesetz.

Punkte, in denen die Kurve die Abszissenachse (die die Entfernung zwischen den Teilchen darstellt) durchschneidet, nennt man Nullpunkte oder Nullstellen. Es gibt zwei Arten von Nullstellen. In diesen ist die Kraft $F = 0$, während in andern Punkten (abgesehen von Berührungen) $F \neq 0$, d.h. $F > 0$ oder $F < 0$ ist. In den Positionen E, I, N, R (im allgemeinen nennen wir diese Positionen G_K) benehmen sich die Elementarteilchen anders als in den Positionen G, L, P (allgemein G_N).

Wenn die Außenkraft das Teilchen aus der G_K Lage/Position (E, I, N, R, s. Abb. 1) in die Richtung nach A in Bewegung setzt (wo der andere Materiepunkt sich befindet), wird das Teilchen eine Position aus G_K im Bereich der abstoßenden Kraft einnehmen, und versuchen, in G_K zurückzugelangen. Bewegt die Außenkraft das Teilchen aus G_K in die andere Richtung fort, d.h. indem sie es vom Ausgangspunkt entfernt, kommt dieses in den Bereich der anziehenden Kraft und versucht wiederum die G_K Position einzunehmen. Das gleiche gilt für alle G_K Positionen. Durch eine Außenkraft in Bewegung gebrachtes Teilchen versucht in jedem Fall zurück nach G_K zu gelangen. Die G_K Punkte nennt Boscovich die Kohäsionsgrenzen (*limes cohaesiones*). Anders bei den G_N Punkten/Positionen: Ein aus G_N eine in beliebige Richtung verschobenes Teilchen wird versuchen, sich aus G_N zu entfernen. Solche Punkte nennt Boscovich die Grenzen der Nonkohäsion (*limes noncohaesiones*). Die Kurve der Kräfte innerhalb der Grenzen der Kohäsion und Nonkohäsion hängen nicht von der Dichte dieser Grenzen ab, sondern von der Neigung der Kurve zur Abszisse in der Nähe dieser Punkte.

Bei den Punkten auf der Abszisse, in denen $F = 0$ ist, sind neben den genannten Grenzen auch Berührungspunkte¹⁵ vorhanden. Diese sind ebenfalls zweiartig. Die einen widerstehen dem Zusammenziehen, die anderen dem Ausdehnen.

Die Boscovich-Kurve kann in Null-Punkten drei Tangentenarten haben: Abszissen-, Ordinaten- und eine beliebige Richtung.¹⁶ Die beiden ersten sind nach Boscovichs Ansicht selten oder gar nicht vorhanden.

Da die Kurve der Kräfte eine kontinuierliche Funktion darstellt-aus dem abstoßenden Bogen in den anziehenden und umgekehrt-aus dem anziehenden in den abstoßenden, geschieht dies durch die Grenzen, in denen die Kraft schwindet (Grenzen der Kohäsion und Nonkohäsion).¹⁷ Es gibt auch andere Grenzen oder Übergänge, wo die Kräfte nicht gleich Null sind, sondern der Übergang geschieht durch die Unendlichkeit, d.h. über die asymptotischen Zweige.¹⁸ Es sind vier solcher Fälle möglich, zwei davon sind sinnlos, d.h. die-

¹⁴ ThPhN (Anm. 4) Nr. 121–126, 399–405; Vgl. Maurice A. FINOCCHIARO, Gravity and Intelligibility in Boscovich's Natural Philosophy. In: Piers BURSILL-HALL (Hrsg.) (Anm. 3) 149–167.

¹⁵ ThPhN, Nr. 181.

¹⁶ Ebd. Nr. 184.

¹⁷ Ebd. Nr. 184.

¹⁸ Nr. 185–188.

jenigen, in denen es zum Übergang aus der anziehenden in die anziehende bzw. aus der abstoßenden in die abstoßende kommen würde (Abb. 2). Fälle 1 und 3 sind sinnlos, da sie den Berührungen in der Unendlichkeit entsprechen (die Kraft verschwindet in die Unendlichkeit und ändert ihre Richtung nicht; die anziehende bleibt anziehend, die abstoßende abstoßend). Ähnlich verhält es sich bei den klassischen Berührungen, bei denen die Kraft ebenfalls verschwindet ($F = 0$). In den Fällen 1 und 3 gibt es keine Grenzen, in den Fällen 2 und 4 sind diese vorhanden. Der Fall 2 stellt eine Kohäsion dar, während der Fall 4 für eine Nonkohäsion steht. In der Natur kommen Fälle 1, 2, 3 und 4 nicht vor, nur wenn die Kraft zu $1/x^n$ proportional ist und $n < 1$ (in diesem Fall strebt F die Unendlichkeit an). In der Natur ist der Fall 4 möglich, aber nur wenn die Kraft proportional mit $1/x^n$ ist, und $n > 1$. In den Berührungsfällen kann man nicht von Grenzen reden.

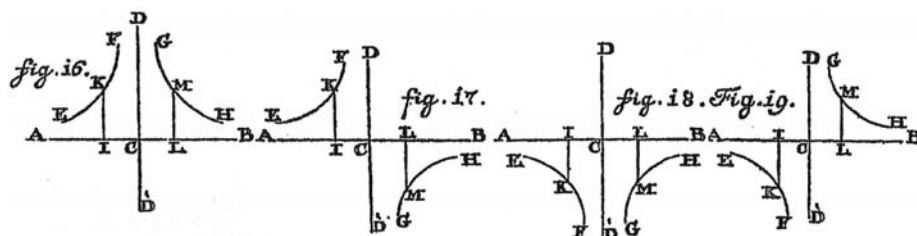


Abb. 2

4. Eigenschaften der Materie

Aus der Charakteristik der Kurve der Kraft folgen Eigenschaften von Grundelementen der Materie wie auch die allgemeinen und besonderen Körpereigenschaften und -unterschiede zwischen ihnen.¹⁹

Unter die allgemeinen Eigenschaften der Körper zählt Boscovich folgende hinzu: Undurchdringlichkeit, Ausdehnung, Gestalt, Volumen, Masse, Dichte, Trägheit, Beweglichkeit, Bewegungskontinuität, Aktion und Reaktion, Teilbarkeit, Vereinbarkeit, Unveränderbarkeit der ersten Materieelemente, Gravitation, Kohäsion, Austausch (Wechsel), Transformation.

Besondere Eigenschaften der Körper umfassen: Verschiedenheit der Teilchen und der Masse, Unbiegsamkeit (Starrheit) und Fluidität der Körper, Elastizität und Weichheit, chemische Reaktionen (Schmelzen, Ablagern, Adhäsion, Verschmelzen, Fermentieren, Ausdünsten), Feuer, Lichtausströmung, Duft, Geschmack, Klang (Ton), Elektrizität, Magnetismus u.a.

4. 1. Allgemeine Eigenschaften

4.1.1. Die Einfachheit der Grundelemente der Materie

Die Einfachheit geht aus den asymptotischen abstoßenden Kräften hervor, die auf sehr kleinen Entfernungen nicht zulassen, dass ein Teil der Materie an einen anderen angeschmiegt (zusammengefügt) wird, d.h. die Grundelemente der Materie sind nicht komplex, sondern einfach.²⁰ Aus Einfachheit geht nicht notwendigerweise die Unteilbarkeit hervor. Die Grundelemente könnten kompliziert, aber trotzdem unteilbar sein. Komplexe Teilchen

¹⁹ ThPhN, Nr. 358–9; Vgl. ULLMAIER, *Puncta, particulae et phaenomena.*(Anm. 2) 70–103.

²⁰ ThPhN (Anm. 4) Nr. 81–82.

(Partikel) als Ganzheit wirkten anhand von abstoßenden Kräften und ließen keinen Kontakt zu, während zwischen den Teilen eines zusammengesetzten (komplexen) Teilchens nur anziehende Kräfte bestünden. Boscovich lehnt diese Möglichkeit wegen der Homogenität, der möglichen Störung der Kontinuität (des Fortbestehens) sowie des möglichen Bestehens von zwei Kohäsionen in der Natur ab. Ein Teil des zusammengesetzten und unteilbaren Teilchens würde gegenüber anderen seiner Teile auf gleichen Entfernungen sowohl anziehende als auch abstoßende Kräfte zeigen, was der Homogenität widerspricht. In den zusammengesetzten und unteilbaren Teilchen gibt es keine Naturkraft, welche die Teile auseinander bringen würde, aber die Göttliche Kraft könnte das freilich zustande bringen. In diesem Falle würden sich Teilchen, den Naturkräften überlassen, gegenseitig anziehen und es käme zur Störung der Kontinuität. In der Natur bestünden zwei Kohäsionsarten, von denen eine von den zusammengesetzten Teilchen stammen würde und die andere von den Teilen des komplexen Teilchens.

4.1.2. Ausdehnungslosigkeit

Desgleichen erfolgt Ausdehnungslosigkeit nicht aus der Einfachheit. Einfache und unteilbare Elemente könnten ausgedehnt sein (virtuelle Dehnbarkeit). Gott ist einfach und allgegenwärtig. Boscovich beweist, dass es bei der Materie keine virtuelle Ausdehnung gibt. Ausdehnungslosigkeit wird aufgrund der Unmöglichkeit des Sprunges beim Übergang aus der Vakuumdichte in echte Dichte bewiesen. Sie würde Sprunghaftigkeit aufweisen, wenn die Teilchen zusammengesetzt oder virtuell dehnbar wären. Ein anderer Grund ist die Möglichkeit der unendlichen Dichte, was bei ausdehnungslosen Materiepunkten möglich wäre.²¹ Worin besteht die Problemerkennung des ausdehnungslosen Materiepunktes? Die Idee davon können wir nicht unter Zuhilfenahme unserer Sinne bekommen, da wir mit Sinnen die Idee von der Materie, Ausdehnung u.ä. bekommen. Die Idee des ausdehnungslosen Punktes erhalten wir anhand Reflexion und zwar in zweifacher Weise: negativ-durch die Negation der Idee von Ausdehnung und positiv-aus der Geometrie. Aber, was ist mit dem Materiepunkt? Boscovich unterscheidet zwischen mathematischen Punkten und physischen Materiepunkten. Letztere sind mit Kräften der Trägheit und aktiven Kräften behaftet und rufen in unseren Sinnen wahrnehmbare Bewegung hervor. Boscovichs Gegner berufen sich auf die Induktion um zu beweisen, dass es keine ausdehnungslosen und einfachen Materieelemente gibt. Er nennt ein Gegenargument: es gibt keine Beweise, dass die ganz winzigen Teilchen dehnbar sind.

4.1.3. Unteilbarkeit, Unveränderbarkeit, Undurchdringlichkeit und Homogenität

Aus Einfachheit, Unteilbarkeit und Ausdehnungslosigkeit geht Unteilbarkeit hervor. Während der Raum bis ins Unendliche teilbar ist, ist es die Materie dagegen nicht. Die Masse kann nicht in mehrere Punkte aufgeteilt werden als diese sie enthält.

Aus Einfachheit, Unteilbarkeit und Ausdehnungslosigkeit geht hervor, dass Grundelemente der Materie unveränderbar sind.²² Aus dem asymptotischen abstoßenden Bogen folgt, dass es zur Berührung der Teilchen nicht kommen kann, insbesondere nicht zur „Kompenetration“ (Durchdringung), da dies diejenige Kraft nicht zulässt, die ins Endlose wächst.²³ Nur Göttliche Kraft könnte eine Kompenetration herbeiführen.²⁴ Ohne abstoßende asymptotische Kräfte bestünde keine Undurchdringlichkeit, vielmehr könnten

²¹ ThPhN (Anm. 4) Nr. 88, 91, 132–141.

²² Ebd. Nr. 88, 91, 132–141.

²³ Ebd. Nr. 360–371.

²⁴ Ebd. Nr. 366–374

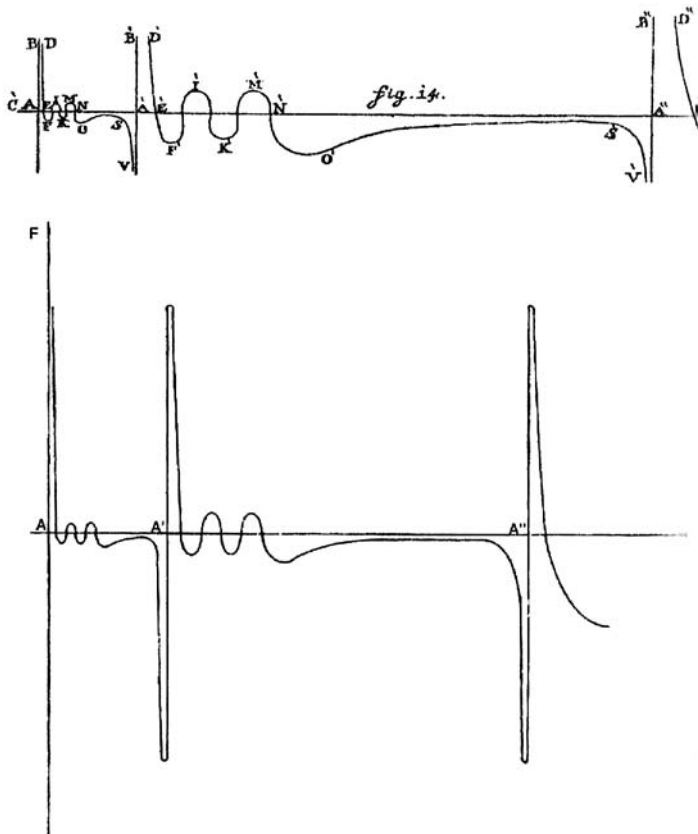


Abb. 3

Teilchen und Massen ineinander eindringen. Massen könnten sich gegenseitig hindurch verschieben ohne eine Störung ihrer Innenstruktur (Strukturveränderung) zu bewirken. Das alles ist bei sehr kleinen Geschwindigkeiten möglich. Boscovich führt das Beispiel an, dass man durch geschlossene Türen oder Wände hindurch gehen könnte, wenn man sehr hohe Geschwindigkeit erreichen könnte.²⁵ Wenn wir uns an hohe Geschwindigkeit gewöhnten, hätten wir keine Idee von Undurchdringlichkeit. Undurchdringlichkeit ist also eine Folge unserer Erfahrung, die wir bei kleinen Geschwindigkeiten machen. Bei hohen Geschwindigkeiten kommt es zur Veränderung unserer Erfahrung. Daraus ergibt sich die wichtige Schlussfolgerung, dass eine Änderung der Position (d.h. Bewegung) eine Änderung von Raum- und Zeiteigenschaften bewirkt, was später die Relativitätstheorie aufgezeigt hat, die besagt, dass sich allgemein anerkannte Eigenschaften von Körpern (Massen), Raum und Zeit (Kontraktion und Dilatation) bei sehr hoher Geschwindigkeit ändern. Bei Boscovich ist es möglich, dass dies grundsätzlich auch bei niedrigeren Geschwindigkeiten geschieht.²⁶

Die Folge des Vorhandenseins von abstoßenden Kräften ist die Undurchdringlichkeit von Elementarteilchen der Materie oder Materiepunkten. Wenn asymptotische abstoßende Bögen vorhanden sind (oder sehr hohe aber endliche abstoßende Bögen), dann könnten die sich auf einer Entfernung, die geringer ist als der Abstand zwischen vertikalen Asympto-

²⁵ ThPhN (Anm. 4) Nr. 370.

²⁶ Vgl. Stipe KUTLEŠA, Boškovićs Theorie von Raum- und Zeitverhältnissen. In: *Synthesis Philosophica*, vol. 8. fasc. 2, No. 16 (Zagreb, 1993) 271–292.

ten, befindlichen Punkte/Teilchen keine erhöhte Entfernung erzielen, während Punkte, die eine größere Entfernung hätten, wegen dieser asymptotischen Kräfte keine geringere Entfernung erzielen könnten (Abb. 3). Ähnlicherweise würde ein sich zwischen Asymptoten befindlicher Körper zum undurchdringlichen Festkörper werden. Solche Massen könnten die ganze Welt ausmachen. Sie wären undurchdringlich. Boscovich spricht von der Idee der Existenz von mehreren parallelen Welten. Diese Idee ähnelt der zeitgenössischen Idee der Quark-Gefangenschaft (quark's confinement) in der modernen Wissenschaft.²⁷ Es sind drei Ursachen für Undurchdringbarkeit möglich: Körpernatur, Gesetz Gottes, etwas Drittes.

Wenn Undurchdringlichkeit existiert, würde dies zur Störung der Kontinuität führen (MacLaurin; Maupertius), und wenn die Kontinuität aufrechterhalten würde, müsste man die Eigenschaft der Undurchdringlichkeit aufgeben (Leibniz). Boscovich lehnt keine dieser Eigenschaften ab, behält sie vielmehr beide, indem er die These von der Unmöglichkeit der Berührung einführt.

Boscovich führt zwei Arten von Undurchdringlichkeit an: die eine, die aus abstoßenden Kräften hervorgeht (es existiert keine Berührung) und die andere, die aus der Ausdehnungslosigkeit der materiellen Punkten hervorgeht (Unwahrscheinlichkeit der Rückkehr des Materiepunktes in den räumlichen Punkt in dem er jemals irgendein materieller Punkt gewesen ist). Undurchdringlichkeit kann auch für zusammengesetzte Teilchen vorhanden sein.

Die Kurve der Kräfte hat gleiche Elemente für alle materiellen Punkte, woraus folgt, dass allen Materiepunkten Undurchdringlichkeit, Gravitation, aber auch durch mittlere Bögen beschriebene Kräfte gemeinsam sind. Alle Materiepunkte sind also homogen (gleichartig).²⁸ Obgleich homogen, bilden sie unterschiedliche zusammengesetzte Teilchen vorzugsweise durch verschiedene Anordnungen und Unterschiede der Kombinationen. Boscovich vergleicht dies mit der begrenzten Anzahl von Buchstaben mit denen die unüberblickbare Menge der Bücher voll geschrieben ist. Und Buchstaben sind von gleichartigen Punkten zusammengesetzt.

4.1.4. Ausdehnung der Materie

In der Tradition hat man angenommen, dass eine kontinuierliche Ausdehnung der Materie existiert.²⁹ Boscovich akzeptiert das nicht. Er hält das für eine pure Hypothese. Ausdehnung folgt nämlich aus der Undurchdringlichkeit, d.h. aus der Tatsache, dass einige Materieteile außerhalb anderer liegen. Es ist sogar unwahrscheinlich, dass auf einer Geraden mehr als zwei Punkte liegen und auf einer Ebene mehr als drei Punkte. Boscovich unterscheidet zwei Arten von Ausdehnung: physische und mathematische. Ausdehnung ist physisch kontinuierlich, mathematisch jedoch nicht. Sie besteht nämlich nicht nur aus materiellen Punkten, sondern auch aus Abstandsrelationen zwischen den Punkten. Mathematische ununterbrochene Ausdehnung bestünde dort, wo keine Unterbrechungen (*interruptiones*) zum Vorschein kämen. Im Falle der physischen Ausdehnung gibt es kleine reale Abstände, die mit Sinnen nicht wahrgenommen werden können.

Hinsichtlich der Frage, wie ohne aktuelles Kontinuum Geometrie existieren kann, antwortet Boscovich, dass Geometrie imaginär und ideell sei.

Woher kommen die Ideen der ununterbrochenen Ausdehnung und Berührungen? Sie stammen aus den Sinnen. Diese sind begrenzt und können kleine Abstände nicht registrieren, weshalb sie uns eine Vorstellungen/Anschein vermitteln, dass diese Abstände nicht existieren. Aus diesem Grunde sagen uns unsere Sinne, dass es sich um eine ununter-

²⁷ Vgl. Philip M. RINARD, Quarks and Boscovich. In: American Journal of Physics, 44 (7), 1976, 704–705.

²⁸ ThPhN (Anm. 4) Nr. 91–92.

²⁹ Ebd. Nr. 371–376.

brochene (kontinuierliche) Ausdehnung handelt. Doch, die Sinne täuschen uns, so Boscovich. Deshalb schlägt er vor, die Schlüsse aufgrund von Reflexionen und nicht basiert auf unsere Sinne zu ziehen.

Boscovich bricht mit der materialistisch-korpuskularen Theorie der Materie und begründet eine erste echte dynamistisch-atomistische Theorie (Boscovichsche Wende).

Boscovichs fundamentale einfache, unteilbare, undeformbare, undurchdringliche, homogene Materieteilchen schaffen den klassischen Substanzbegriff ab und es bestehe, so wurde Boscovich vorgeworfen, kein Unterschied zwischen seinen materiellen Teilchen und dem Geist.³⁰

Boscovich weist solche Einwände ab und erklärt, dass sich Geist und Materie darin unterscheiden, dass Materie bemerkbar und undurchdringlich ist und über keine Denkfähigkeit verfügt, was für den Geist wohl nicht gilt.

5. Zusammensetzung und Struktur der Materie

Mittels seiner Kurve der Kräfte analysiert Boscovich die einfachsten Fälle zusammengesetzter Systeme, zuerst die aus zwei materiellen Punkten bestehenden,³¹ dann auch die komplexeren mit drei³² und mehreren Punkten. Er spricht von den einfachen, undeformbaren Punkt-Teilchen, aus denen die Teilchen erster Ordnung aufgebaut werden, die ihrerseits Teilchen zweiter, dritter, ... Ordnung aufbauen. Das könnte man mit Quarks, elementaren Kernbausteinen (Protonen, Neutronen), Atomen, Molekülen, ... vergleichen.³³ Er erklärt die Ruhepositionen der Teilchen (in den *limites cohaesiones*) und die ihre Bewegung (außerhalb der Ruhelagen) sowie Oszillationen, die größer sind um die Grenzen der Nonkohäsion als um die Grenze der Kohäsion herum. Mit unterschiedlichen Bewegungen und Oszillationen erklärt er Phänomene der Gärung, Verbrennung, Lichtemission, Elastizität, Körperweichheit, Verbiegung, Zusammenziehen, Ausdehnen u.ä. In den letzten drei Fällen ändert sich die Länge der Stange, wenn wir aber diese Änderungen nicht wahrnehmen, denken wir, dass die Stange unbiegsam und hart ist. In der Natur kommen solche Stangen nicht vor, sagt Boscovich.

5.1. Das Boscovichsche „Atommodell“

Die wichtigste Anwendung der Theorie Boscovichs ist allenfalls das Modell, welches man bedingt das Boscovichsche „Atommodell“ nennen kann. Es handelt sich um ein 3-Punkte-System, in dem sich zwei Punkte in den beiden Brennpunkten (Fokusse) einer Ellipse befinden, während sich der dritte auf ihr bewegt³⁴ (Abb. 4). Eine einfache Analyse unter Anwendung der Boscovichschen Kurve auf diesen Fall

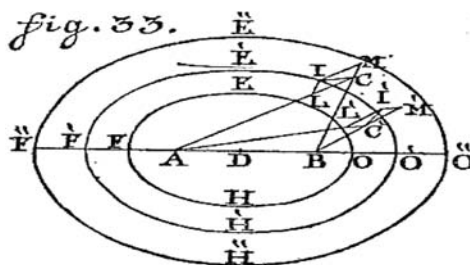


Abb. 4

resultiert in einer wichtigen und zu seiner Lebzeit eigenartigen und unerwarteten Behauptung: das Teilchen kann sich nicht auf allen möglichen Ellipsen, sondern nur auf einigen speziellen bewegen, was in die Natur eine Diskontinuität einführt, wie sie erst der Quantenmechanik Anfang des 20-ten Jahrhunderts zu eigen wurde.

³⁰ ThPhN (Anm. 4) Nr. 153–157.

³¹ Ebd. Nr. 189–204.

³² Ebd. Nr. 204–237.

³³ Vgl. ULLMAIER, Puncta, particulae et phaenomena (Anm. 2) 70–103.

³⁴ ThPhN (Anm. 4) Nr. 229–237.

5.2. Übergang auf die Makrokörper

In der Betrachtung der Weise, wie die Materie aus punktuellen „Atomen“ aufgebaut ist, gelangt Boscovich zu einigen wichtigen Schlussfolgerungen. Einfache, unausgedehnte Punkte (*puncta*) können komplexere Teilchen bilden (Teilchen der ersten Ordnung) aus denen noch komplexere Teilchen zusammensetzen sind (Teilchen zweiter und höherer Ordnung) und so weiter bis zu den makroskopischen Körpern. Dabei ist die Erkenntnis von Bedeutung, dass die Unterschiede zwischen den komplexen Teilchen bestimmt werden durch die inneren Anordnungen der Teilchen niedrigerer Ordnung, aus denen sie bestehen. Somit gelangt Boscovich zum Begriff der chemischen Struktur, was eine Entdeckung der späteren Ära darstellt. Anhand der Unterschiede zwischen den Teilchen und den zwischen ihnen wirkenden Kräften können chemische Prozess erklärt werden (wie z.B. Auflösen, Ablagern, Schmelzen, Mischen der Substanzen untereinander, Verdunsten, Teilchenemission, Verbrennen, Kristallisieren, Fermentieren), aber auch andere Körpereigenschaften (Festigkeit, Weichheit, Elastizität, Biegsamkeit, Festigkeit/Bruch, Fluidität der Körper, Viskosität, Feuchtigkeit, Resistenz von Fluiden u.ä.).³⁵ Boscovichs erläutert mit seiner Theorie aber auch noch komplexere Phänomene wie z.B. Geschmack, Duft, Geräusch, Tastsinn, Wärme, Elektrizität, Magnetismus u.a.³⁶

Auch in seinem Verständnis von anderen Grundeigenschaften der makroskopischen Körper unterscheidet sich Boscovich von seinen Zeitgenossen.³⁷ Für ihn ist der Formbegriff (*Gestalt-figurabilitas*) problematisch und unbestimmt, da Grenzen der Körper nicht mit der kontinuierlichen Oberfläche enden. Damit hängt auch die Unklarheit des Begriffs des Rauminhalts (Volumen) zusammen, aber auch der Begriff der Masse in Hinsicht darauf, dass Boscovich die Masse als die Anzahl der im Körper enthaltenen Punkte deutet. Deswegen können makroskopische Körper nicht endlos zerteilt werden, sondern nur bis zu einer bestimmten Grenze. Materie kann nicht in mehr Teile gegliedert werden als sie selbst Punkte enthält. Aber die Materie kann bis ins Unendliche aufgebaut werden, denn zwischen zwei beliebige Materiepunkte kann ein weiterer Punkt eingefügt werden, ohne dass es dabei zu einer Berührung kommt.

Bei der Anwendung seiner Theorie auf die Masse und auf Systeme von Massen greift Boscovich auch die Frage auf, ob ihre Gesetze von der von ihm aufgestellten Deutung ebenso gut beantwortet werden wie von anderen Theorien. Diese Gesetze betreffen: Gravitationszentrum (Schwerpunkt), Gleichheit von Aktion und Reaktion, Theorie des Zusammenstoßes, Zusammensetzen und Trennen von Kräften, Lehrsätze über Kräfte, die auf Masse einwirken sowie die Anwendung dieser Lehren bei der Bestimmung des Gleichgewichtszentrums, des Hebelgesetzes, des Oszillationszentrums des Fluiddrucks, des Zusammendrückens sowie des Ausfließens von Flüssigkeit u.ä.³⁸ All diese erlangten Erkenntnisse Boscovichs bringen nichts Neues, außer dass sie zeigen, dass die Boscovichsche Theorie auf alle bekannten Errungenschaften der damaligen Mechanik und Physik ihre Anwendung finden kann. Es mag wohl seine Absicht gewesen zu sein, aufzuzeigen, dass seine Theorie zu keinen von den in der Wissenschaft bereits gemachten Einsichten abweichende Schlussfolgerungen darbietet. Boscovich war freilich dessen bewusst, dass seine Theorie zu Erkenntnissen gelangt, welche von der damalige Wissenschaft nicht wahrgenommen werden konnten. Die Trächtigkeit der Theorie von Boscovich bezeugt sich nämlich darin,

³⁵ ThPhN (Anm. 4) Nr. 426–450; Vgl. Alistair M. DUNCAN, Boscovich's Solution to the Problems of the Chemists, the Newtonian Tradition versus the Autonomy of Chemistry. In: Piers BURSILL-HALL (Hrsg.) (Anm. 3) 307–319.

³⁶ ThPhN (Anm. 4) Nr. 503–515; Vgl. ULLMAIER, *Puncta, particulae et phaenomena* (Anm. 2). 98–103.

³⁷ ThPhN (Anm. 4) Nr. 377–383, 516–524.

³⁸ ThPhN (Anm. 4) Nr. 240–358.

dass sie bis zu dieser Zeit unbekannte Folgen hat präsumieren lassen, die ihn als Wissenschaftler zum Vorboten neuer Ideen machen, die ihren Weg in die Umsetzung innerhalb der Wissenschaft erst viel später gefunden haben.

6. Das Licht

Wie es für alle Körper gilt, besteht auch Licht aus Teilchen. Boscovich ist in seinem Verständnis von Licht ein echter Anhänger Newtons (Newtonianer), da er die korpuskulare Lichttheorie befürwortet. Er entscheidet sich sogar ausdrücklich gegen Huygens Wellentheorie des Lichtes. Aus Boscovichs Theorie heraus lassen sich leicht alle bekannten optische Phänomene erklären.³⁹ Doch zwei seiner Schlussfolgerungen gehen den späteren Ergebnissen der Wissenschaft voraus. Boscovich hat behauptet, dass Lichtteilchen in den Körpern Zusammenstöße in den Körperteilchen hervorrufen und Wärme produzieren, welche in der Lage ist, den Körper zum Brennen zu bringen (anzuzünden). Auf diesen Gedanken Boscovichs hinweisend sah Lord Kelvin in ihm den Vorläufer der Thermodynamik und der kinetischen Gastheorie.⁴⁰ Lichtteilchen rufen auch das Phänomen der Luminiszenz hervor.⁴¹ Deswegen betrachtet man ihn als den Vorreiter/Vorkünder dieser Theorie. Manche Auffassungen Boscovichs von Licht sind allerdings durchaus archaisch. Entsprechend der damals vorherrschenden Auffassung sieht er in Licht ein Fluid (Lichtfluid), spricht von Licht als einer Art Fermentation, missdeutet Lichtdichte, verweilt weiter unter dem Einfluss der peripatetischen Ideen u.ä. Dessen ungeachtet war Boscovich selbst ziemlich zuversichtlich, dass seine Theorie *außerordentlich vorteilhaft bzw. leistungsfähig ist und fördernd in allen wie auch anspruchsvollen Diskussionen und speziellen Problemen der Physik*.⁴²

7. Zeitgenössische Bedeutung der Theorie von Boscovich

Schlussfolgernd kann man zusammenfassen, dass Boscovichs Theorie und ihre Anwendung auf Mechanik und Physik davon zeugen, dass sie in vielen Folgerungen ihrer Zeit vorausgingen und einige davon sogar heute noch zeitgemäß und aktuell sind: 1. Boscovichs Kurve der Kräfte ähnelt Kurven, die Kräfte zwischen Atomen darstellen sowie zwischen Molekülen in Festkörpern und Nukleonen im Atomkern, 2. Boscovichs Materiepunkte gleichen den Quarks und Leptonen in der Physik des 20sten Jahrhunderts, 3. Boscovichs Idee bzw. Vorstellung von der Existenz isolierter Welten kommt der Quark-Gefangenschaft (Confinement) gleich, 4. Boscovichs einziges Kräftegesetz ist immer noch unrealisiertes Ideal der zeitgenössischen Wissenschaft, die eine Unifikation/Vereinheitlichung aller bekannten in der Natur vorkommenden Kräfte anstrebt, 5. Boscovichs Atommodell ist ein direkter Vorläufer der Bohrschen Idee von der Quantisierung der Elektronenbahnen im Atom, 6. Mit seiner Auffassung von Raum und Zeit ist Boscovich Vorläufer einiger Behauptungen/Lehrsätzen der Relativitätstheorie, 7. Seine Idee von der Möglichkeit einer kausalen Beschreibung der Realität geht dem bekannten deterministischen Prinzip von P. S. Laplace voraus, 8. Noch vor J. W. R. Dedekind hat Boscovich ausdrücklich das Kontinuum der Realzahlen formuliert, 9. Er hat die Vorstellung von Fraktalen gehabt, 10. In der Geodäsie ist er der Urheber der Theorie der Isostasie gewesen.

³⁹ Ebd. Nr. 299–306, 471–502.

⁴⁰ William Thomson (Lord Kelvin) spricht ausdrücklich von Boscovichs kinetischer Theorie von Kristallen, Flüssigkeiten und Gasen. In: William THOMSON, *Molecular Constitution of Matter*. (= Edinb. Roy. Soc. Proc., XVI, 1890) 701–707.

⁴¹ Vgl. S. R. FILONOVIČ, *Luči, volni, kvanti*, Nauka, (Moskva 1978) 179.

⁴² ThPhN (Anm. 4) Nr. 515.

Das alles zeigt, dass Boscovichs Lehre nicht nur eine Theorie der Vergangenheit ist, deren Untersuchung man auf eine bloß historische Perspektive beschränken könnte.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden die Grundvoraussetzungen der Boscovichschen Philosophie der Natur kurz beschrieben und danach wird etwas ausführlicher auf die Anwendungen seiner Theorie auf die Erklärung der Probleme der Mechanik und Physik eingegangen. Die Elemente der Boscovichschen Kurve der Kräfte und ihre physikalische Bedeutung werden erklärt und die daraus folgenden Schlüsse diskutiert. Boscovich versucht, die Fragen zu beantworten, was Materie ist, welche Kräfte darin wirken, was für eine Struktur sie hat und woher das alles stammt. Er betont häufig, dass seine Theorie alle damals bekannten Naturerscheinungen gleich gut oder besser als die anderen Theorien erklärt, dass aber seine Theorie einfacher sei. Er erörtert die allgemeinen Eigenschaften der Körper (Undurchdringlichkeit, Ausdehnung, Gestalt (*figurabilitas*), Masse, Dichte, Trägheit, Gravitation usw.) als auch besondere Eigenschaften, wie die Verschiedenheit der Teilchen und der Massen, die Arten der Körper, chemische Reaktionen usw.

Boscovich analysiert die Bewegungszustände der Systeme von zwei oder mehr Materialpunkten und Massen, zwischen denen die Boscovichschen Kräfte wirken, wobei der Fall der drei Punkte auf einer Ellipse der interessanteste ist. Man könnte ihn als Boscovichsches Atommodell auffassen, das die Idee der Diskontinuität in die Natur einführt, was das Hauptkennzeichen der Quantenmechanik ist. Die Theorie von Boscovich erklärt auch alle klassischen Probleme der Mechanik und Physik: Schwerpunkt, Zusammenstoß, Bewegung auf der schiefen Ebene, Pendel, Parallelogramm der Kräfte, Fernwirkung, Erklärung der Lichterscheinungen, des Kluges, der Wärme, der elektrischen und magnetischen Erscheinungen.

Manche Schlussfolgerungen Boscovichs waren sehr fortschrittlich und ihrer Zeit weit voraus, aber es gibt auch Folgerungen, die Reflexe von archaischen Auffassungen waren, die der heutigen Wissenschaft völlig fremd sind.

ANTO MIŠIĆ (Zagreb)

BOŠKOVIĆ'S LEHRE ÜBER RAUM UND ZEIT (DE SPATIO & TEMPORE)

Einleitende Bemerkungen

Die Ausdrücke *Raum* und *Zeit* sind in den meisten modernen Sprachen sowohl im alltäglichen wie im wissenschaftlichen und philosophischen Gebrauch mehrdeutig. Der Raum wird gewöhnlich als etwas in drei Dimensionen Ausgedehntes verstanden, unterschiedlich von dreidimensionalen Dingen, die sich in ihm befinden. Ähnliches gilt auch für die *Zeit*, die als etwas Unabhängiges und von allen Ereignissen, die *in der Zeit* ablaufen, getrennt *Vergehendes (Fließendes)* begriffen wird. Indes ist es klar, dass mit den Ausdrücken *Raum* und *Zeit* nicht etwas real Bestehendes bezeichnet werden kann, denn in diesem Fall hätten wir zwei wirkliche Seiende (Dinge und Raum – Ereignisse und *Zeit*), die sich gegenseitig durchdringen. Ich gehe daher vom Raum- und Zeitbegriff als *Gedankendingen (entia rationis)* aus, welche keineswegs so existieren können, wie sie gedacht werden. In der alltäglichen Rede werden *Gedankendinge*, die für abstraktes menschliches Denken charakteristisch sind, z.B. zum Ausdrücken einer Privation, wie „Dunkel“ oder „Loch“, welche real nicht existieren können, sondern nur einen *Mangel (privatio)* als etwas Wirkliches ausdrücken (Licht- oder Materialmangel) gebraucht. Raum und *Zeit* als *Gedankendinge* gründen auf wirklich ausgedehnten Dingen und wirklichen Veränderungsverläufen. Als *Gedankendinge* sind alle unterschiedlichen Raum- und *Zeit*begriffe zu betrachten:

- a) *Anschauungsraum und Zeit* – kann man als Gesamtheit aller in Vergleichsordnung stehenden Lagen (nebeneinander geordnet) und als Gesamtheit der in Abfolge stehenden Lagen (nacheinander geordnet) definieren, welche nach unserer anschaulichen Vorstellung den ausgedehnten Dingen (räumlich) und den Ereignisabläufen (zeitlich) gehören können. Raum und *Zeit* werden dabei als etwas von den Dingen und Ereignissen Getrenntes und Verschiedenes begriffen. Der Ursprung dieser *Vorstellung* wird mannigfach interpretiert. Für Kant ist sie *reine* Form sinnlicher Anschauung, welche aller Erfahrung vorangeht und in der Struktur des menschlichen Erkenntnisvermögens gegründet ist. Für die scholastische Philosophie ist sie ein *Gedankending*, zu dem der Verstand durch Abstraktionsprozess gelangt, anfangen von der Erfahrung der Ausdehnung und Veränderung. Anschauungsraum ist durch die Struktur der Sinne begrenzt und ist real nicht von Etwas, was getrennt wäre von Gegenständen, die durch Sinne erreicht werden. Psychologisch ist es möglich, sich den Mangel der ausgedehnten Körper vorzustellen, aber es ist auch möglich, sich einen *leeren* Raum vorzustellen, und darin liegt der Grund, dass wir in unserem Erfassen den Anschauungsraum als eine ins Unendliche ausgehende Leere begreifen, während es sich in Wirklichkeit um ein *Gedankending* wie auch um einen allgemeinen Begriff handelt.
- b) *Der reale Raum und die reale Zeit* – ist die Gesamtheit der Lagen in Vergleichs- und Folgeordnung, wenn diese Gesamtheit als etwas *Reales* und in sich Selbstständiges gedacht wird. Auch hier handelt es sich um *Gedankendinge*, denn jenes „Reale“ darf nicht als wirklich Seiendes gedacht werden. Der Real- und Anschauungsraum und die *Zeit* unterscheiden sich dadurch, dass die Struktur von *Anschauungs*-Raum und *Zeit* euklidisch ist, während die Struktur des realen zumindest unklar ist.
- c) *Der physische Raum* – der Ausdruck wird in zwei verschiedenen Bedeutungen gebraucht: zum Messen und zur mathematischen Bestimmung räumlicher Relationen in einem bestimmten Koordinatensystem, das zur Beschreibung des realen Raumes dient; häufig wird der Ausdruck *Raum* mit dem Begriff von *Feld* oder *Kraftfeld* identifiziert.

Während bei der ersten Bedeutung ausschließlich von einem *Gedankending* gesprochen werden kann, ist im zweiten Sinn gedachter Raum nicht ein *Gedankending*, sondern eine wirkliche Grundlage realer Eigenschaften, das Mittel, das die Kraft- und Energieübertragung ermöglicht. Physische Zeit ist die Erfahrung des objektiven konstanten Ablaufes der äußeren Dinge und Veränderungen und sie ist die Frucht von Bewusstheit, die den anhaltenden Lauf eigener Tätigkeiten und durch äußere Sinneswahrnehmung das Fortbestehen und Abfolgen äußerer Gegenstände und Bewegungen wahrnimmt.

- d) *Mathematischer Raum und mathematische Zeit* – als reine Ausgedehntheit im gänzlich abstrakten Sinn werden diese Begriffe in der Mathematik, besonders in der Geometrie, angewandt, um die Gesamtheit qualitativ gleichartiger Elemente, die sich gegenseitig numerisch unterscheiden, zu bezeichnen. So sind, zum Beispiel, alle einzelnen Punkte auf einer gleichen Linie qualitativ gleichartige Elemente. Sie unterscheiden sich jedoch durch den Abstand von einem willkürlich gewählten Nullpunkt. Dadurch ist die Linie *eindimensionaler* und die Fläche *zweidimensionaler* Raum.
- e) *Gedachter, imaginärer Raum* – befindet sich im Urteil des Verstandes, der über Vorstellungsvermögen und Sinne reflektierend einen gedachten imaginären Raum bildet. Was der *Anschauungsraum* für die Sinne bedeutet, ist der imaginäre Raum für unser Vorstellungsvermögen. Es ist nicht möglich, sich einen Gegenstand vorzustellen, wenn er nicht in einem *Ort* seines imaginären Raumes der Phantasie gestellt würde. Zum Unterschied von dem Anschauungsraum, in dem sich notwendig sichtbare Dinge befinden, kann der Phantasieraum teilweise als leer und gegenstandslos gedacht werden. Der Verstand begreift alles als Seiendes, auch die Negation und Privation. Der imaginäre Raum, wie er vom Verstand begriffen wird, ist eine endlose Ausdehnung, eine absolute Leere, unabhängig und jedem körperlichen Ding, das ihn einfüllt, vorangehend. Der imaginäre Raum wird nach der Art eines Seienden begriffen. Den imaginären Raum kann man beurteilen entweder als ein gedachtes oder als ein reales Seiendes oder als ein *Gedankending* (*ens rationis*), das nur in Gedanken besteht, und als so gedachtes kann er nicht wirklich sein. Wegen seiner Abhängigkeit von Sinnen, kann der Verstand über das Bestehen vom Raum leicht affirmativ urteilen, aber wegen seiner Unabhängigkeit von Sinnen kann er es auch verneinen. Alles was über den imaginären Raum gesagt worden ist, kann man analog auch über die *imaginäre Zeit* sagen.
- f) *Absoluter Begriff von Raum und Zeit* – es sind in sich subsistierende unabhängige Wirklichkeiten, welche allen einzelnen Dingen und Ereignissen, die sich in ihnen befinden, vorausgehen. Während Dinge und Ereignisse nicht ohne Raum und Zeit bestehen können, werden der absolute Raum und die absolute Zeit als „leeres Behältnis“, das angefüllt werden kann, aufgefasst. Die Vorstellung von einem absoluten Raum hat in der Antike Demokrit vertreten mit der Behauptung, dass das „Leere“ (Nicht-seiendes) als ein „Volles“ Seiendes besteht. Aristoteles hält solches Ansinnen für absurd¹, während F. Suarez denkt, dass realer Raum (und Zeit) in sich absurd sei, und vertritt die Meinung, dass er nur ein *Gedankending* (*ens rationis*) sei, das allerdings ein reales Fundament (*fundamentum in re*) habe, und unserer Vernunft zur Verfügung stehe, um den absoluten Ort und die absolute Bewegung der Körper zu beschreiben². Newton behauptet im einführenden Scholion seiner „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“, dass man in der Physik als Wissenschaft unterscheiden muss zwischen einer Schein- und einer wirklichen Bewegung und dass eine wahre und wirkliche Bewegung nur im Verhältnis zu einem wirklichen, wahren und absoluten Raum und einer absoluten, wahren und mathematischen Zeit definiert werden kann, welche in ihrer Natur keine Relation zum Erfahrungsraum oder zur Erfahrungszeit als Gegenstand unserer Sinne haben.

¹ ARISTOTELES, Physik, IV, 6–9, 213 a 12–217 b 28.

² FRANCISCO SUAREZ, Disputationes metaphysicae, XXX, s. 7, n. 15–17; LI, s 1. n. 12.

Ich habe einige Meinungen über die Raum- und Zeitauffassungen angeführt, denn ich halte es für wichtig, sie beim Lesen und Verstehen der Lehre von Bošković vor Augen zu haben. Seine ersten Haltungen über Raum und Zeit brachte Bošković in der Abhandlung „De Cometis“ (Über Kometen, 1746); „De maris aestu“ (Über Flut und Ebbe, 1747); „De materiae divisibilitate et principiis corporum“ (Über Teilbarkeit der Materie und Prinzipien der Körper)³. Dem Titel meiner Darstellung zufolge, werde ich mich nicht mit den angeführten Abhandlungen beschäftigen, sondern unser Augenmerk auf die Darstellung der Lehren von Bošković leiten, die er in zwei *Nachträgen* („Supplementa“) veröffentlicht hat: „De Spatio, ac Tempore“ und „De spatio et Tempore ut a nobis cognoscuntur“ (*Über Raum und Zeit, und Über Raum und Zeit, wie sie von uns erkannt werden*)⁴. Der Text von „Supplementa“ ist auf 13 Seiten gedruckt und in 24 Nummern aufgeteilt. Im ersten Teil, „De Spatio, ac Tempore“ (*Über Raum und Zeit*) nn. 1–17. spricht er über die Natur von Raum und Zeit beziehungsweise über ihren *ontischen* Inhalt. Im zweiten Teil „De spatio et Tempore ut a nobis cognoscuntur“ (*Über Raum und Zeit, wie sie von uns erkannt werden*), nn. 18–24, spricht er von der Erkenntnis. Raum und Zeit, welche die Grundbedingungen unserer Erfahrung der Welt bestimmen, sind für Bošković keine nur durch Abstraktion unmittelbar aus der Erfahrung gewonnenen Begriffe, sondern sie sind das Ergebnis einer Konstruktion der Vernunft, die über die Gegebenheiten der Erfahrung und über die Sinne nachdenkt. In der folgenden Darstellung möchte ich vor allem die Lehre von Bošković aus den „Supplementa“ und erst am Ende einige abschließende Anmerkungen bringen.

Die Natur von Raum und Zeit

Die Lehre vom Raum verbindet Bošković eng mit seiner Auffassung von der Materie, die „aus gänzlich unteilbaren und unausgedehnten unter sich durch einen Abstand getrennten Punkten bestehen und die dazu durch einige Kräfte verbunden sind, die sich bald anziehen und bald abstoßen, und von ihren gegenseitigen Entfernungen abhängen“⁵. Da er keine kontinuierliche Ausdehnung der Materie annimmt, lehnt er auch die klassische Auffassung von Raum und Zeit ab auf Grund der Auffassung des materiellen Körpers, dessen Grundeigenschaften sind: Kontinuierliche Ausgedehtheit, sinnliche Qualitäten und Erreichbarkeit durch die Sinne. Für Bošković und seiner Theorie über Materie zufolge können gerade Raum und Zeit bezeichnet werden als „fortbestehende und teilbare Endlosigkeit, die diese Eigenschaften besitzen würde“⁶. Es stellt sich jedoch die Frage, welcher Natur Raum und Zeit sind, wenn sie diese Eigenschaften besitzen. In der Philosophie- und Wissenschaftsgeschichte wie in der Volksauffassung gibt es sehr unterschiedliche Meinungen von Raum und Zeit, wie ich vorher in der Einführung angedeutet habe. Einige fassen Raum und Zeit als real Seiende auf, andere ausschließlich als Gedankendinge, als kategoriale Substanzbezeichnungen oder Verstandskategorien a priori⁷. Raum und Zeit können mathema-

³ Über Entwicklung der Raum- und Zeitlehre von Bošković, vor allem in den angeführten Abhandlungen, gibt Zvonimir ČULJAK eine sehr gute Darstellung in seinem Buch „Entstehung der Raum-Zeitphilosophie von Bošković“ (Zagreb 1992).

⁴ Supplementa, erstmal als „Supplementa“ in Band I von Benedikt Stay gedruckt, und dann wiederum als Anhang in Boškovićs „Theoria philosophiae naturalis“.

⁵ ... sed eam constituo punctis prorsus indivisibilibus, & inextensis a se invicem disjunctis aliquo intervallo, & connexis per vires quasdam jam attractivas, jam repulsivas pendeentes a mutuis ipsorum distantiiis. Supplementa (Anm. 4) Nr. 1. 264.

⁶ ... utrumque dici possit continuum, divisibile in infinitum, aeternum, immensum, immobile, necessarium ... Supplementa (Anm. 4) Nr. 1.

⁷ Kant akzeptiert nicht die Möglichkeit, dass man die Begriffe Raum und Zeit durch Abstraktion aus der Erfahrung gewinnen könne, denn als allgemein und notwendig können sie nicht aus der Erfahrung «a posteriori» gewonnen werden, sondern sie müssen a priori sein und der Erfahrung

tisch, sinnlich, phantasiegemäß, imaginär, physisch, psychologisch ... betrachtet werden. Bei Bošković kann man Texte über die meisten angeführten Meinungen finden, aber er selber entschließt sich nicht eindeutig für eine von diesen. Ohne Bezugnahme auf verschiedene Meinungen, „es ist notwendig, eine Wirklichkeitsweise anzunehmen, der zufolge sich das Ding dort befindet, wo es ist, und dann, wann es ist“⁸. Von dieser nach Bošković standhaften Tatsache, geht er zur Begründung der metaphysischen Struktur von Raum und Zeit über. Aber zum Unterschied von der klassischen Metaphysik, welche Raum und Zeit als kategoriale Bezeichnung der körperlichen Substanz versteht und deren Grundeigenschaft eine kontinuierliche Ausdehnung und hylemorphe Zusammensetzung ist, geht Bošković von seiner Theorie über die Struktur der Materie als einem Kompositum von gänzlich unteilbaren und unausgedehnten, unter sich durch einen Abstand getrennten und durch Kräfte verbundenen Punkten aus. Punkte und nicht Körper, im klassischen Sinn verstanden, existieren auf zweifache Weise, von denen sich die eine auf den Ort bezieht, und die andere auf die Zeit: „Jeder Punkt hat eine reale Seinsweise durch die er sich dort befindet, wo er ist, und eine andere Seinsweise, nach der er sich in der Zeit befindet, wann er besteht. Nach meiner Meinung sind diese realen Seinsweisen eine wirkliche Zeit und ein wirklicher Raum“⁹. Sie sind der Grund einer realen Relation von Ortentfernung zwischen zwei Punkten oder Zeitabstand zwischen zwei Ereignissen. Die Entfernung der Punkte voneinander bestimmt auch ihre Seinsweise, die sich mit der Änderung der Entfernung ändert. Ortweisen bezeichnet Bošković als *reale Ortpunkte*, und Zeitweisen nennt er *Augenblicke* (Momente). Obwohl Bošković nicht klar auslegte, was er unter *Seinsweise* verstand, nehme ich an, dass man hier den Einfluss der klassischen Metaphysik und der Lehre von der Selbstbeständigkeit der Substanz und Unselbstbeständigkeit der akzidentellen Seinsweise erkennen kann, worin auch Raum und Zeit fallen. *Realer* Raum und *reale* Zeit sind *wirklich* nur dank der *Wirklichkeit* der Substanz, beziehungsweise der materiellen *Punkte* bei Bošković, durch welche Substanz, beziehungsweise Punkte reale raum-zeitliche Relationen herstellen. Gerade der Raum ermöglicht eine Ortsrelation zwischen *Punkten der Materie*, welche wegen ihrer Unausgedehtheit und Unteilbarkeit sich nicht aneinander „anlehnen“ können: *Da sie nichts haben, was man als Teil von etwas nennen könnte, können sie sich nicht nur teilweise verbinden und mit einem anderen Punkt nur von einer Seite berühren und von der anderen Seite getrennt werden.*¹⁰ Die materiellen Punkte, wegen ihrer unteilbaren und unausgedehnten Natur, benötigen eines realen Raumes und einer realen Zeit, um physisch tätig sein zu können. In den *Zwischenraum* zwischen zwei Punkten kann man neue Punkte auf gleicher Entfernung und auf der gleichen Linie einsetzen, und so ins Unendliche, was dann eine endlose Möglichkeit der Teilbarkeit anzeigt, und damit auch die Ausdehnung des Raumes selbst. Bošković unterscheidet *bestehende* und *mögliche Raumpunkte*. Die Anzahl der ersten ist begrenzt und endlich und die der anderen ist unbegrenzt. Zwischen zwei reale Punkte kann man eine unbegrenzte Zahl der möglichen Punkte setzen, was dann eine mögliche endlose Teilbarkeit und mögliches Einsetzen einer unendlichen Zahl von Punkten bedeutet: *Wie immer viele reale Ortpunkte eingesetzt werden, nachdem wir reale materielle Punkte eingesetzt haben, wird ihre Zahl begrenzt sein wie auch die Zahl der Zwischenräu-*

vorausgehen. Da sie keine Eigenschaften der Dinge sein können, müssen sie reine subjektive Formen sein, der Raum als Form des äußeren und die Zeit des inneren Sinnes.

⁸ *Necessario igitur admittendus est realis aliquis existendi modus, per quem res est ibi, ubi est, & tum, cum est.* Supplementa (Anm. 4) Nr. 3. 264.

⁹ *Quodlibet punctum habet modum realem existendi, per quem est ibi, ubi est, et alium, per quem est tum, cum est. Hi reales existendi modi sunt mihi reale tempus, & spatium vacuum, & tempus item, ut ita dicam, vacuum, sive etiam spatium imaginarium, & tempus imaginarium.* Supplementa (Anm. 4) Nr.4. 265.

¹⁰ *Cum nullum habeant partium genus, possunt ex parte coire tantummodo, & ex parte altera se contingere, ex altera mutuo aversari.* Supplementa (Anm. 4) Nr. 6. 265.

*me endlich sein wird von dem ersten Zwischenraum umfassen, und alle zusammen werden gleich sein. Aber die Anzahl dieser möglichen Teile wird kein Ende haben*¹¹. Wie die Materie so führt Bošković auch Raum und Zeit auf unteilbare und unausgedehnte raum-zeitliche Punkte (*Momente*) zurück. Mit Recht bemerkt daher Zvonimir Čuljak, dass es bei Bošković unklar geblieben ist, wie man dann von einer *Ausdehnung* des Raumes und einer *Fortdauer* der Zeit sprechen könnte¹².

Auf Grund der Behauptung der Endlichkeit *realer* und der Unendlichkeit *möglicher Punkte und Zwischenräume* wie auch der Notwendigkeit realen Raumes und realer Zeit für das Bestehen materieller Dinge, leitet Bošković die Idee eines endlosen, konstanten, ewigen und unbeweglichen Raumes ab: *Dieser imaginäre, konstante, endlose Raum war zugleich ewig und notwendig, aber nicht als etwas Existentes, sondern nur als etwas, was existieren kann, und was wir als etwas Unbestimmtes begreifen*¹³. Bereits nach dem Prinzip der klassischen Metaphysik: *ab esse ad posse valet illatio, a posse ad esse non valet* – ist es klar, dass jede Möglichkeit an die Wirklichkeit gebunden ist und ihr im kausalen, erkennbaren und zeitlichen Sinn vorangeht und dass die Möglichkeit an sich nicht etwas Reales ist. Es ist deshalb befremdlich, dass Bošković von einer *Möglichkeit* beziehungsweise von gedachtem Raum und gedachter Zeit wie von etwas *Ewigem* und *Notwendigem* spricht. Es ist interessant, dass Bošković seine Erkenntnis vom *imaginären* Raum und von der *imaginären* Zeit als eine *abstrakte* Erkenntnis bezeichnet¹⁴. Die Abstraktion als Abstraktion ist nur im Verstand von jenem, der diese Abstraktion ausgesprochen hat, aber sie kann auch als Verstandesausdruck sein von dem, was in der Wirklichkeit verwirklicht ist, wie z.B. die chemische Formel H_2O . Es scheint, dass Bošković hier an einen anderen Typus von Abstraktion denkt, nämlich an die Abstraktion, die auf Wesen, Struktur, bzw. Begriff absieht, die nicht als etwas Einzelnes, sondern als etwas Allgemeines im Verstand ist, etwas was der Verstand in den einzelnen Dingen verwirklicht entdeckt. Im *Abstraktionsprozess* bildet der menschliche Verstand allgemeine Begriffe aus den individuellen Gegenständen, indem er sie von den raum-zeitlichen, einzelnen und unwesentlichen Merkmalen absondert. Auf die Idee seiner *imaginären* Raum und Zeit konnte Bošković keineswegs mittels der Abstraktion von der Erfahrung ausgehend kommen, sondern sie ist die Folge der *Imagination*, wie es der Ausdruck selbst nahe legt. Es ist kein scholastischer Begriff von Raum als *Gedankending* (*ens rationis*), sondern es ist ein *imaginärer* Raum, wie ich es in der Einführung andeutete.

Wenn auch Bošković den *imaginären* Raum und die *imaginäre* Zeit als etwas außerhalb des Verstandes *Bestehendes* unterstrich, interpretiert er ihr Wesen mit dem Gleichnis von Punkt und Linie für die *Zeit* und von sich bewegenden Flächen für den *Raum*. Es handelt sich da von der Beschreibung eines *mathematischen* (*geometrischen*) Raumes, der nichts anderes ist, als reine Ausdehnung an sich und für sich als absolut mögliches Wesen betrachtet. Es ist ein abstrakter Begriff, aber kein *Gedankending* (*ens rationis*), sondern ein wirkliches Seiendes, das absolut bestehen kann zum Unterschied von einem physischen (wirklichen)

¹¹ *Quotiescunque illa puncta loci realia interposita fuerint, interpositis puncti materiae realibus, finitus erit eorum, numerus, finitus intervallorum numerus illo priore interceptorum, & ipsi simul aequalium, at numerus ejusmodi partium possibilium finem habebit nullum.* Supplementa (Anm. 4) Nr. 8. 266.

¹² Vgl. ČULJAK, Entstehung der Raum- Zeitphilosophie von Bošković (Anm. 3) 200.

¹³ *Spatium hujusmodi imaginarij continuum, infinitum, simul etiam aeternum fuit, & necessarium, sed non est aliquid existens, sed aliquid tantummodo potens existere, & a nobis indefinite conceptum.* Supplementa (Anm. 4) Nr. 9.

¹⁴ Vgl. die Randbemerkung in Supplementa (Anm. 4) Nr. 9.

Raum, der nur eine messbare Größe als eine Grundgröße darstellt, welche zusammen mit der Zeit zur Bestimmung von Bewegung und Lage der Körper notwendig ist.

Gegenseitige Ähnlichkeit von Raum und Zeit

Nach der Feststellung, dass der *reale Raum* eine Gesamtheit realer Relationen der Entfernungen zwischen den wirklichen *Punkten* ist; und die *reale Zeit* eine Gesamtheit von wirklichen Relationen von Entfernungen zwischen *Ereignissen*¹⁵, diskutiert Bošković über die Ähnlichkeit (Analogie) von Raum und Zeit¹⁶, zwischen *wirklichen Ortpunkten* und *wirklichen Augenblicken der Zeit*. Zwischen *Punkt und Punkt* und zwischen *Zeitpunkt und Zeitpunkt* besteht ein *Zwischenabstand*, der größer oder kleiner beziehungsweise mit einer begrenzten Anzahl von Punkten und Ereignissen sein kann. In den Abständen zwischen imaginärem Raum und imaginärer Zeit befinden sich der erste Punkt und das erste Ereignis, welche keine Teile von Raum und Zeit sind, sondern nur ihr Anfang. Wie der Punkt kein Teil einer ununterbrochenen Linie ist, so ist auch das Moment kein Teil einer kontinuierlichen Dauer, weil sie nicht durch Wiederholung der Punkte und Momente entstehen, sondern durch kontinuierliche Bewegung, in der einige Abstände Teile der anderen sind und nicht nur Punkte oder Momente, die sich kontinuierlich fortbewegen¹⁷. Neben der erwähnten Ähnlichkeit hebt Bošković auch den Unterschied in der kontinuierlichen Bewegung hervor, die im Raum in mehreren und in der Zeit in einer Richtung vor sich geht: *Während sich also der imaginäre Raum in drei Dimensionen ausstreckt, d.h. in die Länge, Breite und Tiefe, so streckt sich die Zeit nur in die Länge und in die Langdauer. Im Raum, der nach seiner Entstehung dreierartig ist und die Zeit, die einartig ist, werden der Punkt bzw. das Moment zu einem Anfang, durch dessen Bewegung wird die Entstehung von Raum und Zeit aufgefasst.*¹⁸

Mehrere Punkte der Materie, von denen jeder seinen imaginären Raum und seine imaginäre Zeit hat, stehen in gegenseitiger Relation der Entfernung. Der Grund dieser Relation ist der reale Unterschied des Ortpunktes des imaginären Raumes, wo einer endlosen Zahl der materiellen Punkte einer endlos möglichen Existenzweise entspricht: *Jeder Punkt der Materie hat seinen imaginären Raum, der unbeweglich, endlos und ununterbrochen ist. Dazu decken sich untereinander alle diese Räume, welche allen Punkten angehören und werden als ein einziger Raum angesehen*¹⁹. Wenn zwei oder mehrere Punkte der Materie einen Punkt des Raumes ausfüllen, wenn sie mitexistieren, nennt Bošković diese Relation *Mit-Durchdringung* (*compenetratio*), wo die Abwesenheit der *Entfernung* keine Identifikation und keine Tilgung irgendwelchen Unterschieds bedeutet, sondern sie bleibt eine auf

¹⁵ Vgl. ČULJAK, Entstehung der Raum- Zeitphilosophie von Bošković (Anm. 3) 202.

¹⁶ Die Analogie von Raum und Zeit erörtert Bošković ziemlich ausführlich im „Nachtrag“ (Nr. 13–17). Wegen der Kürze dieses Beitrags werden wir nicht ins Detail gehen. Darüber kann man ausführliche Darstellungen in Stipe KUTLEŠA, Naturphilosophische Begriffe bei Ruder Bošković (Zagreb 1994) 285–304, und ČULJAK, Entstehung der Raum- Zeitphilosophie von Bošković (Anm. 3) 209–212, finden.

¹⁷ *Nec punctum continuae lineae, nec momentum continui temporis, pars est, sed limes & terminus.* Vgl. Supplementa (Anm. 4) Nr. 10.

¹⁸ *Dum spatii imaginarii extensio habetur triplex in longum, latum & profundum, temporis habetur unica in longum, vel diuturnum tantummodo. In triplici tamen spatii, & unico temporis genere, punctum, ac momentum erit principium quoddam, a quo ductu illo suo haec ipsa generata intelliguntur.* Supplementa (Anm. 4) Nr. 10, 267.

¹⁹ *Quodvis materiae punctum habet suum spatium imaginarium immobile, infinitum, continuum, quae tamen omnia spatia pertinentia ad omnia puncta sibi invicem congruunt et habentur pro unico.* Supplementa (Anm. 4) Nr. 11. 267.

zwei verschiedene Existenzweisen gegründete Relation. *Jede Existenzweise von übrigen Punkten zusammen mit jenem ersten Punkt würde eine andere Relation hervorrufen, die wir die Relation einer bestimmten Entfernung und Lage nennen. Weiterhin, jene Ortspunkte, welche die Relation einer so genannten Nullentfernung bilden, nehmen wir als denselben Punkt der Materie und jeden von der infiniten Zahl der Punkte, welcher einer endlosen Zahl der materiellen Punkte angehört, nehmen wir als denselben und verstehen ihn als denselben Ort.*²⁰

Durch den Austausch eines Punktes durch einen anderen kann sich ein dritter Punkt so einsetzen, dass er dieselbe Lage und dieselbe Entfernung vom anderen Punkt und dadurch auch dieselbe Existenzweise haben kann. Wenn das gleichzeitig geschehen würde, wäre das eine Relation der *Nullentfernung*.

Eine Koexistenz mehrerer Punkte der Materie und mehrerer Ortspunkte in demselben Zeitpunkt ist nicht möglich. Solche Form der *Koexistenz* ist wegen der Relation der materiellen Punkte und den zeitlichen Momenten nicht möglich, weil mehrere Momente eines und desselben Punktes der Materie nicht koexistieren können, da sie notwendig nur nacheinander existieren können. Was Bošković über die Zeitmomente behauptete, verlangt er auch für die lokalen Punkte der Materie, die sich nicht miteinander verbinden können, sondern außerhalb liegen müssen, und das geht aus ihrer Natur bzw. ihrem Wesen hervor²¹.

Erkenntnis von Raum und Zeit

Die Theorie der Erkenntnis von Raum und Zeit verbindet Bošković mit ihren Existenzweisen und mit der Unmöglichkeit ihrer unmittelbaren sinnlichen Erkenntnis: *Keineswegs können wir mit unseren Sinnen jene realen Existenzweisen unmittelbar erkennen, noch sie untereinander unterscheiden*²². Die Unmöglichkeit einer absoluten Erkenntnis verschiedener örtlichen Existenzweisen ist auch der Grund der unmöglichen Erkenntnis absoluter Entfernung und Größe. Dank der sinnlichen Erkenntnis bildet sich in unserem Verstand die Idee der Entfernung und der Lage. Diese Idee kann auch auf Grund zweier lokalen Existenzweisen entstehen, aber auch auf Grund zahlloser Existenzpaare bzw. realer Ortspunkte, welche die gleiche Entfernung und eine ähnliche Lage haben. Die Tatsache, dass wir nicht instande sind, unmittelbar die realen örtlichen und zeitlichen Existenzweisen zu erkennen, veranlasst Bošković zur Negation der Erkenntnismöglichkeit der Bewegung²³, die uns und der Welt gemeinsam ist: *Wenn sich diese ganze sichtbare Welt in einer parallelen Bewegung nach irgendeiner Seite bewegte und wenn sie sich gleichzeitig in demselben Winkel wendete, würden wir weder diese Bewegung noch diese Wende wahrnehmen. [...] Es könnte geschehen, dass sich diese ganze sichtbare Welt genauso vom Tag zu Tag*

²⁰ *Reliquorum quivis cum illo eodem priore induceret relationem aliam, quam dicimus cujusdam determinatae distantiae, & positionis. Porro illa loci puncta, quae nullius distantiae relationem inducunt, pro eodem accipimus, & quovis ex infinitis hujusmodi punctis ad infinita puncta materiae pertinentibus pro eodem accipimus, ac ejusdem loci nomine intelligimus.* Ebd. Nr. 11, 257.

²¹ **Supplementa (Anm. 4)** Nr. 12. Čuljak spricht in seinem Buch von acht Kombinationen verschiedener Verbindungen von Ortspunkten und Momenten, Relationsarten, die in einer interessanten Tabelle dargestellt sind, „Rückkehr auf denselben Ort, Stillstehen, Replikation, virtuelle Ausdehnung, Koexistenz, konsequentes Kommen der materiellen Punkte, Konpenetration, Nichtkoexistenz und Nichteinnehmen der eingenommenen Orte“. Vgl. ČULJAK, Entstehung der Raum- Zeitphilosophie von Bošković (Anm. 3) 210 Hier erwähnten wir nur Konpenetration und Koexistenz.

²² *Nos nequaquam immediate cognoscimus per sensus illos existendi modos reales, nec discernere possumus alios ab aliis.* Supplementa (Anm. 4) Nr. 18. 273.

²³ **Über die Bewegungstheorie Boškovićs** siehe KUTLEŠA, Naturphilosophische Begriffe (Anm. 16) 315–326.

entweder zusammenzieht oder verlängert und dass sich die Skala genauso zusammenzieht und verlängert. Würde das geschehen, würde in unserem Verstand keine Veränderung der Ideen entstehen und wir würden daher keine Veränderung feststellen²⁴. Die Veränderungserkenntnis ist möglich nur, wenn sich die Wirkungsweise unserer Sinne oder des erkannten Gegenstands verändert, dass aber dabei die Entfernung und die Lage bewahrt werden. Die Ideen verändern sich, wenn entweder die äußeren Gegenstände oder unsere Organe oder beide der Veränderung ausgesetzt werden. Dabei weisen die Ideen auf den Unterschied zwischen der vorherigen und der neuen Lage hin und nicht auf eine absolute Veränderung.²⁵ Wenn unsere Sinne nicht auf die Veränderung eingewiesen werden, scheint es uns, dass wir uns selber nicht verändern (bewegen) und wir jede Veränderung irrtümlicherweise dem Gegenstand außer uns zuschreiben, weil wir solche Veränderung nicht erfassen: *Genauso irrt auch derjenige, der in seinem Boot eingeschlossen denkt, dass sich nicht er, sondern die Küste, Berge und Wellen bewegen*²⁶.

Das Bemessen und Vergleichen der raum-zeitlichen Abstände setzt eine unveränderliche Wirklichkeit voraus, die einen Maßstab darstellen könnte, da es aber eine solche Wirklichkeit in der Welt nicht gibt, bleiben die Messung von Raum und Zeit und damit auch Raum und Zeit selber *relativ*. Der Vergleich gleicher Größen zweier Dinge setzt ihre Gleichheit mit einem dritten voraus, unter der Bedingung, dass sich dieser Maßstab nicht verändert. Ein beliebig genommener Maßstab (als Beispiel bringt Bošković eine Holz- oder Eisenstange von zehn Fuß) bleibt unverändert nur für unser sinnliches Wahrnehmen, während es in Wirklichkeit eine volle Übereinstimmung der Länge oder der Zeit niemals gibt, weil es eine gänzlich fortdauernd feste Materie nicht gibt: ... *nach meiner Theorie von Punkten, die voneinander entfernt sind, alle diese Stangen von zehn Fuß bei der Übertragung in Wirklichkeit dauernd ihre Entfernung wechseln. Die Entfernung wird nämlich gerade durch jene Existenzweisen konstituiert, die sich fortwährend verändern*²⁷. Da für Bošković Raum und Zeit keine unabhängigen Wirklichkeiten von Dingpunkten sind, sondern Relationen zwischen ihrem Ort und Ereignis, ist jede Übertragung unmöglich, auch wenn sie eine noch so geringe Veränderung dieser Relationen bedeutet, zumindest deswegen, weil Körper in sich geringfügige Zwischenräume enthalten, die sich zusammenziehen und ausdehnen können, ohne dass wir imstande sind, diese Veränderungen wahrzunehmen. Aufgrund des Gesagten kommt Bošković zum Schluss: ... *dass wir keineswegs unmittelbar die absoluten Entfernungen weder erkennen noch sie untereinander durch einen gemeinsamen Maßstab vergleichen können, sondern lediglich die Größe abschätzen nach den Ideen, mit welchen wir diese Größen erkennen und solche Maßstäbe dann als allgemeine Kriterien halten, von welchen das gewöhnliche Volk denkt, dass es keine Veränderungen gibt. Die Philosophen dagegen müssen die Veränderung anerkennen, aber, da sie die Ursache nicht kennen, welche durch sichtbare Veränderung die Gleichheit stört, halten sie diese Veränderung für etwas, was gleich geschieht*²⁸.

²⁴ *Si totus hic Mundus nobis conspicuus motu parallelo promoveatur in plagam quamvis, & simul in quovis angulo convertatur, nos illum motum, & conversionem sentire non posse. [...] Fieri autem posset, ut totus itidem Mundus nobis conspicuus in dies contraheretur, vel produceretur, scala virium tantundem contracta, vel producta, quod si fieret; nulla in animo nostro idearum mutationis haberetur; adeoque nullus ejusmodi mutationis sensus. Suppl. Nr. 19. 273.*

²⁵ KUTLEŠA, Naturphilosophische Begriffe bei Ruđer Bošković (Anm. 16) 307.

²⁶ *Sic errat, qui in navi clausus se immotum censet, littora autem, & montes, ac ipsam undam moveri arbitrat. Supplementa (Anm. 4) Nr. 20. 274.*

²⁷ *At in mea punctorum a se invicem distantium sententia, omnia illius decempedae puncta, dum transferuntur, perpetuo distantiam revera mutant. Distantia enim constituitur per illos reales existendi modos, qui mutantur perpetuo. Supplementa (Anm. 4) Nr. 21. 274.*

²⁸ *Ex his omnibus consequitur, nos absolutas distantias nec immediate cognoscere omnino posse, nec per terminum communem inter se comparare, sed aestimare magnitudines ab ideis, per quas eas*

Was Bošković über den Raum sagte, wendet er auch auf die Zeit an, wo er gleichsam keinen beständigen Maßstab findet. Wie es im Raum keinen dauernden, festen und unveränderlichen Maßstab gibt, genauso gibt es auch keine gleichförmige Bewegung, welche als Zeitmaßstab dienen könnte. Es wurde schon vorhin darauf hingewiesen, wie Bošković auf Analogie von Raum und Zeit besteht: *Daraus kann man folgern, dass es unmöglich ist, absolute Zeitabstände unmittelbar zu erkennen und mit einem gemeinsamen Maßstab zu vergleichen. Mit anderen Worten, wie jedes System (Raumteil) seine Entfernungen zwischen den Partikeln hat, so hat es auch seine Zeiträume zwischen den Ereignissen. Bošković hat sich also jenen Begriffen angenähert, welche später in der Relativitätstheorie ihre Attribute räumlicher Dimensionen einer Ortzeit (lokaler Zeit) erhalten werden. Mit anderen Worten, jedes System hat ihre eigene Zeit und ihren eigenen Raum*²⁹.

Abschließende Bemerkungen

- Nach der Krise der mittelalterlichen scholastischen Metaphysik und ihrer Auffassung von Raum und Zeit als wirklicher, aber kategorialer und akzidenteller Eigenschaften der körperlichen Substanz und nach der Descartes' Ablehnung der Gleichsetzung von Raum mit dem ausgedehnten Körper³⁰, kam es zu neuen Erörterungen solcher Themen. Einen neuen Antrieb gab I. Newton mit der Behauptung, dass der veränderliche Körper und der unveränderliche Raum, in dem sich der Körper befindet, nicht gleich sein können, und forderte zwei verschiedene Raumformen; absolute und relative, welche nach der Größe und dem Wesen, nicht aber der Zahl nach gleich sind. Diese Bild vom Raum war mehr für die Interpretation neuer wissenschaftlicher Erfindungen notwendig, in erster Linie auf dem Bereich der Mechanik und Dynamik, als zum Beantworten der Frage, was Raum und Zeit an sich seien und welches ihr Wesen ist.
- Es ist nicht verwunderlich, dass sich Bošković als Wissenschaftler und Philosoph auch mit den Fragen von Raum und Zeit beschäftigte. Obwohl er die Begriffe der aristotelisch-scholastischen Tradition nicht verwendet, ist seine Naturphilosophie und auch die Lehre von Raum und Zeit dennoch unter ihrem Einfluss. In seinen Stellungnahmen zeigt Bošković gewisse Zweifel beim Anerkennen von Newtons Physik, die auf der Bewegung der Erde und auf dem Bestehen absoluten Raumes gründet, wie auf dem Wunsch, der traditionellen Lehre der scholastischen Philosophie und kirchlichen Weisungen treu zu bleiben. Die traditionelle kirchliche Lehre versucht er mit seiner Theorie „wissenschaftlich“ zu untermauern.
- Es scheint, dass seine erste Absicht nicht die Beantwortung der Frage nach dem Wesen von Raum und Zeit war, sondern eher einen zutreffenden Rahmen für seine Theorie über die Unausgedehnthheit der Grundelemente der Materie zu finden. Mit der Ablehnung einer gänzlich ununterbrochenen Ausdehnung der Materie und mit der Behauptung, dass sie aus vollkommen unteilbaren und unausgedehnten Punkten besteht, musste er ihren gegenseitigen Abstand postulieren, in dem sich diese unausgedehnten durch Kräfte getrennten Punkte der Materie befinden. *Abstand und Moment* (Raum und Zeit) sind nicht

cognoscimus, & mensuras habere pro communibus terminis, in quibus nullam mutationem factam esse vulgus censet. Philosophi autem mutationem quidem debent agnoscere, sed cum nullam violatae notabili mutatione aequalitatis causam agnosceant, mutationem ipsam pro aequaliter facta habent. Supplementa (Anm. 4) Nr. 22. 275.

²⁹ KUTLEŠA, Naturphilosophische Begriffe (Anm. 16) 311, Vgl. Supplementa (Anm. 4) Nr. 24.

³⁰ RENE DESCARTES, Principia Philosophia, II, N. 10, *Non etiam in re differunt spatium, sive locus internus, et substantia corporea in eo contenta, sed tantum in modo, quo a nobis concipi solet. Revere enim extensio in longum, latum et profundum, quae spatium constituit, eadem plane est cum illa quae constituit corpus.*

etwas in sich Bestehendes, sondern nur eine wirkliche Existenzweise von etwas (von materiellen Punkten). Auf solche Weise behauptete Bošković nicht etwas über die Natur, noch beantwortete er die Fragen, wie etwas Nicht-Ausgedehntes etwas Ausgedehntes erzeugen kann und was die Ausdehnung und die Fortdauer eigentlich sind.

- Obwohl Bošković Newtons Begriffe von absolutem Raum und Zeit nicht ablehnte, interpretiert er sie anders: „Während Newton die Realität von absolutem Raum, absoluter Zeit, Bewegung und Trägheitskraft bekundete, ist Bošković mit seiner Kritik zu Stellungnahmen von Unmöglichkeit des Unterschieds zwischen den absoluten und relativen Raum, Zeit und Bewegung gekommen“³¹. In seiner Lehre von Raum und Zeit ist Bošković näher der klassischen Scholastik, obwohl das nicht immer so erkennbar ist, weil seine Rede über die Eigenschaften der körperlichen Dinge verschiedenartig ist. Die Begriffe von Raum und Zeit gebraucht er zur Beschreibung und Interpretation physischer Erscheinungen, und der Verstand bildet sie sich stufenweise, aus Erfahrung abstrahierend, und mit dem Fortschreiten der Erfahrung kommt auch ihre Erkenntnis weiter. Die Verbundenheit der Begriffe von Raum und Zeit mit der Erfahrung und ihre spätere experimentelle Verifizierung zeigen, dass das über sie Erkannte Eigenschaften der erkannten Dinge sind, (und nicht subjektive Formen), dass sie sich mit den wirklichen ausgedehnten Körpern und ihrer realen Bewegung identifizieren und dass sie keine getrennte subsistente Wirklichkeit sind. Obwohl sie sich real mit der Ausdehnung und Bewegung der Dinge identifizieren, fassen wir sie anders auf. Raum und Zeit sind im Gedanken getrennt von der Ausdehnung und Bewegung. Abstraktes Begreifen von Raum und Zeit bedeutet, dass Raum und Zeit nicht in konkreter und spezifischer Wirklichkeit betrachtet werden – als diese Körperart oder diese Bewegungsart-sondern in ihrer Messbarkeit und Kompatibilität.
- Von dem, was ich in den *Supplementa* über Boškovićs Lehre von Raum und Zeit gelesen habe, schließe ich, dass er im Grunde scholastisch denkt und dass seine Lehre über Materie, Raum und Zeit mehr philosophisch als naturwissenschaftlich ist und daher stimme ich mit der Auffassung von Zvonimir Čuljak überein, dass „Boškovićs Philosophie von Raum und Zeit in erster Linie eine *quaestio metaphysica*, eine Theorie ist, weil sie selbst jene Entitäten (*puncta materiae*) konstruierte, zu welchen sich raum-zeitliche Bestimmungen verhalten“³². Boškovićs Lehre von Raum und Zeit ist das Ergebnis der Abstraktion, welche die Tätigkeiten des Verstandes und der Sinne (Erfahrung) harmonisiert, aber diese Lehre ist abstrakt begriffen, denn sie geht von der Erfahrung von Raum und Zeit, der Sinne und der Phantasie aus und will nur die Erfahrung selbst wissenschaftlich vervollkommen.

(Aus dem Kroatischen übersetzt von IVAN MACAN)

Zusammenfassung

Über Raum und Zeit als eine Konstruktion der über die Daten der Erfahrung und der Sinne hinausgehenden denkenden Vernunft schreibt Ruđer Bošković in seinen Frühwerken, vor allem im Anhang seines Hauptwerkes *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicam legem virium in natura existentium*. Dieser Anhang umfasst dreizehn auf 24 Nummern verteilte Textseiten. Im ersten Teil *De Spatio et Tempore* (Nr. 1 bis 17) ist seine Lehre über Raum und Zeit eng verbunden mit seinem Verständnis von Materie, bestehend aus unteilbaren und unausgedehnten Punkten, welche nur Raum-Zeit-Relationen besitzen. Zumindest grundsätzlich lehnt er das klassische Verständnis von Raum und Zeit ab und

³¹ KUTLEŠA, Naturphilosophische Begriffe (Anm. 16) 330.

³² K. ČULJAK, a.a.O., 218.

versucht, Antworten über die Natur von Raum und Zeit, über begrenzten und unbegrenzten Raum, über Analogie von Raum und Zeit und über ihre Erkenntnisweise zu geben. Obwohl Bošković seine Theorie als originell darstellen will, scheint es jedoch, sie sei das Erbe eines Zeitverständnisses der klassischen Scholastik und einiger Philosophen der Renaissance. Seine Redeweise über Raum und Zeit ist ziemlich eigenartig, originell und interessant, aber der Inhalt nähert sich eher der klassischen Kosmologie (Metaphysik) als der heutigen Wissenschaft.

BOSCOVICH UND DAS HEUTIGE BILD DER MATERIE

1. Einleitung

Als Roger Joseph Boscovich¹ (1711–1787) um die Mitte des 18. Jh. seine Naturphilosophie ausarbeitete und veröffentlichte, konnte die neuzeitliche Naturwissenschaft bereits auf zwei Jahrhunderte erfolgreicher Entwicklung zurückblicken. Ihr Beginn wird mit dem Erscheinen der Abhandlung „De Revolutionibus Orbium Coelestium“ gleichgesetzt, die Nikolaus Kopernikus (1473–1543) in seinem Todesjahr veröffentlichte, denn mit diesem Werk erfolgte der erste folgenreiche Einbruch² in die von der kirchlichen Autorität beherrschte scholastische Naturphilosophie. Die beiden berühmtesten ersten Vertreter der danach einsetzenden neuen Art der Naturforschung, die Beobachtungen und Experimente durchführt und deren Ergebnisse dann theoretisch zu deuten sucht, waren Galileo Galilei (1564–1642) und Johannes Kepler (1571–1630). Zur Verbreitung dieser Denk- und Arbeitsweise trugen auch die Schriften von Francis Bacon (1561–1626) wesentlich bei. Das Experimentieren wurde hoffähig, was bald zu verbesserten Versuchsgeräten und –anordnungen führte. Zusammen mit wohl definierten Randbedingungen bei der Durchführung der Experimente, lieferten sie verlässlichere, genauere und überprüfbare Daten.

Ihre Interpretation und Einbindung in eine darauf aufbauende Theorie erforderte notwendigerweise ein zunehmendes Eindringen der Mathematik in die Naturwissenschaften³ – ein Prozess, der bis heute andauert und dessen Ende angesichts der Entwicklungen in der Elementarteilchenphysik noch nicht abzusehen ist. Aufbauend auf den Arbeiten von Viète, Clavius, Cavalieri, Descartes, Huygens und anderen, schufen Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646–1716) und Isaac Newton (1642–1727) mit der Infinitesimalrechnung das wichtigste mathematische Werkzeug der Naturwissenschaften. Seine Anwendung durch Newton und seine Zeitgenossen und spätere Generationen der neuzeitlichen Naturforschung auf eine rasch zunehmende Vielfalt von speziellen physikalischen Problemstellungen war so erfolgreich, dass das Denken über eine lange Zeitspanne vom mechanistisch-deterministischen Weltbild beherrscht wurde. Verglichen mit Leonhard Euler (1707–1783), Daniel Bernoulli (1700–1782), Jean-Baptiste le Rond d'Alembert (1717–1783), Pierre Simone Marquis de

¹ Diese Schreibweise seines Namens findet sich auf den meisten Veröffentlichungen außerhalb seiner Heimat. Sie entspricht der alten kroatischen Rechtschreibung und wurde auch von Boscovich selbst benutzt. In der jüngeren kroatischen und anderen südslawischen Literatur erscheint er als Ruder Josip Bošković, entsprechend der neuen Rechtschreibung, die in der ersten Hälfte des 19. Jh.s eingeführt wurde.

² Schon die Scholastiker Nikolaus von Oresme (ca. 1320–1382) und Nikolaus von Kues (1403–1464) vertraten zwar ausdrücklich die These von der täglichen Rotation der Erde, sie stellten aber das geozentrische System nie in Frage. Die Ehre der ersten überlieferten Formulierung des heliozentrischen Systems gebührt dem genialen alexandrinischen Astronomen Aristarch von Samos (ca. 310–230 v. Chr.), der die Auffassung vertrat, dass die Erde eine tägliche Drehung um ihre Achse und eine jährliche um die Sonne beschreibe, während die Sonne und die Sterne ruhten. Diese für die damalige Zeit äußerst erstaunliche Hypothese wurde jedoch schon von den antiken Philosophenschulen als gottlos verworfen.

³ Von den vielen darüber angestellten Betrachtungen hier nur zwei prominente Beispiele: Einsteins Frage *Wie kann es sein, daß sich die Mathematik, ein Produkt des menschlichen Geistes, das von keiner Erfahrung abhängt, so wunderbar dazu eignet, Objekte der realen Welt zu beschreiben?* In: Albert EINSTEIN, *Sidelights on Relativity* (New York 1983) 28; und Eugene WIGNERS Artikel „The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences“. In: T. FERRIS (Hrsg.), *The World Treasury of Physics, Astronomy and Mathematics* (Boston 1991) 526–540.

Laplace (1749–1827) und anderen herausragenden Vertretern seiner Generation gehört Boscovich eher zu den Deuteragonisten dieser Entwicklung, obzwar er wichtige Resultate zu mehreren damals aktuellen Fragen beigesteuert hat. Sein Hauptbestreben galt vielmehr einer auf Newtons Kraftkonzept basierenden allumfassenden Erklärung der elementaren Struktur der Materie und ihrer Eigenschaften, wodurch er eine Sonderstellung unter seinen Zeitgenossen einnimmt, die z.B. Carrier so charakterisiert⁴: „Boscovich kann nur schwer einer bestimmten Tradition des 18. Jahrhunderts zugeordnet werden, er ist eine eher isolierte Figur mit gleichwohl universellen Interessen. So behandelte er Probleme der Mathematik, Astronomie, Optik, Geodäsie und Mechanik, umfasste also die Gesamtheit der physikalischen Wissenschaften, und wirkte durch diesen umgreifenden Charakter seiner Bemühungen fast wie ein Renaissancedenker, den die Wirren der Zeit ins falsche Jahrhundert verschlagen haben. Sein bekanntestes Werk ist die 1758 publizierte „*Philosophiae naturalis theoria*“⁵, in der es zuvörderst um eine Theorie der Materie, ihrer elementaren Partikel und den zwischen ihnen wirkenden Kräften geht“⁶.

Welch titanische Aufgabe Boscovich in Angriff nahm, als er für seine „Theoria“ den Anspruch erhob, die Materie von ihrer elementaren Struktur bis zu ihren makroskopischen Eigenschaften zu erklären, wird allein schon an den mehr als 40 Größenordnungen deutlich, welche die verschiedenen Materieentitäten umspannen (s. Abb. 1). Angesichts des Fehlens jedweder Vorarbeiten mit ähnlichen Zielen und des sehr engen Beobachtungsbereichs, der um die Mitte des 18. Jh. zugänglich war, ist die „Theoria“ ein treffendes Beispiel für Poppers Feststellung⁷: *Was man als Kühnheit einer Theorie bezeichnen kann, ist die Größe ihres Gehalts: Je mehr wir mit einer Theorie behaupten, umso größer ist das Risiko, daß die Theorie falsch ist. So suchen wir zwar die Wahrheit, aber wir sind nur an kühnen, riskanten Wahrheiten interessiert.* So verwundert es kaum, dass spätere Erkenntnisse in der Tat viele Aussagen der „Theoria“ als unzutreffend erwiesen haben. Dennoch war sie ein unverzichtbarer Schritt auf dem Weg zum heutigen Verständnis der Mikrostruktur der Materie und diente vielen nachfolgenden Forschern als Ideengeber und Wegweiser für ihre Arbeiten.

Wie im Folgenden dargestellt, unterscheiden sich Boscovichs Elementarteilchen (die *puncta*) ganz entscheidend von den ‚klassischen‘ Atomen, weshalb er sie wohlweislich auch nie Atome nennt. Trotzdem war seine Naturphilosophie aber atomistisch in dem Sinne, dass sie eine ‚körnige‘ Struktur der Materie annimmt. Um die „Theoria“ in die Geschichte der Atomistik einordnen zu können, wird diese im folgenden Kapitel rekapituliert und danach kurz auf die Entwicklungen eingegangen, die zum derzeit gültigen „Standardmodell“ der Elementarteilchenphysik führten. Im daran anschließenden Teil des Beitrages werden die wichtigsten Ergebnisse der „Theoria“ dargestellt und ihre Gemeinsamkeiten und Unterschiede mit dem aktuellen Bild der Materie im Lichte unserer heutigen Kenntnisse diskutiert. Im abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse zusammengefasst und eine Mutmaßung zur ferneren Zukunft der Erforschung der elementaren Struktur der Materie gewagt.

⁴ M. CARRIER, Rudjer Boscovich und die induktive Logik. In: Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie, Bd. XVI (1985) 201–212.

⁵ Im Folgenden immer kurz „Theoria“ genannt.

⁶ Diese Charakterisierung impliziert natürlich nicht, dass Boscovich besser ins 15. Jh. gepasst hätte. Im Gegenteil, sein Versuch einer umfassenden und einheitlichen Theorie der Materie war so angelegt, dass er damit seiner Zeit zu weit voraus war, um sein Ziel erreichen zu können.

⁷ Karl R. POPPER, Wissenschaftslehre in entwicklungstheoretischer und in logischer Sicht. Rundfunkvortrag im NDR am 7.3.1972, abgedruckt in: Alles Leben ist Problemlösen (München 1994) 40.

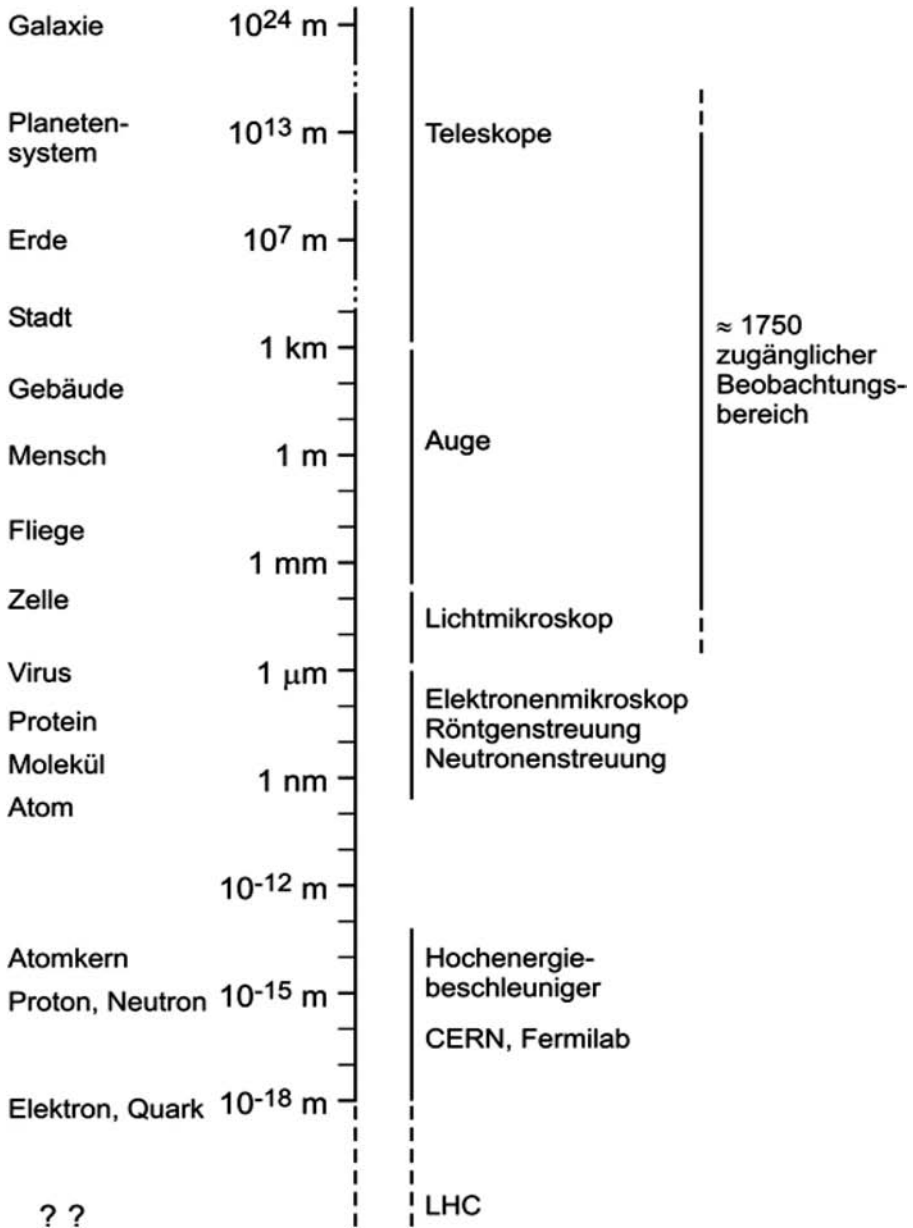


Abb. 1: Die Erscheinungsformen der Materie umfassen einen Größenbereich, der bei den „Durchmessern“ der Elektronen und Quarks, die heute als elementarste Teilchen gelten, beginnt und bis zu den Abmessungen der Galaxien reicht. Dazwischen liegen mehr als 40 Größenordnungen (das sind Potenzen von 10; 10^{13} bedeutet z.B. eine Zahl mit 13 Nullen). Zur Mitte des 18. Jh. war nur ein eng begrenzter Ausschnitt aus diesem Bereich der Beobachtung zugänglich (man beachte, dass die Größenskala logarithmisch ist, d.h. der Aufstieg zur nächsten Sprosse der aufsteigenden Leiter bedeutet jeweils eine Vergrößerung der Dimensionen um einen Faktor 10). Noch enger war der Energiebereich, der sich auf das schmale Spektrum des sichtbaren Lichts als einziger Sonde, die damals zur Untersuchung der Struktur der Materie zur Verfügung stand, beschränkte.

2. Von Leukipp zum Standardmodell: Eine kurze Geschichte der Atomistik

Fast alle Historiker stimmen heute darin überein, dass die Lehre vom Atomismus von den im 5. Jh. v.Chr. in Abdera wirkenden griechischen Philosophen Leukipp(os) und Demokrit(os) geschaffen wurde. Weit weniger Einigkeit herrscht darüber, wer von beiden dabei den größeren Anteil hatte. Wahrscheinlich stammen die Grundideen von Leukipp, während sein Schüler Demokrit die Hypothese bis ins einzelne ausarbeitete. Letzteres ist wohl kaum der Grund für die weit größere Popularität Demokrits, diese resultiert vielmehr aus der vergleichsweise guten Überlieferung seiner zahlreichen Schriften (in denen er übrigens seinen Lehrer nicht ein einziges Mal erwähnt), während von Leukipps Werk nur ganz wenige Fragmente bekannt sind. Epikur, der überzeugter Atomist war und bei der Verbreitung der Atomlehre eine wichtige, wenn auch umstrittene⁸ Rolle spielte, behauptete sogar, Leukipp hätte nie gelebt, wogegen aber u.a. spricht, dass ihn Aristoteles in seinen Schriften mehrmals erwähnt.

Hier ist nicht der Platz, um auf die Motivation, welche die beiden Vorsokratiker zum Atomismus führte und auf andere interessante Fragen einzugehen, wie z.B. die nach der Rolle von empirischer Beobachtung und logischem Schluss bei dessen Entwicklung, oder ob die Schaffung der Atomhypothese ein glücklicher Zufall oder eine geniale Intuition war, die sich noch nach zweitausend Jahren (Abb. 2) als sehr fruchtbar erwies⁹. Ich werde mich deshalb im vorliegenden Beitrag damit begnügen, an die Hauptaussagen¹⁰ der Lehre Leukipps und Demokrits zu erinnern. Dies ist notwendig, um später zeigen zu können, dass Boscovichs „Atomismus“ in einigen entscheidenden Punkten von den nun folgenden wichtigsten Inhalten der „klassischen“ Atomhypothese abweicht.

1. Die Welt besteht aus einer unbegrenzten Zahl von Atomen und aus leerem Raum.
2. Die Atome sind unsichtbar klein, undurchdringlich und unzerstörbar. Hinsichtlich ihrer stofflichen Beschaffenheit sind sie zwar alle gleich, unterscheiden sich aber durch eine unendliche Mannigfaltigkeit verschiedener Formen und Größen (Abb. 3 links).
3. Da Demokrits Welt auch die Seelen beinhaltet, sollten diese gleichfalls aus materiellen Atomen bestehen, die jedoch kleiner, runder, glatter und beweglicher seien als diejenigen der Körper¹¹.
4. Die Atome sind in steter Bewegung durch den zwischen ihnen liegenden leeren Raum begriffen und wirken aufeinander durch direkte Stöße. Dabei kann es zur Bildung und Auflösung von Agglomeraten von Atomen gleicher oder verschiedener Art kommen

⁸ So bemerkte z.B. Schrödinger: [...] *Epikur fügte dem System noch einigen Unsinn hinzu, der gewissenhaft von allen seinen Nachfolgern, natürlich auch von Lucretius Carus, nachgebetet wurde.* E. SCHRÖDINGER, *Die Natur und die Griechen*, (Wien – Hamburg 1987) 137 (Übersetzung der englischen Originalausgabe „Nature and the Greeks“ (Cambridge 1954).

⁹ Neben der gerade zitierten Abhandlung von Schrödinger findet besonders der naturphilosophisch interessierte Leser aufschlussreiche Diskussionen dieser Themen auch bei Bertrand RUSSELL, *Philosophie des Abendlandes* (Wien – München – Zürich 1978), 86–95 (Übersetzung der englischen Originalausgabe „A History of Western Philosophy“ (Cambridge 1945). Beide Werke zeichnen sich durch eine klare Darstellung aus und wollen nicht durch Spezialistensprache beeindrucken.

¹⁰ Näheres s. z.B. Fritz KRAFFT, *Die Vorsokratiker II: Unveränderliche Elemente und Atome*, In: *Die großen Physiker*. Hrsg. K. von MEYENN, (München 1997), Bd. 1, 49–76.

¹¹ Der Grund für diese fatale Annahme war wahrscheinlich, dass alle alten Wörter für Seele ursprünglich die Bedeutung ‚Atem‘ oder ‚Luft‘ trugen. Luft besteht aus Atomen, folglich muss auch die Seele aus ihnen bestehen. Die griechischen Atomisten waren der Meinung, dass die Seelen-Atome vom Körper dauernd abgegeben und mit der Luft ständig wieder neu aufgenommen würden. Hörte also die Atmung auf, so hatte auch das Leben ein Ende. Dagegen erscheinen Demokrits weitere Hypothesen, dass auch die Sinnesempfindungen und das Denken rein physikalische Vorgänge sind, fast harmlos. Jedenfalls war er ein sehr konsequenter Materialist.

2500 Jahre Atomistik

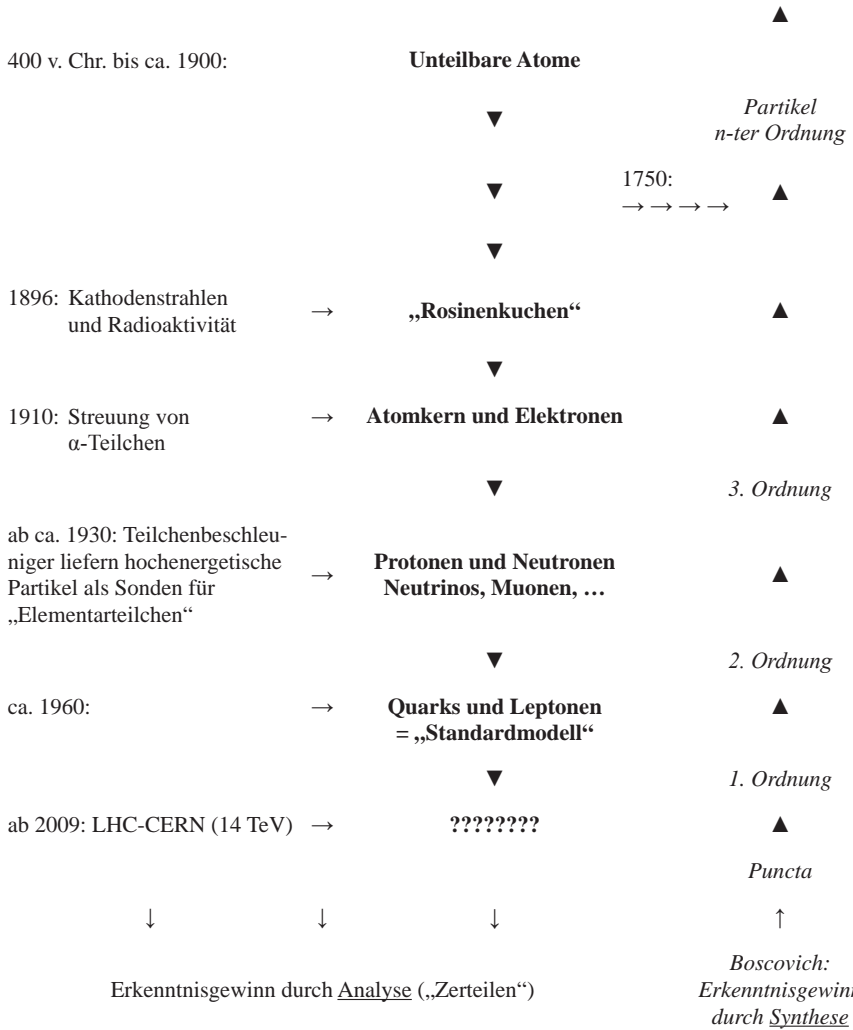


Abb. 2: Die linke und mittlere Spalte zeigen die wichtigsten Meilensteine der Geschichte des Atomismus. Dieser Begriff ist hier sehr weit gefasst, denn er beinhaltet nicht nur das lange als unteilbar geltende Atom, sondern auch seine Bestandteile. Der heutige Kenntnisstand wurde von „oben nach unten“, d.h. durch Zerteilen großer Entitäten zu immer kleineren gewonnen. Dagegen versucht Boscovich, die Materie von „unten nach oben“ aufzubauen, beginnend mit den *puncta* als Elementarteilchen größtmöglicher Einfachheit (rechte Spalte). Bemerkenswert ist, dass Boscovich seine Naturphilosophie zu einer Zeit entwickelte, in der noch kaum jemand die Unteilbarkeit der klassischen Atome in Frage stellte.

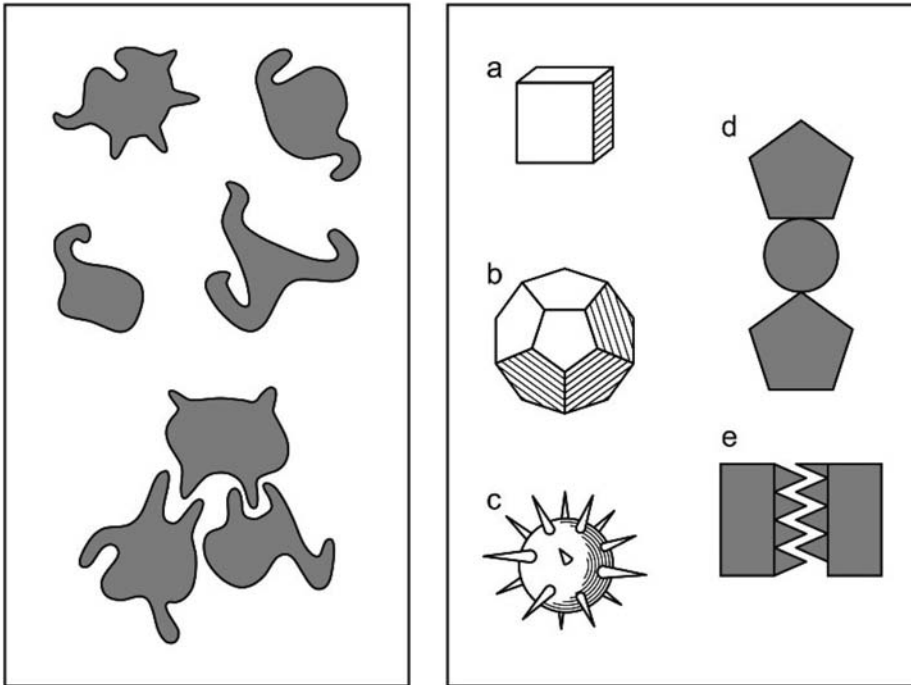


Abb. 3: Schematische Illustration der Atomvorstellung von Leukipp und Demokrit (linke Bildseite), die annahmen, dass Materie aus unsichtbar kleinen und unteilbaren Teilchen mit mannigfachen Formen besteht. Sie können sich auf vielerlei Art verschlingen und verhaken und dadurch zusätzlich zur beobachteten Vielfalt der Materieformen und -eigenschaften beitragen.

Später wurden phantasievollere Formen vorgeschlagen, wie z.B. von Nicolaas Hartsoecker (linke Bildseite) zu Beginn des 17. Jh. (nach L.A. RABONI, in: L. HOLLIDAY, *Atomismus und Kräfte in der Geschichte*, in: *Newtons Universum*, Heidelberg (1990), S. 149).

(Abb. 3 links unten). Dies trägt neben den vielen verschiedenen Atomarten zusätzlich zur schier unendlichen Vielfalt der Materie und ihrer Eigenschaften bei.

5. Die Atome bestehen von jeher, ebenso bewegen sie sich von jeher durch den leeren Raum und kommen nie zur Ruhe¹². Schrödinger weist darauf hin, dass man damit das Trägheitsgesetz erriet, was eine große Leistung war, da es ja der Erfahrung widerspricht und im Altertum ganz unannehmbar erschien. Es bereitete z.B. Aristoteles große Schwierigkeit, da er nur die kreisförmige Bewegung der Himmelskörper für eine natürliche hielt, die unverändert beharren könne¹³.

Schon diese Aufzählung zeigt, dass viele Annahmen der Atomhypothese leicht anfechtbar sind. Einige Kontroversen hat die Zeit entschärft, andere bestehen bis heute. Ein Beispiel für die erste Gruppe ist der Vorwurf, den man den Atomisten in der Antike machte, dass sie alles Geschehen in der Welt dem Zufall zuschrieben. Heute würden wir sie im Gegenteil als strenge Deterministen einstufen und sie damit zu den ersten Teilnehmern der Berg- und Talfahrt von Auffassungen machen, die mit Begriffen wie Existenz und Einfluss Gottes,

¹² Man könnte vermuten, dass diese Annahmen der Versuch waren, eine Brücke zu bauen zwischen Parmenides (Ewiges Sein, alles andere ist bloßer Schein: „Nichts verändert sich“) und Heraklit (Bewegung und ständige Veränderung: „Alles wandelt sich“).

¹³ SCHRÖDINGER, *Die Natur und die Griechen* (Anm. 8) 132.

Maschinenmensch, freier Wille, Moral und Schuld, etc. zu tun haben, und die gerade in jüngster Zeit durch neue Erkenntnisse und deren Ausdeutung durch einige Hirnforscher wieder an Aktualität gewonnen haben¹⁴. Ein Thema, das uns heute noch (bzw. wieder) in Verlegenheit setzt, ist die Existenz des leeren Raumes. Sie wurde schon im Altertum heftig diskutiert, aber auch die moderne Physik hat bisher kein Licht in das Dunkel (oder umgekehrt?) des leeren Raumes bringen können, besonders nachdem das Problem seit Einstein mit der Verknüpfung von Raum, Materie und Zeit noch verzwickter geworden ist¹⁵.

Bis zum Ende der griechisch-römischen Antike hielten sich die Bekämpfer und Befürworter der Atomlehre noch etwa die Waage und sie behielt ihren Platz in der Reihe der philosophischen Systeme dieser Zeitspanne. Dies änderte sich mit dem Beginn des Mittelalters, als die geistige Macht des Christentums stetig zunahm und das abendländische Denken schließlich fast vollständig von der katholischen Philosophie beherrscht wurde. Ihre Inhalte gründen auf den Erkenntnissen der Kirchenlehrer. Ihre Reihe beginnt mit Augustinus (354–430) und endet mit Thomas von Aquin (1225–1274), der noch heute in der katholischen Kirche als größte Autorität gilt. Im Kampf Plato gegen Aristoteles sicherte der *doctor angelicus* letzterem den Sieg bis zur Renaissance. Da sowohl Plato (vehement) als auch Aristoteles (etwas differenzierter) den Atomismus Leukipps und Demokrits abgelehnt hatten, war für ihn in der christlichen Philosophie kein Platz, und er musste das Mittelalter sozusagen im Verborgenem überleben¹⁶. Daran änderte auch der „Umweg“ nichts, über den das antike Wissen nach der Völkerwanderung, die erhebliche Teile davon in großen Teilen des Abendlandes vernichtete, wieder ins europäische Denken zurückkehrte. Denn Averroes (1126–1198), der prominenteste Vertreter der arabischen und jüdischen Gelehrten, über welche dieses Wissen aus der islamischen Welt wieder nach Europa kam, war so eng den logischen und metaphysischen Anschauungen des Aristoteles verhaftet, dass er andere Strömungen vollständig ignorierte.

Auch die Renaissance zu Beginn der Neuzeit änderte vorerst nichts an dieser Situation, denn hier standen die praktischen Anwendungen der Naturwissenschaften in der Architektur und im Kriegswesen an erster Stelle, geprägt durch Künstler-Ingenieure wie Leonardo da Vinci (1452–1519). Versuche, Theorien für ein besseres Verständnis der Natur zu entwickeln, wurden kaum unternommen. So erfolgte der erste ernstliche Einbruch in das scholastische Weltbild erst um die Mitte des 16. Jh. mit dem Werk „De Revolutionibus Orbium Coelestium“, das Kopernikus (1473–1543) in seinem Todesjahr veröffentlichte. Es gilt als Anfang der modernen Naturwissenschaft und ihres Kampfes gegen das Dogma. Schrittweise wurden die aristotelischen Lehren durch neue Erkenntnisse ersetzt, nach der Kosmologie in der Physik und in den mit ihr verwandten Gebieten und im 18. und 19. Jh. schließlich auch in der Biologie. Heute müssen wir – bei aller Bewunderung für die Leistung des Aristoteles – feststellen, dass in seinen Büchern ‚Physik‘ und ‚Über den Himmel‘ im Licht der modernen Wissenschaft kaum ein Satz bestehen kann.

¹⁴ so z.B. Gerhard ROTH, *Aus Sicht des Gehirns* (Frankfurt 2003) oder Christian Erich ELGER et al., *Das Manifest. Über Gegenwart und Zukunft der Hirnforschung*. In: *Gehirn und Geist. Das Magazin für Psychologie und Hirnforschung*, Nr. 6, 2004, 30–37. Eine gut fundierte und die neuesten Ergebnisse berücksichtigende Diskussion dieses Themenkreises sowie zum Verhältnis Naturwissenschaft – Religion im Allgemeinen gibt Hans KÜNG, *Der Anfang aller Dinge* (München 2005).

¹⁵ **Zum neuesten Stand der Auffassungen zu diesem Thema** s. H. GENZ, *Nichts als das Nichts – Die Physik des Vakuums* (Weinheim 2004).

¹⁶ **Dass der Atomismus nicht völlig in Vergessenheit geriet, ist größtenteils dem Römer LUKREZ** (ca. 97–55 v. Chr.) zu verdanken. Er war eher Dichter als Philosoph, denn er hat zu Epikurs Philosophie nichts Neues beigetragen, sondern sie ohne inhaltliche Veränderungen in sein Lehrgedicht „*De rerum natura*“ in poetische Form gebracht. Immerhin schloss er dadurch teilweise die Wissenslücke, die durch den Verlust der Bücher Epikurs entstanden ist, und übermittelte damit auch die Lehre Leukipps und Demokrits – wenn auch in etwas verstümmelter Form – der Nachwelt.

Hingegen behielten viele der qualitativen Aussagen Leukipps und Demokrits noch bis zum Ende des 19. Jh. ihre Gültigkeit und ihre Atomlehre trug ganz wesentlich zu den Fortschritten in der Physik und Chemie bei. Die Wiederbelebung der Atomistik in der abendländischen Wissenschaft begann mit der 1624 erschienenen Veröffentlichung „*Exercitationes paradoxicae adversus Aristoteleos*“ von Petrus Gassendi (Pierre Gassend, 1592–1655), einem französischen Priester im Minoritenorden. Als Mathematiker, Physiker und Philosoph hat er in seinen einflussreichen Schriften und in seiner Lehrtätigkeit (ab 1645 Professor am Collège royal in Paris) eine auf der von Epikur überlieferten Atomlehre beruhende Naturphilosophie vertreten. Er wird deshalb zu Recht als Vorläufer einer neuen physikalischen Grundanschauung betrachtet, in welcher die Atomistik zu einem integralen Bestandteil der mechanistischen Theorie wurde. Einer der ersten und zu seiner Zeit sicher der bedeutendste Vertreter jener neuen Wissenschaft, die Experiment und Theorie vereint, war Galileo Galilei (1564–1642). Der nicht minder geniale Isaac Newton (1643–1727), der kurz nach Galileis Tod geboren wurde, schuf 1666 durch Induktion aus den Keplerschen Gesetzen mit Hilfe der von ihm (und gleichzeitig und unabhängig von Leibniz) entwickelten Infinitesimalrechnung das Gravitationsgesetz. Zusammen mit den nach Newton benannten Axiomen der Mechanik bildete es das Fundament der klassischen theoretischen Physik, und die damit verbundenen Annahmen eines absoluten Raums, einer absoluten Zeit und Bewegung hatten bei den Physikern und Philosophen bis zum Ende des 19. Jh. geradezu kanonische Geltung.

Wie sein britischer Kollege Robert Boyle (1627–1691) und andere Zeitgenossen war Newton überzeugter Atomist. Der Materiebegriff war in seinem Atomismus sehr weit gefasst, denn er nahm an, dass auch Licht aus Korpuskeln bestehe und sogar der Äther aus sehr kleinen, sich untereinander abstoßenden Partikeln aufgebaut sei. Letzteres glaubten selbst die Vertreter der Wellentheorie des Lichts, wie Francesco Grimaldi (1618–1663), Christian Huygens (1629–1695), und später Johann Bernoulli (1710–1790) und Leonhard Euler (1707–1783). Ihr lichtfortpflanzender Äther sollte aus winzigen elastischen Teilchen bestehen, die um einen mittleren Abstand oszillieren und ihre Bewegung durch Stöße auf die Nachbarpartikeln übertragen, sodass sich eine Welle kugelförmig mit endlicher Geschwindigkeit in den Raum ausbreitet.

Mit Newton begann die Zeit des erfolgreichen „praktischen“ Einsatzes der Atomlehre. Durch Kombination des mächtigen Werkzeugs der Infinitesimalrechnung mit der mechanistischen Atomhypothese wurden, beginnend mit Euler und den Brüdern Bernoulli, von den nachfolgenden Generationen Lösungen und Erklärungen für eine Vielzahl von physikalischen Fragestellungen erarbeitet. Einen Höhepunkt bildete die kinetische Gastheorie, deren Entwicklung hauptsächlich von Rudolf Clausius (1822–1888); James Clerk Maxwell (1831–1879) und Ludwig Boltzmann (1844–1906)¹⁷ vorangetrieben wurde. In dieser Zeitspanne kümmerten Details oder philosophische Implikationen der Atomhypothese die Physiker wenig. Im Wesentlichen übernahmen sie die in den Punkten 1, 2 und 4 zu Beginn dieses Kapitels aufgezählten Hauptaussagen der „klassischen“ Atomlehre. Nur bei der in Punkt 4 erwähnten Wechselwirkung zwischen den Atomen gab es anfangs eine Kontroverse: Während die cartesianisch geprägten Gelehrten Stöße annahmen, brachte die Newtonianer Kräfte ins Spiel¹⁸. Sonst sahen die Physiker bis ins späte 19. Jh. keine Notwendigkeit von grundlegenden Veränderungen oder Erweiterungen¹⁹ des antiken Konzepts.

¹⁷ Das Thema ‚Atomismus bei Boscovich und Boltzmann‘ behandelt L. GUZZARDI in seinem Beitrag zu diesem Band.

¹⁸ Dieser Streit war übrigens der Anlass für Boscovichs Abhandlung „*De viribus vivis*“ Rom 1745, in der er die Partei Newtons ergreift. Hier erwähnt er zum ersten Mal seine Erweiterung der Newtonschen Kräfte zu entfernungsabhängigen abstoßenden und anziehenden Kraftzonen (s. Abb. 6 oben), welche die Grundlage seiner Naturphilosophie bilden.

¹⁹ Es gab einige Spekulationen über die Gestalt und Größe der verschiedenen Atomsorten, die heute eher skurril anmuten (ein Beispiel ist in Abb. 3 rechts gezeigt). Gassendi, Boyle, Newton, Dalton

Dies galt im verstärkten Maße für die Entwicklung der Chemie. Sie löste sich mit Antoine Lavoisiers (1743–1794) Veröffentlichung »*Traité élémentaire de Chimie*« die letzten Verbindungen zu ihrer alchemistischen Vergangenheit. Die Anwendung von Lavoisiers quantitativen Untersuchungsmethoden führte zur Aufstellung einer Reihe von empirischen Gesetzen, wie die Konstanz der Äquivalentgewichte (Jeremias Richter, 1762–1807) und der Proportionen (Joseph Proust, 1755–1826) und gipfelte in den Arbeiten John Daltons (1766–1844), der mit seinem 1808 veröffentlichten „*New System of Chemical Philosophy*“ von vielen als Vater der modernen Chemie angesehen wird. Alle diese und auch die nachfolgenden Fortschritte, die verknüpft sind mit den Namen Gay-Lussac, Avogadro, Ampère, Berzelius u.a. bis hin zu Wöhler und Liebig, die den Aufstieg der Chemie in Deutschland begründeten, basierten auf der klassischen Atomlehre. Daran änderte auch das periodische System nichts, das Lothar Meyer (1830–1895) und Dimitrij Mendelejeff (1834–1907) aufstellen konnten, nachdem das relative Atomgewicht und die Wertigkeit der Elemente bestimmt worden war. Es schränkte zwar die Zahl der unterschiedlichen Atomsorten ein, man ging aber weiter davon aus, dass die Materie aus verschiedenartigen Grundbausteinen aufgebaut sei. Ein Versuch einer Vereinheitlichung war die Vermutung des Londoner Arztes William Prout (1785–1850), dass die Atome aller Elemente aus diskreten Zahlen von Wasserstoffatomen zusammengesetzt seien. Nachdem aber Messungen ergeben hatten, dass die Atomgewichte der Elemente keine exakten Vielfachen des Gewichts eines Wasserstoffatoms waren, wurde diese Hypothese vorerst wieder verworfen.

Aus dieser pragmatischen Sicht auf die Atomlehre in der Physik und Chemie des 18. und 19. Jh. ragt als einzige Ausnahme die „*Theoria*“ Boscovichs hervor (s. Abb. 2 rechts) und begründete damit seine in der Einleitung angesprochene Sonderstellung unter seinen Zeitgenossen (s. Anm. 4). Obwohl Boscovich von vielen, hauptsächlich britischen, Gelehrten²⁰ als Nachfolger Newtons angesehen wurde, der dessen Kraftkonzept erweitert und auf die Erklärung von Materieeigenschaften angewandt hatte²¹, musste die „*Theoria*“ noch fast ein Jahrhundert warten, bis sie etwa zur Hälfte des 19. Jh. begann, entscheidenden Einfluss auf das Denken und die Arbeiten der Physiker zu nehmen, der dann bis ins beginnende 20. Jh. wirkte. Da die Inhalte von Boscovichs Naturphilosophie und ihre Unterschiede zur „klassischen“ Atomlehre im nächsten Kapitel besprochen werden, wollen wir es hier bei dieser kurzen Anmerkung zur „*Theoria*“ belassen und uns wieder der allgemeinen Entwicklung der Atomistik (s. Abb. 2 links und Mitte) zuwenden.

Als sich das 19. Jh. seinem Ende näherte, tauchten erste Vermutungen auf, welche die Atome als elementarste Einheiten der Materie in Frage stellten. So veranlassten z.B. die von Faraday gefundenen Gesetze der Elektrolyse Hermann von Helmholtz (1821–1894) im Jahre 1881 zu der Annahme, dass die Elektrizität Teilchenstruktur besitze. Diese Teilchen wurden von Johnstone Stoney (1826–1911) als Elektronen bezeichnet. Die beiden Entdeckungen, welche die Tautologie ‚unteilbare Atome‘ schließlich als unhaltbar erwiesen, wurden erst am Ende des 19. Jh.s gemacht: Die Radioaktivität 1896 und die Identifizierung der Kathodenstrahlen als Strom von Elektronen 1897²². Während viele die Radioaktivität

und die meisten anderen Atomisten machten keine Angaben über spezifische Dimensionen oder Formen der Atome.

²⁰ Näheres s. Stipe KUTLEŠA, Reception of Boscovich's natural philosophy in Britain. In: *Interpreting Tradition and Modernity*, Vol. 1 of the Series „Philosophical Topics“, (Zagreb 2004) 147–192.

²¹ Peter Henrici fasste dies in dem treffenden Satz zusammen: *In simple words, Boscovich repeats with Newton what Galileo did with Copernicus: he brings celestial mechanics into terrestrial physics.* Peter HENRICI, The Theory of Knowledge of Ruder Bošković in His Time. In: *Proceedings of the Symposium „The Philosophy of Science of Ruder Bošković“*, (Zagreb 1987) 28–49.

²² Für eine kurze Darstellung der Entdeckungsgeschichte der Radioaktivität und des Elektrons s. z.B. Hans ULLMAIER Vom Kraftgesetz des Ruder Boscovich zum Bohrschen Atommodell. In: *Mitteilungen der Österreichischen Gesellschaft für Wissenschaftsgeschichte*, Bd. 25, 2007, 95–100.

als Beispiel einer wissenschaftlichen Zufallsentdeckung ansehen (deren Bedeutung jedoch von Antoine Henri Becquerel (1852–1908) schnell erkannt wurde), steht die Entdeckung des Elektrons am Ende eines langen Weges von Experimenten an Strahlen, die vom negativen Pol (Kathode) einer Gasentladungsröhre ausgehen. Aus den Resultaten dieser Untersuchungen, die von Forschern in Deutschland und England, hier in systematischer Weise von Joseph John Thomson (1856–1940), durchgeführt wurden, zog letzterer den weitreichenden Schluss, dass die Kathodenstrahlen aus immer gleichen Teilchen bestehen, die von verschiedenartigen Atomen ausgesandt werden und die deshalb aus kleineren und elementareren Bestandteilen bestehen müssen. In der Tat wurden bald danach Ergebnisse erarbeitet (kleine Masse der Teilchen, Zeeman-Effekt, Photo- und Glühemission), die – zusammen mit den Strahlen aus radioaktiven Elementen – Thomsons Annahme der Existenz subatomarer Teilchen erhärteten.

Es gab also elektrisch geladene ‚leichte‘ Partikel mit einem einheitlichen Verhältnis von Ladung zu Masse, die offenbar Bestandteile von Atomen verschiedenster Art waren und ihre Existenz in mehreren voneinander unabhängigen Phänomenen manifestierten. Mit diesen subatomaren ‚corpuscles‘, wie sie ursprünglich bei Thomson hießen, die dann später Elektronen genannt wurden, hatte man die ersten Elementarteilchen gefunden. Die Zerteilung der Atome hatte begonnen, und damit verloren sie ihren Status als unteilbare und elementarste Bausteine der Materie. Die Physik hatte jetzt neue Fragen zu beantworten: Welche innere Struktur haben die Atome und aus welchen Elementarteilchen ist sie aufgebaut?

Schon bald nach der Entdeckung des Elektrons erschienen die ersten Atommodelle. Den Anfang machte Kelvin²³, der sich offenbar sehr schnell der Ansicht J.J. Thomsons angeschlossen hatte, dass Atome aus elementareren Bausteinen aufgebaut sind. Kelvins Vorschlag basiert auf einer von Thomson geäußerten Vermutung und wurde in der Literatur unter dem Namen Plumpudding- oder Rosinenkuchen-Modell populär. Danach besteht das Atom aus einer winzigen Kugel, gefüllt mit homogen verteilter positiver Ladung (‚Teig‘), in dem sich negativ geladene Elektronen bewegen (‚Rosinen‘), deren Zahl die positive Ladung gerade kompensiert, sodass das Atom insgesamt elektrisch neutral ist. Andere Vorschläge, die entweder Modifikationen von Kelvins Modell waren oder auf anderen Konzepten beruhten, folgten²⁴. Der Einfallsreichtum ihrer Verfechter bei der Entwicklung von Modellen, welche die Resultate von Experimenten an Atomen erklären können, verdient Bewunderung. Allein, sie führten zwar zu einigen bedeutsamen neuen Erkenntnissen (z.B. dass die Valenzen der Elemente durch die ‚äußeren‘ Elektronen ihrer Atome bestimmt werden), alle Anstrengungen scheiterten jedoch am Problem der diskreten Wellenlängen des von den Atomen ausgesandten bzw. absorbierten Lichtes. Die Spektrallinien wurden zu Recht als wichtigste Boten angesehen, die Information über die innere Struktur der Atome nach außen tragen. An der Situation änderte auch das neue, 1910 von Ernest Rutherford (1871–1937) aus Streuexperimenten mit α -Strahlen gefolgerte fast ‚leere‘ Atom mit einem zentralen, positiv geladenen winzigen Kern, der von den Elektronen umkreist wird, nichts. So wichtig die Entdeckung des Atomkerns auch war, die Stabilität der Elektronenbahnen und deren Linienspektren konnte auch das Rutherfordsche Modell nicht erklären.

²³ Eigentlich William Thomson (1824–1907), der ab 1892 als Lord Kelvin of Largs zum britischen Hochadel gehörte. Da es zwischen ihm und dem (mit ihm nicht verwandten) J.J. Thomson viele wissenschaftliche Berührungspunkte gibt, nenne ich ihn hier immer Kelvin, um Verwechslungen zu vermeiden.

²⁴ Darstellungen der Geschichte der frühen Atommodelle geben Charlotte SCHMIDT-SCHÖNBECK, Atommodelle um 1900, In: Atomvorstellungen im 19. Jahrhundert, Paderborn (1982), 67–96, und ULLMAIER (Anm. 22), 100–115. Dort wird auch gezeigt, dass im Zeitabschnitt vor und während der Entwicklung der frühen Atommodelle (also etwa von 1850 bis 1900) der Einfluss Boscovichs auf das physikalische Denken am augenscheinlichsten war.

Eine Lösung dieses Problems brachte das 1913 von Niels Bohr (1885–1962) vorgestellte Atommodell²⁵, das aus den unendlich vielen Bahnen, die nach der klassischen Physik möglich sind, diejenigen auswählte, welche – in Analogie zu der von Max Planck (1848–1947) für die Energiestufen des harmonischen Oszillators verwendeten Beziehung – die Quantenbedingung $E = n \cdot h \cdot \nu$ erfüllen ($n =$ ganze Zahl, $h =$ Plancksches Wirkungsquantum, $\nu =$ Umlauffrequenz der Elektronen)²⁶. Bohr postulierte, dass diese Energieniveaus die stabilen Bahnen festlegen, auf denen das Elektron strahlungsfrei kreisen kann, und Lichtemission immer dann auftritt, wenn das Elektron von einem Zustand n_1 in einen anderen Zustand n_2 übergeht. Damit konnte er den Atomradius, die Ionisierungsenergie und die Frequenzen der Balmer- und Paschen-Serie des Wasserstoffs richtig reproduzieren, und auch die Resultate zur charakteristischen Röntgenstrahlung von Moseley (1913) und der Elektronenstoßversuche von Franck und G. Hertz (1914) standen in Einklang mit Bohrs Theorie. Ihre Erweiterung durch Sommerfeld (1868–1951) führten zur Erklärung der Feinstruktur des Wasserstoffspektrums und des Zeemann- und Stark-Effekts. Ungeachtet dieser Erfolge wurde das Fehlen einer theoretischen Begründung der Bohrschen Postulate als unbefriedigend empfunden. Die Physiker mussten erkennen, dass weitere Fortschritte nicht durch ‚Aufpfropfen‘ quantentheoretischer Bedingungen auf Prinzipien der klassischen Physik, sondern nur mit grundlegend neuen Ansätzen erzielt werden können. Den Durchbruch brachten die Arbeiten Werner Heisenbergs (1901–1967) und Erwin Schrödingers (1887–1961) in der Mitte der 20er Jahre des vergangenen Jahrhunderts. Mit ihnen war der Wechsel von der Determiniertheit, Stetigkeit und Anschaulichkeit der klassischen Physik zur Unbestimmtheit, Unstetigkeit und Abstraktheit der modernen Physik vollzogen. Letztere und ihr Mathematizismus sind wohl die Hauptgründe dafür, dass die Quantentheorie im Denken der meisten Menschen (einschließlich der meisten Philosophen) nicht einen ähnlichen „Kulturschock“ auslöste, wie dies beim Wechsel vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild und bei Darwins Evolutionstheorie der Fall war. Das ist insofern bemerkenswert²⁷, als schon seit Jahrzehnten fast alle Entwicklungen, die – von der Informationstechnik bis zur Molekularbiologie – unser alltägliches Leben in immer stärkerem Maße und in immer schnellerem Wechsel bestimmen, auf der Quantenphysik basieren.

Ihre erste Anwendung fand die Quanten- bzw. Wellenmechanik in der Atomphysik, unter der man nun die Phänomene verstand, die hauptsächlich durch die Elektronen im Atom bestimmt werden. Darauf aufbauend drang die Quantentheorie bald auch in die Physik der kondensierten (d.h. festen und flüssigen) Materie ein, die wir in den verschiedenartigsten Formen in unserer Umwelt finden, wie z.B. Wasser, biologische Stoffe wie die DNS und die Enzyme, die verschiedenen Gesteine von Granit bis Glimmer, Tausende von Metalllegierungen und Millionen Verbindungen in der organischen Chemie. Diese Vielfalt hat ihre Ursache in der unterschiedlichen Verteilung der äußeren Elektronen und der Atomrümpfe der ungefähr 100 chemischen Elemente, woraus quantenmechanische Überlegungen fünf

²⁵ Niels BOHR, On the Constitution of Atoms and Molecules, Phil. Mag., Series 6, Bd. 26 (1913), 1–25

²⁶ Es ist nur wenig bekannt, dass Bohr nicht der erste war, der den Versuch unternahm, Plancks Quantentheorie auf den Atombau anzuwenden. Auf einer Sitzung der österreichischen Akademie der Wissenschaften berichtete Arthur Erich Haas (1884–1941) im März 1910 „Über die elektrodynamische Bedeutung des Planck’schen Strahlungsgesetzes und über eine neue Bestimmung des elektrischen Elementarquantums und der Dimensionen des Wasserstoffatoms“. Bei den Wiener Physikern stieß die Arbeit damals auf Geringschätzung (E. Lecher: Ein Faschingsscherz!), während Bohr das Verdienst von Haas anerkannte (in Anm. 25, S. 6)

²⁷ **Bemerkenswert, aber nicht verwunderlich: Sind doch die Unschärferelation, der Teilchen – Welle Dualismus und andere Inhalte der Quantentheorie mit unserem ‚gesunden Menschenverstand‘ nicht erfassbar. Für mich besteht das Wunder eher im Abstraktionsvermögen des menschlichen Gehirns, das einen Umgang mit diesen Begriffen ermöglicht.**

Grundtypen von Bindungskräften identifizierten. Ich muss mich hier mit ihrer Aufzählung²⁸ und der Angabe ihrer wichtigsten Charakteristika anhand einer Tabelle begnügen (Abb. 4) und erwähne nur noch die 1928 von Paul Adrien Maurice Dirac (1902–1984) aufgestellte relativistische quantenmechanische Bewegungsgleichung. Sie enthält Ausdrücke, die dem Spin des Elektrons²⁹ entsprechen (1925 von G. Uhlenbeck und S.A. Goudsmit zur Erklärung der Feinstruktur der Atomspektren vorgeschlagen) und sagte die Existenz eines Teilchens voraus, das die gleiche Masse aber die entgegengesetzte Ladung des Elektrons haben sollte. Dieses Positron wurde 1932 von C.D. Anderson in der Höhenstrahlung entdeckt und war der erste Hinweis auf die Existenz der Antimaterie. Ich schließe jetzt diesen Themenkreis mit einer sehr vereinfachten und saloppen Feststellung ab: Alle Erscheinungsformen der Materie und elektronischen und chemischen Vorgänge, die in ihr ablaufen, können im Prinzip mit der Schrödinger-Gleichung³⁰ bzw. ihrer feldtheoretischen Weiterentwicklung zur Quantenelektrodynamik (QED) durch Richard Feynman (1918–1988) und andere, nicht nur beschrieben werden, sondern ihre intelligente Anwendung ermöglicht in Verbindung mit großen und schnellen Computern in zunehmenden Maße auch die gezielte Entwicklung neuer Materialien mit ‚maßgeschneiderten‘ Eigenschaften („Materials Design“).

Wir wollen uns nun der Untersuchung des Atomkerns und seiner Bestandteile zuwenden, für die sich vorerst der Begriff Kernphysik einbürgerte³¹. Sie begann mit systematischen Untersuchungen der Radioaktivität, aus denen der Chemiker Frederick Soddy (1877–1956), der eng mit Rutherford zusammenarbeitete, 1911 schloss, dass es Elemente gibt, die trotz unterschiedlicher Massen und radioaktiver Eigenschaften gleiches chemisches Verhalten zeigen, und daher im Periodensystem auf den gleichen Platz zu setzen sind. Diese ‚Isotope‘ wurden bald darauf von Francis William Aston (1877–1945), der die Thomsonsche Experimentieranordnung zum Massenspektrometer weiter entwickelt hatte, am Neon und anderen Elementen nachgewiesen. Seine Resultate führten zu der Hypothese, dass der Atomkern aus Protonen³² und Elektronen bestehe. So sollten die Kerne der beiden Neonisotope 22 Protonen und 12 Elektronen bzw. 20 Protonen und 10 Elektronen enthalten, sodass sie beide die Ordnungszahl 10, hingegen die relativen Atomgewichte 22 und 20 besitzen. Dieses Kernmodell stand jedoch im Widerspruch zu den Ergebnissen von Streuexperimenten, die Rutherfords Schüler James Chadwick (1891–1974) durchführte. Ihre Analyse führte zur Annahme eines ungeladenen Kernbestandteils, der die gleiche Masse wie die Protonen haben sollte. Das so postulierte Neutron wurde von Chadwick in der Tat 1932 nachgewiesen.

²⁸ Die Ursache aller hier angeführten Bindungskräfte ist die elektrische Wechselwirkung zwischen den negativ geladenen Elektronen und den positiv geladenen Atomkernen bzw. -rümpfen. Sie fallen also alle in die Kategorie „elektromagnetisch“ in der Liste der vier elementaren Kräfte (s. Abb. 5).

²⁹ Damit war die letzte der vier Quantenzahlen verifiziert (die drei anderen liefert die Schrödinger-Gleichung). Sie ermöglichen zusammen mit dem von Wolfgang Pauli (1900–1959) formulierten Ausschließungsprinzip eine Klassifikation der Elemente nach der Zahl und Anordnung der Elektronen in ihren Atomen, die mit dem früher empirisch aufgestellten Periodensystem übereinstimmt.

³⁰ Sie kann, wie auch die anderen fundamentalen Gleichungen der Physik, nicht hergeleitet werden (Schrödinger: „Sie ist vom Himmel gefallen“). Sie ist eine lineare Differentialgleichung für die stetige Wellenfunktion, welche die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Teilchens beschreibt (Max Born, 1882–1970). Die „Quantisierung“ erfolgt durch die Randbedingungen, welche nur Zustände mit diskreten Energien zulassen.

³¹ In der Alltagssprache ist diese Begriffsverwendung nicht angekommen. Man spricht immer noch von Atomwaffen, Atomenergie und Atomkraftwerken, meint damit aber Kernwaffen, Kernenergie und Kernkraftwerke.

³² Damit kam die Prout'sche Hypothese wieder zu Ehren, denn der Kern des Wasserstoffatoms wurde jetzt unter dem Namen ‚Proton‘ zum neuen Elementarteilchen.

Bindungskräfte in kondensierter Materie

Bindungsart	Kraftwirkung	Bindungs-Energie eV/At.	Beispiele	Eigenschaften
Ionenbindung (heteropolar)	zwischen entgegengesetzt geladenen Ionen; isotrop	6–20	Salze (NaCl), LiF, ... BaF ₂	tiefe Temp.: Isolatoren, spröde hohe Temp.: Ionenleiter, plastisch
Kovalente Bindung (homöopolar)	Elektronenpaar-Bindung; stark gerichtet	1–7	Elemente der Gruppe IV (C, Si) viele organische Stoffe	Isolatoren oder Halbleiter, spröde, hohe Schmelzpunkte
Metallische Bindung	zwischen Atom-Rümpfen und ‚freien‘ Elektronen, wenig gerichtet	1–5	Metalle und Legierungen	gute elektrische Leiter, thermische Leiter, plastisch
Van der Waals Bindung	zwischen Atomen mit permanenten oder induzierten Dipolmomenten	0,01–0,1	Edelgaskristalle, H ₂ , O ₂ , ... Molekülkristalle, Polymere	Isolatoren, leicht komprimierbar, niedriger Schmelzpunkt
Wasserstoffbrücken	zwischen Atomen stark elektronegat. Elemente, vermittelt durch dazw. liegendem Proton	ca. 0,1	Wasser, Eis, Eiweißmoleküle, DNS, Polymere	vielfältig, da oft zusammen mit anderen Bindungskräften wirkend

Abb. 4: Obwohl die prinzipielle Ursache für alle Bindungskräfte in Festkörpern und Flüssigkeiten die elektrische Wechselwirkung zwischen den äußeren Elektronen ihrer Atome ist, kann man 5 Grundtypen von Kräften identifizieren, die sich hinsichtlich ihrer Stärke, Richtungsabhängigkeit und anderer Merkmale unterscheiden. Die klassische Physik kann davon nur die Ionenbindung erklären, alle anderen beruhen auf quantenmechanischen Prinzipien. Die alleinige Wirkung eines Bindungstyps ist selten, meistens sind mehrere Bindungsarten für den Zusammenhalt kondensierter Materie verantwortlich.

Die Entdeckung des Neutrons führte nicht nur zu Fortschritten in der nuklearen Grundlagenforschung (s. unten), sondern hatte ab den 40er Jahren des 20. Jh. auch gravierende technische und vor allem politische Folgen. Nach Vorarbeiten von Enrico Fermi (1901–1954), dem Ehepaar Joliot-Curie, Otto Hahn (1879–1968) und Lise Meitner (1878–1968) entdeckten Hahn und sein Mitarbeiter Fritz Strassmann 1938 die Spaltung des schweren Urankerns in leichtere Bruchstücke. Die dabei freiwerdende Energie von etwa 200 MeV pro Atom (also mehr als das 10⁸-fache des Energieumsatzes bei chemischen Reaktionen) liegt am Verlauf der Bindungsenergie pro Nukleon: Sie ist hoch bei den schweren Elementen, durchläuft ein flaches Minimum bei mittelschweren Elementen und steigt dann zu den leichten Elementen hin wieder an. Letzteres führt zur Energiefreisetzung bei der Fusion leichter Kerne, wie sie z.B. in unserer Sonne abläuft, und damit die Grundvoraussetzung für jedwedes Leben auf der Erde schafft. Wie alle Entdeckungen und Erfindungen, die sich der Mensch – beginnend bei Feuer und Faustkeil – nutzbar macht, hat auch die Energiefreisetzung aus Kernmaterie nützliche und verheerende Auswirkungen. Leistet die kontrollierte Kernspaltung (und in Zukunft vielleicht auch die Kernfusion) heute einen wichtigen Beitrag zu einer fast CO₂-freien Energieproduktion, tötete der Einsatz von Kernwaffen am Ende des 2. Weltkriegs viele Menschen und bleibt bis heute eine weltweite Bedrohung unseres Daseins.

Aber zurück zur Kernphysik: Bald nach der Entdeckung des Neutrons versuchten Heisenberg und Dimitri Iwanenko (1904–1994), die Bindungskräfte zwischen den Protonen und Neutronen im Atomkern durch einen Austausch von Positronen zu berechnen. Dabei kamen sie zu dem Schluss, dass es noch eine weitere Kraft geben müsse, die bei subatomaren Abständen viel stärker als die elektromagnetische Wechselwirkung ist – die „Starke Kraft“. Zu einem ähnlichen Schluss kam Hideki Yukawa (1907–1981), der 1935 versuchte, die Bindungskräfte im Atomkern durch den Austausch von (vorerst hypothetischen) Pionen oder Pi-Mesonen, d.s. neutrale Teilchen mit der etwa zweihundertfachen Masse des Elektrons, zu erklären. Schon 1931 hatte Pauli mit dem Neutrino³³ die Existenz eines weiteren Teilchens vorausgesagt, um die Tatsache zu erklären, dass die von radioaktiven Kernen emittierten β -Strahlen (= Elektronen) ein kontinuierliches Energiespektrum besitzen. In diesem Zusammenhang schloss Fermi schließlich auf die Existenz einer vierten elementaren Kraft, die er „Schwache Kraft“ nannte (Abb. 5 unten).

Die mit Cockcroft und Walton, van de Graaff und Lawrence zum Beginn der 30er Jahre des vorigen Jahrhunderts einsetzende Entwicklung von immer leistungsfähigeren Teilchenbeschleunigern ermöglichte die Untersuchung der Kernstruktur durch den Beschuss mit Sondenteilchen (Elektronen, Protonen, Deuteronen, α -Teilchen) von immer höherer Energie³⁴. Die Analyse der durch sie ausgelösten Kernreaktionen führte zur Identifikation einer gleichsam epidemisch zunehmenden Zahl von neuen Teilchen. 1961 fanden Robert Hofstadter (1915–1990) und seine Mitarbeiter bei Streuversuchen von hochenergetischen Elektronen an Protonen und Neutronen, dass es in ihnen Ladungskonzentrationen gab, sie also eine innere Struktur besitzen, die ihren Status als Elementarteilchen in Frage stellte. Dieser Befund und der immer größer werdende „Teilchenzoo“ liefen dem offenbar inhärenten Bemühen der Physik zuwider, Ordnungsschemata für die elementaren Bausteine der Materie und der in ihr wirkenden Kräfte zu finden und ihre Zahl zu reduzieren („Vereinheitlichung“).

Man suchte also nach Mustern, die zu einer Gruppierung von Teilchen mit ähnlichen Merkmalen führten, sozusagen ein Periodensystem für subatomare Partikel. 1961 zeigten Murray Gell-Mann (geb. 1929) und Yuval Ne’eman (geb. 1925), dass sich die Teilchen in Gruppen von 8 (Oktetts) oder 10 (Dekupletts) einteilen lassen. Diese Klassifikation³⁵ war die Vorstufe zu den Quarks³⁶, die 1964 Gell-Mann und, unabhängig von ihm, George Zweig (geb. 1936) als Grundbausteine aller Teilchen vorschlugen, die über die starke Kraft miteinander wechselwirken (die sog. Hadronen). Das ursprüngliche Schema enthielt drei Arten von Quarks („up“, „down“, „strange“), später kamen noch das „charmed“ (S. Glashow und J. Bjorken 1964), „bottom“ (L. Lederhann 1977) und „top“ Quark (1995) hinzu (s. Abb. 5 oben). Die von den Quarks ausgehende Starke Kraft wird durch „Farben“³⁷ (oder Farb-

³³ Während die Mesonen schon 1938 als Sekundärprodukt der Höhenstrahlung und 1947 bei Beschleunigerexperimenten nachgewiesen wurden, entzogen sich die von Fermi so genannten Neutrinos wegen ihrer elektrischen Neutralität und ihrer extrem geringen Ruhemasse lange einem experimentellen Nachweis. Er gelang erst 1955.

³⁴ Die damit einher gehende Möglichkeit der Untersuchung immer feinerer Strukturen führte auch zu einer Begriffsveränderung. Als Kernphysik bezeichnet man heute meist nur noch Untersuchungen von Vorgängen, welche den Atomkern als Ganzes betreffen, während sich für das Studium seiner Einzelbestandteile der Begriff Hochenergie- oder Elementarteilchenphysik eingebürgert hat.

³⁵ Eine wichtige Rolle spielten hier Symmetrieüberlegungen („SU 3-Gruppen“). Eine fundierte Darstellung der Bedeutung von Symmetrien in Naturwissenschaft und Philosophie gibt K. MAINZER, *Symmetrien der Natur*, Berlin – New York (1988).

³⁶ Zu dieser Bezeichnung wurde Gell-Mann durch die Stelle „Three quarks for Muster Mark“ in Finnegans Wake von James Joyce inspiriert.

³⁷ Auch diesen Namen prägte Gell-Mann. Jedoch hat die „Farbe“ eines Quarks natürlich nichts mit dem üblichen Begriff der Farbe gemein.

Elementare Teilchen	Familien			elektr. Ladung	Kräfte			
					st	em	sch	grav
Quarks	u	c	t	$\frac{2}{3}$	+	+	+	+
	d	s	b	$-\frac{1}{3}$	+	+	+	+
Leptonen	e	μ	τ	-1	-	+	+	+
	ν_e	ν_μ	ν_τ	0	-	-	+	+

Theoretische Vorhersage zur Erklärung der Teilchenmasse: Higgs-Teilchen?

Elementare Kräfte	Reichweite	Austausch-Teilchen	relative Stärke
stark	subatomar	Gluon g	1
elektromagnetisch	unendlich	Photon γ	$\frac{1}{137}$
schwach	subatomar	W u. Z Bosonen	10^{-14}
Gravitation	unendlich	Graviton?	10^{-40}

Abb. 5: Zusammenfassung der elementaren Materieteilchen und der fundamentalen Kräfte des derzeit gültigen so genannten „Standardmodells“. Die Materie des sichtbaren Universums – Sterne, Planeten, unsere Umgebung und wir selbst – bestehen ausschließlich aus Teilchen der ersten Familie: u- und d-Quarks (aus denen die Protonen und Neutronen zusammengesetzt sind) und Elektronen e. Das Standardmodell postuliert als weiteren notwendigen Bestandteil das „Higgs“-Teilchen, welches aber bisher nicht experimentell nachgewiesen werden konnte. Es muss noch erwähnt werden, dass es zu allen Quarks und Leptonen jeweils ein Antiteilchen gibt. Teilchen und Antiteilchen haben exakt dieselben Eigenschaften, nur ihre elektrischen Ladungen sind genau entgegengesetzt.

ladungen) bestimmt (Moo-Young Han, geb. 1934, und Yoichiro Nambu, geb. 1921), äquivalent zu den elektrischen Ladungen bei der elektromagnetischen Kraft. Dementsprechend heißt die Theorie zur Beschreibung der starken Wechselwirkung Quantenchromodynamik (QCD). Danach resultiert die Starke Kraft aus der Emission und Absorption (= Austausch) von Bindeteilchen, den sog. Gluonen (das äquivalente Austauschteilchen in der Quantenelektrodynamik ist das Photon, in der Theorie der schwachen Wechselwirkung die W- und Z-Bosonen, und in der Gravitation das bisher nicht nachgewiesene Graviton).

Die Vorstellung vom Aufbau der Materie aus je sechs Quarks und Leptonen³⁸ als elementare Teilchen, zusammengehalten von vier elementaren Kräften, wird als Standardmodell bezeichnet. Abgesehen von wenigen noch offenen Fragen gilt es als experimentell gut bestätigt und markiert den gegenwärtig gesicherten Stand der Anstrengungen, zum tiefsten Ursprung der Materie vorzudringen.

3. Boscovichs Naturphilosophie: Ein erster Versuch einer „Vereinheitlichten Theorie“ der Materie

Boscovichs „Theoria“ *philosophiae naturalis* wurde in mehreren Beiträgen zu diesem Symposium unter epistemologischen (Zvonimir Čuljak), entwicklungsgeschichtlichen (Josip Talanga) und inhaltlichen (Stipe Kutleša) Aspekten ausführlich dargestellt. Für das Ziel

³⁸ **Leptonen** (nach griech. *leptos* = klein) sind Teilchen, die nicht der Starken Kraft unterliegen, mit dem Elektron als wichtigsten Vertreter.

des vorliegenden Beitrages – einen Vergleich³⁹ des heutigen Materiebildes mit den Vorstellungen Boscovichs – genügt hier deshalb eine kurze Zusammenstellung der Hauptaussagen der „Theoria“:

Basierend auf der apriorischen Forderung⁴⁰ nach

- Gültigkeit des Kontinuitätsprinzips (*nihil in natura per saltum fieri*)
- Analogie und Einfachheit der Naturgesetze (*analogie et simplicitas naturae*)

postuliert Boscovich:

(1) Alle Materie besteht aus einheitlichen, ununterscheidbaren, ausdehnungslosen, aber der Trägheit unterliegenden Elementarbausteinen. Diese „*puncta*“ sind die denkbar einfachsten Gebilde und erfüllen so die Forderung nach größtmöglicher Einfachheit.

(2) Die *puncta* wechselwirken miteinander über ein universales Gesetz abstoßender und anziehender Kräfte („*lex virium*“) (Abb. 6⁴¹). Über die Ursache seiner universalen Wechselwirkungskraft macht Boscovich keine Angaben: „Ob dieses Kraftgesetz eine intrinsische Eigenschaft der unteilbaren *puncta* ist, ob es etwas Substantiales oder Zufälliges ist, das ihnen hinzugefügt wurde [...], ob es ein willkürliches Gesetz des Urhebers der Natur ist, der die Bewegungen durch ein nach Seinem Willen gemachten Gesetz leitet; all dies suche ich nicht herauszufinden“ („Theoria“, *Pars III*, § 516). Er erkannte allerdings schon richtig, dass die im Makrokosmos dominierende Schwerkraft zu schwach ist, um die im Mikrokosmos wirkenden Kräfte zu erklären: „[...] die Anziehung, die bei der Kohäsion erscheint, ist immer stärker, als sie entsprechend des Gesetzes der universalen Gravitation sein sollte“ („Theoria“, *Pars I*, § 121).

Als Wirkungsweise der *lex virium* akzeptiert Boscovich anfangs nur die Newtonsche Fernwirkung (*acto in distans*), betrachtet sie dann zunehmend kritisch und lässt sie schließlich vollkommen fallen⁴², um allerdings mit den „Propensitäten“ (von lat. *Propensio* = Neigung) eine recht vage Alternative zu vertreten.

Die klassische Atomlehre erklärte die schier unendliche Vielfalt der materiellen Welt mehr als zwei Jahrtausende – von Leukipp bis Dalton – hauptsächlich durch die Verschiedenartigkeit ihrer Elementarbausteine (= Atome). Newton bringt dies klar in der *Regula tertiae* seiner *Philosophiae naturalis principia mathematica III* zum Ausdruck: „Die Ausdehnung, Undurchdringbarkeit, Beweglichkeit und Schwere des Ganzen stammen von denselben Eigenschaften seiner Teile; deshalb folgt daraus, dass die kleinsten Teile von Körpern dieselben Eigenschaften bezüglich ihrer Ausdehnung, Festigkeit, Undurchdringbarkeit, Beweglichkeit und Schwere haben müssen. Das ist die Grundlage der gesamten Philosophie“. Boscovich, dessen Materiemodell einheitliche, untereinander identischen Elementarteilchen annimmt, muss hier einen anderen Weg gehen:

(3) Die Vielfalt der Materieformen und -eigenschaften wird durch Agglomerate von *puncta* („*particulae*“) erklärt. Boscovich widmet ihnen zu Recht große Aufmerksamkeit

³⁹ Es ist klar, dass solch ein Vergleich ausschließlich rein qualitativer Art sein kann. Gab es doch im 18. Jh. keinerlei Möglichkeiten, die Größen der charakteristischen Dimensionen und Kräfte in der Mikrostruktur der Materie auch nur annähernd abzuschätzen (es gab ja noch nicht einmal Maßeinheiten dafür). Auch viele moderne Begriffe existierten damals noch nicht bzw. waren nicht klar definiert (wie z.B. die Energie).

⁴⁰ Das heißt, sie beruht auf rationalen Argumenten, die nicht durch Experimente bewiesen oder widerlegt werden können.

⁴¹ Wie in den Diagrammen ersichtlich, wird die abstoßende Kraft zwischen den *puncta* unendlich groß, wenn ihr Abstand gegen null geht. Es gibt also keine Stöße mit abrupten Geschwindigkeitsänderungen und die Forderung nach der Gültigkeit des Kontinuitätsprinzips wird erfüllt.

⁴² In *De continuitatis lege*, § 163 und *Theoria*, § 101 und 102.

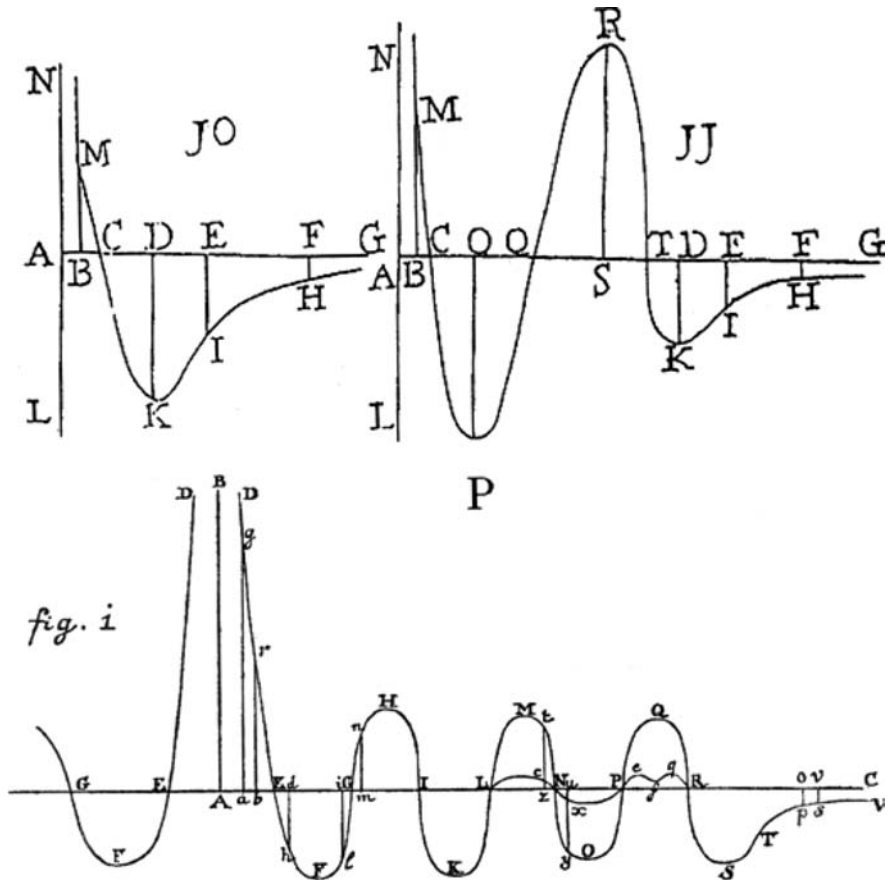


Abb. 6: Die Reproduktionen der Figuren 10 und 11 (oben) aus R. BOSCOVICH'S *De viribus vivis* (Anm. 18) zeigen die beiden ersten Schritte zur *curva Boscovichiana* (unten). Auf den senkrechten Achsen der Diagramme ist die Kraft aufgetragen, die ein im Koordinatenursprung A befindliches *punctum* auf ein anderes *punctum* ausübt. Die Entfernung der beiden *puncta* ist auf den waagrechten Achsen (Abszissen) angegeben. Die Kurvenstücke oberhalb der Abszisse zeigen (per Konvention) abstoßende, jene unterhalb der Abszisse anziehende Kräfte an.

und seine diesbezüglichen Überlegungen nehmen in seinen Abhandlungen⁴³ viel Platz ein, sind doch die Partikel in seinem Materiellmodell unverzichtbare Bindeglieder zwischen der abstrakten Welt der *puncta* und den „*phaenomena*“, die wir mit unseren Sinnen wahrnehmen. Die Charakteristika von Boscovichs universalem Kraftgesetz ermöglichen schon bei den ersten Agglomerationschritten eine Vielzahl von sehr unterschiedlichen Partikeln, die sich durch ihre innere Struktur (d.h. räumliche Anordnung der *puncta*), Form und Größe unterscheiden können. Mit zunehmendem Agglomerationsgrad (Partikel 1., 2., 3., ... n-ter „Ordnung“, s. Abb. 2 und 7) nimmt die Zahl der Variationsmöglichkeiten rapide zu.

⁴³ In *De viribus vivis*, Rom (1745), in *De lege virium in natura existium*, Rom (1755) und natürlich in der *Theoria*, Pars II, § 189ff. (*De combinationibus punctorum ... de systemate punctorum duorum, ... trium, ... quatuor, etc.*).

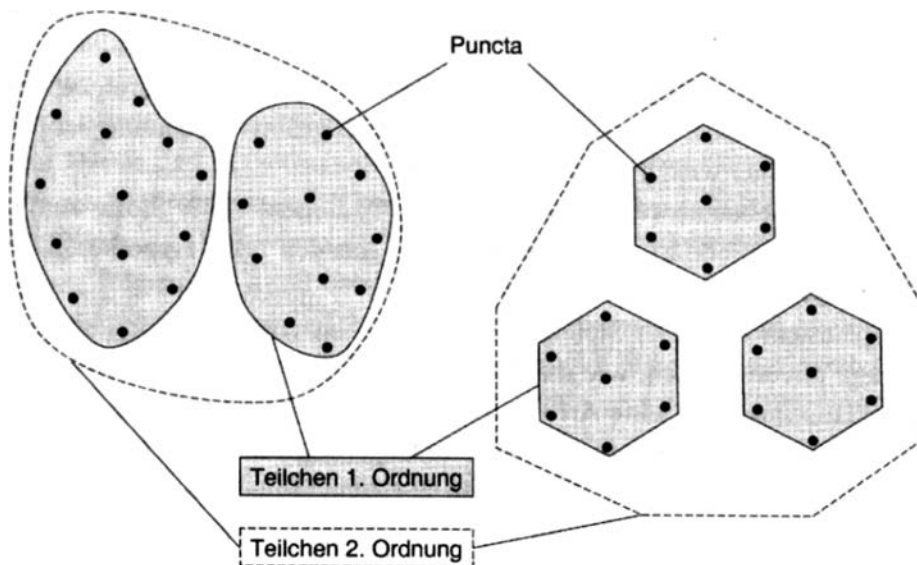


Abb. 7: Beispiele für Partikel 1., 2. ... Ordnung, die durch Agglomeration von *puncta* entstehen können und welche als Anfangsstufen für den Aufbau amorpher Stoffe (links) bzw. kristalliner Strukturen (rechts) denkbar sind (schematisch).

In der Tat zeigen schon die einfachsten, aus zwei (Abb. 8) oder drei (Abb. 9) *puncta* bestehenden Partikel einige für den Aufbau der Materie wesentliche Eigenschaften. Bevor wir sie diskutieren, sind zwei Bemerkungen angebracht: (a) Das Kraftfeld, mit dem ein aus kleineren Einheiten zusammengesetztes Teilchen nach außen wirkt, bestimmt Boscovich durch lineare Superposition der Kraftfelder seiner Bestandteile⁴⁴. So ergibt sich z.B. das Kraft- bzw. Potentialfeld (s. [b]) des 2-Punkt Partikels in Abb. 8 aus der vektoriellen Summe der *lex virium* – Kräfte seiner beiden *puncta*. Im Allgemeinen bewirkt die Superposition, dass der Kraftverlauf außerhalb eines Teilchens verschieden ist von dem seiner Komponenten⁴⁵, d.h. die Wechselwirkung zwischen Partikeln wird nicht durch die ausschließlich für die *puncta* geltende *lex virium* beschrieben – eine Tatsache⁴⁶, die bei vielen Anwendungen und Interpretationen der „Theoria“ nicht erkannt wurde und wird. (b) Die im Folgenden gebrachten Vergleiche einiger Aussagen der Theoria mit heute bekannten Eigenschaften von Bindungskräften werden illustrativer, wenn man die Wechselwirkung zwischen den *puncta* oder den Teilchen nicht durch Kräfte, sondern durch ihre Potentiale beschreibt, wie dies in der modernen Physik üblich ist. Kräfte sind Vektoren, haben also eine Größe und eine Richtung. Für sog. konservative Kräfte F (wie im vorliegenden Fall) kann man eine skalare Größe angeben, das Potential U , dessen negativer Gradient die Kraft ist: $F = -\text{grad}$

⁴⁴ *De viribus vivis*, § 59: „Ubi autem binae [vires] combinatur in quavis distantia secundum quamvis directionem, vim mutuum exprimi per summam ordinatarium, quae pertinet ad particulam utramque in iis distantibus, et directionibus“.

⁴⁵ *De viribus vivis*, § 59: „Et poterunt majores particulae componi ex minoribus ita, ut dissimillimas habeant virium leges, et ex his aliae majores gradatim pariter, ut libuerit, dissimiles“.

⁴⁶ Die oft gravierenden Veränderung, welche die resultierenden Kräfte beim Aufbau der Partikelhierarchie (s. Abb. 2 rechts) erfahren, sind der Grund, dass Boscovich die Bemühungen aufgeben musste, aus makroskopischen Eigenschaften auf die Form der „curva Boscovichiana“ zu schließen (näheres dazu s. Hans ULLMAIER, *Puncta, particulae et phaenomena*, Hannover [2005], 60 und 92ff.).

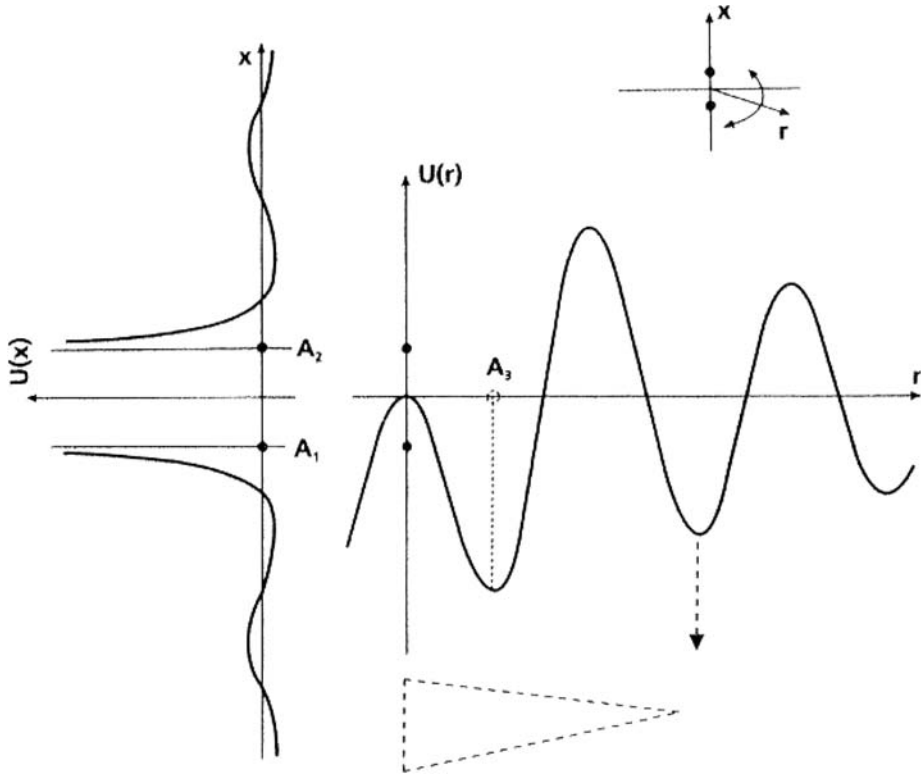


Abb. 8: Verlauf des Potentials U , das die Wechselwirkung eines aus zwei *puncta* A_1 und A_2 bestehenden Agglomerats mit einem dritten *punctum* in der Entfernung r bzw. x beschreibt. Die Strecke A_1 - A_2 entspricht dem kleinsten Abstand der „Kohäsion“. Der Potentialverlauf entlang der Verbindungsline A_1 - A_2 (x) und senkrecht dazu (r) ist sehr unterschiedlich, d.h. das Kraftfeld eines 2-er Partikels ist stark anisotrop. Der eingezeichnete Punkt A_3 markiert die stabilste Anordnung der *puncta* in einem 3-Punkt Partikel. Es sind aber auch metastabile Konfigurationen möglich, wo A_3 in einem der weiter vom Ursprung entfernten Potentialminima sitzt (wie z.B. an der Spitze des gestrichelt gezeichneten Dreiecks unten).

U . Boscovichs Kräfte wirken immer in Richtung der Verbindungsline (Abszissen x , r , oder z) der Teilchen, die obige Relation vereinfacht sich dann zu $F = -dU/dx$ (bzw. dr oder dz). Wenn man U als potentielle Energie auffasst, entsprechen die ‚kohäsiven‘ Nullstellen der Kraft (*limites cohaesionis*) den Energieminima im Potentialbild, markieren also (meta)stabile Gleichgewichtslagen.

Die Abb. 8 zeigt den Potentialverlauf für ein Partikel, das aus 2 *puncta* A_1 und A_2 im kleinstmöglichen stabilen Gleichgewichtsabstand besteht. Im linken Bildteil ist das Potential $U(x)$ in Richtung der Verbindungsline A_1 - A_2 aufgetragen, im rechten $U(r)$ in den Richtungen senkrecht dazu (s. Insert rechts oben). Während das Kraft- bzw. Potentialfeld eines *punctums* isotrop, d.h. für alle Raumrichtungen gleich ist, sind $U(x)$ und $U(r)$ völlig verschieden – das 2-Punkt-Partikel hat also ein stark anisotropes Kraftfeld. Damit hat Boscovich zumindest qualitativ die Richtungsabhängigkeit der Bindungskräfte in kondensierter Materie (Abb. 4) zu einer Zeit vorweggenommen, als die zeitgenössische Physik und Chemie weit davon entfernt waren, solche Fragen überhaupt zu stellen, geschweige denn Antworten darauf zu suchen.

Ähnliches gilt für weitere Schlussfolgerungen, die sofort aus den Potentialverläufen in Abb. 8 gezogen werden können: (i) Die stabilste Struktur eines 3-Punkt-Partikels wird ein aus A_1 , A_2 und A_3 gebildetes gleichseitiges Dreieck sein, denn dann befinden sich alle *puncta* in den tiefsten Potentialtälern. (ii) Es sind aber auch andere, metastabile Strukturen möglich, wie z.B. das gestrichelt gezeichnete spitzwinkelige Dreieck, wo A_3 in einem immer noch relativ tiefen Potentialminimum sitzt. Heute wissen wir, dass metastabile Anordnungen von Atomen oder Molekülen so häufig auftreten, dass sie fast schon die Regel und nicht die Ausnahme sind. Beispiele sind die meisten Stoffe der lebenden Materie, amorphe Gläser, viele technische Legierungen (Stahl!), die verschiedenen Modifikationen des Kohlenstoffs usw. Die „klassische“ Atomlehre bot dafür keine Erklärungsmöglichkeit: Diamant, Graphit und die Fullerene bestehen z.B. alle aus Kohlenstoff, also aus Atomen mit identischen Eigenschaften. Warum sollten sie dann verschiedene Strukturen bilden? (iii) Welche Teilchenanordnung sich einstellt, hängt nicht nur von den bisher betrachteten energetischen Verhältnissen ab, sondern auch von den Bewegungsmöglichkeiten⁴⁷ der Teilchen in ihrem Verbund. So wird die Bildung des 3-er-Partikels in Abb. 8 nicht durch Annäherung von A_3 entlang der r-Richtung erfolgen, wo so hohe Potentialberge überwunden werden müssen, dass die „Agitation“⁴⁸ des *punctums* in der Regel nicht ausreicht. Es wird sich eher entlang der Richtung x bewegen bis es in die Nähe der starken Abstoßung durch A_1 oder A_2 gerät, dann die Richtung wechseln und schließlich in eine der tiefen Potentialmulden entlang r „fallen“. Boscovich ist in der „Theoria“ mit einiger Ausführlichkeit (*Pars II*, § 190ff.) auf die Bewegungsmöglichkeiten der Teilchen eingegangen, besonders auf die Oszillationen, die sie um Positionen in verschiedenen Abständen vom Ursprung der Kraftkurven (Abb. 6) ausführen. Die Resultate seiner Überlegungen verwendet er zur qualitativen Erklärung von „*phaenomena*“, wie z.B. Schmelzen, Feuer und chemische Reaktionen („Theoria“, *Pars III*, § 459ff.)

Schon bei den 3-Punkt-Partikeln wird die Zahl der möglichen Anordnungs- und Bewegungsmuster so groß, dass die resultierenden inneren Strukturen und Formen unüberschaubar werden. Boscovich bricht deshalb die Analyse bei den 4-Punkt-Partikeln ab („Theoria“, *Pars II*, § 238). Wir begnügen uns hier mit der Aufzählung einiger Schlussfolgerungen, die in qualitativer Übereinstimmung mit den modernen Erkenntnissen der Physik der kondensierten Materie stehen: (i) Die resultierenden Kraftfelder ermöglichen periodische bzw. aperiodische Teilchenanordnungen und machen damit die Existenz von Kristallen bzw. amorphen Festkörpern und Flüssigkeiten plausibel (Abb. 7). (ii) Mit zunehmender Teilchengröße nimmt die Stärke der Wechselwirkungskräfte ab (wie am Beispiel in Abb. 9 illustriert) und die Bindungskräfte in den Teilchen sind größer als jene zwischen ihnen. Diese Tendenzen stimmen mit unseren heutigen Erkenntnissen überein: Die Quarks in einem Proton oder Neutron sind so stark gebunden, dass sie bisher noch nicht isoliert werden konnten. Die für die Zertrümmerung von Atomkernen erforderlichen Energien sind i.A. sehr hoch, für das Aufbrechen von Atomen, Molekülen, makroskopischen Körpern werden sie zusehends kleiner, bis hin zu den schwachen Gravitationskräften⁴⁹, welche die astronomischen Gebilde und Gesetze dominieren. (iii) Qualitativ bleibt der oszillatorische Potentialverlauf der *lex virium* häufig (wie im Beispiel der Abb. 9) auch bei den Partikeln

⁴⁷ Auf Bewegungsmoden der *puncta* in kleinen Partikeln geht Boscovich u.a. in der *Theoria*, *Pars II*, § 230ff. ein. Ein Beispiel erläutert Stipe Kutleša in Kap. 5.1 seines Beitrages zu diesem Band.

⁴⁸ Als Ursache für die *agitatio* zieht Boscovich chemische Reaktionen, äußere mechanische Kräfte und vor allem Wärme/Hitze in Betracht. Er vertritt damit (wie Newton) die moderne Ansicht, dass Wärme keine Substanz, sondern der Ausdruck heftiger innerer Bewegung von Teilchen ist (*Theoria*, *Pars III*, § 507).

⁴⁹ Natürlich sind die im Weltraum wirkenden Kräfte riesengroß. Das liegt aber an den immensen Massen der Himmelskörper. Bezogen auf die Masseneinheit ist die Gravitation – verglichen mit den anderen drei elementaren Kräften – eine sehr schwache Kraft (s. Abb. 5).

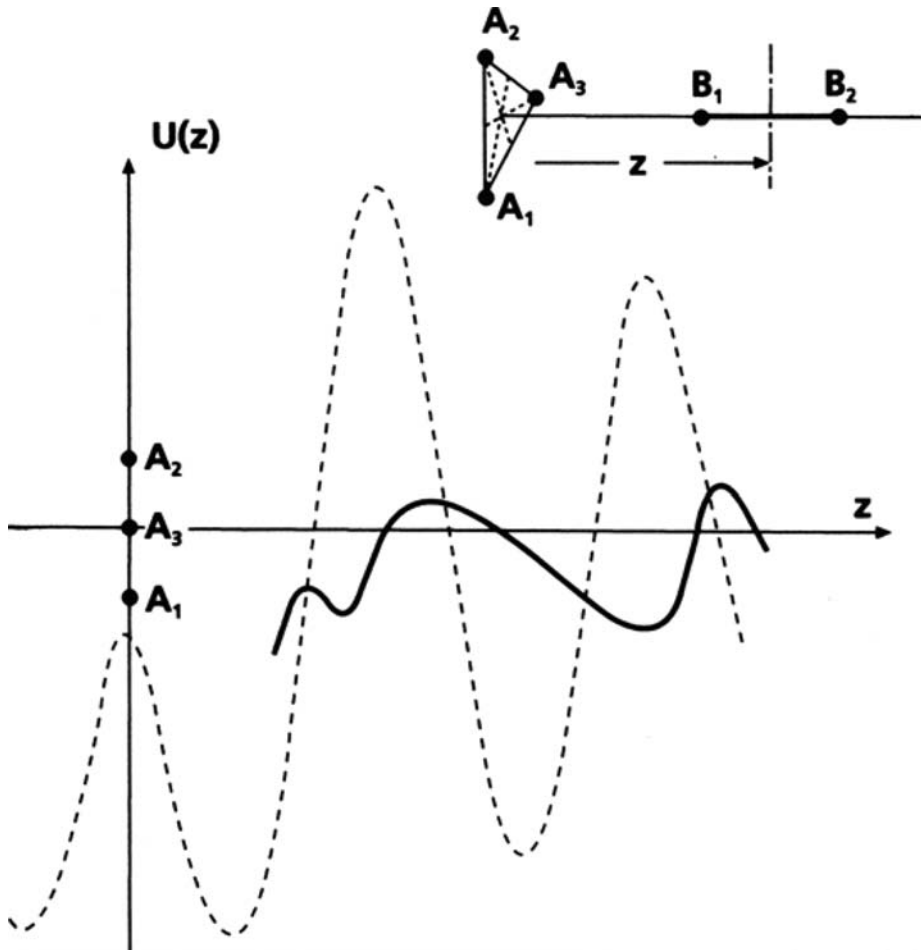


Abb. 9: Wechselwirkungspotential eines 3-Punkt Partikels mit einem 2-Punkt Partikel (durchgezogene Kurve) für die im Bild oben rechts skizzierte Konfiguration. z ist der Abstand des Mittelpunktes des 2-Punkt Partikels vom Zentrum des 3-Punkt Teilchens. Zum Vergleich ist die viel stärkere Wechselwirkung des 3-Punkt Teilchens mit einem einzelnen *punctum* als gestrichelte Kurve angegeben.

erhalten. Es gibt also nicht nur bei den *puncta*, sondern auch bei den Teilchen höherer „Ordnung“ Abstoßung, Anziehung und *limites cohaesionis*. Boscovich macht davon in *Pars III* der „Theoria“ (*Applicatio „Theoria“e ad Physicam*) ausführlich Gebrauch, um ein breites Spektrum von Materieeigenschaften zu erklären. Es reicht von relativ einfachen *phaenomena*, wie Gewicht, Elastizität, mechanische Festigkeit, Duktilität und Viskosität über chemische Affinität und Löslichkeit, Elektrizität und Magnetismus, Licht und Feuer bis hin zu Sinneseindrücken wie Riechen, Tasten, Schmecken und Hören.

Ich möchte hier nur zwei im 18. Jh. viel diskutierte allgemeine Fragen erwähnen, wo die *Theorie* erstmals Antworten geben konnte, die bis heute gültig sind. In § 366–370 zeigt Boscovich, dass Materie von Partikeln durchdrungen werden kann, wenn diese ausreichend hohe Geschwindigkeiten (d.h. kinetische Energien) haben. Er beseitigt damit das Dogma

von der Undurchdringbarkeit der Materie und widerspricht jenen Interpretationen seiner „Theoria“, welche die Undurchdringbarkeit der *puncta* mit jener der Materie verwechseln. Die zweite Frage betrifft die damals verwunderliche Tatsache, dass die Härte und Festigkeit von Stoffen nicht mit ihrer Dichte (Schwere) korreliert. Jeder wusste, dass es harte (Diamant) und weiche (Tal) leichte Materialien, und harte (Wolframertz) und weiche (Gold, Blei) schwere Materialien gibt, oder dass weichgeglühtes Eisen durch Hämmern stark gehärtet werden kann, ohne dass sich dabei seine Dichte merklich ändert. Die „Theoria“ liefert dafür eine zumindest qualitative Erklärung durch die Erkenntnis, dass die verschiedenen Eigenschaften der Stoffe auf Unterschieden zwischen ihren Partikeln beruhen, die wiederum hauptsächlich durch die verschiedenen Konstellationen ihrer *puncta* verursacht werden.

Bei der Anwendung der „Theoria“ auf die oben angesprochene Vielfalt von *phaenomena* muss sich Boscovich aus vielerlei Gründen auf qualitative und sehr vage Aussagen beschränken. In einigen kam er den modernen Erkenntnissen sehr nahe, viele andere haben sich als unzutreffend erwiesen und muten aus heutiger Sicht eher befremdlich an. Dies gilt besonders für seine Interpretationen physiologischer Prozesse, deren komplexe Abläufe ja selbst heute erst ansatzweise geklärt sind. Wir können uns deshalb der Einschätzung anschließen, die einer der Biographen⁵⁰ Boscovichs über dessen Bemühungen äußert, Materialeigenschaften in so umfassender Weise zu erklären: „In 1758 few quantitative data were available and this part of the „Theoria“ could only be inspired guesswork. That is what his applications are: guesses, sometimes rendered valid up to a point, by his powerful conception of fundamental atomic structure as arrangements of points. In some of his applications [...] he came close to the present ideas; in others such as those concerned with light, heat, electricity, and magnetism his guesses display no great prevision – they are what could be expected in 1758“.

Man könnte Boscovich vorwerfen, nicht erkannt zu haben, dass zu seiner Zeit die Voraussetzungen für sein ambitiöses Vorhaben, eine umfassende Theorie aller Naturphänomene zu schaffen, nicht gegeben waren. Dann würden wir uns jedoch dabei ertappen, heutige Maßstäbe und Wortbedeutungen auf die Zeit vor 250 Jahren zu übertragen. Eine naturwissenschaftliche Theorie im modernen Sinne muss neue Phänomene voraussagen können und muss falsifizierbar sein⁵¹. Beide Kriterien kann die „Theoria“ aus mehreren Gründen⁵² nicht erfüllen, und wir würden sie heute deshalb eher als Hypothese oder Spekulation (im guten Sinne⁵³) bezeichnen. Ferner scheint das Wort *explicare*, das Boscovich immer wieder verwendet („Meine Theorie erklärt ...“) in der Wissenschaftsterminologie des 18. Jh. eine weniger quantitative Bedeutung gehabt zu haben als jetzt (heute würden wir statt dessen sagen: „Meine Hypothese macht plausibel ..., ist kompatibel mit ...“). Wir haben also keinen Grund, Boscovich wegen seiner heute manchmal als „Überstrapazieren“ empfundenen Anwendung der „Theoria“ auf komplexe Phänomene zu kritisieren⁵⁴. Seine Naturphilosophie war vielmehr ein mutiger und nachhaltiger Schritt auf dem Weg zum modernen Verständnis der Mikrostruktur und der Eigenschaften der Materie. Die Gründe hierfür werden im folgenden letzten Kapitel rekapituliert.

⁵⁰ Lancelot Law Whyte, Boscovich's Atomism, In: Roger Joseph Boscovich (Ed. L.L. Whyte), London (1961), 102.

⁵¹ Karl R. Popper, Logik der Forschung, Tübingen (1969).

⁵² Näheres s. z.B. Ullmaier (Anm. 45) 91–95, 113–115.

⁵³ Früher hatte dieser Begriff einen guten Klang, denn unter dem lat. *Speculatio* (= Auskundschaften) verstand man ein Denken, das die unmittelbare Erfahrung übersteigt und versucht, die fundamentalen Prinzipien der Wirklichkeit zu ergründen.

⁵⁴ Während Boscovichs Vorgehen historisch bedingt und notwendig war, sind die – sicher gut gemeinten – Überinterpretationen der Theoria durch einige moderne Autoren, welche in ihr schon Quark-Confinement, Pauli Prinzip, Quantenfeldtheorie, Existenz von Makromolekülen, etc. enthalten sehen, eher hinderlich, die wahre Bedeutung der Theoria zu erkennen und zu würdigen.

4. Abschließende Bemerkungen

Boscovich war der erste, der das Wagnis unternahm, eine allumfassende Erklärung der materiellen Welt – beginnend bei ihren elementarsten Bausteinen bis zu ihren komplexesten Phänomenen – zu liefern. Er war sich der Größe und des Risikos seiner Anstrengungen offenbar von Anfang an bewusst, denn schon 1745, in der Einleitung zu *De viribus vivis*, sagt er: „*At quid nocebit tentasse. Si res minus prospere cesserit, licebit saltem usurpare vulgatissimum illud: vel contendisse decorum est*“⁵⁵. Wir können diesen Sätzen – besonders dem letzten – nur voll zustimmen. Nach zehn Jahren intensiver Arbeit wähnt sich Boscovich offenbar am Ziel, denn selbstbewusst beginnt er sein Hauptwerk *Philosophiae naturalis* „Theoria“ in § 1 mit der Feststellung: „Die folgende Theorie [...] stellt ein System dar, das in der Mitte zwischen dem von Leibniz und dem von Newton liegt; es hat sehr viel gemein mit beiden, und unterscheidet sich sehr stark von beiden; und es ist immens viel einfacher als beide, es ist unzweifelhaft in einem wunderbarem Maße geeignet, alle allgemeinen Eigenschaften von Körpern und bestimmte spezielle Eigenschaften durch strengste Beweisführung herzu-leiten“. Der letztgenannte Anspruch⁵⁶ kann heute, nach 250 Jahren intensiver Erforschung der Materie, natürlich nicht mehr gelten, und wir haben einige Gründe hierfür kurz erwähnt.

Wurden deshalb die meisten speziellen Aussagen und Anwendungen der „Theoria“ in den Jahrzehnten nach ihrer Veröffentlichung in zunehmendem Maße obsolet, diente Boscovichs Naturphilosophie vielen seiner Nachfolger im 19. und frühen 20. Jh. – bewusst oder unbewusst⁵⁷ – als Ideengeber und Strategie für ihre bahnbrechenden Arbeiten, die zu großen Fortschritten in der Physik des Mikrokosmos geführt haben. Besonders nachhaltige Wirkung hatten die folgenden qualitativen Aspekte und Aussagen, die Boscovichs Genie erstmals formulierte:

- Zur Erforschung und Beschreibung des Mikrokosmos müssen wir uns vom Primat der Sinneseindrücke lösen und unsere Fähigkeit zur **Abstraktion** einsetzen, auch wenn wir damit von „anschaulichen“ Erklärungen Abschied nehmen müssen. Heute ist die Mathematisierung der theoretischen Physik vollkommen und unsere Versuche, „Bilder“ von ihren Aussagen zu machen, sind meist unzulänglich oder manchmal sogar irreführend.
- Die *puncta* als **einheitliche punktförmige Elementarteilchen** ohne innerer Struktur (die ja einer erneuten Erforschung und Erklärung bedürfte), die dadurch ununterscheidbar und beliebig austauschbar sind, entsprechen durchaus den Zielvorstellungen der gegenwärtigen „Grand Unification“-Versuche (ausgenommen die Stringhypothesen).
- Die lückenlose Erfüllung des Raumes mit den von den *puncta* ausgehenden Kräften ersetzte Newtons ominösen leeren Raum (*horror vacui*) als Übertragungsmedium von Fernkräften und weist auf den modernen **Feldbegriff**.

⁵⁵ „Aber was kann es schaden, wenn man es versucht? Wenn die Sache weniger gelungen zu Ende kommt, wird es zumindest erlaubt sein, von jenem bekannten Spruch Gebrauch zu machen: Es ist eine Ehre, sich bemüht zu haben“.

⁵⁶ Am Ende der *Theoria*, § 522, relativiert Boscovich selbst diesen Anspruch: „... dass die Eigenschaften untersucht werden sollen, obwohl aus ihrer Aufdeckung niemals die innerste Quelle der Eigenschaften erreicht werden kann; dass nichts als leere Worte erzeugt werden können, wenn fundamentale Eigenschaften untersucht werden. [...] Obwohl wir die intrinsische Natur der Körper nicht ausspähen können, dürfen die Bemühungen nicht aufgegeben werden, die Natur zu untersuchen“, und später (§ 523): „Ich nehme an, dass die Erlangung von Wissen über die Struktur spezifischer Körper auch in Zukunft äußerst schwierig sein wird; dass sie ganz und gar unmöglich sein wird, wage ich nicht zu behaupten“.

⁵⁷ Kelvin sagt dazu in seinen *Baltimore Lectures on Molecular Dynamics and Wave Theory of Light* (Lecture XVII, 300/301, London 1904): „... that the truth of nature can be explained by a proper law of force according to the Boscovichian doctrine which we now accept (many of us without knowing that we do so) as the fundamental hypothesis of physics and chemistry“.

- Die *puncta* und die Form des Kraftgesetzes beseitigten das Dogma von der Undurchdringbarkeit von Materie und, noch bedeutsamer, ermöglichten stabile Lagen der *puncta* bei Abständen, wo die Kraft von Abstoßung zu Anziehung wechselt.
- Diese *limites cohaesionis* sind die Voraussetzung für die Bildung von Punkttagglomeraten (*particulae*) mannigfaltigster innerer Anordnung, Größe und Form. Damit wurden die vielen verschiedenen Atome der „klassischen“ Atomlehre abgelöst durch einheitliche Elementarteilchen als Bestandteile von Partikeln verschiedener Struktur. Heute wissen wir, dass die Eigenschaften mikroskopischer Teilchen (Hadronen → Atomkerne → Atome → Moleküle bzw. Festkörperelemente) in der Tat entscheidend durch die Struktur bzw. räumliche Anordnung ihrer Bestandteile bestimmt werden.
- Durch die Postulierung identischer Elementarteilchen und eines universellen Kraftgesetzes stand Boscovich am Anfang des Strebens nach einer Vereinheitlichung der elementaren Bausteine der Materie und der Kräfte, die sie zusammenhalten⁵⁸. In den 250 Jahren, die seit der Formulierung der „Theoria“ vergangen sind, wurden die Anstrengungen zur Verwirklichung dieses Traumes durch viele Erfolge belohnt. Ein Ende, an dem einheitliche Elementarteilchen und eine universelle Kraft stehen, ist jedoch nicht in Sicht (s. unten).

Der letzte Punkt verführt zu einem Vergleich der Situation der Physik zur Zeit Boscovichs und der von heute. Vor etwa 250 Jahren begannen die Wissenschaftler die Denk- und Arbeitsweise und das mathematische Rüstzeug, das von ihren Vorgängern Galilei und Kepler bzw. Newton und Leibniz und deren Zeitgenossen geschaffen worden war, so erfolgreich zur Beschreibung einer Vielfalt von speziellen physikalischen Fragestellungen anzuwenden, dass die Naturwissenschaften über eine lange Zeitspanne vom mechanistisch-deterministischen Weltbild beherrscht wurden. Hinsichtlich „Vereinheitlichung“ war die Bilanz in dieser Periode scheinbar positiv: Mit den Maxwellschen Gleichungen (1861–1864) gelang die Vereinigung der elektrischen und magnetischen Kraft und die Vielzahl der verschiedenartigen Atome konnte auf nur zwei Elementarbausteine – Elektronen und Protonen – reduziert werden.

Der nach der Wende vom 19. zum 20. Jh. einsetzende Wechsel von der „klassischen“ zu der von Quantenmechanik und Relativitätstheorie dominierten „modernen“ Physik brachte vorerst keine Änderung der Situation. Bald wurden jedoch mit der starken und schwachen Wechselwirkung zwei neue elementare Kräfte entdeckt und die Möglichkeit, Teilchenreaktionen bei immer höheren Energien zu untersuchen, führte zu einer fast inflationären Zunahme von ‚elementaren‘ Teilchen. In den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts führten Fortschritte in der Elementarteilchentheorie und dadurch angeregte gezielte Experimente an Hochenergie-Beschleunigern zu einer Trendwende: Aufbauend auf den Prinzipien der äußerst erfolgreichen Quantenelektrodynamik wurden analoge Theorien für die starke und schwache Wechselwirkung entwickelt. Bald darauf gelang mit der inzwischen experimentell bestätigten Theorie der sog. elektroschwachen Wechselwirkung die Vereinigung der elektromagnetischen und der schwachen Kraft. Mit Hilfe der Gruppentheorie, einem Teilgebiet der Mathematik, deren zugrundeliegendes Prinzip der Begriff der Symmetrie ist (s. Anm. 35), konnte der ‚Teilchenzoo‘ geordnet und auf 6 Quarks und 6 Leptonen als ‚elementare‘ Teilchen zurückgeführt werden. Die Kräfte zwischen ihnen werden durch

⁵⁸ John David BARROW schreibt dazu In: *Theories of Everything*, Oxford (1990): „One of the most remarkable and neglected figures in the history of modern European science was Roger Boscovich. [...] he was the first to envisage, seek, and propose a unified mathematical theory of all forces of Nature. His continuous force law was the first scientific Theory of Everything. Perhaps, in the eighteenth century, only a generalist like Boscovich, who successfully unified intellectual and administrative activities in every area of thought and practice would have the presumption that Nature herself was no less multicultural“.

sog. Austauschteilchen vermittelt, was dazu führt, dass jede Kräftetheorie zugleich eine Teilchentheorie ist. Zusammengenommen ergeben diese Erkenntnisse ein aktuelles Bild der Materie, das als Standardmodell bezeichnet wird (Abb. 5).

Bisher gibt es keine experimentellen Ergebnisse, die dem Standardmodell widersprechen, vielmehr liefert es eine konsistente und präzise Beschreibung aller bislang untersuchten Teilchenreaktionen. Es gilt deshalb für den derzeit zugänglichen Energiebereich als gut gesichert, obzwar noch einige Fragen offen sind, wie z.B. die nach der Existenz eines Teilchens, das von P. Higgs postuliert wurde, um die Teilchenmassen im Standardmodell erklären zu können (man hofft, dieses Higgs-Boson im LHC Beschleuniger im CERN nachweisen zu können). Ermutigt durch die erfolgreiche Beschreibung der elektromagnetischen, schwachen und starken Kraft durch die entsprechenden Quantenfeldtheorien und die Vereinigung der beiden ersten, sind die Physiker und Mathematiker anscheinend auf gutem Wege, eine ‚Große‘ einheitliche Theorie (GUT = Grand Unified Theory) zu entwickeln, welche die elektroschwache und die starke Wechselwirkung miteinander verknüpft. Einige ihrer Voraussagen, wie z.B. die extrem lange Lebensdauer der Protonen, wurden inzwischen indirekt experimentell verifiziert. Trotz dieser beeindruckenden Erfolge harren noch viele und große Probleme einer Lösung. Hier nur einige Beispiele:

- Eine direkte experimentelle Bestätigung einer GUT erscheint aus heutiger Sicht unmöglich. Während die Energie für den Nachweis elektroschwacher Teilchen bei 10^{11} eV liegt, wäre zur direkten Beobachtung der ‚Großen‘ Vereinigung eine Energie von 10^{24} eV erforderlich – ein Wert, der um viele Größenordnungen höher liegt, als mit erdgebundenen Beschleunigern erreicht werden kann (zum Vergleich: der Large Hadron Collider LHC im CERN mit 27 km Umfang und Baukosten von etwa 10 Mrd. € wird Energien von 14 TeV, also ca. 10^{13} eV erreichen).
- Das Standardmodell macht für sehr hohe Energien ($> \text{ca. } 10^{12}$ eV) unsinnige Voraussagen. Außerdem enthält es so viele „elementare“ Teilchen (Abb. 5) und freie Parameter, dass es wohl nicht die ultimative einheitliche Theorie sein kann.
- Die Gravitation hat sich bisher beharrlich einer quantenfeldtheoretischen Beschreibung entzogen. Von ihrem hypothetischen Austauschteilchen, in Anlehnung an die anderen Kräfte Graviton benannt, fehlt noch jede Spur.
- Es ist noch kein Mechanismus bekannt, welcher im sehr frühen Universum die Asymmetrie zwischen „unserer“ Materie und der Antimaterie erzeugt hat.
- Woraus bestehen die „Dunkle Materie“ und die „Dunkle Energie“, welche die Astrophysiker aus ihren neuesten Messungen folgern, und die zusammen 95 % des Materie- und Energieinhaltes unseres Universums ausmachen sollen?

Diese und andere ungelöste Fragen hielten einige Theoretiker nicht davon ab, an einer „Weltformel“ oder „Theory of Everything“ (TOE) zu arbeiten, die auch die Gravitation einschließt. Nach anfänglichem Optimismus, der von den Medien kräftig geschürt wurde, ist es um diese Bemühungen wieder ruhiger geworden und es mehren sich die Zweifel⁵⁹, ob das Ziel erreicht werden kann, das z.B. Stephen Hawking, eine tragische Ikone dieser Entwicklung, vorgab⁶⁰: „Wenn wir jedoch eine vollständige Theorie entdecken, dürfte sie nach einer gewissen Zeit in ihren Grundzügen für jedermann verständlich sein [...]. Dann werden wir uns alle – Philosophen, Naturwissenschaftler und Laien – mit der Frage auseinandersetzen können, warum es uns und das Universum gibt. Wenn wir die Antwort auf

⁵⁹ Siehe David LINDLEY, Das Ende der Physik. Vom Mythos der Großen Vereinigung, Basel (1994) oder, mit Schwerpunkt auf das Verhältnis Naturwissenschaften – Religion, Hans KÜNG, Der Anfang aller Dinge, München (2005). Hinweise zu Boscovichs Meinung zur Zukunft der Erforschung der Materie geben die in Anm. 56 zitierten Sätze.

⁶⁰ Stephen HAWKING, Eine kurze Geschichte der Zeit, Reinbek (1988) 218.

diese Frage fänden, wäre dies der endgültige Triumph der menschlichen Vernunft – denn dann würden wir Gottes Plan kennen“.

Anstatt mich auf Diskussionen dieser Art einzulassen, möchte ich zum Abschluss meines Beitrages eine Bemerkung zur Methode der Materieforschung machen. Seit Galilei basieren fast alle Erfolge und Fortschritte der Naturwissenschaften lange Zeit auf zwei Pfeilern: (1) Dem Wechselspiel Experiment \leftrightarrow Theorie, und (2) der Methode der Analyse/Reduktion, d.h. des Zerteilens komplexer Gebilde in einfachere (wie für die Teilchenphysik in der mittleren Spalte der Abb. 2 dargestellt). Auf vielen Feldern wird dieses Vorgehen auch in Zukunft zu Erfolgen führen. Auf anderen, die darauf beruhen, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Bestandteile, versagt die Methode der Analyse/Reduktion und wird in zunehmendem Maße durch eine eher holistische Betrachtungsweise ersetzt oder zumindest ergänzt (Stichwort: ‚Komplexe Systeme‘, die im Allgemeinen der Selbstorganisation fähig sind, ein Begriff, der mit Konzepten wie ‚dissipative Strukturen‘, ‚Hyperzyklus‘, ‚Synergetik‘, usw. verknüpft ist). Das wichtigste Beispiel dafür sind sicherlich die Lebenswissenschaften, aber es wäre auch lächerlich, beispielsweise einen Tornado oder den Golfstrom mit Hilfe von Quarks verstehen zu wollen.

In der zukünftigen Elementarteilchenphysik ist es jedoch eher der Pfeiler (1), der wegbrechen wird. Oben wurde schon erwähnt, dass eine direkte Beobachtung der Vereinigung der elektroschwachen mit der starken Kraft bei einer Energie zu erwarten ist, die für erdgebundene Beschleuniger unvorstellbar hoch ist. Für die vollständige Vereinigung („Quantengravitation“) wäre die entsprechende Energie noch zehntausend Mal höher (mit der heute verfügbaren Technik würde ihre Erreichung einen Ringbeschleuniger mit 1000 Lichtjahren Umfang erfordern!).

Es könnte also sein, dass die Elementarteilchenphysiker in nicht allzu ferner Zukunft in eine ähnliche Lage kommen, in der Boscovich vor 250 Jahren war. Wie er (s. rechte Spalte in Abb. 2) müssten sie dann – wenn auch aufgrund des heute verfügbaren Wissens auf ganz anderer Ebene – nach einem auf rationalen Annahmen beruhenden mathematischen System suchen, welches, beginnend bei den Grundbausteinen, durch Synthese bis hinauf zu den experimentell zugänglichen Teilchen aufsteigt⁶¹. Doch so wie Boscovich vor 250 Jahren das Elektronenmikroskop und den Teilchenbeschleuniger nicht voraussehen konnte, wissen auch wir nicht, ob eines Tages etwas Neues entdeckt wird, was das oben skizzierte Szenario verändert und damit das schon wiederholt prognostizierte „Ende der Physik“ wieder in die fernere Zukunft verschiebt.

Obwohl neue naturwissenschaftliche Entdeckungen und Ideen oft überraschend erscheinen, basieren sie immer und ausnahmslos auf vorangegangenen Erkenntnissen. Boscovichs Naturphilosophie war eine wichtige Sprosse auf der Entwicklungsleiter unseres Wissens. Wer könnte dies besser bestätigen als der große Physiker Niels Bohr: *Unsere Wertschätzung für die Zielstrebigkeit von Boscovichs großartigem wissenschaftlichen Werk und die zugrunde liegende Inspiration wächst umso mehr, je mehr wir erkennen, in welchem Ausmaß sie den Weg für spätere Entwicklungen bereiteten. [...] Im Verfolg solch neuer Entwicklungen ist es unerlässlich, dass wir nicht nur die Augen für unvorhersehbare Entdeckungen offen halten, sondern dass wir uns auch immer bewusst sind, auf den Fundamenten zu stehen, welche die Pioniere der Wissenschaft errichtet haben*⁶².

⁶¹ Wenn die Synthese vorher steckenbliebe, die experimentelle Überprüfbarkeit also ausfallen würde, welche Kriterien blieben dann für die Wahrheitsnähe solch einer allumfassenden „Theorie“? Ihre mathematische Strenge und Schönheit?

⁶² Übersetzung aus einem in Englisch gehaltenen Diskussionsbeitrag von Niels BOHR In: Actes du Symposium international „Ruder Bošković“ (1958 in Dubrovnik), Belgrad – Zagreb – Ljubljana (1959), 28 und 29.

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag ist ein Versuch, die Aussagen in Boscovichs Naturphilosophie mit dem heutigen Bild der Materie zu vergleichen. Nach einer kurzen Einleitung wird die Geschichte der Erforschung der Mikrostruktur von Leukipps Atomen, deren Unteilbarkeit an der Wende vom 19. zum 20. Jh. aufgegeben werden musste, bis zum derzeitigen ‚Standardmodell‘ der Elementarteilchenphysik rekapituliert. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung bis zum Bohrschen Atommodell, während der nachfolgende Zeitraum wegen der Fülle der Ergebnisse und ihrem offenbar notwendigen vollständigen Mathematizismus nur kurz behandelt werden kann. Danach werden die Grundlagen und die wichtigsten Aussagen von Boscovichs *Philosophiae naturalis* „Theoria“ dargestellt und erörtert, warum sie keine Theorie im heutigen Sinn ist und ihre Ergebnisse nur rein qualitativer Art sein konnten. Trotzdem war die „Theoria“ ein unverzichtbarer Schritt auf dem Weg der Erforschung des Mikrokosmos, und diente vielen Physikern und Chemikern im 19. und frühen 20. Jh. als Ideengeber und Strategie für ihre bahnbrechenden Arbeiten. Beispiele für Aspekte, die Boscovich Genie erstmals formulierte, sind: die Notwendigkeit, sich vom Primat der Sinne zu lösen und unsere Fähigkeit zur Abstraktion einzusetzen, die Ablösung der Newtonschen Fernkräfte durch Kraftfelder, die Wichtigkeit der Anordnung (Struktur) der Teilchen bei der Bildung komplexerer Gebilde, usw. Schließlich stand Boscovich auch am Anfang des Strebens nach einer Vereinheitlichung der elementaren Bausteine der Materie und der Kräfte, die sie zusammenhalten. In den 250 Jahren seit der Postulierung seiner einheitlichen *puncta* und der einheitlichen *lex virium* wurden zwar viele Fortschritte gemacht, ein Ende, an dem einheitliche Elementarteilchen und eine universelle Kraft stehen, ist jedoch nicht in Sicht. Derzeit erscheint es unmöglich, das Ziel (wenn überhaupt!) mit der bisher so erfolgreichen Methode des Wechselspiels Experiment \leftrightarrow Theorie zu erreichen und es könnte sein, dass die Elementarteilchenphysiker in nicht allzu ferner Zukunft wie Boscovich – wenn auch aufgrund des heutigen Wissens auf ganz anderer Ebene – nach einem auf rationalen Annahmen basierenden mathematischen System suchen müssen, welches, beginnend bei den Grundbausteinen, durch Synthese bis hinauf zu den experimentell zugänglichen Teilchen aufsteigt.

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, Ruđe 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 tief verwurzelten 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 lege virium in natura existentium*. Editio veneta prima, Remondini, (Venetiis 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 exiguam, & 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.

R. WERNER SOUKUP (Wien)

VON DER *CURVA BOSCOVICHIANA* IN „*DE VIRIBUS VIVIS*“
ZUR H_2^+ -POTENTIALKURVE

Boscovich und die moderne theoretische Chemie

Bereits in seiner *dissertatio* „*De viribus vivis*“ von 1745 verwendete Ruder Boscovich eine Kurve mit sehr hohen Werten nahe am Ursprung, einem Minimum in etwas größerer Entfernung und einer asymptotischen Näherung an die x-Achse für große Abstände, um die Stabilität der Materie sowie einige Zustandsänderungen nach Energiezufuhr theoretisch zu erfassen. Er deutete an, dass auch chemische Reaktionen mit Hilfe dieser Kurve erklärt werden können.

Ganz ähnliche Kurven findet man in aktuellen Lehrbüchern der Theoretischen Chemie. Hat demnach Boscovich wesentliche Erkenntnisse der Chemie vorweggenommen? Ist es gerechtfertigt, Ruder Boscovich als den eigentlichen Begründer der noch heute gültigen Sicht vom Aufbau der Materie zu bezeichnen? In welcher Weise wurden die Konzepte eines Boscovich rezipiert? Gibt es eine Tradition in der Chemie, die von Boscovich bis heute verfolgbar ist?

1. Potentialkurven für Atome und Moleküle

1.1 Warum fallen Elektronen nicht in den Atomkern?

Das einfachste Atom ist in heutiger Sicht das Wasserstoffatom. Dieses besteht – wie wir seit 1913 wissen – aus zwei Elementarteilchen: einem elektrisch positiv geladenen Proton und einem elektrisch negativ geladenen Elektron. Als Niels Bohr dieses Modell des Atoms vorstellte, konnte er allerdings die Frage nicht beantworten, warum das Elektron eigentlich nicht in den Kern fällt. Mit anderen Worten: Eigentlich sollte die Materie in sich zusammenstürzen. Warum tut sie das nicht?

Die Antwort auf diese Frage ergab sich erst nach der Erkenntnis, dass man Elektronen an einem Atomkern konsequent als Wellen beschreiben muss. Nach der von Heisenberg erstmals 1927 beschriebenen Unschärferelation wäre bei einem Elektron sehr nahe am Kern die Ortsunschärfe sehr klein, daher müsste die Impulsunschärfe groß sein. Eine große Impulsunschärfe würde zu relativ großen mittleren Impulsen führen, folglich wäre die mittlere kinetische Energie hoch. Salopp ausgedrückt: Ein Elektron sehr nahe am Kern hat eine extrem hohe kinetische Energie. Da aber Energie nicht beliebig zur Verfügung steht, ist dieser Zustand unwahrscheinlich.

Umgekehrt ist die potentielle Energie eines Elektrons weit weg vom Kern auch nicht günstig. Summiert man die beiden Energien in Abhängigkeit vom Abstand des Elektrons vom Kern, so stellt sich heraus, dass es an einem ganz bestimmten Punkt ein Minimum der Gesamtenergie gibt. Das ist beim so genannten Bohrschen Atomradius der Fall. Man spricht vom Grundzustand des Atoms. Die Elektronenwelle weist keinen Vorzeichenwechsel auf. Man kann eine Analogie zur Musik herstellen: Dieser Zustand entspricht dem tiefsten möglichen Ton eines Musikinstrumentes – dem Grundton.

Die Kurve der Gesamtenergie sieht für das Wasserstoffatom im Grundzustand so aus:¹ Abb. 1.

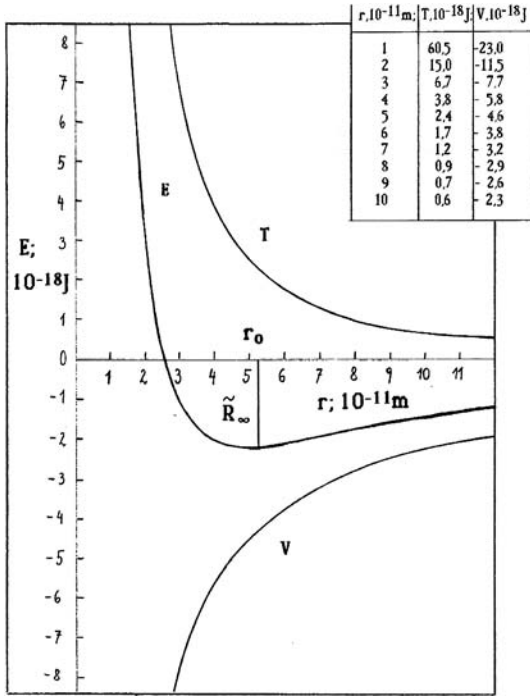


Abb. 1: Quantentheoretische Abschätzung des Bohrschen Radius r_0 und der Gesamtenergie E für das H-Atom:

$E = T + V$; $E = h/2\pi r^2 - e^2/4\pi \cdot \epsilon_0$ unter Anwendung der Näherung $r \cdot p = h/2\pi$ [E = Gesamtenergie; T = kinetische Energie; V = potentielle Energie; h = Plancksches Wirkungsquantum; e = Elektronenladung; m = Elektronenmasse; r = Abstand des Elektrons vom Proton; ϵ_0 = Dielektrizitätskonstante des Vakuums; p = Elektronenimpuls]

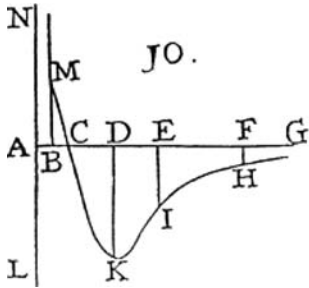


Abb. 2: Ruder Josip Boscovich „De viribus vivis“ 1745: Atome als Zentren anziehender und abstoßender Kräfte.

Eine ganz ähnliche Kurve hat Boscovich erstmals in seiner *dissertatio* „De viribus vivis“ (Rom 1745) als *figura 10* dargestellt (Abb. 2).² Er argumentierte etwa folgendermaßen: Die

¹ Nach WERNER KUTZELNIGG, „Was ist Chemische Bindung?“. In: Angewandte Chemie 85, 1973, 554.

² Boscovich verwendet Kurven, bei denen er die Kraft gegen den Abstand aufträgt. Wir verwenden heute Potentialkurven. Auf diesen Unterschied hat Hans Ullmaier hingewiesen. Es gilt eine einfache Umrechnung: $F = -dU/dx$. Die Kraft ist demnach nichts anderes als die negative erste Ableitung des Potentials. Um exakte Abbildbarkeit zu erzielen, gilt: Das Minimum des Potentials entspricht einem Nulldurchgang der Kraftkurve und das Minimum der Kraftkurve entspricht einem Wendepunkt beim Potential. Da Boscovich nur qualitativ argumentiert, ergibt sich zwischen beiden Darstellungen kein für die Diskussion relevanter Unterschied.

Materie neigt dazu sich zusammenzuballen, z.B. Wasserdampf zu flüssigem Wasser. Daher muss es in größerer Entfernung Anziehung geben. Die Materie stürzt aber nicht in sich zusammen, deshalb muss bei geringem Abstand der konstituierenden Spezies Abstoßung vorherrschen.³

Nach Boscovich besteht die Materie aus vollkommen einfachen, unteilbaren Punkten ohne Ausdehnung. Jeder dieser Punkte besitzt Trägheit (also Masse) und es wirken Kräfte in Abhängigkeit vom Abstand der Massenpunkte zueinander: anziehende bzw. abstoßende. Der linke Ast der einfachen Boscovichkurve beschreibt die *impenetrabilitas*, die Undurchdringbarkeit von zwei Materiepunkten, der rechte die Tendenz zur Zusammenballung (unter Umständen auch durch Gravitation). 1758 erweiterte Boscovich in seinem Buch „*Philosophiae naturalis theoria*“ diese einfache Kurve durch mehrere Nulldurchgänge, Maxima und Minima um die verschiedenen Zustände der kondensierten Materie qualitativ beschreiben zu können.

Folgendes ist festzuhalten: Das Gesetz, das Boscovich für seine *puncta* angibt, gilt nach dem heutigen Verständnis für die Verhältnisse innerhalb der Atome. Dies mag überraschend sein, würde man doch intuitiv meinen, dass man Boscovichs *puncta* heute am ehesten mit Atomen identifizieren würde und man eher mit der Stabilität der aus Atomen „aufgebauten“ Moleküle konfrontiert wäre. Die Frage ist nun in der Tat: Wie sieht das moderne quantentheoretische Konzept für Moleküle aus?

1.2 Die Stabilität des einfachsten Moleküls H_2^+

Auch für Moleküle gilt: Ihre Stabilität ist ein fein abgestimmtes Spiel von potentieller und kinetischer Energie. Es ist allerdings wieder zwingend notwendig zu akzeptieren, dass es insbesondere die Welleneigenschaften der elementaren Spezies (der Elektronen) sind, die stabile Moleküle ermöglichen.

Als Geburtsstunde der quantenmechanischen Berechnung eines Moleküls gilt die 1927 erschienene Arbeit von Walter Heitler und Fritz London über das H_2 -Molekül. Robert Mulliken begründete zusammen mit Friedrich Hund einige Jahre später die Molekülorbitaltheorie, mittels derer kompliziertere Moleküle beschrieben werden konnten.

Der erste, der die chemische Bindung wirklich verstanden hat, war der 1933 von den Nationalsozialisten aus Deutschland vertriebene und 1938 von Stalins Schergen erschossene Hans Hellmann.⁴ Nach Hellmann steht den Elektronen in Molekülen ein größerer Raum zur Verfügung als in den getrennten Atomen. Ein größerer Raum bedeutet eine geringere Impulsunschärfe, die wiederum eine geringere kinetische Energie – in der Region zwischen den Atomkernen – zur Folge hat. Die Stabilität von Molekülen ist letztlich ein Interferenzphänomen, eine Folge der Wellennatur der Elektronen.

Die quantenmechanische Rechnung ist eindeutig, wir erhalten genau die Boscovichkurve (Abb. 3) für die Gesamtenergie E . Was Probleme bereitet, ist die Interpretation. Die Interpretation wurde erstmals 1933 adäquat durch Hellmann gegeben, vervollständigt 1962

³ **Begründung der figura 10:** „Weil das Wasser durch die größere Kraft, nämlich durch eine Wirkung des Feuers, in Dämpfe verwandelt wird, wobei (in diesen Dämpfen) die Teilchen aufs stärkste durch die Kräfte von einander getrennt werden und sich durch eine größere Kraft, die aus der Anziehung resultiert, bei kleineren Abständen aneinanderhängen; zur Erklärung dieser Kräfte und anderer chemischer Effekte der Teilchen wurde der Bogen der Kurve CKI in Figura 10 so gekrümmt, dass die Kurve die Achse in zwei – oder wie viele auch immer – Punkten schneidet.“

⁴ **Zu Hans Hellmann siehe:** W. H. EUGEN SCHWARZ; „Hans Gustav Hellmann (1903–1938) I. Ein Pionier der Quantenchemie“. In: Bunsen-Magazin 1999, Heft 1, 10–21, II. „Ein deutscher Pionier der Quantenchemie in Moskau“, Bunsen-Magazin 1999, Heft 2, 60–70; KARL JUG, WOLFGANG ERTMER, JOACHIM HEIDBERG, MANFRED HEINEMANN, W. H. EUGEN SCHWARZ „Hans Hellmann: Pionier der modernen Quantenchemie“, Chemie in unserer Zeit 38, 2004, 412–421.

durch Ruedenberg. Selbst Theoretiker tappen auch heute immer wieder in die Falle einer zu naiven (d.h. zu formalisierten) Sicht. Sie verstehen nicht, dass zwar die kinetische Energie bei der Bindungsbildung insgesamt leicht ansteigt, dieses Ansteigen aber einem neuen Ausbalancieren in bindungsfernen Regionen des Moleküls zuzuschreiben ist, nachdem Bindung eingetreten ist.

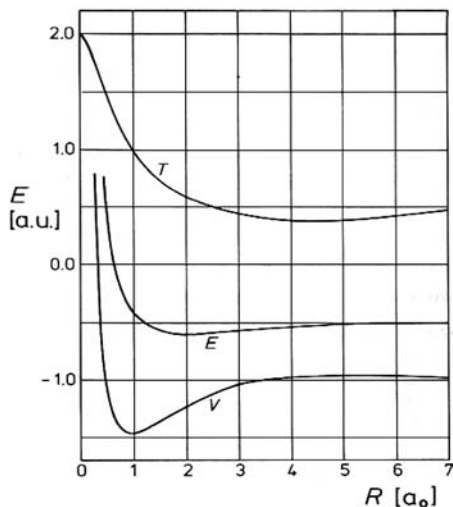


Abb. 3: Die Gesamtenergie in Abhängigkeit vom Abstand der beiden Protonen (Atomkerne) R in atomaren Einheiten a_0 im H_2^+ -Molekül in LCAO-Näherung. Es kommt zu einem Minimum der Gesamtenergie – nicht aber der kinetischen Energie – bei zwei atomaren Einheiten. Entnommen aus Kutzelnigg (1978).⁵

Wir gehen nun zu Teilchen höherer Ordnung im Sinne Boscovichs über.

1.3 Das Lennard-Jones Potential für Atome, die keine chemischen Bindungen eingehen, wie z.B. He

Das Lennard-Jones-Potential (Abb. 4) beschreibt die Wechselwirkung zwischen ungeladenen, nicht chemisch aneinander gebundenen Atomen. In großer Entfernung dominieren die anziehenden Kräfte, ab einer bestimmten Entfernung beginnt der repulsive Anteil zu überwiegen und steigt extrem schnell an. Es handelt sich bei den anziehenden Kräften vor allem um van-der-Waals-Kräfte, aber auch um *permanente* Dipol-Dipol-Wechselwirkungen. Die repulsiven Kräfte kommen durch Pauli-Repulsion zustande, sind also dadurch bedingt, dass sich Elektronen mit gleichem Spin abstoßen.

Dieses Potential kann die Bildung einer Flüssigkeit aus Atomen erklären, wobei die Substanz im gasförmigen Zustand monoatomar vorliegt. Erstmals ist dieses Potential von John Lennard-Jones (1894–1944) im Jahre 1924 vorgeschlagen worden, wobei r den Abstand der Partikel angibt.⁶

⁵ WERNER KUTZELNIGG, Einführung in die Theoretische Chemie, Bd. 2: Die chemische Bindung (Weinheim–New York 1978) 29, Abb. 10.

⁶ GEORGE. G. HALL, The Lennard-Jones paper of 1929 and the foundations of Molecular Orbital Theory. In: Adv. Quant. Chem. 22, 1991, 1.

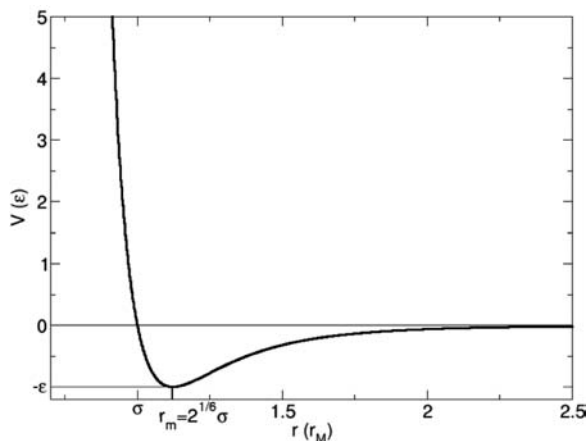


Abb. 4: Lennard-Jones-Potential zur Beschreibung von z.B. flüssigem Helium (1931).

2. Boscovichs Anwendung der Theorie auf die Chemie

In Teil III seiner „Philosophiae naturalis theoria“ (Wien 1758) diskutiert Boscovich die Konsequenzen seines Konzeptes für chemische Reaktionen:⁷

Die Prinzipien der chemischen Vorgänge werden aus der gleichen Quelle abgeleitet, nämlich aus der Unterscheidung zwischen Teilchen, einige davon (sind) inert in Bezug auf sich selbst und in Kombination mit bestimmten anderen; einige ziehen andere an, andere stoßen andere auf einen ziemlich großen Abstand ab, & die Anziehung selbst ist mit einigen größer, & mit anderen geringer, so lange bis der Abstand genügend angewachsen ist... Einige von ihnen weisen in Bezug auf andere eine sehr große Veränderung der Kräfte auf; und dies variiert, wenn die Struktur leicht geändert wird oder wenn die Teilchen neu gruppiert oder mit anderen vermischt werden; in diesem Fall gilt ein anderes Gesetz der Kräfte, das sich von dem unterscheidet, das wir bei einfachen Teilchen erfüllt sahen.

Wenn man das alles bedenkt, dann erscheint es mir überzeugend, dass in dieser Theorie eine allgemeine Theorie für alle chemischen Operationen gefunden werden kann. Weil die spezielle Bestimmung der Effekte, die sich ergeben durch all die verschiedenen Mischungen der unterschiedlichsten Körper, ..., ein eingehendes Wissen des Gefüges der einzelnen Teilchen und der Positionen erfordert, die sie in den einzelnen Massen haben, und außerdem die Analysekraft der Geometrie erfordert, so übersteigt dies die Fähigkeit des menschlichen Geistes bei weitem. (Absatz 446, Venedig 451)

Studiert man chemische Veränderungen, dann benötigt man ein intimes Wissen über die daran beteiligten Teilchen und die geometrische Anordnung aller Massenpunkte. Nach Boscovichs Meinung übersteigt dies die Fähigkeit des menschlichen Intellekts. Aber das Ziel war damit abgesteckt, die Aufgabe der Chemie angeben.

Obleich eine exakte Analyse der Kräfteverhältnisse der Teilchen in den chemischen Spezies nach Boscovich nicht möglich ist, können doch Aussagen über Substanzen gemacht

⁷ Die Übertragung des Textes erfolgte durch R. W. S. nach der Ausgabe Wien 1758, die dem Wiener Erzbischof Migazzi gewidmet war. Überprüft wurde sie mit Hilfe der Übersetzung des Textes der Ausgabe Venedig 1763 durch Child 1922: JAMES MARK CHILD, A Theory of Natural Philosophy (Chicago & London 1922). Die Ausgaben Wien 1758 und Venedig 1763 unterscheiden sich bezüglich dieses Kapitels nur in der Nummerierung der Absätze.

werden, so über solche, die von einigen zu Boscovichs Zeiten noch Elemente genannt wurden.

2.1 Die Elemente

Wie definierte Boscovich eigentlich ein Element?

Jene, die gemeinhin die Elemente, Erde, Wasser, Luft und Feuer genannt werden, sind in meiner Theorie nichts anderes als verschiedene Feststoffe und Flüssigkeiten, gebildet von gleichen homogenen Atomen – anders arrangiert; & durch die Beimischung dieser mit anderen werden andere noch mehr zusammengesetzte Spezies erzeugt. (445, Venedig 450).

Bedingung eines Elementes ist, dass die konstituierenden Atome einander gleichen.

Tatsächlich besteht Erde aus Teilchen, ..., die Verfestigung erfolgt auch durch Veränderungen der inneren Anordnung, wie es bei der Verglasung der Fall ist, ...

Besondere Beachtung verdient hier der letzte Satz, dass nämlich durch eine Änderung der inneren Anordnung (z.B. bei der Glasbildung) eine Verfestigung erfolgen kann: Die einzelnen Atome der Ausgangsstoffe des Glases (im Quarz, im Kalk und in der Soda – beispielsweise der Natriumatome oder die Calciumatome) finden sich im Endprodukt (Glas = Calcium-Natriumsilikat) in einer ganz anderen räumlichen Anordnung wieder.

Nun zum Wasser:

Das Wasser ist eine Flüssigkeit ohne Elastizität, wie die Sinne es verraten, obwohl in ihm eine starke abstoßende Kraft ausgeübt wird zwischen den Teilchen, die ausreicht, um bei einem – entweder durch eine externe Kraft oder die eigene Gewichtskraft – ausgeübten Druck, zu keiner Verringerung der Entfernungen zu führen.

Hier bringt Boscovich die Inkompressibilität des Wassers ins Spiel. Ganz anders verhält sich die Luft:

Die Luft ist eine elastische Flüssigkeit, die aller Wahrscheinlichkeit nach aus Teilchen sehr vieler verschiedener Sorten besteht, denn sie wird erzeugt aus verschiedenen Feststoffen, wie wir noch sehen werden, wenn wir über Reaktionen diskutieren. Aus diesem Grund enthält sie eine sehr große Anzahl von Dämpfen & Ausdünstungen & heterogenen Teilchen, die in ihr herumschwimmen. Ihre Partikel stoßen einander allerdings mit einer relativ großen Kraft ab.

Boscovich betrachtet die Luft als ein Substanz-Gemenge.

Das Feuer schließlich ist durch Teilchen in schneller Bewegung charakterisiert:

Das Feuer ist auch eine hochelastische Flüssigkeit, die durch die kräftigsten internen Bewegungen charakterisiert ist, es führt zu Reaktionen oder ist sogar eine solche, es strahlt Licht aus.

Das Feuer ist also nach Boscovich keine stabile Substanz, sondern das Phänomen einer Reaktion, wobei Boscovich für den Begriff der „Reaktion“ das Wort *fermentatio* verwendet. Dies ist insofern interessant, als sich ja das lateinische *fermentum* (Hefe) aus der indoeuropäischen Wurzel *bher* (Quellen, Wallen, Sieden) ableitet und somit eine allgemeinere Bedeutung hat als nur „Ferment“.

2.2 Das Auflösen

Im Absatz 447 entwickelt Boscovich eine sehr moderne Sicht des Lösevorgangs: Beim Auflösen eines Metalls werden die Kräfte zwischen den Teilchen in einem Feststoff dadurch gelockert, dass sich noch stärkere Kräfte zwischen den Lösungsmittelpartikeln und den einzelnen Teilchen des Feststoffes ausbilden.

Wenn die Teilchen des Festen, das aufgelöst wird, eine größere Anziehungskraft mit den Teilchen des Wassers aufweisen als untereinander, dann werden sie von ihrer Masse weggerissen und die einzelnen gewinnen dazu die flüssigen Teilchen, die jene umgeben, so wie die Eisenfeilspäne einem Magneten anhängen, ... (447, Venedig 452)

Das Auflösen eines Steinsalzkrystals in Wasser würde von einem heutigen Chemiker ganz im Sinne Boscovichs beschrieben werden: Die starke, zu einem Großteil auf elektrostatischen Wechselwirkungen beruhende Bindungskraft zwischen den positiv geladenen Natrium- und den negativ geladenen Chloridionen im NaCl-Kristall wird dadurch verringert, dass es zunächst an den Ecken und Kanten, später auch an den Flächen, zu einem Anlagern von Lösungsmittelmolekülen kommt. Wassermoleküle werden mit ihrem negativen Sauerstoffende von den positiven Natriumionen angezogen. Hingegen lagern sich umgekehrt Wassermoleküle mit ihrem positiven Ende (über die beiden Wasserstoffatome) an die Chloridionen an. Somit ist eine Gegenkraft zur ursprünglichen Bindungskraft gegeben und die Ionen werden aus dem Kristallverband entlassen. Nach dem Abschluss des Lösevorgangs liegen nur mehr vollständig von Wassermolekülen umhüllte Ionen vor. Die Hydratation (oder allgemeiner Solvatation) ist nun vollständig erfolgt.

Boscovich entwickelt im weiteren Verlauf eine Vision, wie so ein solvatisiertes Teilchen aussieht. Er spricht von der Sphäre des Teilchens und vergleicht die Situation mit dem Planeten Erde, der seine Lufthülle durch Gravitationskräfte an sich bindet.

Es war ein durchaus steiniger Weg in der Geschichte der Chemie zurückzulegen, bis sich die bereits von Boscovich angegebene, ausgesprochen „chemische“ Sicht des Lösens und der Lösung durchsetzte. Der „Solvatationstheorie“ zum Durchbruch verholfen hat der Nobelpreisträger des Jahres 1901 Hendricus van't Hoff. Boscovichs Theorie des Lösens war seiner Zeit unglaublich weit voraus.

Im folgenden Absatz (448, bzw. Venedig 453) macht sich Boscovich Gedanken, was eigentlich passiert, wenn versucht wird, in der Lösung einer Substanz noch eine weitere aufzulösen: Es kommt zur *praecipitatio* (Ausfällung), weil in zunehmendem Maß Teilchen des Lösungsmittels vom neu hinzukommenden Feststoff für den Aufbau von dessen Solvatationssphäre benützt werden und nun der ursprünglich gelösten Substanz nicht mehr zur Verfügung stehen. Eine bessere Beschreibung des Fällungsvorgangs vermag auch die heutige Chemie nicht zu geben.

2.3 Die Reaktion von Säuren mit Alkalien

Boscovich sagt im Abschnitt 461 (Venedig 466), dass nicht alle Substanzen mit allen anderen reagieren, sondern nur saure mit alkalischen. Dies interpretiert er im Sinne von bestimmten anziehenden und abstoßenden Kräften zwischen zwei Arten chemischer Spezies.

Das ist ein Konzept, dem auch der moderne Chemiker etwas abgewinnen kann. In der heutigen Chemie spricht man von Lewis-Basen: Das sind Spezies, die Elektronenpaare zur Verfügung stellen. Und man spricht von Lewis-Säuren. Diese sind elektrophil, d.h. sie können Elektronenpaare anziehen. Mit Hilfe dieses Konzeptes sind sehr viele Reaktionen beschreibbar, z.B. alle klassischen Säure-Base Reaktionen in wässriger Lösung, wie auch

die Neutralisation, Substitutionen in der organischen Chemie oder die Komplexbildung in der anorganischen Chemie inklusive der Solvatation.⁸

Klar thematisiert Boscovich hier den streng relationalen Charakter der Chemie, indem er betont: Es gibt Substanzen, die verhalten sich gegenüber einem ganz bestimmten Stoff als Säuren und gegenüber einem anderen als Alkalien. Jede Spezies entfaltet ihre Eigenschaften erst in der Wechselwirkung! Diese Sicht der Dinge ist als absolut „unphysikalisch“ zu apostrophieren, sie ist typisch chemisch. Boscovich meint diese „Amphoterie“ mit seiner Theorie erklären zu können: Es entstehen – je nach der Entfernung der Teilchen – unterschiedliche Kräfte(muster).

2.4 *Explosionen und Deflagrationen*

Boscovich interessierte sich in mehreren Abschnitten für einige heftige chemische Reaktionen wie Explosionen und Deflagrationen. Er argumentiert beispielsweise in Absatz 458 (Venedig 463), dass bei der Explosion von Schießpulver die Teilchen innerhalb kürzester Zeit eine gewisse Grenze überschreiten und mit einer ungeheuren abstoßenden Kraft und Geschwindigkeit auseinander streben. Dies ist der Fall, wenn bei derartigen Mischungen in der Boscovichkurve der Abstand zwischen der Abstoßung (bei sehr kleinem r) und der Anziehung (bei größerem r) gering ist.

Überhaupt – so Boscovich – löst die starke (Wärme-)Wirkung des Feuers den Zusammenhalt aller Körper auf (Absatz 450, Venedig 455). Modern ausgedrückt: Über 3000 Grad Celsius gibt es keine Chemie mehr. Die thermische Energie ist größer geworden als jegliche Bindungsenergie.

Hinsichtlich der Verflüssigung oder der Verflüchtigung von Feststoffen argumentiert Boscovich (Absatz 451, Venedig 456), dass die irreguläre Impulsübertragung (gemeint ist wohl beim Aufwärmen) zu verschiedenen Effekten der Teilchenbewegungen führen kann, so auch zu Rotationsbewegungen.

2.5 *Über die Viskosität von Flüssigkeiten*

Am Beispiel der immer größer werdenden Zähflüssigkeit von Petroleum, Naphta, Asphalt und Bitumen, spricht Boscovich in Absatz 452 (Venedig 457) davon, dass die Viskosität von der Hemmung der Bewegung der Teilchen im Kreise abhängt. Es ist bemerkenswert, dass Boscovich in diesem Zusammenhang lauter Beispiele von – modern gesprochen – „gesättigten Kohlenwasserstoffen“ heranzieht und diese gemäß einer „homologen Reihe“ aufzählt.

2.6 *Kristalle*

Feststoffe – so Boscovich in Absatz 459 (Venedig 446) – können aus Lösungen nicht nur durch *praecipitatio* gewonnen werden, sondern auch durch Verdampfung der Flüssigkeit. Die Kristallbildung in ihrer speziellen Art hat nun damit zu tun, dass die Teilchen an besonderen Seiten oder Ecken (bevorzugt) andere Teilchen anziehen. Mit anderen Worten: Die Kräfteverteilung in Kristallen ist anisotrop.

⁸ Der russische Chemiker Michail I. Usanovich (1894–1981) hat gar eine universelle Säure-Basen-Theorie aufgestellt, mit der er alle chemischen Reaktionen, so auch die Redoxreaktionen, beschreibt. Dieses Konzept hat sich leider nicht durchgesetzt. Man unterscheidet heute immer noch zwischen Elektronenpaardonatoren (Basen) und Elektronendonatoren (Reduktionsmitteln).

3. Die Chemie in Österreich zur Zeit von Boscovichs Aufenthalt in Wien

Um Boscovichs großartige Leistung deutlich werden zu lassen, sei die Situation der Chemie (Alchemie) speziell in Wien um die Mitte des 18. Jahrhundert gekennzeichnet. Zunächst ist festzuhalten, dass es nach der Gegenreformation und dem Dreißigjährigen Krieg um die Chemie schlecht bestellt war. Zahlreiche Scharlatane beherrschten die Szene. In den Laboratorien der Fürstenhöfe, in Klöstern und in Bürgerhäusern wurde versucht Gold zu kochen oder wenigstens lebensverlängernde Elixiere herzustellen. Großen Staub hat in den Fünfzigerjahren der Fall des Alchemisten von Rodaun Seefeld aufgewirbelt. Einen guten Eindruck der alchemistischen Praxis jener Zeit vermittelt eine alchemistische Handschrift des Adepten Rupert in sieben Bänden in der Bibliothek des Schottenstiftes in Wien.⁹

Der Regierungsbeginn Franz Stephans von Lothringen 1740 als Mitregent setzte neue Akzente. Franz Stephan hatte Kontakt zum bedeutendsten Chemiker seiner Zeit, nämlich Herman Boerhaave in Leiden. Franz Stephan selber führte 1751 zusammen mit dem Jesuitenpater Joseph Franz chemische Experimente in seinem Laboratorium im Haus in der Wallnerstraße durch. Er war sehr verwundert, als er beim Versuch Diamanten mit Hilfe eines Brennsiegels zusammenzuschmelzen zum Teil verbrannte, zum Teil angekohlte Massen erhielt. Er besaß das beste Lehrbuch seiner Zeit, die „Elementa Chemiae“ von Boerhaave, er berief 1745 den berühmten Arzt Gerard Van Swieten nach Wien.

Auf Van Swietens Vorschlag kam 1749 der französische Chemiker Robert Francois Laugier¹⁰ nach Wien und 1752 der junge Botaniker Nicolaus Jacquin, der während der Jahre 1754 bis 1759 eine Expedition in die Karibik leitete. Laugier wurde 1749 der erste Professor für Botanik und Chemie an der Wiener Universität, war demnach 1758, als Boscovich für einige Monate in Wien weilte, der führende Chemiker in Wien. Laugiers Laboratorium war im heutigen Gebäude der Akademie der Wissenschaft untergebracht, genau gegenüber dem Gebäude der Jesuitenuniversität, wo Boscovich wohnte und arbeitete.

Es ist anzunehmen, dass Laugier nach den damals modernsten Theorien Boerhaaves unterrichtete, wie sie beispielsweise im 1741 posthum veröffentlichten Werk „A New Method of Chemistry“ zu finden waren. Boerhaave ging von unveränderlichen, unteilbaren *minima naturae* aus, die anziehenden Newtonschen Kräften ausgesetzt sind.

Um es in einem Satz zu sagen: Wien befand sich, als Boscovich hier weilte, hinsichtlich der Situation der Naturwissenschaften in einer bemerkenswerten Aufschwungphase – allerdings von einem sehr niedrigen Ausgangspunkt aus.

4. Welchen Anteil hat die Boscovichtheorie an Loschmidts einander durchdringenden atomaren Sphären?

Der geniale Physiker und Chemiker Faraday berief sich *expressis verbis* auf Boscovich – und so kann man getrost sagen, dass Faradays Feldbegriff deutliche Merkmale der Theorie Boscovichs aufweist. In einem 1844 gehaltenen Vortrag vor der Royal Institution sagte Faraday: *Mir ist nicht unbekannt, dass der Verstand am stärksten von den Phänomenen der Kristallisation, der Chemie und Physik allgemein zur Anerkennung von Kraftzentren gedrängt wird. ... (Es) erscheinen mir die Atome von Boscovich einen großen Vorteil gegen-*

⁹ MS 498–504. Eine Publikation von M. Kolbinger und R. W. Soukup ist in Vorbereitung. Derzeit siehe: RUDOLF WERNER SOUKUP, Chemie in Österreich, Bergbau, Alchemie und frühe Chemie (Wien 2007) 494ff.

¹⁰ Zu Laugier siehe: PIERRE LABRUDE, Robert François (de) Laugier (1722–1793): un médecin lorrain dans l'Europe des Lumières, Vesalius, XI, II, 2005, 76–80: <http://www.bium.univ-paris5.fr/ishm/vesalius/VESx2005x11x02x076x080.pdf> (zuletzt besucht am 4.8.2009).

*über der verbreiteten Vorstellung zu haben. Seine Atome sind, wenn ich richtig verstehe, bloße Zentren von Kräften und Vermögen, nicht Materieteilchen.*¹¹

Faraday war jener geniale Geist, der nicht nur innerhalb der Physik unterschiedliche Fakten auf eine einheitliche Theorie zurückführte und bei diesem Unterfangen z.B. die Induktion entdeckte, Faraday erkannte, dass es falsch ist, Chemie und Physik als getrennte Welten zu betrachten.

Die nach Faraday benannten Gesetze ermöglichten in der Folge nicht nur einfache physikalische Gesetze auf chemische Reaktionen anzuwenden, sondern auch die Elementarladung zu bestimmen und auf diese Weise makrokosmische Erscheinungen auf mikrokosmische Gegebenheiten zurückzuführen.

Interessant ist, dass auch Joseph Priestley eine Zeit lang ein engagierter Apologet der Theorie von Boscovich war. Priestley und Boscovich haben einander 1774 in Paris kennen gelernt, als Priestley Lavoisier besuchte. Später kam es zu einer Kontroverse, die die Freundschaft beendete.¹²

Eine unübersichtliche Situation liegt bei Johann Friedrich Herbart (1776–1841) vor. Seine Materievorstellung mit attraktiven und repulsiven Kräften, die als Folge von verschiedenen inneren Zuständen aufzufassen ist und zu einer Durchdringung der einfachen Wesen führt, erinnert stark an Boscovich. Nach bisherigen Recherchen bezieht sich Herbart jedoch nicht explizit auf Boscovich.

Josef Loschmidt (1821–1895) versuchte während seiner Lehrjahre bei Exner in Prag das Konzept Herbarts mathematisch zu behandeln. Bei der grafischen Darstellung seiner Konstitutionsformeln von 1861 sieht es ganz so aus, als ob er das Konzept von Boscovich zur Anwendung brächte.¹³ Man erkennt die unterschiedliche Durchdringung der Sphären bei Einfach-, Doppel- und Dreifachbindungen (beispielsweise bei Ethan, Ethen und Ethin, Abb. 5).

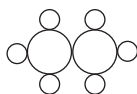


Abb. 5. J. Loschmidt: Ethan, Ethylen (Ethen), Acetylen (Ethin), 1861: C-C-Einfach-, Doppel- und Dreifachbindung, dargestellt durch einander durchdringender Sphären und Bindungsstriche.

Im Vorwort schrieb Loschmidt – ganz im Sinne Boscovichs: Sei die Annahme akzeptiert, dass die Atome *nur* per *distsans* durch *Anziehungs- und Abstossungskräfte auf einander wirken*. ... *Ist nun auch, strenge genommen die Actionssphäre eines Atoms von unbegrenz-*

¹¹ Zitiert nach PEARCE WILLIAMS, „Michael Faraday (1791–1867)“ in: KARL VON MEYENN (Hg.), Die großen Physiker (München 1997) 381.

¹² Siehe HANS ULLMAIER, *Puncta, particulae et phaenomena. Roger Joseph Boscovich und seine Naturphilosophie* (Hannover-Laatzten 2005) 116.

¹³ Siehe PETER M. SCHUSTER, *From Curiosity to Passion: Loschmidt's Route from Philosophy to Natural Science*. In: *Pioneering Ideas for the Physical and Chemical Sciences. Josef Loschmidt's Contributions and Modern Developments in Structural Organic Chemistry, Atomistics, and Statistical Mechanics*, ed. by WILHELM FLEISCHHACKER & THOMAS SCHÖNFELD (New York 1997) 269–276. Siehe auch: FRANZ EXNER, *Zur Erinnerung an Josef Loschmidt*. In: *Naturwissenschaften* 9/11, 1921, 117–180.

ter Ausdehnung, so gebietet doch die Erfahrung anzunehmen, dass die genannten Kräfte mit wachsender Entfernung in einem äusserst rapiden Verhältnisse abnehmen ... Gerathen zwei Atome nahe aneinander, so werden sie sich im Allgemeinen zuerst anziehen, dann bei größerer Distanz, wo sich eben die Anziehungs- und Abstoßungskräfte das Gleichgewicht halten, von einander verharren, oder vielmehr hier um die Gleichgewichtslage oscilliren.¹⁴ Daraus folgt, so Loschmidt, dass man eigentlich die Atome nur durch ganz kleine Punkte symbolisieren sollte, welche in jeder einzelnen Verbindung eine bestimmte Distanz und eine bestimmte Lage zu einander behaupten. Aus Gründen der Anschaulichkeit wird jedoch darauf verzichtet. Es ist besser, sagt Loschmidt, die Atome vermittels ihrer (eigentlich nur konstruktiv erfassbaren) Sphären zu repräsentieren, wobei auf dem Papier Kreise zu zeichnen sind.¹⁵

5. Zusammenfassung – Schlussfolgerungen

Bereits in seiner *dissertatio* „De viribus vivis“ von 1745 verwendete Ruder Boscovich die Urform seiner später *curva Boscovichiana* genannten Kraftkurve, um die Stabilität der Materie sowie einige ihrer Zustandsänderungen nach Energiezufuhr theoretisch zu erfassen. Er deutete an, dass auch chemische Reaktionen mit Hilfe dieser Kurve erklärt werden können.

In der „Philosophiae naturalis theoria“ (Wien 1758) führte Boscovich aus, dass zur Beschreibung chemischer Reaktionen im Prinzip nicht nur die Positionen aller beteiligten Teilchen und damit ihrer geometrischen Parameter bekannt sein müssen, sondern auch das Verhältnis ihrer attraktiven und repulsiven Kräfte untereinander. Obgleich diese Voraussetzung – nach Boscovich – die Fähigkeiten des menschlichen Geistes übersteigt, bemühte sich Boscovich mit seinem theoretischen Konzept, Aussagen über die Beschaffenheit bestimmter Stoffe wie z.B. über die Luft zu machen und bestimmte Reaktionen, beispielsweise Explosionen, zu verstehen. Sehr interessant sind seine Hinweise zum Verständnis von Lösungsvorgängen, von Fällungen, von Viskosität und Verglasung. Boscovich erkannte, dass die Stabilität der Substanzen auf einem fein ausbalancierten Kräftegleichgewicht beruht.

In der heutigen Quantentheorie werden zur Diskussion der Stabilität von Atomen und Molekülen ganz ähnliche Diagramme im Sinne von Potentialkurven benutzt. Zu einem Zeitpunkt, als sich die Chemie noch nicht einmal gänzlich von alchemistischen Vorstellungen verabschiedet hatte, hat Boscovich in einer genialen Vorwegnahme eine abstrakte Theorie chemischer Spezies auf der Basis abstoßender und anziehender Kräftezentren vorgestellt. Er war damit seiner Zeit unglaublich weit voraus, denn erst um 1850 gab es unter den Chemikern einen Konsens, was überhaupt ein Atom bzw. ein aus Atomen „zusammengesetztes“ Molekül sein soll. Die Natur des feinen Gleichgewichts der attraktiven und repulsiven Effekte in homonuklearen chemischen Molekülen wurde erst 1933 erkannt, also 175 Jahre nach dem Erscheinen der „Philosophiae naturalis theoria redacta ad unicum legem virium in natura existentium“.

¹⁴ JOSEF LOSCHMIDT, *Chemische Studien I. A. Constitutions-Formeln der organischen Chemie in geographischer Darstellung* (Wien 1861) 1.

¹⁵ LOSCHMIDT, *op. cit.*, 2.

INGE FRANZ (Leipzig)

DIE NATURPHILOSOPHIE DES 18. JAHRHUNDERTS
UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG IMMANUEL KANTS
Einige allgemeine Bemerkungen

Da Roger Boscovich mit seinem Hauptwerk im großen geistigen Verbund der Naturphilosophie seiner Zeit steht, ist es angebracht, auf einem Symposium, das der *Theoria philosophiae naturalis* gewidmet ist, einige grundsätzliche Gedanken zur Naturphilosophie des 18. Jahrhunderts vorzutragen.

Der Begriff der Naturphilosophie schließt jenen des Naturverständnisses sowie der Naturerkenntnis ein. Naturphilosophie – *philosophia naturalis* – und Naturwissenschaft – *scientia naturalis* – werden noch um die Mitte des 18. Jhs. synonym gebraucht, letzteres auch als Physik oder Naturlehre bezeichnet, die sich wiederum in etymologischer Nachbarschaft mit der Metaphysik befinden kann.

Natur im streng ontologischen Sinne meint die Gesamtheit der real existierenden Wesen und Erscheinungen samt ihrer Bewegungsformen, unabhängig vom Menschen, diesen als Naturwesen jedoch einschließend.

Der zeitliche Rahmen für entsprechendes naturwissenschaftliches Denken ist durch die geistige Bewegung der Aufklärung, die von England, Frankreich und Deutschland ausgeht und nach und nach andere Länder oder Nationen erfasst, gegeben. Das Zeitalter der Aufklärung steht unter der Zielansage, Bildung unter Hinwendung zur Natur und ausgeprägte ethische Implikationen sowohl für das Individuum als auch für die Gemeinschaft vermittels möglicher Überwindung gegensätzlicher Muster der Vergangenheit. Diese Zielstellung bestimmt mehr oder weniger alle Wissenschaften des Jahrhunderts. Man kann sie förmlich als humanistischen Leitfaden bei Gotthold Ephraim Lessing (1729–1781) wiederfinden.

Entwicklungskonzeptionell überschaut er in der „Erziehung des Menschengeschlechts“ – einer der bedeutendsten philosophischen Schriften jener Zeit, anonym veröffentlicht 1780, teilweise bereits 1777 – das Erkenntnisvermögen. Dieses wenig umfangreiche, in hundert kurze Paragraphen gefasste Werk gehört zu den bedeutendsten philosophischen Schriften jener Zeit.

Daraus: *Erziehung gibt dem Menschen nichts, was er nicht auch aus sich selbst haben könnte; [...] auch die Offenbarung (gibt) dem Menschengeschlechte nichts, worauf die menschliche Vernunft, sich selbst überlassen, nicht auch kommen würde, sondern sie gab und gibt ihm die wichtigsten dieser Dinge nur früher. Bei allzu umständlichen Irrwegen der menschlichen Vernunft – auch wenn von einzelnen erkannt – hat es Gott gefallen, „ihr durch einen neuen Stoß eine bessere Richtung zu geben“.*

Zum Ethisch-Moralischen: *Sowohl Herz als auch Verstand bedürften der Übung, letzterer an „geistigen Gegenständen, wenn er zu seiner völligen Aufklärung gelangen und diejenige Reinigkeit des Herzens hervorbringen soll, die uns die Tugend um ihrer selbst willen zu lieben fähig macht. Oder soll das menschliche Geschlecht auf diese höchsten Stufen der Aufklärung und Reinigkeit nie kommen? Nie?“¹*

Aufklärung ist nicht ohne die schon klassische Definition Immanuel Kants (1724–1804) zu kennzeichnen. Er nimmt den Menschen vollends in die eigene Verantwortung in der 1784 verfassten *Beantwortung der Frage: Was ist Aufklärung?*

¹ Gotthold Ephraim LESSING, Die Erziehung des Menschengeschlechts. In, Lessings Werke in fünf Bden. Hrsg., Nationale Forschungs- und Gedenkstätten der Klass. Deutschen Literatur in Weimar. Weimar 1961. Bd. 2, 279–303. §§ 1–4, 80f.

„Aufklärung ist der Ausgang des Menschen aus seiner selbst verschuldeten Unmündigkeit. Unmündigkeit ist das Unvermögen, sich seines Verstandes ohne Leitung eines anderen zu bedienen. Selbstverschuldet ist diese Unmündigkeit, wenn die Ursache derselben nicht am Mangel des Verstandes, sondern der Entschliebung und des Mutes liegt, sich seiner ohne Leitung eines andern zu bedienen. Sapere aude! Habe Mut, dich deines eigenen Verstandes zu bedienen! Ist also der Wahlspruch der Aufklärung.“ Kurz: *Menschliche Schwächen, aber auch rückständige gesellschaftliche Verhältnisse – d.h. staatliche und kirchliche Herrschaftsmechanismen – verhindern vor allem den „öffentlichen Gebrauch der „eigenen Vernunft“.* Es ist aber der Mensch, „der nun mehr als Maschine ist, seiner Würde gemäß zu behandeln“². In „weltbürgerlicher Absicht“ hegt er die Hoffnung, dass die Aufklärung als das „große Gut“ „nach und nach bis zu den Thronen hinauf“ gehen wird in Gestalt des „aufgeklärten Absolutismus“.³ Er wird für ihn personifiziert in Friedrich II. (1712–1786), dem König von Preußen, dessen aufklärerische politische und historische Schriften in Bayern 1791 verboten wurden. Ebenso zu den wenigen „aufgeklärten“ Fürsten ist der österreichische Kaiser Joseph II. (Reformkatholizismus) zu zählen – bei aller historischen und aktuellen Umstrittenheit.

Immanuel Kant als vor allem philosophisch ausgewiesener Anwalt der Vernunft wirkt in dieser Zeit umfangreicher Industrialisierung, deren praktische Bedürfnisse Herausforderungen für die Wissenschaften darstellen, als durchaus geistige Leitfigur. Erkenntnistheoretische Arbeiten vorwiegend ab der Mitte des 18. Jhs. weisen der Empirie in Einheit mit der Rationalität einen höheren Stellenwert zu, Empirismus wie auch Sensualismus als Erkenntnisquellen, besonders der englischen Versionen, einschließend.

Der um die philosophisch-wissenschaftliche Erkenntnistheorie und Methodologie der Naturwissenschaften verdienstvolle späte Kant (oder der Kant der späten Aufklärung) formuliert in dieser seiner erkenntniskritischen Phase, speziell in der *Kritik der reinen Vernunft* von 1781 bzw. 1787, dass in der Vernunft „das Systematische der Erkenntnis sei, d.i. der Zusammenhang derselben aus einem Prinzip. Diese Vernunftseinheit setzt jederzeit eine Idee voraus, nämlich die von der Form eines Ganzen der Erkenntnis ...“ Man muss: *die Wissenschaften ... nach der Idee, welche man aus der natürlichen Einheit der Teile ... gegründet findet, erklären und bestimmen.* Das heißt: *Die Idee bedarf zur Ausführung ein Schema, d.i. eine a priori aus dem Prinzip des Zwecks bestimmte wesentliche Mannigfaltigkeit und Ordnung der Teile ... (Es) gründet architektonische Einheit.*

Die Vernunftbegriffe – wird Kant nicht müde, zu betonen – sind ihrem Wesen nach nur „Postulat“. Sie „werden nicht aus der Natur geschöpft, vielmehr befragen wir die Natur nach diesen Ideen ...“

Ein philosophisches Problem der Naturforschung liegt nun im Verhältnis des Allgemeinen und Besonderen. Es beruht auf der identitätsstiftenden Einheit. Kant spricht vom „hypothetischen Gebrauch der Vernunft“ (d.h. der Verallgemeinerung fähigen – I. F.) bezüglich der „systematische(n) Einheit der Verstandeserkenntnisse, diese aber ist der *Probierestein der Wahrheit der Regeln*“ bzw. der Prinzipien.⁴ (Hier ist übrigens die Fortsetzung der – in sich allerdings differenzierten – Denktradition von Gottfried

² Immanuel KANT, Beantwortung der Frage, Was ist Aufklärung? In: DERS, Werke in sechs Bden. Hrsg., Wilhelm WEISCHDEL. Nachdr. d. Ausg. von 1983. Darmstadt 1998. Bd. VI. A 481, 485, 494 (Hervorh. orig.).

³ Vgl. Idee zu einer allgemeinen Geschichte in weltbürgerlicher Absicht (1784). In: KANT, Werke in sechs Bden. (Anm. 2) Bd. VI, A 406.

⁴ Immanuel KANT., Kritik der reinen Vernunft. 1. Aufl. (A). Riga 1781; 2. Aufl. (B). Ebd. 1787. In, Werke. (Anm. 2) Bd. II. – Vgl. B 674ff., 860ff., 502f. (Hervorh. orig.).

Wilhelm Leibniz (1646–1716) über Christian Wolff (1679–1754) erkennbar.⁵ Damit kann er letztlich überleiten zur Ordnung der mannigfaltigen Erscheinungen, zum Klassifizieren. Das bedeutet konkret Identität und „Einheit der Grundeigenschaften“, also Art, Geschlecht und Gattungen, ausgewählt gezeigt an Beispielen aus der Chemie zu Salzen und Erden. Die weitere Modifikation erfolgt mit den Unterarten mittels des Gesetzes oder Prinzips der *Spezifikation*, z.B. absorbierender Erden nach verschiedener Art (Kalk- und muriatische Erden), ergänzt durch die Prinzipien der *Homogenität* und der *Kontinuität*. Letzteres ist zentriert auf das „Gesetz der *Affinität* aller Begriffe ..., welches einen kontinuierlichen Übergang von einer jeden Art zu jeder anderen durch stufenartiges Wachstum der Verschiedenheit gebietet“, näher ausgeführt mit dem seinerzeitig auch außergenealogisch verwendeten Begriff der Verwandtschaft. Kant hebt hervor, dass es *keine sprunghafte Veränderung gibt* – eine wichtige entwicklungsgeschichtliche Folgerung!

Ohne die bisher vorgenommene transzendentalphilosophische oder auch wissenschaftsphilosophische – wie auch immer er es nennt – Vorbesinnung oder Grundlegung schließt Kant die *Möglichkeit* einer Wissenschaft aus. Ihr wendet er sich 1786 mit den *Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft*⁷ – seinem naturphilosophischen Hauptwerk – zu. In diesem ist der transzendente Verstand gewissermaßen mehr „heruntergestimmt“ zum empirischen.

Wie versteht Kant zunächst das Wort Natur?

In „*formaler* Bedeutung“ drückt es „das erste innere Prinzip alles dessen“ aus, „was zum Dasein eines Dinges gehört ..., in *materieller* Bedeutung“ bezeichnet es nicht die Beschaffenheit als solche, sondern den „Inbegriff aller Dinge, so fern sie *Gegenstände unserer Sinne*“ sind, also Erkenntnisobjekte. Entsprechend unserer äußeren und inneren Sinne ist „eine zwifache Naturlehre, die *Körperlehre* und *Seelenlehre* möglich“. Eben jene „zwifache Naturlehre“ ist es allerdings, die für Kant zum Problem wird, weil es demnach nicht *eine* Naturwissenschaft geben kann!

Um der im Wort *Natur* enthaltenen Mannigfaltigkeit samt ihrer jeweiligen inneren Prinzipien etc. sach-gerecht werden zu können, gibt Kant vor, „die Naturlehre besser (einzuteilen) in

- (1.) *historische Naturlehre*“, d.h. „systematisch geordnete Facta der Naturdinge“; diese unterteilt in „*Naturbeschreibung*, als einem Klassensystem derselben nach Ähnlichkeiten“ sowie *Naturgeschichte*, d.h. der „systematischen Darstellung“ in verschiedenen Epochen und Regionen.
- (2.) *Naturwissenschaft*.

Kant wendet nun die in der *Kritik der reinen Vernunft* genannten erkenntnistheoretischen Positionen an. Aufgrund dieser Ausgangslage ist die Naturwissenschaft demnach wiederum zu unterteilen. Behandelt sie ihren Gegenstand eindeutig nach Prinzipien a priori – so heißt sie *eigentliche*, nach Erfahrungsgesetzen – so heißt sie *uneigentliche* „so genannte Naturwissenschaft“.

⁵ Z.B. nach Gottfried Wilhelm LEIBNIZ, „Systeme nouveau de la nature et de la communication des substances ...“ (1695) und Christian WOLFFS, *Philosophia rationalis sive logica methodo-scientifica pertractata et ad usum scientiarum atque vitae aptata*. (1728); *De differentia intellectus systematici* (1729).

⁶ Vgl. KANT, *Kritik der reinen Vernunft*. (Anm. 4) B 679ff., 685ff., 688ff.

⁷ DERS., *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*. 1. Aufl. Riga 1786 (A); die 2. (1787) und die 3. (1800) sind fast unveränderte Nachdrucke. In, *Werke* (Anm. 2) Bd. V.

„Eigentliche Wissenschaft kann nur diejenige genannt werden, deren Gewißheit apodiktisch ist“, „bloß empirische Gewißheit“ ist „nur uneigentlich so genanntes Wissen“. Erstere ist rationale Wissenschaft. Zur zweiten gehört die Chemie, deren Erkenntnis „doch zuletzt bloß empirisch“ begründet ist, „und die Gesetze, aus denen die gegebene(n) Facta durch die Vernunft erklärt werden, (sind) bloß Erfahrungsgesetze“, sind also nicht „apodiktisch-gewiß“. Daher „verdient das Ganze in strengem Sinne nicht den Namen einer Wissenschaft, und Chymie sollte eher systematische Kunst, als Wissenschaft heißen“.

Naturerkenntnis mit zu Grunde liegenden „bloßen Erfahrungsgesetze(n)“ wird als *an-gewandte Vernunft* bezeichnet. Hingegen „die vollständigste Erklärung gewisser Erscheinungen chymische(r) Prinzipien (lässt) noch immer eine Unzufriedenheit zurück, weil man von diesen, als zufälligen Gesetzen, die bloß Erfahrung gelehrt hat, keine Gründe a priori anführen kann“.

Kant untermauert diese Einteilung mit der Rolle der von ihm hochgeschätzten Mathematik. Die wechselseitigen Beziehungen zwischen Mathematik und Wissenschaften – besonders der technisch-physikalischen – sind bis weit vor dem Beginn unserer Zeitrechnung anzusetzen. Er rezipierte – an dieser Stelle nicht nachgewiesen – sicher auch die aktuelleren Erkenntnisse z.B. von Gottfried Wilhelm Leibniz, Isaac Newton (1643–1727) und Christian Wolff, wobei Letzterer gerade dem Verhältnis von Mathematik und Philosophie große Bedeutung beimaß.⁸ Denn – auch das ist eine schon klassische Formulierung Kants – es „ist die Vernunftkenntnis durch Konstruktion der Begriffe mathematisch“ und die „reine Naturlehre über bestimmte Naturdinge (...) ist nur vermittelt der Mathematik möglich, und, da in jeder Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen wird, als sich darin Erkenntnis a priori befindet, so wird Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft enthalten, als Mathematik in ihr angewandt werden kann.“

Was heißt das für die Chemie?

„So lange also noch für die chymischen Wirkungen der Materien auf ein ander kein Begriff ausgefunden wird, der sich konstruieren lässt, d.i. kein Gesetz der Annäherung oder Entfernung der Teile angeben lässt, nach welchem etwa in Proportion ihrer Dichtigkeiten u.d.g. ihre Bewegungen samt ihren Folgen sich im Raume a priori anschaulich machen und darstellen lassen (eine Forderung (!), die schwerlich jemals erfüllt werden wird), so kann Chymie nichts mehr als systematische Kunst, oder Experimentallehre, niemals aber eigentliche Wissenschaft werden ... die Grundsätze chymischer Erscheinungen (sind) ihrer Möglichkeit nach ... der Anwendung der Mathematik unfähig“.

Einen noch entfernten Rang nimmt nach diesem Verständnis die Seelenlehre ein, die sich der Mathematik ebenfalls entzieht. Sie kann „auch nicht einmal als systematische Zergliederungskunst, oder Experimentallehre ... der Chymie jemals nahe kommen“. Sie vermag eine „Naturbeschreibung der Seele“ zu leisten, kann „aber nicht Seelenwissenschaft“ werden.⁹

Im Zusammenhang mit der (fast kategorischen) kantischen Sicht des Stellenwertes der Mathematik bezüglich der Chemie ist hier notwendig ein Einschub angebracht. Der spätere Chemiker und besonders im Bergbau tätige Jeremias Benjamin Richter (1762–1807), der in Königsberg Philosophie und Mathematik u.a. bei Kant studiert hatte, promovierte 1789 mit

⁸ Ebd., A III–VII. – Vgl. u.a. Christian WOLFF bereits in frühen Arbeiten, z.B. 1710ff., Anfangsgründe aller Mathematischen Wissenschaften; 1713, *Elementa Matheosaeas Universae* sowie 1716, *Mathematisches Lexicon* ...; zur Einheit von Mathematik und Logik 1719/20, *Deutsche Metaphysik*; umfassender 1729/30, *Philosophia prima, sive Ontologia methodo scientifica pertractata, qua omnis cognitionis humanae principia continentur*.

⁹ Vgl. KANT, *Metaphysische Anfangsgründe* (Anm. 7) A VIII–XII.

*De usu matheseos in chymia*¹⁰. Entgegen Kants Auffassung ist die Chemie demnach eine durchaus mathematische Wissenschaft. Richter stellte bereits 1792 eine Atomgewichtstabelle auf – also noch vor John Dalton (1766–1844). Auch in der Stöchiometrie gehörte er zu den Pionieren der Chemie.¹¹ Ebenso erwarb er sich Verdienste um die Übersetzung bzw. Herausgabe einschließlich aktueller Kommentierung der Werke namhafter Wissenschaftler des Auslandes.¹²

Der zentrale Begriff für die erkenntnistheoretische Erschließung der Materie ist die Bewegung. Kant versucht, die Erscheinung Materie mittels dieser entspr. der o.g. Einheit in ihrer ganzen Totalität zu erfassen. Die metaphysischen Anfangsgründe der Naturwissenschaft werden daher durch die Erörterung möglichst aller Prädikate der Materie in Gestalt der Bewegungslehre vorgestellt, d.h. als Phronomie, Dynamik, Mechanik sowie Phänomenologie. Alle vorgestellten Aspekte laufen auf das Ziel hinaus, die vorherrschende mechanische/mechanistische Naturphilosophie durch eine dynamische abzulösen, festgemacht beispielsweise an den sog. leeren Räumen bzw. der „absolute(n) Leere“. Diese seien gleich der „absolute(n) Dichte“ „ein Schlagbaum für die herrschende Vernunft“ und sollten besser durch entsprechende Experimente erforscht werden.¹³

Doch nicht nur die Prinzipien des Allgemeinen und Besonderen gehören zum ständigen philosophisch-methodologischen Instrumentarium Kants, sondern ebenso die des Abstrakten und Konkreten. So wird seine Transzendentalphilosophie als eine „bloße Gedankenform“ durch die „abgesonderte Metaphysik der körperlichen Natur“ unterlegt. Was heißt das? Sie „schafft“ Beispiele, also „Fälle in concreto“ herbei, „die Begriffe und Lehrsätze“ der Transzendentalphilosophie „zu realisieren“.¹⁴

Gesonderte, quasi einzelwissenschaftliche, Metaphysiken bzw. mit Philosophie oder Wissenschaftstheorie betitelt, entstehen mit der weiteren Auffächerung der Naturwissenschaften und deren Verselbständigung, wobei Physik und Chemie von der Natur der Sache her noch relativ wenig strikt voneinander getrennt werden. Man empfindet entsprechende Versuche z.T. noch als zu unreif, größtenteils dem noch unklar definierten Begriff der Physik geschuldet. Ist ihr Objekt nur „die Natur der Körper“ oder beinhaltet sie auch die „Prinzipien und Anfänge der Würckungen in der Natur“? – so fragt 1740 Johann Heinrich Zedler (1706–1763) und entscheidet sich für Ersteres.¹⁵ Beide Deutungen, nur noch weitläufiger –

¹⁰ Jeremias Benjamin RICHTER, *De usu matheseos in chymia*. Regiomontanum (Königsberg – I. F.) 1789.

¹¹ DERS., *Anfangsgründe der Stöchyometrie oder Meßkunst chymischer Elemente*. 3 Theile. Breslau und Hirschberg 1791–1794. Vgl. ferner DERS., *Über die neuern Gegenstände der Chemie*. 11 Stücke. Breslau 1791–1802.

Schon Michail Wassiljewitsch Lomonossow (1711–1765) hatte die Wertschätzung der Mathematik für die Chemie – besonders für die von ihm gelehrte physikalische Chemie – hervorgehoben. Vgl. z.B. DERS., *Elementa Chymiae Mathematicae*. 1741, veröffentlicht allerdings erstmals in St. Petersburg 1904 (russ.).

¹² Z.B. von Pierre Joseph MACQUER, *Chemisches Wörterbuch oder allgemeine Begriffe der Chemie*. 2. vermehrte Aufl., 7 Bde. Leipzig 1788–1791; desgl. setzte er fort (ab dem 3. Bd.) von David Ludwig BOURGUET, *Chemisches Handwörterbuch nach den neuesten Entdeckungen* entworfen. 6 Bde. Berlin 1798–1805.

¹³ Kant, *Metaphysische Anfangsgründe* (Anm. 7) vgl. bes. A III–XXI, XXIII, 1ff., 95–105, 155–158.

¹⁴ Vgl. ebd., A XXIIIf.

¹⁵ Johann Heinrich ZEDLER, *Grosses vollständiges Universal-Lexicon Aller Wissenschaften und Künste*. 1740. Bd. XXIII, 1147. – Aber zur Chemie: *Die „Chymie“ oder Scheidekunst ist „eine Kunst und Wissenschaft, alle natürliche(n) Körper in ihre Anfangsstufen aufzulösen“, dies „vermöge des Feuers und geschickter Handgriffe*. Vgl. ebd. 1742. Bd. XXXIV, 1110.

bis hin zur Gleichsetzung mit Naturwissenschaft generell – verwendet der Physiker (und Jurist) Johann Samuel Traugott Gehler (1751–1795) noch 1790 in seinem *Physikalischen Wörterbuch*, dem ersten deutschsprachigen systematischen physikalischen Wörterbuch überhaupt. Er vermerkt selber, dass „aus dieser Classification noch zur Zeit mehr Verwirrung als Nutzen entspringen“ wird, „weil jedes Theil der Hülfe der andern bedarf“ und z.B. die Chemie als solche in sich zerteilt würde, zumal auch bei der Konstituierung einer „eigentlichen Physik“.¹⁶

Man war sich der Problematik integrativer oder korrespondierender Inhalte bis hin zu schon geahnter notwendiger Interdisziplinarität gerade zwischen diesen beiden Bereichen zunehmend bewusst. 1795 gibt Heinrich Friedrich Link (1767–1851) in diesem Sinne *Beyträge zur Physik und Chemie*, diese dann zwei Jahre später als *Beyträge zur Philosophie der Physik und Chemie* heraus¹⁷, wie er insgesamt zunehmend die Rolle der Philosophie für Fachwissenschaften hervorhebt. Z. Zt. der Herausgabe der gen. *Beyträge* wirkt er als o. Prof. der Naturgeschichte und Chemie in Rostock und versteht sich als Kantianer. Auch an seiner Intentionalität wird deutlich, dass neben methodologischen Grundfragen metatheoretische an Bedeutung gewinnen.

Noch früher wendet sich Antoine Laurant de Lavoisier (1743–1794) der Thematik in seiner physikochemischen Ausrichtung zu. Er veröffentlicht zeitgleich mit Kants zweiter Auflage der *Kritik der reinen Vernunft* sein *Memoire sur la nécessité de réformer et de perfectionner la nomenclature chimique* (vgl. darin bes. *Logique des sciences*). Bekannter ist sein zweibändiges *Traité élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes* von 1789, in dessen langer Vorrede er eine Philosophie der wissenschaftlichen Forschung entwickelt und sich das konkrete Ziel vorgibt, die Zusammensetzung der Natursubstanzen durch Analyse und Synthese zu bestimmen. Es wurde von dem deutschen Pharmazeuten und Chemiker Sigismund Friedrich Hermbstaedt (1760–1833) übersetzt, allerdings dem Hauptinhalt entsprechend mit dem Titel *System der antiphlogistischen Chemie*.¹⁸ Eben die genauere Analyse der Zusammensetzungen ist es, die den Übergang von der Alchemie/Iatrochemie zur modernen Chemie besiegeln wird.

Kurz zur Geschichte der Phlogistontheorie, einem der großen Themen von Physik und Chemie des 17./18. Jhs.

Dem deutschen alchemistischen Naturphilosophen, Chemiker, Bergbauingenieur und Ökonomen Johann Joachim Becher (1635–1682) kommt das Verdienst zu, mit seinem theoretischen Ansatz einer selbständig wirkenden, aber nicht reinfassbaren, stofflich angenommenen Substanz beim Verbrennungsprozess Entscheidendes zur Grundlegung einer wissenschaftlichen Chemie geleistet zu haben.¹⁹ Auch wenn diese Idee sich zu einem der

¹⁶ Johann Samuel Traugott GEHLER, *Physikalisches Wörterbuch oder Versuch einer Erklärung der vornehmsten Begriffe und Kunstwörter der Naturlehre, mit kurzen Nachrichten von der Geschichte der Erfindungen und Beschreibungen der Werkzeuge begleitet*. 6 Theile. Leipzig 1787–1795. Hier dritter Theil. 1790. 490.

¹⁷ Heinrich Friedrich LINK, *Beyträge zur Physik und Chemie*. Rostock und Leipzig 1795; *Beyträge zur Philosophie der Physik und Chemie*. Rostock 1797. Ferner DERS., *Beyträge zur Philosophie der Naturgeschichte*. Rostock 1797–1798, außerdem, *Die Philosophie der Vernunft*. Berlin 1850.

¹⁸ Sigismund Friedrich HERBSTAEDT, *Des Herrn Lavoisier System der antiphlogistischen Chemie*. 2 Bde. Berlin/Stettin 1792 (verbess. Aufl. 1803).

¹⁹ Besonders nach dem Werk Johann Joachim BECHERS, *Physica Subterranea seu Acta Laboratorii*. Monacensis 1669. Dt., *Chymisches Laboratorium oder unter-erdische Naturkündigung*. Frankfurt 1680. Von Georg Ernst STAHL hrsg. mit einem Anhang, *Specimen Becherianum*. Leipzig 1703. – Ferner chemiegeschichtlich insgesamt von Bedeutung vgl. Johann Joachim

größten Irrtümer der Naturwissenschaft gestalten würde, der sich letztlich – nach langer Akzeptanz – hemmend bis hinein in die erste Hälfte des 19. Jhs. erwies.

Georg Ernst Stahl (1660–1734), der dem Hallenser Kreis von Frühaufklärern nahestehende Mediziner und Chemiker, vollzog die weitere Hinwendung der Alchemie/Iatrochemie zur Chemie und aktualisierte das Werk Johan Joachim Bechers unter Einbeziehung des diesbezüglichen Wissens seiner Zeit. (Beide waren übrigens Verfechter einer atomistisch orientierten Korpuskeltheorie.) Eine eigenständige und geschlossene Darstellung der Phlogistontheorie – mit ihm bürgerte sich dieser Terminus allgemein ein – legte Georg Ernst Stahl nicht vor, aber er erörterte die Thematik mehrfach, z.B. in *Einleitung zur Grund-Mixtion*, wo er dem „brennlichen Prinzipium“ den höchsten Rang unter allen chemischen Prinzipien zuerkennt, „... diese Materie (ist) ein Anfang und gleich ... das erste Element, Subjectum und Werckzeug, der hefftigen feurigen lichten, und der geschwindesten Bewegung von der Welt ...“²⁰

Die technisch-experimentellen Möglichkeiten waren noch zu unzulänglich, um exakte Wärmemessungen durchzuführen, obwohl das praktische Bedürfnis der Physik auch bereits im 17. Jh. bestand. Im 18. Jh. gelang der qualitative Durchbruch mit den Thermometern des Physikers und Instrumentenbauers Daniel Gabriel Fahrenheit (1686–1736) von 1709 sowie 1714/15, des französischen Physikers und vielseitigen Naturforschers René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683–1757) von 1730 und des schwedischen Astronomen Anders (Andreas) Celsius (1701–1744) von 1742.

Zur mathematischen Erfassung bedurfte es jedoch nicht nur des korrekten Wärmegrades, sondern auch der Wärmemenge. Die Wägbarkeit als solche würde natürlich das Vorhandensein eines Stoffes, einer Substanz, einer Wärmematerie stützen. Die Lösung des Problems ergab sich erst im nächsten Jh. via Energieerhaltungssatz bzw. der Hauptsätze der Thermodynamik. Dazwischen lag z.B. 1772 der Begriff der „latenten Wärme“ vom deutsch-schwedischen Physiker Johann Carl Wilcke (1732–1796). Dasselbe Problem untersuchte zuvor der schottische Naturforscher und Mediziner Joseph Black (1728–1799).

Auch zu Immanuel Kant führt die Annahme eines Substantiellen zurück.

In seinen ersten Lebensjahrzehnten ist sein Schaffen weitgehend auf naturwissenschaftliche und naturphilosophische Studien zu Physik und Chemie gerichtet. Zu erinnern ist besonders an seine Verdienste um die Kosmogonie bzw. umfassender die Kosmologie, in der er u.a. den Entwicklungsgedanken auch natürlicher Systeme in das Blickfeld rückt.

Mindestens ab den fünfziger Jahren wendet er sich der Wärmelehre zu, wie seine Magisterarbeit *De igne* von 1755 belegt.

Er vertritt eine Substantialitätstheorie und nimmt damit eine Wärmematerie (oder auch allgegenwärtigen Äther) als sich selbständig bewegende und wirkende Substanz an. Zur Substanz als solcher – ein Begriff mit Tradition – wandeln sich jedoch seine Auffassungen. Der Ausgangspunkt findet sich in seiner mutigen Erstlingsschrift gegen Gottfried Wilhelm Leibniz und René Descartes (1596–1650) mit dem Titel *Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte und Beurteilung der Beweise, derer sich Herr von Leibniz und andere Mechaniker in dieser Streitsache bedienen haben* von 1746. Leibniz ist neben Isaac Newton (1643–1727) übrigens der Naturforscher, der die meisten Spuren in seinen Schriften hinterlassen hat.

BECHER, Chymischer Glückshafen oder große chymische Concordantz und Collection. Frankfurt 1682. Ebenfalls von Georg Ernst STAHL hrsg., Halle 1726.

²⁰ Georg Ernst STAHL, *Einleitung zur Grund-Mixtion Derer Unterirrdischen-mineralischen und metallischen Körper. Alles. Mit gründlichen Rationibus, Demonstrationibus, und Experimentis nach denen Becherischen Principiis ausgeführt.* 2. Aufl. Leipzig 1744 (1., 1720). 181f. – Vgl. in diesem Kontext DERS., *Fundamenta Chemia Dogmatico-Rationalis et Experimentalis.* Pars III. Nürnberg 1747.

Substanzen – heißt es – haben die Kraft, „außer sich zu würgen“. Begründung: *Denn ohne diese Kraft ist keine Verbindung, ohne diese keine Ordnung, und ohne diese endlich kein Raum.*²¹ 1755 entwickelt er den Gedanken der Verbindung oder wechselseitigen Verknüpfung – sie geschieht durch Bewegung – weiter und präzisiert, dass ohne diese keine Veränderung des Zustandes möglich wäre.²² 1756 setzt er Substanz gleich Monade oder Elemente des Stoffes. Er bestimmt ihre Wirkweise, wie schon 1755, durch eine „eingepflanzte Kraft“, welche als Anziehung und Zurückstoßung agiert, ihre Beschaffenheit als letztlich undurchdringlich, bis zu einem gewissen Grad aber elastisch.²³ Sowohl in der Schrift *Principiorum primorum cognitionis ...* von 1755²⁴ als auch in *Monadologia physica* von 1756 erwähnt er in diesem Zusammenhang den Feuerstoff, in letzterer ebenfalls Äther. Hingegen in dem gleichfalls 1755 erschienenen, epochemachenden Werk *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* vermerkt er nur einmal „die Partikeln des elastischen Luft- oder Feuerelements“, das sich den „Materien mit untergemengt befindet“²⁵. Dies ist umso verwunderlicher, da er sich im Rahmen seiner Nebularhypothese besonders der Entstehung von Sonnen und der Rolle der Luft und des Feuers sowie der Wärme annimmt.

In seinem späteren transzendentalphilosophisch orientierten Schaffen – so in der *Kritik der reinen Vernunft*, besonders in der *transzendentalen Analytik* – wird Substanz den apriorischen Kategorien zugeordnet. Substanz mit der „Beharrlichkeit“ „als ein(em) Substratum alles Wechsels der Erscheinungen“ bleibt bei allen Veränderungen, es wechseln nur die Akzidenzen. „Selbst im Feuer“ vergeht „die Materie (Substanz)“ nicht, es ändert sich „nur die Form derselben“. Akzidenzen sind real, sie sind „besondere Arten derselben zu existieren“, also das Dasein, welches in der Zeit nach dem Gesetz der Kausalität sowie der Wechselwirkung wahrnehmbar ist, z.B. in der Bewegung. Insofern ist unter Natur der empirischen Erkenntnis zufolge „der Zusammenhang der Erscheinungen ihrem Dasein nach, nach notwendigen Regeln, d.i. nach Gesetzen“ zu verstehen.²⁶

Wichtig ist für Kant, zu betonen, dass der Wärmestoff oder auch der Äther – gegenüber der nur mechanischen Ausbreitung bzw. der „bloß mechanischen Erklärungsart“ – vor allem auch, wie oben angedeutet, in leere Zwischenräume dringt.²⁷

Doch bei aller Hochschätzung der Notwendigkeit metaphysischer, d.h. apriorischer Ausgangspositionen verliert Kant nicht das Bewusstsein des Zweckes praktischer Forschungsarbeit. Denn tatsächlich gelingt Lavoisier und seinen Mitarbeitern der fundierte Durchbruch in der Wärmetheorie erst nach einer Vielzahl von Experimenten, d.h. aposteriorisch.

Folgend werden kurz einige historische Fakten skizziert zum Fortgang der Forschung, einsetzend etwa nach der Becher-/Stahlschen Phase. Neue Versuchsansätze zur chemischen Analyse ebenso wie neue Methoden bzw. Verbesserung technischer Hilfsmittel erweitern die Möglichkeiten.

²¹ Immanuel KANT, Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte und Beurteilung etc. 1746. In: *Werke (Anm. 2)* Bd. I, § 9.

²² DERS., *Principiorum primorum cognitionis metaphysicae nova dilucidatio*. 1755. Sect. III, zwölfter Satz. In, ebd., 489ff.

²³ Vgl. DERS., *Metaphysicae cum geometria iunctae usus in philosophia naturali, cuius specimen I. continet monadologiam physicam*. 1756. In, ebd., 523, 535–563 bzw. Sätze I, VI–XIII.

²⁴ Vgl. 479 (13. Satz).

²⁵ Immanuel KANT, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels, oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgebäudes nach Newtonschen Grundsätzen abgehandelt*. 1755. In: ebd., A 138 (Anm.).

²⁶ Ebd., B 225ff., B 228ff. (hier konkretisiert Kant die sich verändernde „Form“ als „Zustand“), B 263.

²⁷ Vgl. dazu S. 161 dieses Aufsatzes.

Wesentlichen Erkenntniszuwachs gibt es durch die pneumatische Chemie – teils auch der kinetischen Gastheorie zugeordnet, auch einfach als Gaschemie bezeichnet – vor allem englischer Chemiker und Physiker. Zu nennen sind z.B. Henri Cavendish (1731–1810), Joseph Priestley (1733–1804) und ebenso der bereits genannte Schotte Joseph Black (1728–1799), aber ebenfalls der Deutsche Carl Wilhelm Scheele (1742–1786), der Schweizer Daniel Bernoulli (1700–1782; Sohn des Mathematikers Johann Bernoulli (1667–1748)) und der Schwede Torbern Olof Bergman (1735–1784). Die Nationalitäten könnten mit der italienischen und anderen – bei allen Kontroversen – erweitert werden. Daraus erhellt, dass diese Thematik absolut herangereift war.

Man bedient sich inzwischen des Lötrohrs – längst im Montanbereich bekannt –, des Mikroskops, verschiedener Dichte- und Absorptionstests und der Gasexplosionspipette.

Das Problem der separaten Erfassung, d.h. der Isolierung des Phlogistons, konnte bisher noch nicht gelöst werden, weil jenes der Quantität, also der Wägbbarkeit, noch Schwierigkeiten bereitete. Allerdings hatte dazu bereits der russische Natur- und Geisteswissenschaftler Michail Wassiljewitsch Lomonossow (1711–1765) im 1748 an der St. Petersburger Akademie gegründeten Chemielabor physiko-chemische Untersuchungen durchgeführt, und im selben Jahr formulierte er das Massenerhaltungsgesetz bei chemischen Prozessen. Es wurde in Europa kaum zur Kenntnis genommen.²⁸

Zu erinnern ist an dieser Stelle an den englisch-irischen „skeptischen Chemiker“ Robert Boyle (1627–1691)²⁹, der als vielseitiger Experimentator aber keineswegs nur dem Empirischen verhaftet blieb, sondern – ohne zeitgemäße Spekulation – Hypothesen- bzw. Theoriebildung anstrebte. Bezüglich des Verbrennungsprozesses nahm er eine Gewichtszunahme (Stichwort Metallverkalkung) an, was den Schluss auf eine von außen hinzuge-tretene Stofflichkeit bedeutete.

Diese These wirkte lange wie ein Autoritätsbeweis. Vielleicht wirkte dann das, was Gotthold Ephraim Lessing eingangs als „Stoß“ Gottes für die Vernunft bezeichnet hat? Der „Umweg“ wird tatsächlich erst ca. hundert Jahre später, etwa ab 1772, experimentell von Antoine Laurant Lavoisier – der präzisen Arbeiten von jahrelanger geologischer Kartierung her verpflichtet war – hinterfragt und letztlich widerlegt durch die Sauerstofftheorie der Verbrennung. Dies gelingt im Verein mit seinen wissenschaftlichen Mitstreitern, besonders mit Pierre Simon Marquis de Laplace (1749–1827), aber auch u.a. mit Claude Louis Berthollet (1748–1822) und Antoine-Francois Comte de Fourcroy (1755–1809). Die beiden letztgenannten – beide sowohl Mediziner als auch Chemiker – sind entscheidend beteiligt (neben Louis Bernárd Guyton de Morveau; 1737–1816) an der 1787 erschienenen *La méthode de la nomenclature chimique* und desgleichen 1789 Mitbegründer oder Herausgeber der *Annales de chimie*, einer der ältesten Fachzeitschriften der Chemie.

Bis in die 1780er Jahre brauchte es noch zur Erhärtung der antiphlogistischen Sauerstofftheorie und bis in die 1790er zu deren Anerkennung durch die Mehrzahl der ehemals „phlogistisch“ eingestellten Naturforscher.

²⁸ Vgl. dazu, Physikalisch-chemische Abhandlungen Michail Wassiljewitsch Lomonossow 1741–1752. Hrsg. u. übersetzt a.d. Latein. und Russ., B(oris) N(ikolajewitsch) Menschutkin u. M(ax) Speter. Leipzig 1910 (Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 178). 53f. – Am 5. Juli 1748 schrieb Lomonossow in einem Brief an Leonhard Euler (1707–1783), „Alle Veränderungen, die in der Natur vorkommen, geschehen so, daß, wenn irgendwo etwas zukommt, anderswo ebensoviel abnimmt ...“ Er bezieht diesen als Naturgesetz bezeichneten Umstand sowohl auf Stoff als auch auf Energie (oder Materie und Bewegung). Vgl. Michail Wassiljewitsch LOMONOSSOW, *Ausgewählte Schriften in zwei Bden*. Berlin 1961. Bd. 1 (Naturwissenschaften), 410. – Vgl. ferner DERS., *De utilitate chemia* (Lipsiae 1751).

²⁹ Robert BOYLE, *The Sceptical Chymist* (London 1661); dt., Eduard FÄRBER u. Moritz FÄRBER, *Der skeptische Chemiker* (Leipzig 1929).

Insgesamt war durch diese Theorie eine Revolution der Chemie mobilisiert und das wissenschaftliche Fundament der Chemie zumindest initiiert worden.

Dieser Prozess fand und findet stets erneut wissenschaftshistorisches Interesse. Im letzten Drittel des 18. Jhs., also vor zeitgenössischem Hintergrund, veröffentlichte z.B. der junge Franz Baader (1765–1841), der seinerzeit Medizin und Chemie studiert hatte und sich später einen guten Ruf als Montanwissenschaftler und katholischer Religionsphilosoph erwarb, einen kenntnisreichen historischen Abriss zum *Wärmestoff*.³⁰ Auch er war zunächst Anhänger der Phlogistontheorie, akzeptierte aber mindestens ab 1792 die Auffassung Lavoisiers.³¹

Noch einen Blick zurück auf Immanuel Kant

Zu den Merkwürdigkeiten bei ihm gehört z.B., dass er 1795 immer noch die Existenz eines Wärmestoffs annimmt. So in seinen Bemerkungen zu des Anatomen und Naturforschers Samuel Thomas Sömmering (1755–1830) Schrift *Über das Organ der Seele* (1796), das dieser ihm gewidmet hatte. Die seit der Antike, besonders in der Spätantike und dem frühen Mittelalter³², immer wieder neu belebte Frage nach dem Sitz der Seele, aber auch der Qualität ihrer Substantialität, flammte im 18. Jh., dem Jh. der Aufklärung – dessen Lebensnerv sich aus der Suche nach naturwissenschaftlichen Erklärungen speiste – heftiger denn je auf. Sömmering fokussierte sich auf die Verortung in der Ventrikelflüssigkeit, dem Wasser in der Gehirnhöhle. Er verquickte dabei naturwissenschaftliche mit geisteswissenschaftlichen Fragestellungen, wollte vermutlich auch theologische Dissonanzen vermeiden.

Kant, der sich später dieser Problematik philosophisch u.a. im *Streit der Fakultäten* (1798) zuwendet, empfiehlt ihm, physiologisch bzw. eben naturwissenschaftlich zu argumentieren, d.h. die „dynamische Organisation“ resp. die chemische Teilung als „Scheidung verschiedener in einer Materie wechselseitig von einander aufgelöster Arten“ zu wählen. Er verweist auf aktuelle Versuche der „pneumatische(n) Chemie, die das ehemals für ein „chemisches Element gehaltene“ Wasser in zwei Luftarten scheidet. „Jede dieser Luftarten hat, außer ihrer Basis, noch den Wärmestoff in sich, der sich vielleicht wiederum von der Natur in Lichtstoff und andere Materie zersetzen läßt, ...“ Kant registriert also neuere naturwissenschaftliche Forschungen, aber er greift nicht mehr in Diskussionen ein (Kant wurde übrigens um eine Einschätzung gebeten, entweder durch Sömmering oder dessen Verleger Matthias Friedrich Nicolovius (1768–1836)).³³

³⁰ Franz BAADER, *Vom Wärmestoff, seiner Vertheilung, Bindung und Entbindung, vorzüglich beim Brennen der Körper*. (Wien u. Leipzig 1786).

³¹ Vgl. DERS., *Ideen über Festigkeit und Flüssigkeit zur Prüfung der physikalischen Grundsätze des Herrn Lavoisier*. 1792. In: Franz Xaver von BAADER, *Sämtliche Werke*. 16 Bde. Hrsg. Franz HOFFMANN u.a. Neudruck d. Ausg. (Leipzig 1852. Aalen 1987). Bd. III (Ges. Schriften zur Naturphilosophie) 181–202.

³² Maßgebliche Grundlage war die Rezeption des Werkes des römischen Staatsmannes und Gelehrten Flavius Magnus Aurelius Cassiodorus (um 490 – um 580), *De anima*, entstanden etwa 540.

³³ Immanuel KANT, *Aus Sömmering: Über das Organ der Seele* (Königsberg 1796). In: *Werke* (Anm. 2) Bd. VI, A 84f. – Diese kurze Abhandlung hatte Kant einem Brief (10. August 1795) an Samuel Thomas Sömmering beigelegt, sie wurde aufgenommen in dessen Schrift. 81–86. – Zur aktuellen Diskussion neuerer Quellenbearbeitungen um die kantische Meinungsäußerung vgl. Samuel Thomas SOEMMERING, *Ueber das Organ der Seele* (1796). Bearb. u. hrsg. v. Manfred WENZEL. In: Samuel Thomas SOEMMERING, *Werke*. Begr. v. Gunter MANN. Hrsg. Jost BENEDUM u. Werner Friedrich KÜMMEL. Akad. d. Wissenschaften u. Literatur Mainz. Bd. 9. (Basel 1999) 79–85.

Der Chemiker und Mediziner Christoph Girtanner (1760–1800) beispielsweise hatte 1792 seine *Anfangsgründe der antiphlogistischen Chemie* veröffentlicht und ersuchte um Kants Meinung dazu, wiederholte seine Bitte 1793 – doch ohne Erfolg.³⁴

Nicht zur Chemie, sondern in gänzlich anderem Kontext erwähnt Kant 1783 den Namen Priestleys³⁵ und 1798 den Lavoisiers.³⁶

Die Entwicklung der Naturphilosophie ist in den geistigen Gesamtzusammenhang einzubetten. Innerhalb dieses Rahmens sollen noch einige charakteristische, in dialektischer Wechselbeziehung stehende Elemente näher beleuchtet werden.

Erstens, Die zentrale Stellung der Vernunft, die letztlich das über Jahrhunderte errichtete Lehrgebäude zum Wanken brachte, zeitigt nicht nur eine tiefere Auslotung des Erkenntnisvermögens, sondern dies bewirkt u.a. eine Auswirkung auf die bisher strenge bzw. nun als eingeeengt angesehene Logikauffassung (etwa entspr. der *Logik von Port-Royal*³⁷). Es wurde angestrebt, dem mittlerweile erreichten, d.h. modernen Niveau naturwissenschaftlicher Forschung unter Einbeziehung der Mathematik Rechnung zu tragen. Das beinhaltete oftmals die Aufgabe, den Entwicklungsgang der Natur logisch nachzuzeichnen und es bedeutete z.B. teleologische Prinzipien aufzusuchen, die Zweckmäßigkeit der gegebenen Ordnung und ihre Entwicklung nach dem Stufenmodell zu erkennen. In die häufig mit Vernunftlehre u.ä. betitelten Schriften wurden vielfach Methodenlehren der Wissenschaften aufgenommen.

Dazu folgen vier Beispiele mit unterschiedlichen Ausgangspositionen,

- Der rationalistische, schulbildende und stark polarisierende Christian Wolff (1679–1754) stellte sein Gesamtsystem unter den Titel *Vernünfftige Gedanken zu oder von ...*, so ab 1712
 1. zur Logik, 2. zur Metaphysik, 3. zur Ethik, 4. zur Gesellschaftslehre, 5. zur Physik, 6. zur Teleologie, 7. zur Physiologie und 8. zur Natur im Allgemeinen.³⁸
 Die herausragendsten Schriften zur Logik werden allgemein betitelt 1. mit *Deutsche Logik*, der korrekte Titel, *Vernünfftige Gedanken von den Kräften des menschlichen Verstandes und ihrem richtigen Gebrauche in Erkänntniß der Wahrheit* (1712) und 2. mit *Lateinische Logik*, korrekt, *Philosophia rationalis sive logica, methodo scientifica pertractata et ad usum scientiarum atque vitae aptata ...* (1728).

Wolff wurde ob seiner politischen Auffassungen unter König Friedrich Wilhelm I. (1713–1740) verfolgt und musste aus Halle fliehen. Erst mit dem Regierungsantritt Friedrich II. (1740–1786) wurde er zurückberufen. Halle entwickelte sich in jener Zeit zu einem der Zentren der deutschen Aufklärung, woran Wolff entscheidenden Anteil hatte.
- Wenn hier desgleichen z.B. nochmals verwiesen wird auf die logischen Auffassungen von Leibniz³⁹, so ist zuvor auch Joachim Jungius (1587–1657) zu nennen, dem mit sei-

³⁴ Aus dem Briefwechsel Immanuel Kants. Hier mit dem befreundeten Arzt Johann Benjamin Erhard (1766–1827). Brief v. 17. Jan. 1793. In: Kant, Werke (Anm. 2) Hrsg. Ernst CASSIRER u.a. (Berlin 1923). Bd. X, 193. – Christoph GIRTANNER hatte bereits ein Jahr zuvor in Anlehnung an Lavoisier herausgegeben, *Neue chemische Nomenklatur für die deutsche Sprache* (Berlin 1791).

³⁵ Vgl. Kants Rezension zu Johann Heinrich SCHULZ, *Versuch einer Anleitung zur Sittenlehre für alle Menschen, ohne Unterschied der Religion*. In: Werke (Anm. 2) Bd. VI, 776.

³⁶ I. Kant, *Anthropologie in pragmatischer Hinsicht*. 1798. In: Werke (Anm. 2) Bd. VI, A 323.

³⁷ Besonders von Antoine ARNAUD u. Pierre NICOLE, *La logique ou l'art de penser, contenant, outre les règles communes, plusieurs observations nouvelles propres à former le jugement* (Paris 1662).

³⁸ Vgl. auch 232, Anm. 8.

³⁹ Vgl. Gottfried Wilhelm LEIBNIZ, *Principes de la nature et de la grâce fondés en raison*. 1714. Dt. hrsg. v. Arthur BUCHENAU. 1956. – Antithet. Charakters u. vor allem in Auseinanderset-

ner mathematischen Logik ein großer Einfluss auf Leibniz zuerkannt wird.

Jungius verfasste 1638 die *Logica Hamburgensis*.⁴⁰

- Der Philosoph, Theologe und Philologe Hermann Samuel Reimarus (Reimar; 1694–1768) – aktiv im Hamburger Zentrum der Aufklärung – veröffentlichte 1756 *Vernunftlehre als eine Anweisung zum richtigen Gebrauche in dem Erkenntniß der Wahrheit, aus zween ganz natürlichen Regeln der Einstimmung und des Widerspruchs hergeleitet*. Seine philosophische Intention weist ihn vorwiegend als Wolff-Schüler aus. Die Schrift galt als Standardwerk und erhielt mehrere Nachauflagen.
- Einen grundsätzlich anderen Ansatz verkörpern die moralphilosophisch angelegten Vernunftlehren des katholischen Theologen und späteren Bischofs von Regensburg Johann Michael Sailer (1751–1832) gegen Ende des 18. Jhs. vor dem Hintergrund der Aufklärung und in der Erkenntnis der Reformbedürftigkeit der Kirche. Vorab die streitbar-polemische *Praktische Logik für die Widerlegung an den Verfasser der sogen. Reflexion wider die Demonstratio catholica* 1780, dann sind hervorzuheben die je zweibändigen Werke *Vernunftlehre für Menschen, wie sie sind, d.i. Anleitung zur Erkenntniß und Liebe zur Wahrheit* 1785 sowie *Glückseligkeitslehre aus Vernunftgründen, mit Hinsicht auf die Urkunden des Christentums, oder christliche Moralphilosophie* 1787. Die Logik seines Zeitgenossen Immanuel Kant, die dieser ganz im Geiste seiner kritischen Schriften konzipierte, war besonders im letztgenannten Werk Gegenstand der Auseinandersetzung.

Zweitens, Philosophische Strömungen des 17./18. Jhs. sind vor allem Rationalismus, Pantheismus, Pietismus und Idealismus. Die kantische Philosophie ist sehr ausdeutbar, wie die nachkantische Rezeption belegt. Er selber bekennt sich letztlich mit seiner reinen Vernunftphilosophie zum „kritischen Rationalismus“.⁴¹

Keine dieser philosophischen Strömungen ist in sich geschlossen, wie sich an der Herausbildung der viele Elemente der vorgenannten aufnehmenden Popularphilosophie zeigt.

Dominant als Religionsphilosophie der Aufklärung ist – ausgehend von England und Frankreich wie die Aufklärung überhaupt, sich ebenfalls rasch in Deutschland ausbreitend – der Deismus. Ihn kennzeichnet die geringste Homogenität. Es gibt keine Schulbildung. Die alle Deisten verbindende Basis ist echte Religiosität, gegründet auf den Glauben an die Existenz Gottes, unangefochten ist auch seine Rolle als Schöpfer und Weltbaumeister. Dieses Verhältnis zu Gott zeitigte mit zunehmenden naturwissenschaftlichen Erkenntnis-

zung mit dem sensualist. Empirismus John Lockes (1632–1704) vgl. DERS., *Nouveaux essais sur l'entendement humain*. 1765. In: *Dt. Hauptschr. z. Grundlegung der Phil.*; Hrsg. Ernst CASSIRER u. Arthur BUCHENAU. 1904–1925. 4 Bde., hier Bd. IV (1915). Ferner DERS., *Schriften zur Logik und zur phil. Grundlegung von Mathematik u. Naturwissenschaften*. Übers. u. hrsg. v. Herbert HERRING (Frankfurt a.M. und Leipzig 1992). Aktuelle Interpretationen von Carl Friedrich WEIZSÄCKER u. ENNO RUDOLPH (Hrsg.), *Zeit und Logik bei Leibniz* (Stuttgart 1989).

⁴⁰ Joachim Jungius – Mathematiker, Mediziner und vielseitiger Naturforscher, z.B. auf den Gebieten Botanik, Zoologie, Mineralogie u. Astronomie. Von wissenschaftsgeschichtlicher Bedeutung sind seine Verdienste um die Entwicklung der Chemie, aufgrund derer er „als das wichtige Bindeglied zwischen den Chemikern des Anfangs des 17. Jahrhunderts und Boyle und Dalton“ eingeschätzt wird. Vgl. Rejer HOOYKAAS, *Elementenlehre und Atomistik im 17. Jahrhundert*. In: *Die Entfaltung der Wissenschaft. Zum Gedenken an Joachim Jungius (1587–1657)*. Veröffentlichung d. Joachim Jungius-Gesellschaft der Wissenschaften Hamburg. o.J. (1958?) 65.

⁴¹ KANT, *Prolegomena zu einer künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können* (Riga 1783). In: *Werke* (Anm. 2) Bd. III, A 71 u. A 208.

sen eine große Zahl an sog. Gottesbeweisen. Glaubensinhalte entziehen sich aber logischen Beweisen. Immanuel Kant beispielsweise gesteht dieses schließlich zu und erkennt – gewissermaßen durch die Hintertür – das Dasein Gottes als Postulat der praktischen Vernunft, z.T. auch höhere Vernunft, höchstes Wesen u.ä. genannt.

Worum geht es?

Im Zentrum aller Divergenzen steht der aufgebrochene Widerspruch zwischen Glauben und Wissen, zugespitzt, Offenbarungsreligion (die aber viele Deisten anerkennen) *versus* natürliche Religion. Letztere steht für Anerkennung der Naturgesetzlichkeit, ist wissenschafts offen, d.h. Ablehnung von Wundern und weitestgehend von vernunftwidrigen Mythen, sie steht für Glaubensfreiheit und religiöse Toleranz. Sie anerkennt die sittliche bzw. sittigende Funktion der Religion und ihre Anhänger pflegen i.d.R. die christliche Lebensweise ihrer soziokulturellen Umgebung, aber sie bekämpft – in unterschiedlicher Intensität und Form – die Orthodoxie einer starren Institutionalisierung.⁴²

Drittens, Das Bekenntnis zum Vernunftvermögen erfordert nicht nur eine Neubestimmung des Selbstverständnisses von Wissenschaft und adäquaten Wissenschaftstheorien etc., sondern ebenfalls eine Neubestimmung des Verhältnisses zur Theologie. Mit der Verwissenschaftlichung ganzer Lebensbereiche – man denke an die Herausforderung durch die sich entfaltende industrielle Revolution – musste eine zeitgemäße, d.h. vernünftige Begründung des Glaubens einhergehen, wie sie ansatzweise ab der Mitte des 17. Jhs. in der christlichen Apologetik versucht wird. Erstmals in diesem Zusammenhang findet sich in einer homiletischen Gleichnissammlung der Terminus *Physico-Theologie*⁴³, doch die geistige Tradition ist wesentlich älter.

Es ist zu erinnern an die oft bemühte Wendung der notwendigen Emanzipation der Philosophie und der Wissenschaft von der Theologie. Sie trifft als Pauschalisierung nicht den historischen Kern des Ablösungsprozesses, sondern nur, soweit die erstarrte Schultheologie der Orthodoxie samt entsprechender Institutionen gemeint sind.

Es waren i.d.R. progressive, z.T. deistisch orientierte, Theologen, sowohl protestantisch als auch katholisch, die Wesentliches zur Entwicklung der Naturwissenschaften geleistet haben. Wenn auch nicht jene einfachen, denen Roger (Ludger) Joseph Boscovich (1711–1787) in der Mehrzahl auf seiner Reise in den sechziger Jahren begegnet.⁴⁴

⁴² Teilweise nach Günter GAWLICK, Der Deismus als Grundzug der Religionsphilosophie der Aufklärung. In: Hermann Samuel Reimarus (1694–1768) – ein „bekannter Unbekannter“ der Aufklärung in Hamburg (= Veröffentlich. d. J. Jungius-Gesellschaft der Wissenschaften Hamburg) (Hamburg 1973) 32–36.

⁴³ Nach einer der zahlreichen homiletischen Schriften des schlesischen Predigers Jo(seph?) MOELLER (1611–1651), *Similitudines physico-theologicae*, Das ist, Mancherley schöne, nützliche und Geistige Gleichnisse / Darinn Nützliche Dinge / ... auff Geistliche Sachen ... appliciret etc. 1655.

⁴⁴ Des Abt Joseph Boscovich Reise [...]. A.d. Frz. übers. (Leipzig 1779) 48f., 52f., 69.

IVAN KOPREK (Zagreb)

AD METAPHYSICAM PERTINENS – DE ANIMA BOŠKOVIĆ'S BILD DER SEELE

In allen Zeiten und Kulturen tauchte im menschlichen Bewusstsein eine Art Zweidimensionalität auf, die durch das Begriffspaar Leib und Seele gekennzeichnet ist. Der Mensch ist – man könnte sagen – der Geist im Körper.

Das Ziel meines Beitrages besteht darin, in einigen Grundthesen Boškovič's Auffassung von der Seele nach seinem Text „Appendix ad Metaphysicam pertinens. De anima et Deo“, der im Anhang seines Werkes „Theoria philosophiae naturalis“ abgedruckt ist, darzustellen und zu diskutieren. Ich werde dies in drei Schritten tun, indem ich mich größtenteils auf die Paragraphen 524–539 beziehen werde: In einem ersten Schritt stelle ich den historischen Hintergrund von Boškovič's Auffassung der Seele dar, die etwa in der Tradition der scholastischen Philosophie, d.h. Th. von Aquins, und der philosophischen Überlegungen R. Descartes' steht. Im zweiten Schritt verfolge ich J. R. Boškovič's Auseinandersetzung mit G. W. Leibniz' Auffassungen. Und schließlich hebe ich im dritten Schritt einige spezifische Einstellungen Boškovič's zu diesem Thema hervor und kommentiere sie.

1. Der historische Hintergrund von Boškovič's Bild der Seele

Boškovič scheint in seinem Appendix (Paragraphen 524–539) zur „Theoria philosophiae naturalis“ beweisen zu wollen, dass seine Auffassung über die unausgedehnten und einfachen Materiepunkte weder die Unterschiede zwischen Materie und Geist noch die zwischen Materie und Gott verwischt. Vielmehr versucht er – sich auf Erfahrung beziehend – die sogenannten metaphysischen Fragen hervorzuheben, vor allem diejenigen zu Seele und Gott. Gott und Seele sind – wie im bekanntem Spruch des Bischofs von Hippo (Augustinus) – auch für Boškovič die zwei wichtigsten metaphysischen Fragen.

In seinen Überlegungen zu Seele und Gott folgte Boškovič's größtenteils der scholastischen Tradition, von allem der Th. von Aquins. Nach Th. von Aquin¹ gibt es im menschlichen Körper eine *anima rationalis*, die weder körperlich ist noch aus Materie und Form besteht, sondern sich aus Potenz und Akt zusammensetzt.² Sie ist von Gott geschaffen; sie ist mit dem Körper nicht vermischt; sie ist mit ihm nicht im Kontakt und überlappt sich nicht mit ihm, ist aber als substantielle Form mit ihm verbunden... Die Seele hat keinen organischen Platz,³ befindet sich ganz im gesamten Körper, organisiert ihn sogar, bewegt ihn und denkt auch in ihm. Sie ist unsterblich und weist vegetative, sensitive und intellektuelle Fähigkeiten auf.⁴

Die wichtigsten Quellen, derer sich Boškovič bedient hatte, waren wahrscheinlich die Einstellungen eines Jesuiten, nämlich des Kardinals J. B. Ptolemaeus (Tolomei) (1653–1726), der das heute weniger bekannte Lehrbuch unter dem Titel „Philosophia mentis et sensuum“ verfasste, dessen Erstausgabe 1696 in Rom und die zweite 1698 in Augsburg erschienen ist.

In seinem Lehrbuch meint Tolomei, der einige Zeit in Dubrovnik verbrachte und Kroatisch erlernte, dass man in der Seelendiskussion die Einstellungen THOMAS VON AQUINS sowie die Aristoteles' und einiger neuerer Philosophen annehmen sollte.⁵

¹ Vgl. TH. VON AQUIN, *Summa contra gentiles* II, 56–90; S. theol. I, q. 75–89.

² TH. VON AQUIN, *Summa theologica* I, q. 90, a.2,1.

³ THOMAS VON AQUIN, *Summa theologica* I, q. 102, a.2,3.

⁴ THOMAS VON AQUIN, *Summa contra gentiles* II, 89.

⁵ B. JANSEN, *Die Pflege der Philosophie im Jesuitenorden während des 17./18. Jahrhunderts* (Fulda 1938) 57–59.

Bekanntlich wurde in der neuzeitlichen Philosophie das Verhältnis zwischen Geist und Körper zum zentralen Thema, vor allem in den Überlegungen des Vaters der neuzeitlichen Philosophie und Jesuitenschülers R. Descartes.⁶ Die Geschichte zeugt davon, dass seine Ausführungen über dieses Thema bis in die heutige Zeit stürmische und kontroverse Diskussionen hervorgerufen haben.

Bekanntlich meinte Descartes, dass der Mensch eine klarere Auffassung von der Seele als von der Materie hat. Die Erkenntnis der Seele ist unmittelbar, da wir auf keine andere Weise als durch die Seele erkennen. Andererseits verstehen wir die Materie besser als die Seele, da wir die Materie auf mathematische Eigenschaften zurückführen können, aus denen sich durch Philosophieren materielle Erscheinungen ableiten und voraussagen lassen. Dies können wir aber nicht im Hinblick auf die Seele und seelische Begriffe tun. Descartes' Schlussfolgerung ist, dass Seele und Körper einander entgegengesetzt sind und dass sie nur mit Hilfe einer Macht verbunden worden sind. Die Gegenwirkung zwischen Seele und Körper setzt nach Descartes die Hilfe Gottes (*concursum* oder *assistentia Dei*) voraus.

Es steht also fest, dass seit Descartes die Frage nach dem Verhältnis zwischen Körper und Seele, dieser zwei sich wesentlich unterscheidenden Substanzen – das sogenannte Leib-Seele-Problem – erneut aktualisiert wurde. Diese Frage ist daraufhin zu einem unlösbaren empirischen und metaphysischen Rätsel geworden.

Bošković widerlegt zunächst Descartes' Meinung, nach der der tierische und menschliche Körper nur ein Automat ist, der alle seine Handlungen von sich selbst verrichtet. Andererseits billigt er – wie Duns Scot – dem Körper eine größere Autonomie im Hinblick auf den Körper zu, indem er das Verhältnis zwischen Geist und Körper dualistisch auffasst, und zwar als kausale Gegenwirkung zweier unterschiedlicher Wesen und nicht als etwas existenziell Vereinigtes.

Was aber der Mensch in seinem Wesen ist, erschöpft sich nach Bošković weder in den körperlichen Vorgängen noch in der Materie. Während sich alles an unserem Körper verändert, gibt es etwas, was unverändert bleibt – die Seele, die Identität und Selbständigkeit sichert.

Diese Selbständigkeit lässt sich an vernünftiger Erkenntnis und vernünftigem Willen erkennen. Bošković folgt der Idee von Th. von Aquin, der – sich auf Aristoteles beziehend – meint, dass „die Seele eine solche Kraft und Tätigkeit besitzt, an der der Körper nicht im wenigsten teilnimmt, und dass diese Kraft Vernunft heißt“⁷. Er wirft aber Descartes und den Kartesianern vor, dass sie – indem sie gegen Vorurteile ankämpften – auch selbst dem Sinnestrag, dass die Materie ununterbrochen ausgedehnt ist, verfallen sind. Er stellt fest, dass unsere Sinne zu grob sind, um die winzigen Abstände zwischen den Körperpartikeln wahrnehmen zu können. Er verwirft aber auch die extreme Auffassung, nach der all unsere Wahrnehmung schließlich trügerisch sei.

Also können wir sagen, dass Bošković sich auf seiner Suche nach der Antwort auf die Seelenfrage zwischen Rationalismus und Empirismus verortet. Als er seinen *Appendix* schrieb, hatte er drei falsche Einstellungen vor Augen: die Einstellung der Materialisten, die – indem sie die Materie überschätzen – ihr selbst seelische Wirkungen zuschreiben und dadurch das Fortdauern der Seele verneinen; die der Subjektivisten (Idealisten und Egoisten), die – indem sie den Geist überschätzen – behaupten, dass es in der Wirklichkeit außerhalb des menschlichen Geistes keine Dinge gibt; und schließlich Leibniz' Ausführungen.

⁶ Auf der 17. Generalkongregation im Jahre 1751 nahmen Jesuiten im 3. Dekret zu ihrem ehemaligen Schüler eine ziemlich wohlwollende Einstellung ein: *Es ist klar, dass Descartes Fehlglauben verbreitet, und sie müssen auf jeden Fall verworfen werden; andererseits kann man bei ihm auch viel Wahres finden.*

⁷ Vgl. THOMAS VON AQUIN (Anm. 1 u. 2) *Summa contra gentiles* I, 2, c. 37; *Summa theologiae* 1, q. 76 a. 1.

2. Bošković gegen Leibniz

Besonders interessant ist Boškovićs Auseinandersetzung mit Leibniz' philosophisch-anthropologischen Ausführungen und Auffassungen. Leibniz war der Meinung, dass der Körper aus zahlreichen Monaden besteht, deren Leitung eine Zentralmonade – die Seele – übernimmt. Alle Seelen wurden zur gleichen Zeit geschaffen und so gebildet, dass sie dem System einzelner Körper, in die sie eindringen, entsprechen. Der Körper ist aber auch so gebildet, dass er mit der Seele harmonisch bestehen kann. Nach Leibniz haben auch die Tiere eine Seele. Die menschliche Seele ist jedoch eine vollkommeneren Monade, die Vernunft und Sinne umfasst. Die tierische Seele ist nur eine niedrigere Monade – aus diesem Grund sind auch ihre Vorstellungen unklar und ihr Auffassungsvermögen schwach.

Bošković behauptet, dass alle Missverständnisse der Philosophie Descartes', nach der die Tiere nur Automaten ohne Seele seien, durch Leibniz' Hypothese auch auf die Menschen übertragen werden. Die Seele ist für Leibniz ein genauso vollkommener psychischer Automat, wie der Körper ein physischer ist, und zwischen den beiden gibt es keine wirkliche Wechselwirkung, so dass weder der Körper auf die Seele noch die Seele auf den Körper einwirken kann. Die Übereinstimmung ihrer Wirkung erfolgt nach den vorgeformten und von Gott festgelegten Gesetzen. Leibniz spricht von einer universalen „prästabilierten Harmonie“.

Bošković kritisiert und widerlegt die These von der „prästabilierten Harmonie“ als einer Art Gegenbeziehung zwischen Wesen. Falls in unserer Seele als höchster Monade schon die gesamte Realität (Welt) enthalten ist, ist es klar, dass in ihr auch unser Körper, dieser kleine Teil unserer Außenwirklichkeit, vorhanden ist. Wie kann aber die Seele – bemerkt Bošković – die Äußerlichkeit unseres Körpers wahrnehmen, d.h. die Tatsache, dass sich unser Körper außerhalb unserer Seele befindet, da sie schon uranfänglich in ihr selbst enthalten ist? Wie kann es vor diesem Hintergrund überhaupt etwas außerhalb der Seele geben?

Auf die gestellte Frage ahnte Bošković zwei Antworten: die Außenwirklichkeit unseres Körpers und all seiner Handlungen beeinflusst unseren Geist nicht unmittelbar – entweder weil er zu ihm keine Beziehung hat und es für ihn kein Außen gibt, oder weil er sich von unserem Geist diametral unterscheidet.⁸

Durch das Gesetz der wechselseitigen Anziehung und Repulsion ersetzt Bošković – wie er meinte – „das unendlich unwahrscheinliche“ Leibnizsche Prinzip einer allgemeinen „prästabilierten Harmonie“. Boškovićs Gesetz bezieht sich auf eine dynamische allgemeine gegenseitige Bezogenheit bzw. eine dynamische allgemeine gegenseitige Verträglichkeit und Unverträglichkeit.

Nach Bošković unterschied Leibniz darüber hinaus umsonst zwischen der geistigen Tätigkeit (die sich unter dem Einfluss der endlichen Ursachen frei vollzieht!) einerseits, und der körperlichen Tätigkeit andererseits, die sich ausschließlich mechanisch vollzieht (und zwar unter dem Einfluss der effizienten Ursachen!). Wie konnte Gott die Tätigkeiten der freien Seele und der körperlichen Maschine harmonisch im Voraus identifizieren?⁹ Bedeutet die Harmonie, von der Leibniz spricht, nicht etwa „die Zurückführung aller Dinge auf das reine Fatum und Notwendigkeit“? Bošković ahnt, dass es sich hier um eine Art Reduktion ad absurdum handeln könnte.

Mit Leibniz' Ausführungen setzt sich Bošković auch im Paragraphen 532 auseinander, indem er behauptet, dass der Seele – obwohl es möglich ist, dass sie sich nach etwas richtet – jedoch die freie Wahl bleibt, so dass sie sich auch für schwächere Motive entscheiden

⁸ Vgl. R. J. BOSCOVICH, *Philosophiae recentioris a Benedicto Stay Versibus Traditae Libri X, Tomus I*, 1755, Supplementum II: De Harmonia Praestabilita.

⁹ Gottfried Wilhelm LEIBNIZ, *Essai sur les elements principaux de la representation* (Paris 1908) 205–325.

kann. In diesem Sinne kritisiert Bošković auch das Leibnizsche Prinzip der „genügenden Ursache“, die seiner Meinung nach auch die Willensfreiheit zerstören würde, wenn es auch für sie gültig wäre. Um zu beweisen, dass unser Wille tatsächlich eine solche Willen- oder Selbstentscheidungsfreiheit aufweist, nennt Bošković drei Tatsachen: das Zeugnis des Selbstbewusstseins, Erfahrung und die moralische Verantwortung für beabsichtigte Taten.

Der Wille ist nach Bošković selbständig und selbstherrschend. Er ist weder unter dem Einfluss des Körpers und der Materie noch unter dem vernünftiger und sinnlicher Motive. Er kann frei entscheiden, man kann ihn zu nichts zwingen und er lässt sich zu nichts verleiten (*liberum arbitrium, libertas indifferentiae*). Dadurch widersetzt sich Bošković – indem er sich auf die Scholastiker, vor allem auf Th. von Aquin bezieht – dem psychologischen Determinismus Leibniz’.

Bošković verteidigt somit Th. von Aquins Lehre von der Indifferenz des Willens – den Indeterminismus. Was er Leibniz und seinen Nachfolgern vorwirft, ist die Tatsache, dass sie dasselbe Prinzip auch auf jene Wesen, Tatsachen, Wahrheiten anwenden, deren Existenz letztendlich von der Entscheidung des freien Willens abhängt – sei es des menschlichen, sei es des göttlichen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass nach Leibniz der freie Wille – immer wenn er sich für etwas entscheidet oder etwas wählt – der Grund dafür sein muss, dass er sich dafür entschieden hat, etwas lieber zu wählen als nicht zu wählen.

Boškovićs Kritik an Leibniz’ Auffassungen fußt einerseits auf scharf beobachteten Tatsachen, andererseits aber auf dem probabilistischen Verfahren der Wahrheitsbeurteilung. Bošković als Probabilist greift die wissenschaftliche Unwahrscheinlichkeit des Leibnizschen Prinzips an, und zwar vor allem seinen monadologischen Spiritualismus, indem er in der jesuitischen Tradition die menschliche Freiheit verteidigt. Von diesem Standpunkt aus beweist er auch, dass das apriorische Prinzip einer „prästabilierten Harmonie“ faktisch widersprüchlich, unwahrscheinlich und unmöglich ist.

3. Bošković zur Frage der Verortung der Seele und ihrer Beziehung zum Körper

Die Beziehung der Seele zum Körper weist nach Bošković – wie er im Paragraphen 531 seines Werkes *Theoria philosophiae naturalis* deutet – „drei voneinander unterschiedliche Gesetzesarten auf, von denen sich zwei von jener Gesetzesart, die zwischen den Punkten der Materie besteht, völlig unterscheiden, während die dritte Gesetzesart zwar teilweise mit ihr übereinstimmt, sich aber in so großem Ausmaß von ihr unterscheidet, dass diese Gesetzesart von jedem materiellen Mechanismus sehr weit entfernt ist. Die ersten zwei Gesetzesarten beziehen sich auf örtliche Bewegungen unseres organischen Körpers oder eher auf einen seiner Teile – ohne Rücksicht darauf, ob es sich um eine sehr dünne Flüssigkeit oder starke Fäden handelt – und auf nicht-örtliche Bewegungen, die im wahren Sinne geistige Bewegungen unseres Geistes sind, wie z.B. das Ideenregen für unsere Willenstaten. Durch die eine und die andere Gesetzesart rufen einige rein geistige Taten bestimmte Körperbewegungen hervor, und umgekehrt, sowohl die eine als auch die andere Gesetzesart erfordert unter anderem eine bestimmte Lage der Körperteile und eine bestimmte Lage der Seele zu diesen Körperteilen. Sobald es nämlich durch eine Verletzung des organischen Körpers zu einer Störung dieser gegenseitigen Lage der Körperteile kommt, hört die Gültigkeit dieser Gesetze auf und sie wirken nicht mehr, wenn sich die Seele irgendwo weit entfernt außerhalb des Körpers befindet.“¹⁰

Es gibt, schreibt Bošković, zwei Gesetzesarten: Nach der einen ist die Beziehung notwendig, und nach der anderen ist sie frei. Wir haben nämlich notwendige und freie Bewegungen, und oft kommt es vor, dass jemand, der vom Schlag getroffen wurde, jede Fähigkeit des freien Bewegens oder zumindest im Hinblick auf einige seiner Glieder verliert, die

¹⁰ J. R. Bošković, *Theoria Philosophiae naturalis* (Venedig 1763) Paragraph 531.

notwendigen Bewegungen jedoch beibehält, und zwar nicht nur diejenigen, die sich auf die Ernährung beziehen und nur vom körperlichen Mechanismus abhängig sind, sondern auch diejenigen, die unsere Sinne anregen. Deswegen ist es durchaus klar, dass es zwei Instrumentenarten gibt, derer wir uns für diese zwei Bewegungsarten bedienen, obwohl es bei der zweiten Gesetzesart passieren könnte, dass es hier zu einer notwendigen Beziehung kommt, aber keiner gegenseitigen. Es könnte nämlich passieren, dass unser gesamter freier Wille nur im Erregen der Willenstaten und mit ihrer Hilfe im Erregen der mentalen Ideen besteht, so dass – wenn diese Taten und Ideen schon einmal durch die geistige Bewegung erregt wurden – nach der zweiten Gesetzesart bestimmte örtliche Bewegungen in jenem Teil unseres Körpers, der als erstes Instrument für freie Bewegungen gilt, entstehen werden, ohne dass es dabei zu örtlichen Bewegungen einer unserer Körperteile oder zu Ideen unserer Seele kommt, die durch ein bestimmtes Gesetz den Geist lieber für diese Tat als die des freien Willens determinieren würden; obwohl es nach einem bestimmten Gesetz passieren könnte, dass sie dazu neigen und einige Taten leichter machen als andere, aber so, dass im Geist – in jener seiner Fähigkeiten, die wir Willen nennen – jedoch immer die völlige Entscheidungsfreiheit vorliegt, sogar auch jenes zu wählen, wozu sie keine Neigung hat, und bewirkt, dass von ihrer völligen Determiniertheit sogar jenes überwiegt, was unabhängig von ihr weniger Kraft hat. In derselben Gesetzesart werden einige Beziehungen örtlicher Körperbewegungen und der Ideen des Geistes mit einigen, nicht aus unserem freien Willen hervorgehenden Neigungen unseres Geistes genauso notwendig sein. Was es aber für Gesetze sind, wie viele gibt es, wie sie sich voneinander unterscheiden und ob jede Gesetzesart auf ein allgemeines Gesetz zurückgeführt werden kann – ist uns, zumindest jetzt, völlig unbekannt.¹¹

Die dritte Gesetzesart stimmt mit dem gegenseitigen Gesetz der Punkte insofern überein, dass sie sich auf die örtliche Bewegung der Seele selbst bezieht, auf ihre bestimmte Lage im Hinblick auf den Körper sowie auf eine bestimmte Anordnung der Organe. Solange nämlich die Anordnung, von der unser Leben abhängt, existiert, muss die Seele notwendigerweise den Ort wechseln, wenn der Körper seinen Ort wechselt, und zwar durch eine notwendige und keine freie Beziehung: denn wenn der Körper wegen seiner Masse fällt oder ihn jemand unerwarteter Weise wegstößt, wenn man mit dem Schiff fährt, wenn man sich nach dem Willen der Seele vorwärts bewegt, dann muss sich mit dem Körper notwendigerweise auch die Seele bewegen und sich immer an jenem entsprechenden Ort aufhalten und dem Körper immer folgen. Wenn es wiederum zur Auflösung der Beziehungen zwischen den organischen Instrumenten kommt, dann geht die Seele weg und trennt sich vom Körper, der nicht mehr zu seinem normalen Funktionieren fähig ist. Dieses, sich auf örtliche Seelenbewegungen beziehende Kraftgesetz unterscheidet sich wesentlich von den Materiekräften, indem es sich nicht ins Unendliche ausdehnt, sondern in eine bestimmte und ziemlich winzige Entfernung, so dass es keine so große Reziprozität der Determiniertheit hinsichtlich des Sich-Annäherns und Sich-Entfernens mit jenen so zahlreichen Grenzen aufweist, oder zumindest haben wir keine Anzeichen davon. Vielleicht weist die Seele nicht einmal bei kleinen Entfernungen von einem beliebigen Materiepunkt irgendwelche Determiniertheit zum Entfernen auf, da sie eher die Kraft der Kompenetration mit der Materie aufzuweisen scheint. Ich bin nämlich der Meinung, dass sich aus den Naturerscheinungen nicht entnehmen lässt, ob die Seele mit irgendeinem Materiepunkt kompenetriert. Darüber hinaus besitzt sie keine ewigen und unveränderlichen Kräfte, denn sie gehen zugrunde, sobald sich die Organisation des Körpers auflöst, und sie teilt sie auch nicht mit sich selbst Ähnlichem, d.h. mit anderen Seelen, so dass es zwischen ihnen weder Kompenetration noch jene Kohäsionsbeziehungen geben kann, aus denen die Wahrnehmbarkeit der Materie entsteht. Aus diesen schwerwiegenden Unterschieden geht deutlich hervor, dass das sich

¹¹ Vgl. Bošković (Anm. 10) Paragraph 532.

auf die Verbindung der Seele mit dem Körper beziehende Gesetz vom materiellen Organismus unterscheidet und von ihm weit entfernt ist.¹²

Daraus schlussfolgert Bošković: „Aus den Naturerscheinungen können wir auf keine Weise schließen, wo sich der Sitz der Seele befindet. Ist sie in einer bestimmten Anzahl der Punkte anwesend, so dass sie im gesamten intermedialen Raum jene virtuelle Ausdehnung aufweist, die wir in Nr. 84 verworfen haben, als diese Frage im Zusammenhang mit den ersten Materieelementen gestellt wurde, oder ist sie vielleicht mit einem Materiepunkt kompenetriert; wenn sie doch mit der Materie verbunden ist, bringt sie mit sich jene notwendigen und freien Beziehungen, so dass entweder dieser Punkt zusammen mit anderen Gesetzen auf andere Punkte einwirkt oder sich alles andere, wenn in ihr bestimmte Bewegungen entstehen, nach einem, aller Materie gemeinsamen Kraftgesetz vollzieht. Befindet sich die Seele in einem einzigen Punkt des Raumes, der von keinem Materiepunkt besetzt wird, so dass sie mit anderen Punkten verbunden ist, und zwar im Hinblick auf welche sie alle jene Gesetze örtlicher und typisch geistiger Bewegungen, von denen wir gesprochen haben, aufweist, bin ich der Meinung, dass wir dies weder *aufgrund der Naturerscheinungen selbst*, noch aus den Erwägungen und Überlegungen über alles, was mit ihnen zusammenhängt, je erfahren werden.“¹³

Der potenzielle Raum und die potenzielle Zeit, von denen Bošković in den vorhergehenden Paragraphen seiner „Theorie“ sprach, werden von wirklichem Raum und wirklicher Zeit ergänzt, sind aber zugleich der Sitz mentaler Prozesse. Dadurch stellt er eine tiefe Verbindung zwischen dem Physischen und dem Psychischen her, ohne das eine oder das andere zu leugnen, wie es konsequente Idealisten oder Materialisten gemacht haben. Dies ist freilich eine wichtige Ahnung der Lösung des alten Leib-Seele-Problems, eine Ahnung, die zu Boškovićs Zeit auch nicht genauer erforscht werden konnte. Es war hier wichtig, dass der physische Prozess von den entsprechenden Veränderungen im potenziellen Raum begleitet wurde, in dem er wiederum mit den mentalen Prozessen zusammengesetzt werden kann.

Bošković scheint die erste Sinnestheorie vertreten zu haben, die unserer heutigen Anschauung voranging, nach der biologische Prozesse mikroskopisch so fein sind, dass die makroskopischen Körpervorstellungen auf sie nicht ohne weiteres angewendet werden können. Analog hätte er auch die Übertragung von Entscheidungen in körperliche Bewegungen deuten können. Dass er dabei aber auf weiteres Spekulieren verzichtet hat, zeugt von der Einstellung eines Wissenschaftlers, der dort stehen geblieben ist, wo es keinen empirischen Beweis mehr gibt.

Die virtuelle Ausdehnung der Seele im gesamten Körper, wie sie Scholastiker gedeutet haben, war für Bošković nur eine analytische Ableitung aus dem Seelenbegriff als Wesensform des Körpers. Jedoch ist dieser Begriff kein wirklicher Beweis für diese Ausdehnung, so dass Bošković aus diesem Grund annimmt, dass die Existenz einer virtuellen Ausdehnung der Seele durch den gesamten Körper nur induktiv-deduktiv, anhand der Wahrnehmung psychologischer und physiologischer Tatsachen, bewiesen werden kann.

Genauso lässt sich – wie Bošković behauptet – die virtuelle Ausdehnung gänzlich bestreiten, vor allem aus dem Grund, dass ein Mensch Fingerschmerzen hat, nachdem ihm der Finger schon seit langem abgeschnitten wurde, also ist die Seele nicht im Finger anwesend. Aber dieser Grund hat für ihn keine Beweiskraft.

Der Sitz der Seele lässt sich weder nur aufgrund der (psychologischen und physiologischen) Erscheinungen noch durch die „Reflexion“, das Philosophieren über diese Erscheinungen, bestimmen. Es ist nämlich nicht zu erfahren, a) ob die Seele einer größeren Anzahl von Materiepunkten zugeordnet ist, um – wie die scholastischen Peripathetiker

¹² Vgl. Bošković (Anm. 10) Paragraph 533.

¹³ Ebd. Paragraph 534.

denken – eine virtuelle Ausdehnung zu besitzen, b) ob sie einem Materiepunkt gehört, oder c) ob sie in einem einzigen materieleerem Punkt des Raumes existiert. Es ist schwer zu entscheiden, welche dieser drei Annahmen richtig ist. Mann sollte nämlich wissen, ob psychologische oder physiologische Phänomene auf jede dieser drei Weisen möglich sind, oder nur auf eine dieser Weisen, z.B. nur bei der räumlichen Verbindung der Seele mit einem Körperpartikel oder mit dem gesamten Körper. Und um das zu erfahren, sollte man die Verbindungsgesetze kennen, d.h. die Gesetze der gegenseitigen Verbindung zwischen Seele und Körper, sowie die Disposition aller Materiepunkte, aus denen sich der Körper zusammensetzt. Mit anderen Worten: man sollte genau wissen, wie alle Bewegungen, die aus durch die mechanische Anordnung jener Materiepunkte entstehen können, zu bestimmen sind. Nur dann, wenn man all das wissen würde (und all das weiß man nicht, es ist uns unbekannt!), könnte man erfahren, ob aus jenen Bewegungen, die die Seele durch den Befehl ihres Willens oder durch die Notwendigkeit (Not) seiner Existenz (unwillkürlich) in einem einzigen Teilchen oder in einer bestimmten Teilchenmenge der körperlichen Materie erregen würde, in dem bzw. in der die Seele auf die Weise a) oder auf die Weise b) existieren würde, alle anderen Bewegungen der Seelenteilchen (*spirituum*) und Nerven, die sich bei unseren Willenstaten vollziehen, folgen würden, sowie die unfreien, unwillkürlichen Bewegungen einer Menge der körperlichen Punkte, die mit Ernährungs-, Ausscheidungs-, Atmungsprozessen und anderen unfreien Tätigkeiten zusammenhängen, und zwar nach einem Kraftgesetz, das für alle Materiepunkte (aufgrund des materiellen Mechanismus selbst) allgemein gültig ist.

Bošković ist der Meinung, dass die Seele den gesamten potenziellen, vom Körper abgegrenzten Raum einnimmt. Deswegen hat der Körper überall die Sinnesfähigkeit, und unsere Seele kann die Körperteile bewegen. Daran sieht man wieder, dass der mathematische Raum für Bošković nicht nur ein abstraktes Gebilde ist, sondern sich in ihm potenzielle physikalische Größen und die Seele befinden. Er weigerte sich jedoch, die Interaktion zwischen physischen und mentalen (psychischen) Phänomenen näher zu beschreiben.

Biologische und psychologische Prozesse können nach Bošković aus der Interaktion zwischen seinen (wirklichen) Punkten und der Seele im mathematischen oder potenziellen Raum verstanden werden. Neuere Forschungen haben seine alte Ahnung bestätigt, dass biologische Prozesse mikroskopischer Natur sind, so dass sie durch die Vorstellungen der makroskopischen, klassischen Physik nicht erfasst werden können.

Auf jeden Fall kann man bei Bošković weder durch die Wahrnehmung der psychologischen, physiologischen und anatomischen Tatsachen noch durch das Philosophieren darüber erfahren, ob die Seele sich in einem, in der Materie nicht vorhandenen Punkt des Gehirnbereichs befindet oder ob sie durch die sog. virtuelle Ausdehnung in allen materiellen Atomen unseres Körpers anwesend ist. Es ist nur klar, dass Bošković in seiner Philosophie vom Anfang an die monistische Philosophien, die Leibniz oder Spinoza vertraten, verabscheute. Gleichzeitig war für ihn auch Descartes' Dualismus mit den Substanzen Geist und Materie nicht akzeptabel. Boškovićs Vorgehensweise ist indeterministisch-pluralistisch in diesem Sinne, dass er die Wirklichkeit weder ausschließlich physisch noch psychisch ohne einen tieferen Bezug zum Physischen auffassen wollte.

Durch die Ablehnung des Determinismus und die Einführung des Potenziellen – wie es Bošković machte – wird der traditionelle Begriff des Materiellen und überhaupt der Begriff einer petrifizierten „Außenwelt“ aufgelöst. Durch diese Einheit von Mensch und Natur überwindet die moderne Wissenschaft den Konflikt zwischen Leib und Seele, zwischen Materialismus und Idealismus. Der entdeckte Indeterminismus ermöglicht ein besseres Verständnis vom Menschen und seiner Freiheit, was sowohl für die Wissenschaft als auch für die Ethik und Religion Folgen hat.

Da Bošković meint, dass der Glaube der wichtigste und stärkste Beweis für die Immaterialität, und dadurch für die Unsterblichkeit der menschlichen Seele ist, erklärt er, dass

alle Beweise der Vernunft für die Immaterialität (und die Unsterblichkeit) der Seele für ihn nicht ohne weiteres haltbar sind.

Zweifellos entfernt sich Bošković durch diese Auffassungen von den Scholastikern, dem Heiligen Augustinus und Th. von Aquin, die uns belehren, dass auch mit Hilfe der Vernunft aus der Existenz der menschlichen Seele auch ihre Immaterialität und Unsterblichkeit unwiderlegbar bewiesen wird, und nähert sich Th. von Aquins scholastischen Gegnern Duns Scott und Occam, nach denen die Immaterialität und Unsterblichkeit der mentalen Kraft in uns, der Seele, nicht durch rationale Gründe bewiesen werden kann, sondern dass sie erst durch den Glauben gewährleistet ist. Das heißt natürlich nicht, dass eine solche Ausführung weniger wert ist. Im Gegenteil! Es lässt sich abschließend sagen, dass Wissen und Glauben, worüber auch heute die Rede ist, auch bei Bošković einander nicht ausschließen, sondern ergänzen.

Zusammenfassung

Die wahrscheinlich wichtigsten Quellen in Boškovićs „Appendix ad Metaphysicam pertinentens. De anima et Deo“ zu seiner „Theorie der Naturphilosophie“ (erläutert in §§ 524–539) sind die Stellungnahmen des Kardinals J. B. Tolomei (1653–1726), eines Jesuiten, der längere Zeit in Dubrovnik lebte und die kroatische Sprache lernte, beziehungsweise dessen wenig bekanntes Lehrbuch „Philosophia mentis et sensuum“ (Rom 1696, Augsburg 1698).

Als Bošković seine Diskussion über die Seele schrieb, hatte er drei falsche Stellungnahmen vor Augen: die Stellungnahme der Materialisten, welche, die Materie überschätzend, ihr selbst die Seelenwirkungen beimessen und somit das Bestehen der Seele negieren; der Subjektivisten (Idealisten und Egoisten), die, den Geist überschätzend, behaupten, dass in der Wirklichkeit außerhalb des menschlichen Geistes kein Gegenstand bestehe; und drittens die Auszüge von Leibniz. Bošković bestreitet kurz diese drei Stellungnahmen indem er sich auf Descartes und Aristoteles stützt.

Besonders gegen die Materialisten befürwortet Bošković mit all seiner Entschlossenheit das Bestehen der Seele und auch, dass sie eine vom Körper unterschiedliche Substanz ist. Er beweist das im § 152 in seiner „Theoria“ und weiter aufgrund der Ortsentfernung und der Bewegung. Im „Appendix...“ auch aufgrund der Erfahrung (§ 522).

Im § 527 und weiter behauptet Bošković, daß wir zwei Wirkungsarten in der Seele durch unser innerstes Gefühl (*intimo sensu*) erleben (*experimur*) und durch die Reflexion erkennen, die von der Wirkung der Materie (die laut § 526 nichts als Bewegung im Raum ist!) völlig unterschiedlich sind: eine Art ist das Empfinden und die zweite ist das Denken und Wollen. Über diese zweifache Wirkung der Seele haben wir erfahrungsmäßige und unmittelbarste Ideen, völlig unterschiedlich von den Gedanken, die wir in der räumlichen Bewegung haben.

In der Rede über die Seele ist Bošković besonders kritisch gegenüber den Stellungnahmen von Leibniz. Er behauptet nämlich, daß alle Missverständnisse der Philosophie von Descartes, wo die Tiere nichts als seelenlose Automaten sind, durch die Leibnizsche Hypothese auch auf die Menschen übertragen werden. Gleichzeitig ist für ihn Descartes' Dualismus mit der Geist- und Materiesubstanz unannehmbar.

Boškovićs Betrachtung des Verhältnisses zwischen Körper und Seele ist pluralistisch in dem Sinne, dass er auch die Wirklichkeit nicht rein physisch und auch nicht psychisch ohne tiefere Beziehung mit dem Physischen begreifen will. Deswegen kann der Sitz des Seele kaum in den Erscheinungen als solchen (psychologischen und physiologischen) und auch nicht durch die „Reflexion“ über diese Erscheinungen gefunden werden. Es ist nämlich nicht möglich, zu erfahren, ob a) zur Seele eine größere Anzahl von materiellen Atomen gehört, damit sie eine virtuelle Ausbreitung hätte, oder b) sie zu einem einzigen Atom der Materie gehört, oder c) sie in einem einzigen Punkt im leeren, materielosen Raum besteht.

NIKOLA STANKOVIĆ (Zagreb)

AD METAPHYSICAM PERTINENS-DE DEO:
BOŠKOVIĆS GOTTESBILD

1. Einführung

Mein Thema gehört nicht strikt zum Hauptthema des Symposiums „Ruder Bošković (Boscovich) und sein Modell der Materie“ in dem Boškovićs Modell der Materie behandelt wird. Es gehört auch nicht direkt zur Theorie der Naturphilosophie¹, sondern es handelt sich um einen Appendix zu deren Text. Aus diesem Anhang lässt sich schlussfolgern, dass nach Bošković die Naturphilosophie nicht richtig abgeschlossen und die Natur in ihrem Aufbau nicht verstanden werden kann, ohne diesen Appendix in Betracht zu ziehen. Und dies, worüber im zweiten Teil des Anhangs die Rede ist, kann nicht ein Teil der Natur sein und auch nicht ein Gegenstand der Naturphilosophie, sondern geht über die Natur hinaus. Sie (die Natur) lässt sich nicht aus ihr selbst heraus deuten. Man muss jenseits der Phänomene gehen und sehen, was dahinter steht.

In der *Epistola auctoris dedicatoria primae editionis viennensis* schreibt Bošković: *Es ist wirklich ein Wunder, wie das Betrachten der Natur den Geist herrlich zur Beobachtung der himmlischen Dinge führt, so dass sich dieser zum göttlichen Schöpfer des großen Weltalls zuwendet und seine Allmächtigkeit, Weisheit und Vorsehung bewundert, die überall offensichtlich ist.* (IX) Genauso – meint Bošković – solle man dafür Sorge tragen *dass sich bei der ersten Unterweisung der unbefangenen Jugend, die immer von der Erforschung der Natur ausgehen muss, in ihre Seelen keine falschen und gefährlichen Prinzipien einschleichen, die den Glauben spürbar verderben oder ihn sogar umwenden und von Grund auf untergraben könnten. Wir sehen leider, dass das wie durch eine schicksalhafte Wendung überall in Europa geschieht, so dass diese Jugendliche zwar verlockende, aber in ihrem Wesen eigentlich sehr gefährliche Ansichten aufgenommen haben und dies erweckt den Schein, als wären sie erst dann zur wissenschaftlichen Erkenntnis gekommen, nachdem sie Gott selbst, den allwissenden Schöpfer, der über die Welt waltet (Deum ipsum sapientissimum Mundi Fabricatorem, atque Moderatorem), aus ihrer Seele vertrieben haben.* (IX/X)

Ebenso widerspricht die Beschäftigung mit der Theorie der allgemeinen Physik (*universae physicae theoriam*) nicht der Berufung zum Priester; sie ist mit diesem vollständig vereinbar (vgl. X). Das heißt nach der Auffassung von Ruder Bošković, dass sich der Glaube an den göttlichen Schöpfer und die Erforschung der Physik in keiner Weise widersprechen, genauso wenig wie sich der Glaube ans Paradies und – wie man zu sagen pflegt – der Aufbau von Tomaten nicht widersprechen.

Boškovićs Überlegungen stellen *eine neue Art der allgemeinen Naturphilosophie* dar, die sich in vielerlei Hinsicht von den bisherigen Ansichten und Meinungen unterscheidet. (X) Es wird besonders die Theorie von Leibniz über einfache und unausgedehnte Elemente erwähnt, wie auch *Newtons Kräfte, die bei einem Abstand gegenseitige Anziehung verursachen, und bei anderem Abstand gegenseitige Entfernung* (X) und diese nennt Bošković anziehende und abstoßende Kräfte. Bošković bediente sich *des logischen Denkens, basierend auf den allgemein angenommenen Prinzipien* (X), und dann – sagt er weiter – *bin ich durch die ununterbrochene Verbindung von Schlussfolgerungen auf das einzig und alleinige, einfache und ununterbrochene Gesetz der Kraft, das es in der Natur gibt, gestoßen und welches mir durch seine Anwendung die Zusammensetzung von Elementen der Materie,*

¹ Die Zitate in diesem Artikel beziehen sich auf die erste Ausgabe der „*Philosophiae naturalis theoria*“ Wien 1758 und nicht auf die „*Theoria philosophiae naturalis*“, Venedig 1763. Die Nummern in Klammern zeigen die Seiten an.

die Gesetze der Mechanik und die allgemeinen Eigenschaften der Materie selbst, sowie die Hauptunterschiede von Körpern offenbart, so dass in all dem und überall eine einheitliche Wirkungsart offensichtlich wird. (X/XI) Zu dieser Schlussfolgerung kam Bošković durch eine kontinuierliche Reihe von Überlegungen. Die vielschichtigen Erscheinungen in der Natur hängen von den verschiedenartigen Verbindungen von Elementen ab, aus denen sich die Natur zusammensetzt. In dieser Widmung wird behauptet, dass für die verschiedenen Kombinationen, aus denen sich die Natur zusammensetzt, die Intention des höchsten Urhebers (Conditoris Supremi) und die unermessliche Kraft der Vernunft Gottes (immensa Mentis Divinae vis) gesucht wird, der die unbegrenzte Zahl von Fällen (infinitos casus) erwägt. Er wählt für eine bestimmte Sache die geeignetste aus und führt sie in die Natur ein. (XI)

In der vorliegenden Arbeit widmen wir uns dem Vorhaben von Bošković, der eindeutig zeigen möchte, dass wir aus der Beobachtung und Erforschung der Natur und besonders aus seiner Theorie der Punkte und Kräfte heraus zur Schlussfolgerung kommen müssen, dass es einen allmächtigen und weisen Schöpfer der Natur (*potentissimus ac sapientissimus Auctor Naturae*) gibt. Zu dieser Erkenntnis zu kommen ist für Bošković die wichtigste Aufgabe im Prozess aller philosophischen Überlegungen. Dabei gebraucht er den Ausdruck *die größte Frucht aller philosophischen Überlegungen* (*maximus omnium philosophicarum meditationum fructus*).² Demzufolge ist also Gotteserkenntnis die wichtigste und erhabenste Erkenntnis. Aber das heißt nicht, dass die Erkenntnis von Naturprozessen im vornherein anderen Zielen angepasst werden soll. Im Gegenteil, je besser die Natur erforscht wird, umso besser offenbart sie das Wunderbare und weist über sich hinaus. Demzufolge sollte sich die Erkenntnis der Natur so gestalten, dass man zu einer möglichst objektiven Gewissheit gelangt, und diese objektive Erkenntnis oder Theorie, die sich dem realen Tatbestand zunehmend nähert, dient der Erkenntnis des Schöpfers der Natur mehr als jede andere Illusion über die Natur.

Für Bošković ist jene Erkenntnis objektiver, die mit wenigeren Prinzipien bei der Deutung von Naturprozessen auskommt, im Gegensatz zur Erkenntnis, die sich einer Vielzahl von Prinzipien bedient. Deswegen war er darum bemüht, alles in der Natur unter ein einheitliches Gesetz der Kräfte, die zwischen unsichtbaren und unausgedehnten Punkten wirken, zu stellen. Die Ideen über diese Punkte formen wir mit unserem Verstand. Sie sind uns nicht durch die Sinne erreichbar, denn auf die Sinne wirkt nur die Masse. Bošković betont ausdrücklich: *Ich schreibe der Materie keine andere Art von Kraft oder Tätigkeit zu außer einer, die sich auf die lokale Bewegung und gegenseitige Annäherung beziehungsweise Entfernung bezieht. (248)*

Die Anwendung der Theorie von Bošković auf die Mechanik und Physik kann in dieser Arbeit nicht thematisch und ausführlich behandelt werden. Es geht vielmehr darum, was im Anhang (Appendix) angeführt wird, und zwar im zweiten Teil in dem Bošković über Gott redet *und seine Existenz mit vielen Belegen beweist*, die selbstverständlich mit seiner Theorie *in Verbindung stehen*. (vgl. XXXVII) Bošković besteht auf Beweisen, die auf seinen Meditationen über die Natur gründen. Er greift nicht auf die übernatürliche Offenbarung zurück, vielmehr führt er Beweise für Gottes Existenz, seine Weisheit und Vorsehung an.³

Es handelt sich da um Beweise oder Argumente, die von der Beobachtung der Welt ausgehen und besonders auf der Theorie gründen, zu der Bošković durch die auf derselben Beobachtung basierenden Überlegungen gekommen ist. Diese Beweise zählen (in

² Dieser Ausdruck hat hier ähnliche Bedeutung wie im Büchlein zu Exerzitien vom Hl. Ignatius von Loyola (e.g. Annotatio 20).

³ Bošković hat ein christliches Verständnis von Gott und steht unter dem Einfluss der Exerzitien vom Hl. Ignatius, in denen erwähnt wird, dass Gott in den Schöpfungen wirkt, alles um des Menschen Willen.

gewissem Sinne) zu den kosmologischen Beweisen, weil sie von der Erfahrung⁴ und der Erkenntnis der äußerlichen Dinge, die dem Kosmos gehören, ausgehen. Doch es stellt sich die Frage – aber darauf wollen wir nicht näher eingehen – inwieweit diese Beweise mit den anthropologischen und apriorischen Beweisen in Verbindung stehen und ob das a priori und a posteriori in unserer Erkenntnis gänzlich abgesondert ist oder doch in einem gewissen gegenseitigen Verhältnis steht.

2. Beweise über die Existenz eines allmächtigen und weisen Schöpfers – die Existenz Gottes

2.1. Beweis aus der unbegrenzten Unwahrscheinlichkeit von Kräfteverbindungen, die unsere Welt bilden

Bošković behauptet, dass aus seiner Theorie die Erkenntnis eines Göttlichen Schöpfers der Natur klar hervorgeht und ebenso muss *seine größte und grenzenlose Macht, Weisheit und Vorsehung, die in uns eine tiefe Achtung, aber gleichzeitig auch Dankbarkeit und Liebe auslöst* anerkannt werden. (254) Deswegen verwirft Bošković entschlossen alle *nichtigen Träumereien jener, die der Ansicht sind, dass die Welt zufällig oder durch eine schicksalhafte Notwendigkeit entstanden ist, oder dass sie seit immer, ihre eigenen notwendigen Gesetzmäßigkeiten folgend, existiert.* (254) Bošković möchte vor allem jene Behauptung widerlegen, dass alles durch Zufall hätte entstehen können. Die Kombinationen der endlichen Anzahl von Elementen (*finiti terminorum numeri combinationes*) sind nach Meinung der Vertreter des Zufalls endlich in der Zahl. Aber, nach derselben Meinung müssen in der unendlichen Ewigkeit auch unendlich viele Kombinationen existieren, und so müssen diese endlich in der Zahl sich auch unendlich oft wiederholen. Dieser Meinung zufolge *ist auch die Wahrscheinlichkeit der Wiederholung dieser individuellen Kombination, die wir haben, unendliche Male größer, und zwar in jeder beliebigen Zahl der Wiederholung von durch reinen Zufall zurückkehrenden Kombinationen, als die Wahrscheinlichkeit, dass diese Kombination nie zurückkehrt.* (254)

Bošković erkennt nicht an, dass *etwas ist, was in sich wirklich zufällig ist, denn alle Erscheinungen in der Natur haben ihre determinierten Ursachen, auf die sie zurückzuführen sind. Und deshalb bezeichnen wir etwas als zufällig, weil uns die Ursachen, die diese Existenz determinieren, nicht bekannt sind.* (254)

Bošković erkennt also gänzlich zufällige Erscheinungen in der Natur nicht an, ebenso wenig wie die Tatsache, *dass die Zahl der Kombinationen von zahlenmäßig begrenzten Terminen endlich ist, wenn man alles in Erwägung zieht, was für die Zusammensetzung der Welt notwendig ist.* (254) Die Zahl der Kombinationen ist endlich *wenn man unter dem Begriff der Kombinationen nur eine Ordnung versteht, in der die einen Termine hinter anderen auftreten. Ein Beispiel dafür sind Buchstaben, aus denen sich Vergils Poem zusammensetzt und die wir in einem Sack durchschütteln, und dann Buchstabe für Buchstabe herausnehmend in einer Reihe anordnen würden.* Durch eine unendliche Zahl von Wiederholungen dieser Handlung *würde jene Kombination von Vergil wieder auftreten, wenn die Zahl der aufeinander folgenden Wiederholungen größer als irgendeine bestimmte Zahl sein würde.* (255)

⁴ Kant kritisierte den kosmologischen Beweis in engerem Sinne (den er mit Leibniz *a contingentia mundi* nennt) in seiner Kritik der reinen Vernunft und sagte, dass dieser über den Umweg auf den ontologischen Beweis und seinen Ausgangsbegriff *ens realissimum* zurückgeht. So würde sich dieser Beweis nicht auf die Erfahrung der Realität stützen, sondern auf dem Begriff selbst, in dessen Inhalt nichts existiert, und so kann sich die Existenz auch nicht aus ihm ableiten. Die Existenz ist nur eine Position und bildet nicht den Inhalt des Begriffs.

Um zu beweisen, dass die Zahl der nicht wiederholbaren Kombinationen unendlich ist, macht er darauf aufmerksam, dass sich in der Struktur der Welt *die Verteilung der materiellen Punkte in einem Raum befindet, der sich in die Länge, Breite und Tiefe ausdehnt. Des Weiteren gibt es eine unendliche Anzahl von Geraden auf einer Ebene, genauso wie es in einem Raum unendlich viele Ebenen gibt. Und für jede Gerade auf einer Ebene gibt es unendlich viele Arten von Kurven, die alle aus einem vorgegebenen Punkt der Gerade in dieselbe Richtung ausgehen und für jede Kurve dieser Art ist die Zahl jener, die nicht die vorgegebenen Punkte berühren, unendlich größer.* (255) Hervorzuheben hierbei ist die unendlich variable Entfernung zwischen einzelnen Punkten, die Geschwindigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt, sowie die unendlich große Anzahl von Geraden auf derselben Ebene und die unendlich große Anzahl von Ebenen in einem Raum.

Möglich sind auch geordnete Kombinationen, aber die Zahl der Ungeordneten ist unendlich größer. Die Beschäftigung mit allen diesen Kombinationen ist nicht unsere Aufgabe. Viel mehr wollen wir feststellen, was Bošković meint, wenn er folgendes sagt: *Es ist unendlich wahrscheinlicher, dass – angesichts einer sehr großen Unendlichkeit (infinitate ordinis admodum elevati) – eine ungeordnete Reihe von Kombinationen und ein richtiges Chaos entsteht, an Stelle einer Kombination, in der Ordnung herrscht und eine Welt, die wir sehen und bewundern.* (256) Hierzu folgt Boškovićs Schlussfolgerung: *„Um diese unendliche Unwahrscheinlichkeit (infinita improbabilitas) in einem gewissen Sinne zu meistern, bedarf es einer unendlichen Kraft eines höheren Schöpfers, der eine dieser unendlichen Kombinationen ausgewählt hat.“*⁵ (256) Keine Kombination, für sich selbst genommen, hat Vorrang vor einer anderen, und deshalb ist es unwahrscheinlich das gerade jene mit einer bestimmten Ordnung entstanden ist, und nicht jene mit einer Unordnung, die wahrscheinlicher ist.

2.1.1. Der Vergleich mit einem Bildhauer

Die Determiniertheit einer Skulptur seitens des Bildhauers kann keinen richtigen Vergleich darstellen. Der Bildhauer nämlich kennt nicht alle Gesetzmäßigkeiten der Natur, und auch nicht alle Möglichkeiten einer Statue. Auf dieselbe Weise wählt er nicht eine individuelle Form aus, sondern *auf eine sehr konfuse Art und Weise nur irgendeine Form, während jene individuelle Form nach dem Gesetz der Natur und nach der individuellen Strukturierung der Welt durch den unendlichen Schöpfer der Natur entsteht, und zwar in dem er die unendliche Nicht-Determiniertheit überwindet.* (256) Daraus folgt: *Wenn es niemanden gibt, der einen der unendlich vielen Fälle determiniert und der auf dieser Stufe der Unendlichkeit wäre, dann könnte dieser individuelle Fall für sich selbst nicht vor anderen Fällen entstehen, und genauso wenig könnte er auch durch eine zufällige Eventualität entstehen.* (256) Gott hat die Macht, die Unendlichkeit zu erkennen und zu unterscheiden, und nach Bošković ist diese *Macht notwendig, um einen individuellen Fall von der unendlichen Zahl der Fälle, die derselben Art gehören, zu unterscheiden.* (256)

2.1.2. Widerlegung der Behauptung, dass diese Weltstruktur notwendig ist

- a) Die erste Widerlegung verwirft die Behauptung, dass gerade diese Ordnung notwendig ist, dass sie von sich selbst aus ewig existiert und das alle nächsten Fälle durch den unmittelbar vorangehenden determiniert sind und *von dem inneren Gesetz der Kraft, dem gerade jene individuellen Punkte, und keine anderen notwendig sind.* (256) Bošković widersetzt sich dieser Behauptung und macht vor allem darauf aufmerksam, dass der

⁵ *Atque ad vincendam determinate eam infinitam improbabilitatem, requiritur infinita vis Conditoris Supremi seligentis unam ex iis infinitis.*

Mensch schwer die Gewissheit erlangen kann, dass dieses einzige Gesetz der Kraft – im Bezug auf einen bestimmten Punkt – das einzig mögliche und notwendige ist. Warum müssen sich die Punkte bei einer bestimmten Entfernung *mit gerade dieser und nicht einer anderen Anziehungskraft* anziehen? (257) Bošković sieht keine Verbindung zwischen einer solchen Entfernung und einer solchen Kraft dieser Art. Nach seiner Meinung könnte hier jede andere Kraft auftreten. Bošković weist darauf hin, dass gerade diese Kombination *ein freies Wesen mit unbegrenzter Macht zu determinieren*, ausgewählt hat. (257) Und ebenso, wenn diese Punkte ihrer Natur nach gerade nach diesen Kräften verlangen, so hätte jenes Wesen auch andere Punkte, die nach anderen Verhältnissen zwischen der Entfernung und der Kräftewirkung verlangen, erschaffen können.

- b) Die zweite Widerlegung gründet auf der Tatsache der endlichen Zahl von Punkten. In den geschaffenen Wesen ist das unendlich Große und unendlich Kleine von sich aus unmöglich und Bošković hat mehrere Beweise an mehreren Stellen angeführt und auf diese beruft er sich.⁶ Er vertritt die These, dass die *Zahl der materiellen Punkte endlich ist, oder – im Einklang mit der allgemeinen Auffassung – dass die Masse der Materie, die existiert und notwendigerweise einen endlichen Raum einnimmt, endlich ist, und demzufolge kann sie sich nicht in die Unendlichkeit ausbreiten.* (257)

Bošković fragt nicht nur, wie die Punkte beschaffen sind und welche Kräfteverhältnisse zwischen ihnen herrschen, sondern auch warum das so ist wie es ist. Warum gibt es nämlich gerade so viele Punkte wie es sie gibt – also eine bestimmte Anzahl? Und warum ist die Menge der Materie gerade so groß wie sie ist? Boškovićs Antwort lautet, dass es dafür keinen *anderen Grund geben kann, außer dem freien Willen eines Wesens, dass eine unendliche determinierende Macht besitzt.* (257) Bošković denkt, dass niemand einen ausreichenden Grund haben wird, um zu behaupten, dass in einer bestimmten Anzahl von Punkten vorrangig eine bestimmte Notwendigkeit existiert an Stelle einer anderen. Die Welt hätte also auch größer oder kleiner sein können, und trotzdem würde dieselbe Notwendigkeit zwischen den Kräften herrschen. Warum gibt es also gerade diese Anzahl von Punkten, die es gibt und diese Masse der Materie, die wir vorfinden? Die Antwort basiert nicht auf Notwendigkeiten, sondern auf dem freien Willen des Schöpfers. Nicht nur, dass diese bestimmte Anzahl von Punkten nicht zu existieren brauchte, sie hätte auch überhaupt nicht existieren müssen. So wie die Zahl der Punkte kontingent⁷ ist – im Sinne, dass die Zahl so groß ist wie sie ist und dass sie nicht so groß sein muss – so ist auch die Existenz irgendeines Kräftezentrums oder die Existenz von Punkten oder der Masse der Materie kontingent.

- c) In der dritten Widerlegung sagt er, dass die Unendlichkeit in der Ausdehnung vollkommen unmöglich ist und dass sich das auf jede Gerade, die sich in die Unendlichkeit ausdehnt, bezieht. *Die Bewegung kann sich wirklich in die Unendlichkeit in der zukünftigen Zeit ausdehnen; denn, wenn sie einmal angefangen hat, wird sie niemals bis zu jenem Zeitpunkt ankommen, in dem sich die Existenz der unendlichen Gerade schon befunden hat.* (258) Gäbe es die Bewegung durch eine vormalige Ewigkeit, dann wäre der Stand der Dinge andersartig verknüpft. Aber die zukünftige Ewigkeit ist der vormaligen nicht analog, so dass das Unendliche der zukünftigen Ewigkeit nicht gleich ist mit dem Unendlichen der vormaligen Ewigkeit. So hatte die Materie keine ewige Bewegung und noch weniger einen ewigen Ruhezustand und sie konnte nicht seit Ewigkeiten existieren. Deshalb war eine Schöpfung und ein Schöpfer nötig, räsoniert Bošković, und zwar Einer mit einer solchen Macht, um *jede Materie erschaffen zu können, und der eine solche determinative Kraft hat, um kraft seines freien Willens aus allen möglichen*

⁶ Zum Beispiel in der Abhandlung *De Natura*.

⁷ Kontingent kommt von Kontingen. Philosophisch bedeutet das die Möglichkeit, dass eine Sache anders beschaffen sein könnte, als sie es tatsächlich ist.

unendlichen Zeitpunkten der ganzen Ewigkeit, die auf dieser und jener Seite unendlich ist, jenen individuellen Zeitpunkt auswählen zu können, in dem er die Materie schafft. Und der solche Kraft besitzen würde, um aus allen jenen unendlich möglichen Zuständen – und zwar gerade aus dem höchsten Grad der Unendlichkeit – jenen individuellen Zustand auswählen zu können, der eine von jenen Krümmungen umfasst, die durch alle Punkte, geordnet nach einer vorgegebenen Ordnung, durchlaufen, und auf ihr alle vorgegebenen Entfernungen, Geschwindigkeiten und Richtungen. (258)

2.2. Beweis aus der Unmöglichkeit einer unendlichen Reihe von Gliedern, die immer von einem Anderen determiniert würden⁸

Dieser Beweis geht von der *Notwendigkeit des Determinierens* aus und ist nach Bošković für jede Theorie sehr wichtig, besonders aber für seine, in der *alle natürlichen Erscheinungen von den Krümmungen der Kräfte und von der Kraft der Trägheit (inertia) abhängen*. (259) Die Materie, verstanden mit einer für sie wesentlichen Kraft der Trägheit und dem Gesetz der aktiven Kraft, wird immer in einem bestimmten Zustand sein. Für diesen Zustand muss sie durch *einen vormaligen Zustand determiniert werden*. Bošković folgert weiter: *Wenn der vormalige Zustand verschieden sein würde, dann wäre auch der nächste Zustand verschieden*. (258)⁹ Jene Bestimmung also, die ein Zustand für seine Existenz hat, muss von einem früheren Zustand übernommen sein. Und das Frühere muss ebenfalls determiniert sein, um determinieren zu können, und das ermöglicht jenes, was es determiniert hat. Dieses wiederum muss von etwas Früherem determiniert sein und so der Reihe nach bis in die Unendlichkeit. Die Unendlichkeit dieser Zustände hat nichts in sich, was determinieren könnte, ohne das es vorher von etwas Anderem determiniert worden war.

Die Summe einer unendlichen Reihe von Nichts ergibt Nichts. Wenn eine ganze unendliche Reihe von Zuständen in sich ohne determinierende Kraft ist, dann stellt sich die Frage, woher die Determinierung zur Existenz. Wenn sie nicht in dieser Reihe ist, das Determinierte aber existiert, dann muss die Determinierung offensichtlich außerhalb der Reihe kommen. „Darum kann jene Reihe nicht an sich eine Existenz ihres beliebigen Termines determinieren und deshalb kann auch die ganze Reihe nicht determiniert existieren, wenn sie nicht von einem Wesen außerhalb von sich determiniert ist.“¹⁰ Was das *außerhalb* ist und wie das *außerhalb* beschaffen ist, darüber kann man weiter diskutieren. Auf jeden Fall ist das nicht der deistische Gott.

Es muss hier angemerkt werden, dass sich dieser Beweis von Bošković kaum von jenem unterscheidet, der die Existenz einer unendlichen Reihe von kontingenten Wesen (*series contingentium infinita*) verwirft, wenn ihnen ein äußeres Wesen nicht die Existenz geben würde. Der einzige Unterschied besteht darin, *dass sich die Sache von der Kontingenz auf die Determination überträgt und dass sich die Sache mangels Determinierung ihrer eigenen Existenz auf den Mangel der Existenz eines determinierten Zustandes, der als Letzte gehalten wird, überträgt*. (259) Dasselbe Prinzip gilt also für eine Reihe von kontingenten Wesen, nämlich dass eine solche Reihe nach einem determinierenden Wesen außer sich verlangt, denn kein Wesen in dieser Reihe hat für sich selbst diese determinierende Kraft, wenn es nicht von einem anderen determiniert worden ist. Und so muss das Zweite also außerhalb der Reihe sein.

⁸ Das heißt: *Regressus in infinitum* ist unmöglich.

⁹ Ebenso: *Jener Zustand, der in der folgenden Zeit existiert, kann nicht so determiniert werden, dass er existiert, weder mit sich selbst, noch mit der Materie oder irgendwelchem Wesen dass dann existiert. Und die Eigenschaften der Materie, die variant sind, enthalten an sich eine Indifferenz und weisen keine Determinierung auf*. (258)

¹⁰ *Non potest igitur illa series per se determinare existentiam cujuscunque certi sui termini, adeoque nec tota ipsa potest determinate existere, nisi ab ente extra ipsam posito determinetur*. (259)

3. Wesen außerhalb einer unendlichen Reihe von determinierten und determinierenden Wesen

3.1. Von einer unendlichen Möglichkeit bis zur Sicherheit

Ein Wesen, das eine bestimmte Reihe von unendlichen Reihen derselben Art auserwählt hat, *muss eine unendliche determinative Kraft und Auswahlkraft haben, um jene bestimmte Zahl aus einer unendlichen Reihe auszuwählen. Dieses Wesen musste auch die Erkenntnis und die Weisheit haben, um zwischen ungeordneten Reihen gerade die geordnete zu wählen. Denn, wenn es ohne Erkenntnis und einer Kraft zum Auswählen handeln würde, dann wäre die Wahrscheinlichkeit unendlich größer, dass es eher eine ungeordnete Reihe auswählen würde, anstatt einer geordneten.* (259) Denn ohne Erkenntnis wäre die Wahrscheinlichkeit, dass eine ungeordnete Reihe anstatt einer geordneten passiert, unendlich größer. *Deshalb ist die Wahrscheinlichkeit zur Erkenntnis, Weisheit und einer freien Wahl geradezu unendlich im Vergleich mit einer Wahrscheinlichkeit, dass alles blindlings, durch einen Fatalismus oder Notwendigkeit passiert. Und gerade das gibt uns Gewissheit.* (259)¹¹ Es ist nicht nur unwahrscheinlich, dass eine geordnete Reihe in einem Zeitkontinuum existiert, sondern es ist auch unwahrscheinlich, dass irgendein Zustand in einem Zeitpunkt existiert. Und so könnten wir – nach Bošković – sicher sein, dass ein bestimmter Zustand nicht existiert, beziehungsweise seine determinierte Existenz unendlich unwahrscheinlich ist, wenn sie nicht von einem determinierenden Wesen¹² bestimmt worden wäre und wenn uns diese Determinierung nicht bekannt wäre.¹³

Wenn sich zum Beispiel in einem Topf hundert und ein Name befinden würden, und wir würden einen bestimmten Namen herausziehen wollen, dann wäre die Unwahrscheinlichkeit, dass wir gerade diesen Namen herausziehen würden, hundert zu eins. Würden wir in denselben Topf tausend Namen einwerfen, dann wäre die Unwahrscheinlichkeit, dass wir einen bestimmten Namen herausziehen würden, vielmal größer. Aber, *wenn die Zahl unendlich ist, dann ist auch die Unwahrscheinlichkeit unendlich und diese Unwahrscheinlichkeit wird zu einer sicheren Sache. Wenn aber jemand den Namen beim Herausziehen sehen und es uns sagen würde, dann würde sich die ganze Unwahrscheinlichkeit auf einmal vermindern.* (260)

Bošković versucht seinen Gedanken so gut wie möglich zu erklären und weist darauf hin, was er schon vormals erwähnt hat, und was notwendig ist *bei der Verteilung von Punkten, damit sich daraus verschiedene Arten von Teilchen formen können, die dann wiederum verschiedene Körper bilden.* (260) Damit das wirklich eintreten kann – fragt er sich – wie groß muss *die Weisheit und Macht sein, um das alles zu verstehen, auszuwählen und zu schaffen.* Insbesondere fragt er nach dieser Weisheit und Macht, wenn es um jene *unendliche Zahl von möglichen Kombinationen geht, und wie groß die Erkenntnis sein muss, um gerade jene Kombinationen auszuwählen, die notwendig waren, um gerade diese jetzige Reihe von untereinander verbundenen natürlichen Erscheinungen zu erhalten.* (260)

Um so gut wie möglich überzeugend zu wirken, führt Bošković konkrete Phänomene an, die eine Auswahl aus unendlichen Unwahrscheinlichkeiten darstellen. So fragt er sich *was muss alles ein Licht haben, um sich ohne Hindernisse ausbreiten zu können, um gegenüber verschiedenen Farben einen verschiedenen Brechungsgrad und verschiedene Distanzen von Änderungen zu haben, um Wärme und feurige Fermentationen anzuregen* (260). Und auf dieselbe Weise sind die Teile eines Auges verteilt, damit man sehen kann und damit das

¹¹ *adeoque et excessus probabilitatis pro cognitione, et sapientia, ac libera electione supra probabilitatem pro caeco agendi modo, fatalismo, ac necessitate, sit infinitus, qui idcirco certitudinem inducit.*

¹² Der lateinische Ausdruck lautet „ab infinito determinante“.

¹³ Vgl. (Anm. 1) 260.

Bild bis zum Gehirn gelangen kann. Die Luft ist so beschaffen, dass sie der Ausbreitung des Schalls dient, der Atmung, Erhaltung von Wärme, den Winden; sie ermöglicht das Fallen des Regens und so weiter. Des Weiteren erwähnt er die Gravitation, die die unveränderliche Bewegung der Planeten ermöglicht, den Zusammenhalt des Meeres in seinen Grenzen, das Fließen des Flusses. Sie ermöglicht das Fallen des Regens, den Halt von Gebäuden und die Messung der Zeit durch ein Pendel.

Würde die Gravitation verschwinden, dann würde sich unsere Welt auflösen. Es würden unvorhersehbare Zustände eintreten. Man könnte zum Beispiel mit einem Atemzug einen Menschen in die Unendlichkeit befördern, und so weiter.

Diese Aufzählung ist Bošković nicht so wichtig wie jenes Wissen der Geometrie, die erforderlich war, um *jene Kombinationen, die eine derartige Zahl von organischen Körpern geschaffen haben*, zu kennen (261) und die Kenntnis über jene Kombinationen, die die wunderbare Funktion unserer Welt ermöglichen.

3.2. Zusammenfassend über den Göttlichen Schöpfer

Nachdem Bošković viele wunderbare Dinge in der Natur aufgezählt hat, kommt er zur Schlussfolgerung, dass es notwendigerweise einen göttlichen Schöpfer geben muss. Dazu sagt er: *Nur jene Person erkennt nicht die unendliche Macht, Weisheit und Weitsichtigkeit des göttlichen Schöpfers, die jede menschliche Verständnis übertrifft, dessen Verstand völlig blind ist, oder der sich die Augen herausgestochen hat und dessen Klinge des Verstandes abgestumpft ist, der seine Ohren bedeckt, um nicht etwas von der Natur zu hören, die überall mit lauter Stimme erklingt ...* (261) Die große Weisheit des allmächtigen Schöpfers (Supremi Conditoris sapientia) offenbart sich Bošković darin, dass sie gerade eine bestimmte Auswahl getroffen hat, dass sie sich um alles kümmert und über alles mit ihrer Macht waltet. Sie sieht alles, hat alle Grenzen bestimmt und unsere Entstehung ermöglicht. Sie behütet uns und erhält uns am Leben. Sie wirkt also zweckvoll. Bošković glaubt, dass *der Schöpfer der Natur nicht nur alles mit einer einzigen intuitiven Erkenntnis erkannt hat, sondern dass er in seinem Verstand alle jenen Ziele vor Augen gehabt hat, auf die uns alle jene Dinge führen, die wir um uns sehen.* (261)

In all dieser Auswahl bleibt Gott frei und er muss nicht eine bestimmte Kombination wählen, obgleich sie besser oder die beste ist. Auf diese Weise widersetzt sich Bošković dem Optimismus von Leibniz. Gott wäre determiniert, wenn er die größtmögliche Vollkommenheit hätte schaffen müssen, und zwar in einer vollkommensten Ordnung. Gott kann im Bezug auf die beste Welt nicht determiniert oder unfrei sein, schon aus dem Grund, dass es eine beste Welt nicht geben kann. *Wie es bei den Entfernungen zwischen zwei Punkten keine größte oder kleinste gibt, so gibt es in dieser Reihe auch keine größte oder kleinste Vollkommenheit, sondern es existiert immer eine größere oder kleinere Vollkommenheit im Vergleich zu einer anderen, so groß oder klein diese Vollkommenheit auch sein mag.* (262) Es bleibt also Gott überlassen, dieses oder jenes zu schaffen, oder etwas Vollkommeneres, aber man kann ihm nicht vorhalten, dass er nicht die bestmögliche Welt erschaffen hat, weil es diese einfach nicht gibt.

Bošković möchte also in seiner Theorie Gottes Freiheit und die Nichtnotwendigkeit aller Dinge bewahren. Dies ginge verloren, wenn Gott für die beste Welt determiniert sein würde. So würde man auch den besten Dingen eine Notwendigkeit zusprechen und ein bestimmtes Verdienst, dass sie geschaffen wurden, denn der Schöpfer müsste das kennen, wenn er allwissend ist, und er müsste sie auch schaffen. So wären die Schöpfungen notwendig und der Schöpfer unfrei. Dadurch wäre die Ordnung, die den Tatsachen und der Göttlichen Weisheit entspricht, völlig zerstört. Das widerspricht allerdings nicht der Tatsache, dass die göttliche Freiheit mit der göttlichen Weisheit im Einklang steht. Wenn Gott ein Ziel auswählt hat, dann führt er auch die Mittel weise zu diesem Ziel.

Bošković versteht Gott auf eine theistische, christliche Weise. Besonders steht er unter dem Einfluss der Exerzitien vom heiligen Ignatius, in denen Gott in allen Dingen gesucht wird, weil er in denen *wohnt* und für den Menschen *wirkt und arbeitet*.¹⁴

Zusammenfassung

Dieses Thema gehört zwar nicht strikt zum Hauptthema des Symposiums, welches Boškovićs Modell der Materie behandelt. Da aber dort nicht nur über seine Vorstellungen zum Materiebegriff, sondern auch über Bošković im allgemeinen die Rede ist, kann man auch über ein Thema sprechen, das der Metaphysik angehört (ad Metaphysicam pertinens) und worüber sich Bošković in einem Anhang (Appendix) zu seiner Theorie geäußert hat.

Das richtige, wahre Wissen fordert nicht, dass man Gott aus der Seele vertreiben muss. Im Gegenteil, das Beobachten der Natur ruft den Gedanken über einen göttlichen Schöpfer der ganzen Welt hervor. Bošković als Jesuit sucht Gott in allen Dingen und somit auch in der Natur. Sein Finden sollte die größte Frucht aller philosophischen Meditationen (*maximus omnium philosophicarum meditationum fructus*) sein.

Im zweiten Teil des Anhangs will Bošković zeigen, dass seine Theorie über die Materie die Existenz Gottes beweist. Es muss ein Wesen mit unendlicher Kraft, Weisheit und Vorsehung existieren, das unter den unendlich vielen möglichen Kombinationen der *Puncta* eben diese ausgewählt und determiniert hat, die wir in unserer Welt beobachten. Bošković folgert dies aus mehreren Beweisen: Aus den unwahrscheinlichen Kombinationen der *Puncta* und Kräfte, die unsere Welt ausmachen, aus der Unnotwendigkeit der Struktur unserer Welt, aus der Unmöglichkeit der unendlichen Reihe der Ursachen, usw.

¹⁴ Vgl. Ignacio de Loyola, *Die Exerzitien*, besonders die vierte Woche, Beschauung zur Erlangung der Liebe Gottes. Dort steht: *Der zweite Punkt besteht darin, dass ich betrachte, wie Gott in den Geschöpfen wohnt: in den Elementen, indem er ihnen das Dasein gibt; in den Pflanzen, indem er ihnen Wachstum gewährt; in den Tieren, indem er ihnen das Gefühl; in den Menschen, indem er ihnen den Verstand mitteilt ... Der dritte Punkt besteht darin, dass ich betrachte, wie Gott um meinetwillen in allen geschaffenen Dingen auf Erden wirkt und arbeitet, d.h. in der Weise ...*

LUCA GUZZARDI (Milano)

DIE ITALIENISCHE „EDIZIONE NAZIONALE“ DER WERKE UND DER KORRESPONDENZ VON RUGGIERO GIUSEPPE BOSCOVICH

Die „Edizione Nazionale“ der Werke und der Korrespondenz Ruggiero Boscovichs ist im Jahre 2006 mit einem Ministerialerlaß des Ministeriums für Kulturgüter und Kulturaktivitäten (Ministero dei beni e delle attività culturali) durch die Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, der INAF – Sternwarte Brera und die Università Gregoriana Rom offiziell etabliert worden.¹

Es handelt sich dennoch um ein viel älteres Projekt, das seine Wurzel in der von Edoardo Proverbio herausgegebenen Veröffentlichung eines ersten Katalogs von Boscovichs Korrespondenz (Roma, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, 1989) findet. Neue, vermehrte Ausgaben desselben Katalogs sind 2002 und 2004 publiziert worden. Im selben Jahr 2004 hat die Einsammlung der Korrespondenz begonnen. Es handelt sich um ein imposantes Archiv aus etwa 3300 Briefen, die heute unter verschiedene Formen (Photokopie, Photoreproduktion, Digitalisierung) in der Sternwarte Brera aufbewahrt sind. Die gesammelten Materialien sind 2004–2005 nach den Namen der verschiedenen Korrespondenten organisiert, und danach etwa zwanzig Mitarbeitern (die die Veröffentlichung der Materialien selbst herausgeben müssen) nach folgendem Plan zugeteilt worden: Bd. I: A un amico – Buonaccorsi; Bd. II: Bartolomeo Boscovich; Bd. III: Natale Boscovich; Bd. IV: Caccia – Corer; Bd. V/1–2: Giovan Stefano Conti; Bd. VI: Cortese – Fontana; Bd. VII/1: Francesco – La Ville; Bd. VII/2: Lalande – Nunzio Apostolico, B. Stay; Bd. VIII: Olivieri – Senato di Milano; Bd. IX/1: Mario Lorgna; Bd. IX/2: Puccinelli e Stecchini; Bd. X: Senato di Ragusa – Vairani; Bd. XI: Valenti – Zatta; Bd. XII: Carteggi con padri gesuiti; Bd. XIII: Lettere in latino; Bd. XIV/1: Lettere in croato; Bd. XIV/2: Corrispondenti ignoti; Bd. XV/1–3: Lettere in francese.²

Die Transkription der Manuskripte befindet sich heutzutage in recht vorgeschrittener Entwicklungsstufe: mehr als 2000 Briefe sind schon transkribiert worden und durch die Webseiten des Istituto e Museo di Storia della Scienza Florenz (IMSS, welches ein wichtiger Partner der Edizione Nazionale Boscovichs ist) nachschlagbar.³ Dank einer vom IMSS vorbereiteten Database, welche die Transkription von Boscovichs Korrespondenz enthält und verwaltet, kann man nach Begriffen oder Personen durch einen „Full-Text-Search“ suchen und viele verfeinerte Suchfunktionen benutzen. Man kann z.B. fragen, wie viele Briefe und an wen Boscovich in einer gewissen Zeitspanne geschrieben hat, woher

¹ Das Interesse der obengenannten Einrichtungen findet seine Motivierung darin, dass Boscovich zu ihrer Gründung (im Fall der Sternwarte Brera und der damaligen „Akademie der XL“, die heute den Name „Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL“ trägt) oder zu ihren Aktivitäten (im Fall der Università Gregoriana, die das Erbe des Collegium Romanum, wo Boscovich lange Zeit unterrichtete, aufgenommen hat) einen wesentlichen Beitrag leistete.

² Einige Briefwechsel sind in der Vergangenheit teilweise oder vollständig veröffentlicht worden, wie z.B. die Boscovich-Conti Korrespondenz (von Gino ARRIGHI, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Roma 1980), die Boscovich-Lorgna Korrespondenz (von U. BALDINI und Pietro NASTASI, Accademia Nazionale, 1988), die Boscovich-Puccinelli Korrespondenz (von Rita TOLOMEO, Accademia Nazionale, 1991), die Conti-Boscovich Korrespondenz (von Edoardo PROVERBIO, Accademia Nazionale, 1996–1998). Dies allerdings mit manchen Lücken, die in der neuen Ausgabe der „Edizione Nazionale“ ausgefüllt werden. Außerdem werden neue Einleitungen und Fußnoten geboten.

³ Mit der Internet-Adresse <http://fermi.imss.fi.it/rd/bd> unter Scienziati/Boscovich, Ruggiero. Diese Webseiten sind auf Befragen von User-ID und Passwort nachschlagbar.

und wohin seine Briefe geschickt worden waren, usw. Oder man kann eine Begriffssuche („Full-Text-Search“) auf einen gewissen Zeitabstand oder auf eine gewisse Gruppe von Korrespondenten beschränken.⁴

Außer der Web-Veröffentlichung der Korrespondenz kümmert sich die „Edizione Nazionale Boscovich“ um eine Digitalveröffentlichung der Texte des dalmatinischen Gelehrten auf CD/DVD (wegen der starken Kürzungen der Geldmittel durch das italienische Ministerium für Kulturgüter und Kulturaktivitäten ist eine traditionelle Papierveröffentlichung bisher leider ausgeschlossen). Im Januar-Februar 2009 sind Bd. V (herausgegeben von Edoardo Proverbio) und Bd. IX der Korrespondenz (herausgegeben von Pietro Nastasi und Rita Tolomeo) auf CD veröffentlicht worden; weitere Bände der Korrespondenz sollen gegen Ende 2009 erscheinen.

Im selben Jahr hat auch die Veröffentlichung der „Gedruckten Werke“ mit der *Giornale di un viaggio da Costantinopoli in Polonia* (Bd. XVII/2, herausgegeben von E. Proverbio) begonnen; vorgesehen sind auch die Bände *Opere di filosofia naturale anteriori alla Theoria* (*Naturphilosophische Werke vor der Theoria philosophiae naturalis*, Bd. VI) und *Fisica dell'atmosfera* (*Physik der Atmosphäre*, Bd. X/1). Hier folgt jetzt eine abgekürzte Version des Planes von der Gesamtausgabe der gedruckten Werke Boscovich' im Rahmen der Edizione Nazionale. Die Ausgabe sieht zwei Hauptabteilungen vor, die eine zur wissenschaftlichen Tätigkeit Boscovich (sowohl im Bereich der reinen als auch der angewandten Wissenschaften), die andere zu seiner literarischen Tätigkeit als Dichter und *homo bonae litterae*. Vermutlich ist ein Hinweis in Bezug zu einer wissenschaftlichen „Lehrdichtung“ wie „De Solis ac Lunae defectibus“ (Bd. XIII/1 der vorliegenden Gesamtausgabe) angebracht – ein Gedicht, das noch im XVIII. Jahrhundert als wissenschaftliches Werk *sui generis* galt. Deswegen ist es hier unter der ersten Hauptabteilung eingeordnet.⁵

Hauptabteilung „Wissenschaftliches Werk“

Mathematik und Geometrie

Bd. I: *Kleinere Schriften* (Trigonometriae Sphaerae constructio, 1737; De Circulis osculatoribus, 1740; De Natura et usu Infinitorum & Infinite parvorum, 1741; De cycloide et logistica, 1743; Trigonometria Sphaerica, 1745; Dimostrazione facile d'una principale proprietà delle Sezioni Coniche, 1746; Metodo di alzare un infinitimonia a qualunque potenza, 1747; Riflessioni sul metodo di alzare un infinitimonia a qualunque potenza; 1748; Dimostrazione di un metodo dato da Eulero per dividere una frazione razionale in più frazioni più semplici, 1749; Delle Ovali cartesiane, 1752; Metodo di evitare i logaritmi negativi, Memoria Prima; Su i logaritmi delle quantità negative, Appendice; Metodo di alzare in infinitimonia a qualunque potenza indefinita, 1767; Epistolae due de rebus mathematici, 1782).

⁴ Es handelt sich nur um wenige Beispiele aus einer unglaublich reichen Mannigfaltigkeit von Möglichkeiten. Diese typischen „Web-Eigenschaften“ und ihre Anwendung auf die historische Forschung sollten eine fesselnde und nützliche Gelegenheit vor allem in den Augen von Historikern und geschichtlich orientierten Philosophen anbieten. Für einen allgemeinen Gesichtspunkt über die Bedeutung der Web-Ressourcen im Rahmen der wissenschaftlichen Korrespondenzen vgl. Luca GUZZARDI, La corrispondenza di Ruggiero Boscovich e il web. Problemi e prospettive. In: *Le reti in rete* (Firenze 2009).

⁵ Auch die unveröffentlichten Schriften bilden einen wesentlichen Teil der „Edizione Nazionale Boscovich“. Die Sammlung solcher Schriften wurde seit langem bei der Sternwarte Brera mit der Erwerbung und der Digitalisierung der Mikrofilme aus dem Boscovich-Archiv bei der Bancroft Library (Berkeley, USA) begonnen (darüber siehe R. HAHN, The Boscovich Archives at Berkeley. In: *Isis*, 56/1, 1965, 70–78). Außerdem ist die Existenz von anderen unveröffentlichten Schriften Boscovich' in letzten Jahren in mehreren italienischen Bibliotheken und Archiven bewiesen worden. Dennoch scheint eine vollständige Katalogisierung von den Archivalien, die mit Schwierigkeiten jeder Art rechnen muss, zur Zeit noch ein fernes Ziel.

Bd. II/1–3: *Elementorum Universae Matheseos* (1752, 1754)

Bd. II/4: *Elementi di geometria piana e dei solidi* (1774).

Astronomie und Optik

Bd. III/1–2: *Astronomie. Kleinere Schriften vermischten Inhalts* (ABSCHNITT 1: De Maculis Solaribus, 1736; De Mercurii novissimo infra Solem Transitu, 1737; De veterum argumentis pro telluris sphaericitate, 1739; Dissertatio de Telluris figura, 1739; De inaequalitate gravitatis in diversis terrae locis, 1741; De Annuis Fixarum Aberrationibus, 1742; De observationibus Astronomicis, et quo pertingunt eorundem certitudo, 1742; Disquisitio in Universam Astronomiam publicae Disputatani, 1742; Observatio defectus Lunae, 1743; Defectus Solis observatur Romae die 25 Julii, 1744; Nova methodus adhibendi phasium observationes in eclipsibus lunaribus ad exercenda Geometriam, et promovendam Astronomiam, 1744; De Cometis Dissertatio, 1746; Tre osservazioni dell’Eclisse del Sole, 1748; Tre osservazioni dell’Eclisse della Luna seguito la notte fra gli 8 e 9 di questo mese, 1748; De determinanda orbita planetae ope catoptricae ex datis vi celeritate, et directione motus in dato puncto, 1749; De Menstrua Solis parallaxi Senis observata, 1752; Osservazioni dell’ultimo passaggio di Mercurio sotto il Sole seguito a’ 6 di Maggio 1753, fatte in Roma, 1753. ABSCHNITT 2: De Lunae Atmosphaera, 1753; Observatio eclipsis Lunae, 1755; De inaequalitatis quas Saturnus et Jupiter sibi mutuo videntur inducere praesertim circa tempus conjunctionis, 1756. ABSCHNITT 3: De proximo Veneris sub Sole transitu, 1760; Solis defectus observatus in Collegio Romano a patribus Societatis Jesu die prima Aprilis anno 1764, 1764; Astronomie par M. de la Lande, ec., 1766; De Orbitis Cometae determinandis, 1774; Observatio Eclipsis Lunae, habita Venetiis 18 Mai 1761, 1774; Teoria del nuovo astro osservato prima in Inghilterra, 1782; Abriß der Astronomie, mit Rücksicht auf ihre Bedeutung mit der Schiffahrt. Aus dem Franzosischen übersetzt, postum, 1787)

Bd. IV/1–2: *Optik. Kleinere Schriften vermischten Inhalts* (ABSCHNITT 1: De Lentibus et Telescopiis Dioptriciis, 1755; Lectiones elementares Opticae, 1757; Extrait d’une lettre du P. Boscovich a M. Clairaut, 1763; De recentibus compertis pertinentibus ad perficiendam Dioptricam, 1764; De unione colorum aliorum posta alios per binas substantias, ac unione multo majore per tres. ABSCHNITT 2: Dissertationes quinque ad Dioptricam pertinentes, 1767; Memorie sulli cannocchiali diottrici, 1771; An account of the new Micrometer and Megameter, 1777)

Bd. V: *Opera pertinentia ad Opticam et Astronomiam* (fünf Abschnitte)

Physik

Bd. VI: *Naturphilosophische Werke vor der Theoria philosophiae naturalis* (De viribus vivis Dissertatio, 1745; De continuitatis lege et ejus consecrariis, 1754; De Materiae divisibilitate et principiis corporum Dissertatio, 1748; De lege virium in natura existentium, 1755)

Bd. VII/1: *Naturalis Philosophiae Theoria* (1758); *Synopsis Theoriae* (zugeschrieben)

Bd. VII/2: *Theoria Philosophiae Naturalis* (1763); *Institutiones Philosophiae; Della legge di continuità nella scala musicale* (noch nicht gefunden)

Bd. VIII/1–3: *Philosophiae recentioris di Stay*, mit Kommentaren und Fussnoten von Boscovich

Mechanik (Statik und Dynamik)

Bd. IX: *Verschiedene Schriften* (De motu corporum projectorum in spatio non resistente, 1740; Paire di tre matematici, sopra i danni, che si sono trovati nella cupola di S. Pietro, 1742; Riflessioni... sopra alcune difficoltà spettanti i danni, e risarcimenti della Cupola di S. Pietro, 1743; De Motu corporis attracti in centrum immobile viribus decrescentibus, 1743; De Vaticani Templi apside restauranda et munienda, 1743; Problema mechanicum de solido maxime attractionis, 1743; De Centro Gravitatis, 1751; De Centro Gravitatis Dissertatio publice propugnata Editio Altera, 1751; Scrittura sulli danni osservati nell’edificio della Biblioteca Cesarea di Vienna, 1763; Sentimento sulla solidità della nuova Guglia del Duomo di Milano, 1765; Descrizione di un nuovo pendolo a correzione, 1770).

Physik, insbesondere Physik der Atmosphäre

Bd. X: *Verschiedene Schriften* (ABSCHNITT 1: De Aurora Boreali, 1738; Dissertazione della tenuità della Luce solare, 1747; Dimostrazione di un passo spettante all'angolo massimo, e minimo dell'Iride, 1747; Dissertatio de maris aestu, 1747; In „Carolus Noceti e Societate Jesu, De Iride et Aurora Boreali Carmina [...]“ Notae Josephi Rogerii Boscovich, 1747; Dissertationis De Lumine pars prima, 1748; Dissertationis de Lumine pars secunda, 1748; Soluzione geometrica di un problema spettante l'ora delle alte, e basse Maree, 1748; Dialoghi sull'Aurora Boreale, 1748. ABSCHNITT 2: Sopra il Turbine, 1749; Extrait d'une lettre du P. Boscovich [...] écrite à M. de Mairan, 1760; De aberratione Luminis successiva, 1772; De vetusto anemometro Epistola, 1774)

Geodäsie

Bd. XI/1: *De litteraria expeditione und andere Schriften* (De figura telluris determinanda ex aequilibrio, et ex mensura graduum, 1755; De instrumentorum apparatu et usu ad dimidiendos meridiani gradus, 1755)

Bd. XI/2: *Voyage astronomique et géographique dans l'Etat de l'Eglise* (lateinische Übersetzung des „De litteraria expeditione“, des „De figura telluris“ und des „De instrumentorum apparatu“)

Hydraulik

Bd. XII: *Verschiedene Schriften* (Scrittura su le cagioni e rimedi de'danni seguiti nelle passionate di Fiumicino, 2002; Relazione della visita al Porto di Magnavacca, 1752; Scritture d'acque per una controversia della chiesa di S. Agnese di Roma, 1757; Extrait d'une lettre du R.P. Boscovich à M. Clairaut sur une problême relatif à la théorie du flux et du reflux de la mer, 1761; Voto intorno agli effetti di tre argini trasversali, 1763; Quattro lettere sopra gli argini del Po, 1764; Memoria sopra il Porto di Rimini, 1765; Lettera del P. Boscovich sulli principi, su i quali si possono appoggiare le Regole pratiche per la misura delle acque, 1765; Sui danni del porto di Savona, 1771; Sullo sbocco dell'Adige in mare, 1773; Riflessioni sulla relazione del Sig. Abate Ximenes appartenente al Progetto di un nuovo Ozzeri, 1782; Esame del Progetto dei Sigg. Manfredi e Bertaglia in riguardo alle paludi Pontine, 1785; Intorno al riparare dall'inondazione dell'Adige la città di Verona, [1823]; Opuscolo idraulico intorno agli effetti che fanno nelle piene di un fiume i nuovi ostacoli collocati a traverso il suo fondo, [1823]; Scrittura sulli torrenti Caina e Nistore, [1823])

Wissenschaftlich-dichterische Werke

Bd. XIII/1: *De Solis ac Lunae defectibus*

Bd. XIII/2: *Les Eclipses*

*Hauptabteilung „Literarisches Werk“**Dichtung*

Bd. XIV: *Carmina, Poesie, Ecloghe, Epigrammi*

Prosa

Bd. XV: *Villa sul Tuscolo* und *Epistole* (D'un'antica villa scoperta sul dosso del Tuscolo, 1746; Lettera [...] sopra l'Obelisco di Augusto, 1750; Altera de eodem Obelisco admodum proluxa epistola, 1750; Lettera scritta da Fiumalbo il 29 agosto 1766 dal P. Ruggiero Boscovich al Marchese Clemente Bagnesi, 1767; Lettera intorno alla strada Giardini nel Modenese, 1767; Lettera sulla nuova strada di Modena verso Pistoia, 1767; Lettera del Padre Boscovich a La Condamine, 1768; Lettera del P. Ruggiero Boscovich scritta nel palazzo dei conti Durazzo in Mestre, 1772; Risposta del P. Boscovich ad un paragrafo di lettera di S.A. il Sig. Principe Cauniz, 1776; Lettera in lode del Cardinale Silvio Valenti Gonzaga, 1779)

Bd. XVI: *Essai politique sur la Pologne* (zugeschrieben)

Bd. XVII/1: *Journal d'un voyage de Constantinople en Pologne*

Bd. XVII/2: *Giornale di un viaggio da Costantinopoli in Polonia* mit einem Bericht über die Ruinen von Troja und einem Prospekt der in den fünf Abschnitten der *Opera pertinentia ad Opticam et Astronomiam* enthaltenen Werke.

PERSONENREGISTER¹

A

Agnesi, M.G. 42
Ampère, A.-M. 115
Anderson, C.D. 118
Aristarch von Samos 107
Aristoteles 45, 96, 110, 112,
113, 171, 172, 178
Arrighi, G. 135, 143
Aston, F.W. 118
Augustinus 113, 171, 178
Averroes (Ibn Ruschd) 113
Avogadro, A. 115

B

Baader, F. 166
Bacon, F. 18, 107
Bajamontis, G. 6
Barrow, I. 139
Barrow, J.D. 1, 130
Bauhin, B. (K.) 22
Beccaria, G.B. 39
Becher, J.J. 162, 164
Becquerel, A.H. 116
Benedikt XIV., Papst 18, 39
Benedikt XIV. 29
Benvenuti, C. 64
Bergman, T.O. 165
Bernoulli, D. 42, 107, 165
Bernoulli, J. 55, 114, 165
Bertaglia, R. 34
Berthollet, C.L. 165
Berzelius, J.J. 115
Bjorken, J. 120
Blaas, R. 12
Black, J. 163, 165
Boerhaave, H. 153
Bohr, N. 93, 117, 132, 145,
146
Boltzmann, L. 114, 135, 136,
141, 142, 143
Borgondio, O. 55, 56
Born, M. 118
Boyd, R. 68
Boyle, R. 114, 165
Broderson, Ch. 21
Buffon (s. Leclerc) 26

C

Camerarius, J. d.J. 22
Campioni, C. 8
Carrier, M. 108

Carus, L. 110
Casanovas, J. 47
Cassiodorus, F.M.A. 166
Cassirer, E. 68
Cauchy, A.L. 143
Cauniz (s. Kaunitz) 193
Cavalieri, F.B. 107, 143
Cavendish, H. 165
Celsius, A. 163
Cesalpino, A. 21, 22
Chadwick, J. 118
Châtelet, G.-E. du 55
Child, J.M. 69, 149
Clairaut, M. 43, 191, 192
Clausius, R. 114
Clavius, C. 107
Clemens XI., Papst 13
Cockcroft, J.D. 120
Condamine, C.M. de 193
Conti, G.S. 50, 74, 81, 135,
139, 140, 141, 143, 189
Correr, P. 37
Corsini, B. 12
Corsini, L. 12
Cotes, R. 42
Cramer, G. 42

D

d'Alembert, J.B. 42, 44, 107,
137
Dalton, J. 114, 115, 122, 161
Darwin, C. 117
da Vinci, L. 30, 113
Debiel, P.L. 15
Dedekind, J.W.R. 93
Delambre, J.-B.J. 51
Demokrit(os) 96, 110, 112,
113, 114
Descartes, R. 17, 42, 59, 62,
65, 103, 107, 139, 163,
171, 172, 173, 177, 178
Diderot, D. 137
Dirac, P.A.M. 118
Dixon, J. 39
Douglas, J. 38
Duns Scot (Scotus), J. 172,
178
Dzamanjić, B. 52

E

Einstein, A. 107, 113

Epikur 110, 113, 114
Esterházy 8
Euler, L. 42, 48, 55, 107, 114,
165, 190
Exner, F. 142, 154

F

Fahrenheit, D.G. 163
Faraday, M. 1, 115, 153, 154
Fedorowna, M. 8
Ferdinand II. 14
Fermat, P. 139
Fermi, E. 119, 120
Feynman, R. 118
Fingernagel, A. 32
Firmian, C.J.G. 38
Fischer von Erlach, J.B. 32
Fischer von Erlach, J.E. 32
Formey, J.H.S. 137
Foucault, A.-F. de 165
Frank, J. 117
Franklin, B. 43
Frantz, P.J. 15
Franz, J. 153
Franz I., Stephan, Kaiser 18,
20, 153
Franz Xaver 14
Friedrich Wilhelm I., König
167
Friedrich II., König 158, 167

G

Galilei, G. 42, 107, 130, 132,
143
Galvani, L. 26
Gammillscheg, E. 4
Gassendi (Gassend), P. 114
Gauß, C.F. 37
Gay-Lussac, J.L. 115
Gehler, J.S.T. 162
Gell-Mann, M. 120
Genz, H. 113
Girtanner, Ch. 167
Glashow, S. 120
Gluck, C.W. 7
Goethe, J.W. v. 24, 28
Gonzaga, V. 29, 193
Goudsmit, S.A. 118
Gregory, J. 42
Grew, N. 22
Grimaldi, F. 114

¹ Von einer Nennung des Namens Bošković (Boscovich) sowie der Autoren der Beiträge wurde im Personenregister Abstand genommen.

Gronovius, J.F. 23
Grössing, A. 4

H

Haas, A.E. 117
Hahn, O. 119
Haller, A. v. 28
Halley, E. 37, 42
Hartsoeker, N. 112
Hawking, S. 131
Haydn, J. 5, 7, 8
Heisenberg, W. 117, 120,
145
Heitler, W. 147
Hellmann, H. 147
Helmholtz, H. v. 115
Henrici, P. 115
Heraklit 112
Herbart, J.F. 154
Hermstaedt, S.F. 162
Hersche, P. 16
Herschel, W. 49
Hertz, G. 117
Higgs, P. 131
Hill, E. 136
Hire, P. de la 139
Hoffman, M. 23
Hofstadter, R. 120
Homann, F.A. 44
Horaz 50
Hume, D. 18
Hund, F. 147
Huygens, Ch. 42, 93, 107, 114

I

Ignatius (Ignacio), s. Loyola
180, 187
Ingemarsson, N. 21
Iwanenko, D. 120

J

Jacquier, F. 30, 56
Jacquin, N. 153
Jadot, J.N. 14
Joliot-Curie, F. u. I. 119
Joseph II., Kaiser 7, 16, 158
Joyce, J. 120
Jungius, J. 167, 168
Jussieu, Familie 26

K

Kadić, A. 51
Kammel, A. 8
Kampmiller, I. 16
Kant, I. 18, 95, 97, 157, 158,
159, 160, 161, 162, 164,
166, 167, 168, 169, 181

Karl VI., Kaiser 9, 15, 32
Karner, H. 13, 14
Katalinić, V. 7, 8
Kaunitz, W.A. v. 1, 38, 193
Kelvin (s.a. Thomson, W.) 1,
93, 116, 129
Kepler, J. 76, 107, 114, 130
Klemens XIII., Papst 18
Klemens XIII. 29
Klemens XIV., Papst 10
Kopernikus, N. 107, 113
Kubota, Y. 4
Kues, N. v. 107
Küng, H. 113, 131

L

Lagrange, L. 43
Lalande, J.J. 38, 43, 189
Laplace, P.S. de 37, 45, 93,
107, 108, 143, 165
Laugier, R.F. 153
Lavoisier, A.L. de 26, 115,
154, 162, 165, 166, 167
Lawrence, E.O. 120
Lecchi, A. 35
Leclerc, G.-L. 26
Ledermann, L. 120
Leibniz, G.W. 17, 18, 40, 42,
45, 55, 68, 69, 90, 107,
114, 129, 130, 139, 159,
160, 163, 167, 171, 172,
173, 174, 177, 178, 179,
181, 186

Lennard-Jones, J. 148, 149
Leopold I., Kaiser 9
Le Seur, Th. 30, 56
Lessing, G.E. 157, 165
Leukipp(os) 110, 112, 113,
114, 122, 133
Liebig, J. v. 115
Link, H.F. 162
Linné, C. v. 20, 21, 22, 24,
25, 26, 27, 28
Locke, J. 18
Lomonossow, M.W. 161,
165
London, F. 147
Lorgna, A. 34
Loschmidt, J. 154, 155
Losynsthal, L. v. 33
Loyola, I. v. 14, 180, 187
Ludwig XVI., König 44
Lukrez 50, 113

M

Macan, I. 104

MacLaurin, C. 42, 90
Mainzer, K. 120
Maire, C. 39, 73
Manfredi, E. 34
Mann, Th. 6
Marchenti, L. 56
Maria Theresia, Kaiserin 1, 7,
9, 10, 15, 16, 29, 32
Marković, Ž. 56, 60, 62, 83
Martinez, M. 7
Martinović, I. 34, 35, 47
Mason, C. 39
Matis, H. 2
Maulbertsch, F.A. 13
Maupertuis, P.L. 55, 90
Maxwell, J.C. 1, 114, 130
Mayer, C. 42, 136
McGuire, J.E. 77
Meitner, L. 119
Mendelejeff, D. 115
Mendelssohn, M. 136
Metastasio, P. 7
Meyer, L. 115
Migazzi, C.A. 15
Migazzi, C.A. v. 149
Moo-Young, H. 121
Morveau, L.B.G. de 165
Müller, I. 16
Mulliken, R. 147
Musil, R. 135

N

Nambu, Y. 121
Nastasi, P. 189, 190
Ne'eman, Y. 120
Newton, I. 17, 18, 28, 37,
39, 42, 47, 51, 52, 55, 56,
57, 58, 59, 60, 61, 62, 64,
65, 68, 69, 76, 86, 93, 96,
103, 104, 107, 114, 122,
126, 129, 130, 139, 153,
160, 163, 179
Nicolovius, M.F. 166

O

Occam, W. 178
Oresme, N. v. 107
Oster, M. 44
Ovid 50

P

Paccassi, N. 32, 33
Parhamer, I. 12, 13
Parma, I. v. 16
Parmenides 112
Pauli, W. 118, 120

- Pierce, C.S. 76
 Pius V., Papst 13
 Planck, M. 117, 146
 Plato 113
 Poisson, S.D. 143
 Poncelet, J.-V. 45
 Popper, K.R. 108, 128
 Priestley, J. 43, 154, 165, 167
 Proust, J. 115
 Prout, W. 115, 118
 Proverbio, E. 135, 189, 190
 Ptolemaeus (Tolomei), J.B. 171, 178
 Puccinelli, F. 35, 189
- Q**
 Quirinus-Rivinus, A. 22
- R**
 Rachinger, J. 4
 Ray, J. 21, 22
 Réaumur, R.-A.F. de 163
 Reimarus, H.S. 168
 Richter, J.B. 115, 160
 Riemann, H. 6
 Ronzoni, L. 12, 13
 Roth, G. 113
 Rothmann, J. 21, 22, 28
 Rousseau, J.J. 28
 Ruedenberg, K. 148
 Russell, B. 110
 Rutherford, E. 116, 118
- S**
 Sailer, J.M. 168
 Sammartini, G. 7
 Sandschuster, A. 12
 Sauter, S. 11
 Saverien, A. 138, 139
 Scheele, C.W. 165
 Scherffer, C. (K.) 1, 49, 55
- Schmidel, J. 50
 Schörghofer, G. 4
 Schrödinger, E. 110, 112, 117, 118
 Sehfeld, F. 153
 Shakespeare, W. 28
 Sheynin, O.B. 46
 Simen, J.P. 15
 Simpson, T. 42
 Soddy, F. 118
 Sömmering, S.T. 166
 Sommervogel, C. 69
 Sorkočević, A. 6, 7
 Sorkočević, L. 5, 6, 7, 8
 Sorkočević, M. 6, 60
 Spinoza, B. 17, 28, 177
 Stahl, G.E. 163, 164
 Stanojević, M. 41
 Stark, J. 117
 Stay (Staj), B. 47, 48, 52, 58, 62, 67, 73, 74, 77, 97
 Stigler, S.M. 51
 Stock, A.S. 15
 Stoney, J. 115
 Strassmann, F. 119
 Stratik, Š. 34
 Suarez, F. 96
- T**
 Thomas von Aquin 113, 171, 172, 174, 178
 Thompson, W. (s.a. Kelvin) 1, 93, 116
 Thomson, J.J. 116, 118
 Tolomei (s. Ptolemaeus) 171, 178
 Tournefort, J.P. de 22
- U**
 Uhlenbeck, G. 118
- Urban VIII., Papst 11
 Usanovich, M.I. 152
- V**
 Valenti Gonzaga, S. 189
 van't Hoff, H. 151
 Van de Graaff, R.J. 120
 Van der Waals, J.D. 119
 van Loewenhook, A. 18
 Van Swieten, G. 14, 19, 153
 Vanvitelli, L. 30
 Vergil 50
 Viète (Vieta), F. 107
 Viviani, V. 139
 Vocelka, K. 9
 Voltaire, (Arouet, F.M.) 28
- W**
 Walton, E.T.S. 120
 Whyte, L.L. 68, 128, 136
 Wigner, E. 107
 Wilcke, J.C. 163
 Wöhler, F. 115
 Wolff, Ch. v. 18, 19, 159, 160, 167, 168
 Wurzbach, C. v. 6, 52
- X**
 Ximenes, L. 29, 35, 192
- Y**
 Yukawa, H. 120
 Yvon, C. 137, 138
- Z**
 Zedler, J.H. 161
 Zeeman, P. 116, 117
 Zweig, G. 120

AUTORINNEN UND AUTOREN

Prof. Dr. Volker BIALAS
Conollystraße 6
D-80809 München
E-Mail: volkerbialas@gmx.at

Prof. Dr. Zvonimir ČULJAK
Zentrum für Kroatische Studien
Abteilung für Philosophie
(Hrvatski studiji – Odjel za filozofiju)
der Universität Zagreb
Borongajska cesta 83d
HR-10000 Zagreb
E-Mail: zculjak@net.hr

Dr. Inge FRANZ
Scharnhorststraße 35
D-04275 Leipzig

Prof. Dr. Helmuth GRÖSSING, MAS
Blindengasse 52/24
A-1080 Wien
E-Mail: heg@inode.at

Dr. Luca GUZZARDI
Osservatorio Astronomico di Brera
Via Brera 28
I-20121 Milano
E-Mail: luca.guzzardi@unimi.it

Prof. Dr. Ivan KOPREK SJ
Provinzial der kroatischen Provinz,
Philosophische Fakultät der
Gesellschaft Jesu in Zagreb
(Filosofski fakultet Družbe Isusove, FFDI)
Jordanovac 110, HR-10000 Zagreb
E-Mail: ikoprek@ffdi.hr

Prof. Dr. Stipe KUTLEŠA
Institut für Philosophie (Institut za filozofiju)
und Zentrum für Kroatische Studien, Abteilung
für Philosophie der Universität Zagreb
ul. grada Vukovara 54
HR-10000 Zagreb
E-Mail: kutlesas@yahoo.com

Prof. Dr. Anto MIŠIĆ SJ
Dekan, Philosophische Fakultät der Gesell-
schaft Jesu in Zagreb (Filosofski fakultet
Družbe Isusove, FFDI)
Jordanovac 110
HR-10000 Zagreb
E-Mail: amisc@ffdi.hr

Dr. Thomas NEULINGER SJ
Österreichische Provinz der Gesellschaft Jesu
Ignaz-Seipel-Platz 1
A-1010 Wien
E-Mail: thomas.neulinger@jesuiten.org

Mag. Dr. Maria PETZ-GRABENBAUER
Österreichische Akademie der Wissenschaften,
Österreichisches Biographisches Lexikon
Kegelgasse 27/3
A-1030 Wien
E-Mail: m.petz@oeaw.ac.at

Prof. Hubert REITTERER
Hagengasse 6
A-1150 Wien
E-Mail: hubert.reitterer@chello.at

Prof. Dr. Dr. Georg SCHUPPENER
Západočeská univerzita KAG FF
Riegerova 11
CZ-30614 Plzeň
E-Mail: schuppen@rz.uni-leipzig.de

Univ.-Doz. Prof. Dr. R. Werner SOUKUP
Aspettenstraße 30/11/7
A-2380 Perchtoldsdorf
E-Mail: rudolf.werner@kabelnet.at

Prof. Dr. Nikola STANKOVIĆ SJ
Philosophische Fakultät der
Gesellschaft Jesu in Zagreb
(Filosofski fakultet Družbe Isusove, FFDI)
Jordanovac 110
HR-10000 Zagreb
E-Mail: snikola@ffdi.hr

Prof. Dr. Josip TALANGA
Zentrum für Kroatische Studien
Abteilung für Philosophie
(Hrvatski studiji – Odjel za filozofiju)
der Universität Zagreb
Borongajska cesta 83d
HR-10000 Zagreb
E-Mail: josiptalanga@yahoo.com

Prof. Dr. Hans ULLMAIER
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
Aachen und Forschungszentrum Jülich
c/o IFF/ESS, FZ Jülich
D-52425 Jülich
E-Mail: h.ullmaier@fz-juelich.de