

2013

**PREPRINT 440**

Pietro Daniel Omodeo und Jürgen Renn

**Das Prinzip Kontingenz in der  
Naturwissenschaft der Renaissance**



## Das Prinzip Kontingenz in der Naturwissenschaft der Renaissance

*Die als solche isolierte Psychologie des Arbeitsprozesses [gibt] ebenso das Modell zu den idealistischen Weltbildern ab [...], wie die Arbeit – in ihrer wahren konkreten Totalität erfasst – den Ausgangspunkt zur richtigen Widerspiegelung der Wirklichkeit, damit zum Entfernen der anthropomorphisierenden Betrachtungsweisen bildet.*

G. Lukács, *Die Eigenart des Ästhetischen*

*In keinem einzigen Falle ist es möglich ein physikalisches Ereignis genau zu vorhersagen. [Diese Unmöglichkeit ist] eine natürliche Folge des Umstandes, das der Mensch mit seinen Sinnesorganen und seinen Messgeräten selber ein Teil der Natur ist, deren Gesetzen er unterworfen ist und aus der er nun einmal nicht heraus kann.*

M. Planck, *Der Kausalbegriff in der Physik*

Eine Untersuchung der Rolle des Kontingenzbegriffs in der Renaissance-Naturwissenschaft erlaubt es, zwei alte, aber noch weit verbreitete Gemeinplätze betreffend der Wissenschaftsgeschichte in Frage zu stellen. Der erste besagt, dass die Entwicklung der Naturwissenschaften deterministisch verlaufe. Dabei wird davon ausgegangen, dass sie auf das progressive Enthüllen objektiver Fakten über die reale, festgelegte Natur gerichtet sei. Der zweite Gemeinplatz besteht in der Annahme, dass die auf der klassischen Physik beruhende Naturwissenschaft keinen Raum für Kontingenz zulasse, weil diese in ihrem Wesen deterministisch sei. Gegen beiden Annahmen spricht die Renaissance-Wissenschaft, wie hier exemplarisch am Beispiel der zwei sich am schnellsten entwickelnden mathematischen Naturwissenschaften der Renaissance, der Mechanik und der Astronomie, und der philosophischen Reflexion über die epistemologischen und ontologischen Grundlagen dieser Disziplinen aufgezeigt werden soll.

## **Historische Kontingenz und der Streit über die Autorität der Antike in der Mechanik**

Die Wissenschaftler der Renaissance waren ständig mit Überlieferungsproblemen, sowie mit der Hybridisierung von mittelalterlichen Traditionen und neuerworbenen Texten aus der klassischen Antike konfrontiert. Keine andere Gruppe von Wissenschaftlern ist sich vielleicht mehr als sie so bewusst gewesen, dass Naturtheorien historisch bedingt sind. Theorien und Ansätze erweisen sich als kontingent, weil ihre Form, Grundbegriffe und Methoden Ergebnisse der genannten historischen Prozesse der Aneignung der Überlieferung, der Übersetzung von Quellen sowie der unvermeidlichen Hybridisierung älterer und neuerer Lehren sind.

In der Mechanik erwuchs dieses historische Bewusstsein ab dem 16. Jahrhundert insbesondere aus der Wiederentdeckung und Neubewertung des fragmentarisch überlieferten archimedischen Werkes. Archimedische Begriffe wie der des Schwerpunktes und die Methoden der Hydrostatik versprachen grundlegende Fragen der Mechanik zu beantworten und stellten die Möglichkeit in Aussicht, eine streng mathematische Naturwissenschaft zu begründen. Durch Archimedes wurde den Wissenschaftler-Ingenieuren der Renaissance verdeutlicht, dass das mechanische Wissen sich historisch auch anders hätte entwickeln können. Die Begegnung mit den antiken Quellen war ja selbst das Resultat historischer Entwicklungen.<sup>1</sup> Überlieferungslücken forderten kundige Exegeten heraus, Theorien und Texten kreativ zu ergänzen und dabei auch bisher unbekannte Wege zu gehen. Dies bedeutet einen transformativen Zugang zu den Klassikern, obwohl er als solcher nicht immer reflektiert und verstanden wurde. Im Gegenteil, dies konnte auch zu Formen wissenschaftlichen Purismus führen, wie im Fall der Archimedes-Renaissance innerhalb der Commandino-Schule von Urbino.<sup>2</sup>

Der Widerspruch zwischen der Verehrung des „divinus Archimedes“ in der Renaissance-Wissenschaft und der Unvollständigkeit der überlieferten Werke ist bemerkenswert. Im Gegensatz

---

1 Ein Überblick über die frühneuzeitlichen Wirkung von Archimedes ist bei Renn 2013 zu finden, wo der aktuelle Stand der Forschung vorgestellt wird.

2 Der intellektuelle Konservatismus der Urbino-Schule zeigt sich im Kontrast zwischen ihren Vertretern und eklektischen Wissenschaftlern anderer Schulen. Siehe Renn-Omodeo 2013.

zu ihren Vorgängern aus der islamischen Hemisphäre verfügten die neuzeitlichen Akteure der Archimedes-Renaissance in Europa nicht einmal über Herons mechanisches Werk, abgesehen von Exzerpten durch Pappus von Alexandria.<sup>3</sup> Darüber hinaus wurden in der Renaissance diese fragmentarischen archimedischen Kenntnisse in einen grundsätzlich durch Aristoteles geprägten Kontext gesetzt. Die aristotelische Philosophie und die darauf basierende „Naturwissenschaft“ des lateinischen Mittelalters boten Begriffe und Erklärungsmöglichkeiten zu Fragen der Statik und der Dynamik. Ein in der Frühen Neuzeit prominentes Beispiel war die Bestimmung der Bewegungsbahn eines Projektils anhand der Unterscheidung zwischen natürlichen und erzwungenen Bewegungen zu oder aus dem „natürlichen Ort“ eines Körpers beziehungsweise eines Elementes.

Seit dem 13. Jahrhundert etablierte sich eine Wissenschaft der Gewichte als eigenständige Disziplin unter dem Namen einer aristotelischen *scientia de ponderibus*, die auf dem Werk des Jordanus Nemorarius beruhte und die den Gewichtsbegriff eng an die aristotelische Vorstellung der Bewegung eines Körpers zu seinem natürlichen Ort band. Die Wissenschaftler-Ingenieure der Renaissance stritten darüber, ob die Zusammenführung der archimedischen Statik mit dieser mittelalterlichen Tradition der *scientia de ponderibus* legitim sei—wie etwa in den Werken von Niccolò Tartaglia und Giovanni Battista Benedetti—oder ob sie im Namen des Archimedes abzulehnen sei—wie in der Urbino Schule.

Wie in neueren Studien nachgewiesen werden konnte, konzentrierten sich diese entgegengesetzten Positionen in der Kontroverse über das Gleichgewicht der Waage.<sup>4</sup> Die Unterschiede der zwei Schulen, der „Eklektiker“ und der „Puristen“, lässt sich am deutlichsten im Streit über das Gleichgewicht einer gleicharmigen im Schwerpunkt aufgehängten Waage erläutern. Umstritten war, wie sie sich *idealiter* verhalten würde, nachdem sie aus der horizontalen Position geneigt würde.

---

3 Renn-Damerow 2012 bietet eine kurze Fassung der Geschichte der Mechanik bis zur Renaissance, 39-46 einschliesslich einer „Timeline“, 265-268.

4 Siehe vor allem Renn-Damerow 2012.

So lehnte Commandinos Schüler Guidobaldo Del Monte die *scientia de ponderibus* radikal ab. Er versuchte alternativ die Mechanik durch Anwendung des zentralen archimedischen Begriffs des Schwerpunkts zu begründen. Sein archimedischer Purismus verhinderte es, das Potential zu erkennen, das im Werk seines Gegners Benedetti steckte. Letzterer verzichtete nämlich auf einen strengen archimedischen Ansatz und dachte die Schlüsselbegriffe der *scientia de ponderibus* um. Insbesondere versuchte er durch die Revision des Begriffs des *pondus secundum situm*, oder des „positionellen Gewichts“, eine ortsabhängige Vorstellung von Gewicht zu erarbeiten, die später zur Formulierung des physikalischen Begriffs des Moments führte. Unterschiedliche Ansätze konnten also zu unterschiedlichen Antworten auf anscheinend einfachen Fragen führen, wie beispielsweise die Frage nach dem Verhalten einer geneigten, gleicharmigen Waage, die an ihrem Schwerpunkt hängt. Nach Guidobaldo sollte diese unbewegt bleiben. Benedetti hingegen ging vom positionellen Gewicht unter Einbeziehung des kosmologischen Kontexts, also der Vorstellung der Erde als Kugel aus, und schloss daraus, dass sie sich in eine senkrechte Position begeben sollte.

In dieser Auseinandersetzung ging es nicht nur um ein spezifisches Problem der Waage, sondern vielmehr darum, sich an verschiedenen Traditionen abarbeitend unterschiedliche konzeptuelle Werkzeuge zu entwickeln und diese zu verfeinern. Die Kontroverse erweist sich also gleichzeitig als theoretisch-wissenschaftliche Polemik und als Streit über die Bewertung der Antike als autoritative Referenzkultur (Allelopoiese). Dies bietet uns ein einleuchtendes Beispiel der Kontingenz in der Geschichte der Naturwissenschaften und der Wirkung von Überlieferungen auf diese Entwicklung. Beide Betrachtungen des Gleichgewichts, die von Del Monte sowie die von Benedetti, sind aus heutiger Sicht unzureichend. Trotzdem hatten sie eine äußerst wichtige theoretische und historische Bedeutung, denn sie beinhalteten Elemente, die für spätere Entwicklungen der Mechanik eine wesentliche Rolle spielten. So wurde bei Galilei der Versuch Benedettis, den positionellen Effekt eines Gewichts zu ermessen, zu einem Schlüsselbegriff seiner neuen Mechanik und Bewegungslehre. Er benannte diesen Effekt auf Italienisch „momento“ und auf Lateinisch „momentum“, also durch einen Terminus, der den archimedische Begriff  $\rho\pi\eta$

wiedergeben sollte. Galilei etablierte diesen Begriff sowohl für die Betrachtung der positionellen Wirkung eines Gewichts in verschiedenen mechanischen Systemen als auch in der Beschreibung des variierenden Effekts eines Gewichts während der Bewegung. Zugleich verband Galilei diesen Begriff mit dem archimedischen Begriff des Schwerpunktes, den Del Monte für unvereinbar mit Benedettis Lehre gehalten hatte.

### **Die Inszenierung der historischen Kontingenz im astronomischen Diskurs**

Die Kontingenz der Überlieferung ist nicht nur für die Mechanik kennzeichnend, sondern auch für die meisten mathematischen Wissenschaften. Die Aneignung klassischer und hellenistischer Quellen im 15. und 16. Jahrhundert war gleichzeitig ein philologisches und ein exegetisches Unternehmen. Dabei galt es eventuell inkorrekt und fragmentarisch überlieferte Texte inhaltlich wiederherzustellen und zu ergänzen. Deshalb sind zum Beispiel in der Archimedes-Rezeption der Commandino-Schule die humanistisch-literarischen Interessen von mathematischen und naturwissenschaftlichen nicht zu trennen. Vor allen Dingen lassen sich diese Bemühungen im Licht der Rhetorik der Reinheit, der wieder zu belebenden Antike, begreifen. Letztendlich ist dieses Kontingenz-Bewusstsein im Topos einer historischen Diskontinuität zwischen einem trüben Mittelalter und einer zu rettenden Antike verankert, die zugleich die Neuzeit zu reformieren gestattet.

In der Astronomie kann Johannes Regiomontanus' Widmung der *Epytoma in Almagestum Ptolemaei* (Venedig, 1496) an Kardinal Bessarion als ein berühmtes Zeugnis dieser historischen Diskontinuitätsperspektive gelten. In der *Epytoma*, die eine Wende in der lateinischen Rezeption der ptolemäischen Theorien und Methoden war, stellte Regiomontanus den Verlust antiken astronomischen Wissens als Zeichen eines sowohl intellektuellen als auch moralischen Niederganges der *moderni* dar. Die Tugend (*virtus*) der Alten wird bei ihm der Geldgier der Modernen entgegengesetzt (*hinc nihil praeter aurum suave creditum est*), der *splendor pristinus* dem *deforme simulachrum*, das *decus* und die *facilitas* der Griechen der *barbaries* der Lateiner. Dazu behauptete Regiomontanus, dass

die ursprüngliche Klarheit der Texte durch lateinische Übersetzungen aus fremden Sprachen (*ex peregrinis linguis*), hauptsächlich aus dem Arabischen, verfälscht worden sei. Ptolemäus hätte sein eigenes durch Überlieferungen und Übersetzungen korrumpiertes Buch nicht mehr erkennen können:

Darin beruht eine größere Schwierigkeit dieser Disziplin, die uns die Übersetzer fremdsprachiger Handschriften eingebrockt haben. Sie ist allerdings in der Tat nicht unerheblich. Schwierig ist es und sehr beschwerlich, dass man das, was in einer fremden Sprache wohl formuliert ist, mit demselben Stil und derselben Leichtigkeit in der Übersetzung bewahrt, sogar wenn es von gebildeten Männern mit höchster Sorgfalt und höchstem Aufwand übersetzt wurde. Denn wenn einer von ihnen ein wenig [zu] beredter oder ein [zu] sorgfältiger Übersetzer wäre, würde der Ausdruck geradezu unsauber und verwirrend klingen. Das scheint mir wirklich bei jenem deutlich herausragenden Buch von Ptolemäus eingetreten zu sein, das man *Magnam Compositionem* [= *Almagest*] nennt, die sich im Griechischen durch wundervolle Leichtigkeit und Stilistik auszeichnet, aber im Lateinischen so hart und ungekonnt klingt, dass Ptolemäus sie in der Tat, wenn er wiederauferstehe, nicht wieder erkennen würde.<sup>5</sup>

Das religiöse und politische Element der kontingenten Überlieferung antiken Wissens wird in Regiomontanus' Rede auch explizit gemacht, indem er Kardinal Bessarion dafür lobt, dass er aus dem „Schiffbruch seiner Heimat“ nach der türkischen Eroberung Konstantinopels die Schätze der Kultur, die *libri*, retten konnte. Eines davon war der Kodex mit der Μαθηματική σύνταξις des Ptolemäus, auf der die Einführung der *Epytoma* von Regiomontanus basierte.<sup>6</sup>

Die allelopoietische Beziehung von Antike und Moderne führte zu unerwarteten ideengeschichtlichen Begegnungen, nicht nur zu derjenigen von Archimedes und Aristoteles in der Mechanik, sondern auch zu derjenigen von Kopernikus mit den Pythagoräern in der Astronomie. In der Renaissance wurde das kopernikanische Planetenmodell als eine Neugeburt des „pythagoreischen“

---

5 Regiomontanus 1496, Bl. a2v: „Hinc maior huius disciplinae pendet difficultas, quamquam nec illa quidem parva est quam nobis peregrinorum codicum interpretes pepererunt. Difficile est sane atque ardui ut quae in aliena lingua bene dicta sunt, eundem decorem eandemque facilitatem in translatione conservent, etiam si a disertis viris summo studio ac diligentia translata fuerint. Quorum si parus vel disertus vel curiosus fuerit interpres scabra prorsus et turbulenta redundat oratio. Quod mihi plane evenisse videtur in praeclarissimo illo Ptolemaei libro, quem *Magnam Compositionem* vocant, quod apud Graecos mira facilitate facundiaque resplendet, ita apud Latinos durum ineptumque habetur, ut ne Ptolemaeus quidem ipse si reviviscat ipsum sit pro suo recepturus.“

6 Ebd., Bl. a3r: „[...] nihil perniciosius accidere posse existimans, quam si cum patria etiam libri periissent.“

Systems von Aristarchos von Samos angesehen. Obwohl der einzige Hinweis dafür eine Referenz in Archimedes' *Arenarius* war,<sup>7</sup> stellten sich die Hauptrepräsentanten der kopernikanischen Astronomie und der neuen Physik am Anfang des 17. Jahrhunderts Johannes Kepler und Galileo Galilei gerne als Neupythagoräer vor.<sup>8</sup>

Diese Zuschreibung führte zu einer merkwürdigen historischen Fälschung, und zwar zur Edition einer fiktiven Übersetzung aus dem Arabischen durch Gilles Personne de Roberval, die eine vorgeblich „verlorene“ aristarchische Verteidigung des heliozentrischen Systems enthalten sollte: Aristarchus von Samos, *De mundi systemate, partibus et motibus eiusdem libellus* (Paris, 1644). Dieser Text wurde später auch in Marin Mersennes *Novarum observationum physico-mathematicarum... tomus III* (Paris, 1647) abgedruckt. Die inszenierte Entdeckung einer autoritativen Quelle erzeugte historische Kontingenz, deren Kontext hier kurz dargestellt werden soll.

Nach der Zensur der kopernikanischen Hypothesen durch der römischen Kirche im Jahre 1616 und der Verurteilung Galileis im Jahre 1633 wurde die Diskussion des Heliozentrismus in katholischen Ländern gefährlich für deren Vertreter. Die Kopernikus-Rezeption in Frankreich, die etwas freier als in Italien verlief, war durch die Beschränkung auf eine bloß formale Zustimmung zur römischen Zensur gekennzeichnet, während eine eher freie Erwähnung und Behandlung der verbotenen Planetentheorie durchaus möglich war. In Paris galt zum Beispiel Pierre Gassendi als ein überzeugter Verfechter von Kopernikus. Des weiteren veröffentlichten dort mehrere Autoren Apologien des heliozentrischen Systems in verschiedenen Formen. Der Heliozentrismus konnte aber nur mit einer gewissen Vorsicht vertreten werden. Ismael Boulliaus kopernikanisches Werk *Dissertationis de vero systemate mundi libri IV* erschien unter dem Pseudonym Philolaus im Ausland (Amsterdam 1639). Erst später wagte er den Band *Astronomia Philolaica* mit seinem echten Namen in Paris 1645 zu veröffentlichen. In diesem Zusammenhang erschien auch Robervals Pseudo-Aristarchus.

Das Vorwort der genannten Fälschung ist eine Nachahmung von Regiomontanus' einführender Widmung zur *Epytoma*. Ein fiktiver, auf Arabisch überlieferter und „barbarisch“ ins Latein über-

---

7 Siehe Gingerich 1985 und Omodeo 2013. Siehe auch Heath 1997.

8 Siehe Omodeo 2012, 228-234.

setzter Text sei von Roberval stilistisch revidiert und mit Kommentaren versehen worden, wie in der Quelle behauptet. Ironisch verweist Roberval darauf, dass die kopernikanische Lehre durch Aristarchus‘ heliozentrisches Werk die Würde einer alten Lehre verliehen bekomme, die die Wahrheitsliebenden schätzen würden:

Schau, mein verehrter Herr [Petrus Brulart de S. Martin], das Buch des Aristarchus von Samos *De Mundi Systemate* [=Über das Weltsystem] zeigt Dir, was, wenn ich mich nicht irre, Du und verehrter Vater Mersenne von uns erwartet. Denn nachdem es in einem handgeschriebenen arabischen Kodex wiederentdeckt und durch deine Bemühung ins Lateinische übersetzt wurde—die Übersetzung aus dem Arabischen war in so rohem und fremdartigem Stil verfälscht worden, dass sie kaum verständlich war—hast Du uns das Buch zur Lektüre und Korrektur übergeben, damit wir Kommentare über das hinzufügen, was nach der Zeit des Autors entdeckt wurde und was seine Thesen bestätigen oder eventuell ablehnen könnte. Sicher wirst Du es billigend anerkennen, da Du allein die Wahrheit liebst, statt Neuigkeiten, und da Du vor der gängigen Meinung zurückschreckst.<sup>9</sup>

Das Narrativ der historischen Kontingenz der Wissenschaftsüberlieferung und -entwicklung könnte nicht besser inszeniert werden als in dieser Passage.

Die Renaissance ist eine Epoche, in der das Thema der historischen Verortung des Wissens wie nie zuvor in der europäischen Geschichte thematisiert wurde. Die zentrale Renaissance-Idee der Neubelebung der Antike und die humanistische Ablehnung der mittelalterlichen „Barbarei“ beruht auf einer historischen Selbstbehauptung, wenn nicht auf einer Geschichtsphilosophie. Aus der Perspektive einer zyklischen Auffassung der Zivilisation, in welcher sich helle Zeiten mit dunklen abwechseln, zelebrierte Giordano Bruno die heliozentrische Planetentheorie des Kopernikus als die Neugeburt der antiken Weisheit, insbesondere der pythagoreischen Weltanschauung.<sup>10</sup> In seiner epo-

9 Aristarchus 1644, Bl. a2r-v: „Ecce, vir amplissime [Petrus Brulart de S. Martin], talis tibi prodit Aristarchi Samii libellus, *de Mundi Systemate*, qualem, ni fallor, tu et R. P. Mersennus a nobis expectastis, cum ipsum ex Arabico codice manu scripto recuperatum, atque tuis impensis, ab extraneo quodam Arabice linguae perito, Latine scriptum, stilo, ut scis, adeo rudi atque Barbaro ut vix intelligeretur, nobis legendum atque emendandum tradidistis; simulque ipse mandasti, ut notas quasdam adiiceremus, circa ea quae post Authoris ipsius tempora detecta sunt, ex quibus sententia illius corroborari posset, vel etiam, si ita contingeret, infirmari. Unde solius veritatis amantem te, non vero rerum novarum, aut a communi opinione abhorrentium cupidum, plane licuit agnoscere.“

10 Siehe Brunos *La cena de le Ceneri*, in Bruno 2000, 25: „Chi dunque sarà sí villano e discortese verso il studio di quest’uomo, che, avendo posto in oblio quel tanto che ha fatto, con esser ordinato dagli dei come una aurora, che dovea precedere l’uscita di questo sole de l’antiqua vera filosofia, per tanti secoli sepolta nelle tenebrose caverne de la cieca, maligna, proterva ed invida ignoranza; vogli, notandolo per quel che non ha possuto fare, metterlo nel

chalen Erwartung war er nicht isoliert und viele Humanisten, Mathematiker und Wissenschaftler-Ingenieure verstanden ihre intellektuelle Aktivität als eine Neubelebung antiker Lehren, wie wir an den Beispielen von Archimedes und Pythagoras rekonstruiert haben.

Allerdings hat Edgar Zilsel zurecht vor den Exzessen einer Ideengeschichte gewarnt, die nur die Auseinandersetzung mit antiken Ideen in der Vordergrund stellt und dabei die Rolle der zeitgenössischen technischen Herausforderungen übersieht: „Abseits von Einflüssen der pythagoräischen und platonischen Metaphysik behandeln die mathematischen Schriften des 15. und 16. Jahrhunderts erstens detailliert die Probleme der Handelsmathematik und zweitens die technologischen Bedürfnisse der Militäringenieure, Feldmesser, Architekten und Künstler.“<sup>11</sup> Im Anschluss an Zilsels These behauptete Wolfgang Lefèvre in *Naturtheorie und Produktionsweise*, dass es nicht nur einen Zusammenhang zwischen den technischen Fähigkeiten der Frühen Neuzeit und den zeitgenössischen Naturanschauungen gegeben habe, sondern dass es darüber hinaus die ideologische Motivation des aufstrebenden Bürgertums gewesen sei, die zu Versuchen einer immanenten Welterklärung auf der Grundlage dieses technischen Wissens geführt habe. Die Mechanik entwickelte sich zunächst als Theoretisierung technischer Ausrichtungen und Prozeduren. Aus der Perspektive einer solchen Disziplin erwies sich die Kontingenz als ein durch die Praxis bestimmtes epistemologisches Element. Erst später, im Übergang vom 16. zum 17. Jahrhundert, entwickelte sich die Mechanik zum Paradigma der Physik und sogar der Naturphilosophie *tout court*.<sup>12</sup> Die anfängliche Technikbezogenheit der Disziplin wurde von Leonhard Olschki—wenn auch nur reduktiv und anachronistisch—als „angewandte Wissenschaft“ beschrieben. Im Gegensatz zur Rolle der Technik bei Olschki leugnete Koyré die enge und produktive Verflechtung von Technik und Wissen in der Renaissance, wahrscheinlich aus ideologisch-konservativen Gründen, obwohl er die Primärquellen sowie die Werke von Olschki und die Thesen von Zilsel wohl kannte.<sup>13</sup> Wir wollen uns im Folgenden der Rolle die-

---

medesimo numero della gregaria moltitudine.“

11 Zilsel 1942 übersetzt in Zilsel 1976, 49-65, 52-53.

12 Siehe auch Lefèvre 2001, 25.

13 Der erste Band von Olschkis *Geschichte der neusprachlichen wissenschaftlichen Literatur* hieß *Die Literatur der Technik und der angewandten Wissenschaften vom Mittelalter bis zur Renaissance* (Heidelberg: Winter, 1919). Koyrés Deutung von Galilei als rein spekulativem Geist, zumal in „Galileo and Plato“, kann legitimerweise als eine „Provokation“ verstanden werden oder als eine Reaktion auf die materialistische Lektüren der Renaissance-Mechanik etwa bei Zilsel und Olschki. Über „Koyré’s provocation“ siehe Lefèvre, „Galileo Engineer“, 11.

ser materiellen Herausforderungen für die Frage der Kontingenz im Sinne der epistemologischen Kontingenz auf Praxis beruhender wissenschaftlicher Erkenntnis zuwenden.

### **Von der praktischen zur epistemologischen Kontingenz**

Das Kontingenzbewusstsein durchdrang nicht nur den historischen Metadiskurs über die Wissenschaft, sondern auch deren epistemologischen Kern und die damit verbundenen Naturvorstellungen. So schrieb Galilei an Del Monte aus Padua am 29. November 1602 über die Unvermeidlichkeit der Kontingenz in der Betrachtung der Natur der Bewegung:

Bezüglich Ihrer Frage bin ich mit Ihrer erlauchten Hoheit ganz einverstanden. Wenn wir uns mit der Materie befassen, verändern sich wegen ihrer Kontingenz [*per la sua contingenza*] die Sätze, die vom Geometer nur abstrakt betrachtet werden. Über so getrübe [Sätze] kann es keine reine Wissenschaft [*certa scienza*] geben, deshalb ist der Mathematiker von der Spekulation darüber frei.<sup>14</sup>

Diese Aussage mag überraschend klingen, insbesondere wenn man die wesentliche Rolle Galileis für die klassische Physik bedenkt. Allerdings darf seine Stellungnahme zur Kontingenz der Materie und zur Unzulänglichkeit der reinen Geometrie für das Verständnis der Bewegung keineswegs als radikale Skepsis missverstanden werden. Sie sollte eher mit Blick auf die Rolle des praktischen Wissens der Wissenschaftler-Ingenieure seiner Epoche gedeutet werden.

Mit der Kontingenz der Materie, verstanden als Widerständigkeit und als eine ihrer wesentlichen Eigenschaften, waren diese Ingenieure und Mechaniker ständig konfrontiert. Die Erfahrung der Differenz von Theorie und Praxis wurde von zeitgenössischen Wissenschaftler als theoretische Unter-

---

14 Galilei 1968, Bd. X., Nr. 88, 97-100, 100: „Perquanto al suo quesito, stimo benissimo quanto ne dice V.S. Ill.<sup>ma</sup>, e che quando cominciamo a concernere la materia, per la sua contingenza si cominciano ad alterare le proposizioni in astratto dal geometra considerate; delle quali così perturbate siccome non si può assegnare certa scienza, così dalla loro speculazione è assoluto il matematico.“

scheidung von Mathematik und Mechanik reflektiert, wie das folgende Zitat aus Bonaiuto Lorinis *Delle fortificationi* (1597) belegt:

Aber ehe wir weitergehen, muss ich auf den Unterschied hinweisen, der zwischen einem rein spekulativen Mathematiker und einem praktischen Mechaniker besteht. Dieser Unterschied liegt darin begründet, dass Beweise und Verhältnisse, die von Linien, Flächen und bloß eingebildeten, materielosen Körper abgeleitet werden, nicht mehr genau gelten, wenn man sie auf materielle Gegenstände anwendet, weil die geistigen Vorstellungen des Mathematikers nicht jenen Hinderungen unterworfen sind, die von Natur aus der Materie eigen sind, mit der der Mechaniker arbeitet.[...]

Deshalb will ich durch das oben Mitgeteilte dem, der sich auf dergleichen Unternehmungen verlegen will [...], vor Augen führen, dass ihm nicht allein die Kenntnis der Mathematik vonnöten, sondern dass er auch ein vorsichtiger und geübter Mechaniker sei [...].<sup>15</sup>

Auf den Kontext weist Lorini in seiner Behandlung explizit hin: Es handelt sich um ein praktisches Anliegen. Sein Interesse ist es, durch sein Buch Orientierung für die technische Praxis zu geben und diese dadurch zu unterstützen, dass er nicht nur die Regeln (die „Verhältnisse“) für die Herstellung von Maschinen, sondern auch die Prinzipien ihrer Wirkungsweise erklärt. Die Kenntnis theoretischer Grundsätze ist die Voraussetzung der erfolgreichen Abschätzung eines Projekts sowie seiner Realisierung.

Theorie reicht laut Lorini aber nicht aus. In konkreten Ausführungen sei man gezwungen von ihr abzuweichen. Diese Diskrepanz von Theorie und Praxis hat gleichzeitig eine philosophische und eine soziale Konnotation. Einerseits kennt der reine Mathematiker die notwendigen Eigenschaften der geometrischen Figuren, die aber bloß als abstrakte Gegenstände gelten können. Andererseits weiß der Praktiker—der Mechaniker—über die Abweichung realisierbarer Maschinen und Instrumente von geometrischer Perfektion Bescheid. Der Praktiker ist durch seine Tätigkeit mit der „Ma-

---

<sup>15</sup> Klemm 1954, 157-158 und Lefèvre 1978, 96.

terie“ vertraut. Er ist sich bewusst, dass die reale Entwicklung eines Projekts einer gewissen Kontingenz unterworfen ist. Hierbei redet Lorini von „natürlichen Hindernissen“ und von der approximativen Gültigkeit der Mathematik, wenn man mit konkreten Gegenständen arbeitet. Aus diesem Grunde erweist sich die Fähigkeit, mögliche Schwierigkeiten vorzusehen, als eine äußerst wichtige Kompetenz des Mechanikers. Durch sie vermag er seine Arbeit, die Herstellung eines Kunstwerkes, gegen die Angriffe des Zufalls zu sichern. Die Kontingenz der Materie bringt ein qualitatives Element in die Leistung und das Verständnis des Handwerkers ein. Die Mechanik, als Technologie-Wissenschaft, kann sich dieser Kontingenz nicht entziehen. Ein gut ausgebildeter Mechaniker soll nach Lorini mathematische Kompetenzen und die durch Übung erworbene Erfahrung zusammenführen.

### **Kontingenz als Aspekt eines intuitiven Modells handwerklicher Arbeit**

Hinter der Diskussion der Renaissance-Ingenieure über die Kontingenz der Mechanik steckt das intuitive Modell der Arbeit oder der handwerklichen Herstellung, in dem die Kontingenz als Abweichung der Ausführung eines Projekts vom abstrakten Entwurf eine Schlüsselrolle annimmt. Das Kontingente resultiert aus dem nicht genau bestimmbareren Hindernis, das aus der quantitativ, mathematisch nicht fassbaren Ungenauigkeit der Materie entstammt. Es kann nicht präzise bestimmt werden, kann aber durch die Erfahrung des Praktikers mit guter Voraussicht abgeschätzt werden. Der hier dargestellte Hiatus zwischen *θεωρία* und *πράξις* ist der Ort der Kontingenz. Es sei dabei angemerkt, dass diese Unterscheidung primär in Hinsicht auf die Praxis gemeint ist. Sie entspringt nicht aus der reinen Theorie sondern aus der Technik, da sie die Grunderfahrung des Herstellens widerspiegelt.

Das intuitive mentale Modell der handwerklichen Herstellung besteht aus mehreren Elementen: dem Handwerker, seinem Produkt, seinem Vorhaben und den Hindernissen bei der Realisierung des Projekts, welches zunächst nur abstrakt konzipiert wurde. Wenn man sich diese vierfache Gliede-

rung vor Augen hält, bemerkt man, dass dieses intuitive Modell auch der berühmten aristotelischen Ätiologie unterliegt, nämlich der Lehre der vier Ursachen (*causa efficiens, finalis, formalis* und *materialis*).<sup>16</sup> Auch die aristotelische Lehre von Materie und Form, der sogenannte „Hylemorphismus“ kann als eine Abstraktion des gleichen Modells verstanden werden, denn die *Materie* entspricht dem Rohstoff des Herstellungsprozesses, die *Form* dem Projekt des Herstellers und ihre *Einheit* dem Produkt. Ein weiterer Aspekt dieses intuitiven Modells ist die Prozesshaftigkeit der Arbeit, die zur Umsetzung eines Vorhabens in ein Produkt notwendig ist. Dieser Aspekt spielte im Technologieverständnis und den damit verbundenen naturphilosophischen Überlegungen der Renaissance Mechaniker-Ingenieure eine Schlüsselrolle.

Im aristotelischen Hylemorphismus verbirgt sich allerdings noch ein weiteres intuitives Modell, das des Wachstums. Hier entspricht die *Form* dem Entwicklungsziel des Wachstumsprozesses eines Lebewesens, während die *Materie* der Rohstoff ist, aus dem es erwächst. Im Einzelnen können die Rollen von Materie und Form unterschiedlich gefasst werden. So heisst es zum Beispiel bei Aristoteles in *De generatione animalium* in Bezug auf die Embryologie: „Einerseits gewährt das Männliche die Form und das Prinzip der Bewegung, andererseits das Weibliche den Körper und die Materie.“<sup>17</sup> Im Anschluss daran heißt es bei dem noch in der Renaissance massgebenden Mediziner Galen in einer anderen Akzentuierung der hylemorphischen Erklärung der Befruchtung: „Er [Aristoteles] leugnet nicht, dass der Samen die Funktion des Handwerkers [ὁ τοῦ δημιουργοῦ λόγος] im Bezug auf den Fötus hat.“<sup>18</sup> An diesem Beispiel zeigt sich deutlich, dass sich im hylemorphischen Denkmodell zwei intuitive Vorstellungen begegnen, das schon besprochene Handwerkermodell und das Wachstumsmodell. Durch ihre Vereinigung in der abstrakteren aristotelischen Lehre erhielt diese eine Ambivalenz, die ihre ganze Wirkungsgeschichte prägen sollte. Aus der Wachstumsvorstellung entstand insbesondere eine stärkere Betonung der eigenständigen Rolle der Materie und des Prozesscharakters der Natur gegenüber der Interpretation, die im Sinne des Handwerkermodells die

---

16 Aristoteles, *Physik* II 3, 194 b 16 – 195 a 3.

17 Aristoteles, *De generatione animalium* I, 729a 10. Siehe Aristoteles 1990, 81.

18 Galen, *De semine* I 5, 8-9. Vgl. Galen 1992, 80.

Unselbstständigkeit und die Passivität der Materie ins Zentrum rückte.<sup>19</sup>

Seit der Antike bot das Modell des Handwerkers die Grundlage für kosmologische und naturtheoretische Betrachtungen. Nach Geoffrey E. R. Lloyd können die griechischen kosmologischen Vorstellungen auf drei Modelle zurückgeführt werden: das Artefakt, den lebendigen Organismus und die politische Entität.<sup>20</sup> Diesen drei Grundvorstellungen, die zu absoluten Metaphern wurden, ist eine anthropologische Dimension gemeinsam.

Zu beachten ist dabei, dass das Artefakt und die Polis auf menschliche Produktion und Organisation verweisen, während der lebendige Organismus oftmals als göttliche Schöpfung gedacht wurde. Das Handwerk konnte *vice versa* als mangelhafte menschliche Nachahmung eines lebendigen Organismus begriffen werden; ein Vergleich, den man häufig in der antiken philosophischen Literatur antrifft und im Mittelalter im Motto „ars imitatur naturam“ gefasst wurde.

Im nächsten Abschnitt wird ein viertes Modell eingeführt: das autonome Natursystem als deanthropomorphisierte Weltanschauung, die sich allerdings bereits in der Antike finden lässt. Darüber hinaus verschiebt sich in der Renaissance gegenüber der Antike der Akzent in der Verwendung des Handwerker-Modells vom Produkt auf den Produktionsvorgang.

Für unsere Fragestellung zum Kontingenzbegriff in der Naturwissenschaft ist die Polis-Metapher weniger relevant. Es sei nur kurz darauf hingewiesen, dass die Kontingenz selbstverständlich eine zentrale Rolle im politischen Bereich (etwa in Entscheidungsprozessen, Verhandlungen, und bei der Bewältigung unberechenbarer Notfälle) und daher auch in den daraus abgeleiteten Weltvorstellungen spielte. In der Renaissance ist sie in Machiavellis Diskurs über die *fortuna* durchaus präsent. Die anderen beiden Modelle aber waren im weiteren Verlauf innerhalb der naturwissenschaftlichen Tradition zunächst von größerer Bedeutung.

Im Zeitalter der mechanistischen Philosophien standen die Metapher der Natur als Königreich Gottes und die Metapher der Welt als Artefakt (die notwendig regulierte Maschine) in offensichtlichem Kontrast. Die Verbindung der natürlichen Ursachen mit menschlichen Absichten und Zwe-

---

19 Vgl. Bloch 1963, 71-75.

20 Lloyd 1991, 148.

cken wurde im Zeitalter der Mechanisierung des Weltbildes zum Problem. Sie wurde von Gottfried Wilhelm Leibniz als eine „prästabilierte Harmonie“ in den *Principes de la nature et de la grace* und in der *Monadologie* postuliert. In der *Monadologie* (87-88) liest man über die Versöhnung von *Dieu comme architecte* und *Dieu comme legislateur* folgendes:

§ 87. Wie wir weiter oben eine vollkommene Harmonie zwischen zwei natürlichen Reichen, dem der Wirkursachen und dem der Zweckursachen, festgestellt haben, so müssen wir hier noch eine andere Harmonie zwischen dem physischen Reich der Natur und dem moralischen Reich der Gnade bemerken, d.h. zwischen Gott betrachtet als Architekt der Maschine des Universums und Gott betrachtet als Monarch des göttlichen Staates der Geister.

§ 88. Diese Harmonie macht, dass die Dinge auf den Wegen der Natur selbst zur Gnade führen [...].<sup>21</sup>

Leibniz' Konzept der Beziehung zwischen Gott und der Welt ist deutlich anthropomorphisch in dem Sinne, dass es menschliche Verhältnisse auf natürliche Verhältnisse projiziert. Für unseren Zusammenhang ist bemerkenswert, dass das Leibniz'sche Problem der Harmonisierung der zwei Reiche, das der mechanisch konzipierten Natur und das der Gnade, eine Folge der zeitgenössischen Versuche ist, die Kontingenz aus dem Weltmechanismus zu verbannen.

In der Antike und in der Renaissance dagegen war die Kontingenz noch ein wesentlicher Teil der Naturauffassung. Für die Renaissance haben wir dies durch die Zitate von Galilei und Lorini belegt. Für die Antike lässt sich diese Behauptung durch einen Blick in die Schriften von Plato und Aristoteles bestätigen. Wie wir bereits angemerkt haben, stützen sich Aristoteles' Ursachen-Lehre und die hylemorphistische Theorie auf das intuitive Handwerkermodell. Diese Lehre steht ihrerseits im Zentrum seiner Naturphilosophie und wird gleich am Anfang seiner Physik beschrieben.

Auch bei Plato spielt das Handwerkermodell eine entscheidende Rolle für seine Idee des Schöp-

---

21 Leibniz 2002, 149 (minimal revidiert).

fergottes und der von ihm als Handwerksprodukt geschaffenen Welt. In *Timaios* wird Gott (ὁ θεός) als der Handwerker, der δημιουργός, angesehen, der die Welt als ein einheitliches, sinnlich wahrnehmbares Lebewesen (ζῷον ἐν ὁρατόν) gestaltet.<sup>22</sup> Zur Gestaltung der Welt musste der Demiurg einerseits das Ideelle (τὰ διὰ νοῦ) in Betracht ziehen und andererseits mit der materiellen Notwendigkeit (τὰ διὰ ἀνάγκης) rechnen. Der platonische Ansatz ist teleologisch, weil er eine Zweckmässigkeit in der Natur voraussetzt. Diese Zweckmässigkeit hängt vom Intellekt des Schöpfers ab, und wird deshalb als νοῦς bezeichnet. Ihr Gegenteil ist die Notwendigkeit, im Griechischen ἀνάγκη, die deshalb anders als bei den modernen Autoren (zum Beispiel bei Leibniz) der Zweckmässigkeit entgegensteht.<sup>23</sup>

Platos Ansatz ist nicht nur teleologisch sondern auch ästhetisch ausgerichtet. Weil der Demiurg auf ewig bestehende Ideen als Vorbild seiner Weltgestaltung schaut, kann er das Schöne erzeugen, im Gegensatz zum menschliche Hersteller, der das werdende, die Natur, als Vorbild betrachtet. Die Nachahmung der Nachahmung weicht notwendigerweise von ideeller Schönheit ab:

Jedes Ding nun also, dessen Gestalt und Wirkungskraft der Schöpfer [ὁ δημιουργός] herstellt, indem er auf das immer sich gleich Verhaltende hinblickt und ein derartiges zum Vorbild nimmt, muss er so notwendig als ein ganz Schönes [καλόν] hervorbringen; das, bei dessen Herstellung [der Schöpfer] auf Gewordenes schaut, also ein dem Werden unterliegendes Vorbild heranziehend, [wird] nicht schön [οὐ καλόν] [sein].<sup>24</sup>

Aus diesem ätiologischen Mythos leitet Plato naturphilosophische Folgerungen ab. Das Handwerker-Modell, das intuitive Modell der Arbeit, spiegelt sich auf der abstrakten Ebene der Spekulation über die Prinzipien der Realität wider. Plato führt drei Prinzipien ein: Aus der Polarität von Form und Materie entsteht eine dynamische Realität, die Natur. Das materielle Prinzip wird von

---

22 Plato, *Timaios*, 31A.

23 Ebd., 48 A.

24 Ebd., 28 A-B. Übersetzung aus Plato 1992, 29 (revidiert).

Plato als χώρα bezeichnet. Platons χώρα wurde dann von Aristoteles dem Ort, dem τόπος, gleichgesetzt<sup>25</sup> aber der Begriff hat im *Timaios* nicht nur eine räumliche, sondern auch eine materielle Bedeutung. Denn χώρα ist auch das Land um die Polis herum, der Acker, der durch die Arbeit des Bauern Früchte bringt. Hier verschmelzen die Metapher des Handwerkers und des Bauern, während die Gleichsetzung des göttlichen Schöpfung mit der menschlichen Bearbeitung der Materie bestehen bleibt. Entsprechend führt Plato im *Timaios* aus:

Angesichts dieses Tatbestandes soll man darin einig sein: Eines ist die immer sich gleich verhaltende Form, ungeworden und unvergänglich, weder in sich selbst ein anderes von woandersher aufnehmend noch selbst irgendwohin in ein anderes fortgehend, unsichtbar und auch sonst nicht wahrnehmbar—das was den Denken zur Betrachtung erhalten hat; das dem Gleichnamige und Ähnliche ist das Zweite, wahrnehmbar, dem Werden unterworfen, immer hin und her bewegt, ins Werden tretend an einer bestimmten Stelle und wieder daraus im Untergang verschwindend, durch Mutmassung in Verbindung mit Sinneswahrnehmung erfassbar; die dritte Gattung wieder ist die des je raumgebenden Feldes [χώρα], die Untergang nicht an sich lässt, stattdessen einen Wohnsitz gewährt allem, was da Entstehung hat, selbst ausgestattet mit Nichtwahrnehmbarkeit durch Sinne, zugänglich nur einer Art unechten Schlusses [λογισμος νόθος].<sup>26</sup>

### **Natur im Zeichen des Zufalls oder der Kontingenz?**

Materialistische, physikalische und nicht-anthropomorphe Weltvorstellungen waren der Antike durchaus nicht unbekannt. Solche Perspektiven wurden bereits der Philosophie durch die ionischen und eleatischen Schulen eröffnet. Die einflussreichste Theorie der Natur als autonomes System war aber die atomistische, die in der Zeit von Aristoteles entworfen wurde und sehr bedeutsam für die

---

25 Aristoteles spricht über χώρα bei Plato in *Physica* IV.

26 Ebd., 52 A-B, Übersetzung revidiert, 83-85.

naturwissenschaftlichen Debatten der Neuzeit wurde. Wichtigster Vermittler dieser Konzeption in der Renaissance wurde Lukrez durch sein Poem *De rerum natura*.

Sein Ansatz kehrte die idealistische und theologisch aufgeladene platonische Vorstellung um, dass die Perfektion der Welt notwendigerweise aus der Güte des Demiurgen entstamme. Anders als bei Plato wird nicht für diese Vollkommenheit argumentiert, sondern umgekehrt schliessen die Unvollkommenheiten und das Leiden der Welt die Möglichkeit aus, dass „vorsehende“ Götter sie geschaffen haben könnten: „Keineswegs wurde das Weltall für uns durch göttliches Walten / Jemals geschaffen—zu zahlreiche Mängel sind ihm zu eigen!“<sup>27</sup> Der deantropomorphisierende und ateleologische Ansatz geht bei Lukrez so weit, dass die Zweckmässigkeit der Natur sogar im biologischen Bereich geleugnet wird:

Nachdrücklich muss ich bei diesem Thema noch warnen vor einem Irrtum. Ich bitte dich dringend, ihn voller Vorsicht zu meiden:  
Glaub nicht, das Augenlicht wäre geschaffen, die Gabe des Sehens uns zu vergönnen, oder es könnten, gestützt auf die Füße, Ober- und Unterschenkel in ihren Gelenken sich drehen, um uns weit ausgreifend unseres Weges schreiten zu lassen; oder die Arme hingen an Kraftvollen Schultern und unsre Hände seien uns beiderseits gleichsam als Diener gegeben, um das zum Leben Notwendige selber beschaffen zu können; glaub auch nicht weitem derartigen Deutungen! Sind sie doch sämtlich Trugschlüsse, Ursachen werden und Wirkungen schlechthin verwechselt; Gar nichts am Körper wurde für uns zur Nutzung geschaffen. Vielmehr bewirkt das einmal Geschaffene selbst sich die Nutzung. Vor der Erschaffung der Auge gab es keinerlei Sehen, vor der Geburt der Zunge auch keinerlei Sprechen von Worten.

---

<sup>27</sup> Lukrez, *De rerum natura* II, 180-181. Übersetzung aus Lukrez 1994, 63

Vielmehr entstand die Zunge weit früher als jegliches Sprechen,  
wurden die Ohren geschaffen schon lange, bevor man Geräusche  
wahrnehmen konnte, kurz, sämtliche Glieder gab es,  
nach meiner Meinung, bereits, noch ehe man lernte, sie sinnvoll zu brauchen.  
Keineswegs konnten sie also zum Zwecke der Nutzung entstehen.<sup>28</sup>

Zusammen mit dem Teleologismus wird bei Lukrez vor dem Hintergrund eines atomistischen Naturbildes die Vorstellung eines Herstellers fallen gelassen. Stattdessen ersetzte er die Idee der Natur als einer vom Projekt abweichenden Wirklichkeit durch die Idee eines durch Zufall beherrschten ewigen materiellen Universums. In der Gegensätzlichkeit zwischen den hellenistischen Schulen der Epikureer und der Stoiker und ihrer Grundbegriffe von Zufall und Logos kristallisierte sich in der Antike die Opposition zwischen einer von innerer Rationalität und Planmäßigkeit gekennzeichneten Naturvorstellung bei den Letzteren und einer radikalen Ablehnung solcher anthropomorphischen Deutungen bei den Ersteren heraus. Die Epikureer lehnten die auf dem intuitiven mentalen Modell des Handwerkers beruhende Idee der Kontingenz radikal ab. Das *clinamen*—die intrinsisch unvorhersehbare Abweichung der Atome aus ihren geradlinigen Bahnen—führte die Perspektive einer nicht-kausalen Unbestimmtheit in die Naturvorstellungen der Antike ein.

Trotz der Prominenz der epikureischen Schule in der Antike ist die Radikalität ihrer Verneinung von jeder der Natur unterliegenden Planmäßigkeit ein *unicum* in der Philosophiegeschichte. Die frühneuzeitlichen Autoren, die auf die Atomlehre zurückgriffen, verzichteten nämlich auf solche Verabsolutierung des Zufalls.<sup>29</sup> Stattdessen postulierten und suchten sie die Regelmäßigkeiten und Zusammenhänge der Natur unter der Frage, ob diese als unvollkommen in ihrer realen und einmaligen (sprich kontingenten) Gegebenheit oder als deterministisch, wie etwa im Mechanizismus, angesehen werden können. Der Kontingenz-Begriff ermöglichte eine

---

28 Ebd., IV, 822-842, Lukrez 1994, 201-202.

29 Für eine klassische Diskussion des frühneuzeitlichen Atomismus, siehe Freudenthal 1982.

Kausalerklärung der Realität und gleichzeitig die Anerkennung ihrer Faktizität bezüglich der einzelnen Phänomene sowie der Natur in ihrem Ganzen. Er schloss die Verallgemeinerung des entgegengesetzten Zufallsbegriff als Grunderklärung der Realität aus.

Die Kontingenz befand sich im konzeptuellen Raum zwischen der Notwendigkeit und der absoluten Möglichkeit. Sie wurde beispielsweise als *possibilitas determinata* bei Nikolaus von Kues im 15. Jahrhundert vorgestellt. Als solche betrachtete er sie im zweiten Buch von *De docta ignorantia* als die dynamische Verbindung zwischen formalen Zwängen und der chaotischen Vielfalt der materiellen Möglichkeiten:

Die Einheit des Alls ist also dreifaltig aus Möglichkeit, Notwendigkeit der Verknüpfung und aus Verbindung, die man als Potentia, Actus und Nexus bezeichnen kann. Gewinne daraus vier allgemeine Weisen des Seins. Es gibt nämlich eine Weise des Seins, die sich als absolute Notwendigkeit bezeichnen lässt, wie nämlich Gott die Form der Formen, das Seiende der Seienden, der Grund oder das Wesen der Dinge ist. In dieser Seinsweise ist alles in Gott die absolute Notwendigkeit selbst. Eine andere Seinsweise besteht darin, dass die Dinge in der Notwendigkeit der Verknüpfung sind. In ihr befinden sich die in sich wahren Formen der Dinge mit ihrer Verschiedenheit voneinander und ihrer natürlichen Ordnung. In dieser Weise finden wir sie im Geist [*mens*]. [...] Eine weitere Seinsweise ist die, dass die Dinge in bestimmter Möglichkeit [*possibilitas determinata*] tatsächlich dieses oder jenes sind. Und die unterste Seinsweise liegt dann vor, wenn die Dinge sein können. Sie besteht in der absoluten Möglichkeit.<sup>30</sup>

Laut Cusanus besteht das Universum, die Realität, aus drei Dimensionen, die in Abgrenzung zu Gottes Absolutheit zu begreifen sind: Notwendigkeit, Möglichkeit und ihre Verbindung. Dieser

---

30 Cusanus, *De docta ignorantia* II, 7: Cusanus 1977, 53 und 55. Siehe Cusanus 1932, 83-84: „Est igitur unitas universi trina, quoniam ex possibilitate, necessitate complexionis et nexu, quae potentia, actus et nexus dici possunt. Et ex hoc quattuor modos universales essendi collige. Nam est modus essendi, qui absoluta necessitas dicitur, ut scilicet Deus est forma formarum, ens entium, rerum ratio sive quidditas; et in hoc essendi modo omnia in Deo sunt ipsa necessitas absoluta. Alius modus est, ut res sunt in necessitate complexionis, in qua sunt rerum formae in se verae cum distinctione et ordine naturae, sicut in mente; an autem hoc ita sit, videbimus infra. Alius modus essendi est, ut res sunt in possibilitate determinata actu hoc vel illud. Et infimus modus essendi est, ut res possunt esse, et est possibilitas absoluta.“

Nexus, der als Kontingenzt im Sinne einer Ontologisierung der modalen Logik verstanden werden muss, fällt mit der Natur zusammen. Das Werden aller Dinge ist bei Cusanus die Naturbewegung, die die konkrete Verbindung von Form und Materie darstellt und dadurch die Welt schafft und transformiert. Folgende Tabelle fasst Cusanus' Realitätsvorstellung zusammen und zeigt die Zentralität der als Kontingenzt zu verstehenden Natur.

SEINSEBENE		
I. Absolute Notwendigkeit ( <i>necessitas absoluta</i> )		Gott
II. Unitas universi trina	a. Notwendigkeit der Verknüpfung ( <i>necessitas complexionis</i> )	Form / Aktualität ( <i>anima sive forma universi</i> )
	b. Verbindung ( <i>nexus</i> )	Geist oder Natur ( <i>spiritus universorum / natura</i> )
	c. Möglichkeit ( <i>possibilitas</i> )	Materie / Potentialität

### Neuzeitliche Variationen des kosmologisch-theologischen Handwerker-Modells

Die theologische Vorstellung der Natur als einer vom Handwerker Gott gewollten, kontingenten Wirklichkeit ist in der neuzeitlichen Naturwissenschaft überall präsent. Sie wird zum Beispiel von Galilei in seinem Jugendwerk *De motu* verwendet, um eine auf archimedischen Prinzipien beruhende Kosmogonie theologisch zu rechtfertigen:

Nachdem der göttliche Schöpfer [*divinus opifex*] die weite Himmelsphäre wunderbarerweise konstruiert hatte, sonderte er die [übriggebliebenen] Exkrementen im Zentrum dieser Sphäre ab, und versteckte sie dort. Seine Absicht dabei war es, dass der Anblick dieser Exkrementen die unsterblichen und gesegneten Geister nicht beleidigen möge. Weil aber jene sehr dichte und sehr schwere Materie durch ihre Masse den weiten und umfangreichen Raum, der unterhalb der konkaven Oberfläche der letzten Sphäre übriggeblieben war, nicht ausreichend füllte, und damit ein großer Raum nicht nutzlos und leer bliebe, riss er jene schwere und rohe Masse, die sich in engen Grenzen eingeschlossen hatte, auseinander. Aus ihren unzähl-

gen, mehr oder weniger ausgedünnten Teilchen formte er jene vier Körper, die wir später Elemente nannten.<sup>31</sup>

Die weitere Entwicklung der frühneuzeitlichen Naturwissenschaft verstärkte diese, bereits bei Galilei erkennbare Tendenz, die Welt und ihre Entstehung aus immanenten wissenschaftlich begreifbaren Prinzipien zu erklären und die theologische Einbettung solcher Erklärungen immer weiter zur bloßen Hülle zu degradieren. Einen Höhepunkt fand die Auseinandersetzung, um die mit dem Schöpfergott noch verbliebene Rolle und die mit dieser Rolle verbundene Kontingenz seiner Wirkungen in dem berühmten Briefwechsel zwischen Leibniz und Clarke. Clarke vertrat die Position Newtons, der von einem in die Welt eingreifenden und ihre Kontingenz korrigierenden Schöpfergott ausging. Koyré skizzierte diese Entgegensetzung als den Kontrast zwischen Newtons „Gott des Werktages“ und Leibniz‘ „Gott des Sabbats“, sowie zwischen der Welt als einer „Uhr, die allmählich abläuft,“ bei der Ersteren und der Welt als dem ewigen Automaton beim letzteren.<sup>32</sup> So schrieb Clarke an Leibniz:

Unter dem Vorwand, dass man dadurch Gott zu einer über die Welt gesetzten und erhabenen Intelligenz [*intelligentia supermundana*] machen will, sondert man die Vorstellung der Regierung Gottes von der Welt ganz und gar ab. Ich füge hinzu, dass um eben der Ursache willen, welche sich ein Weltweiser einbilden kann, als wenn nach der Schöpfung alles in der Welt geschehe, ohne dass eine besondere Mitwirkung Gottes daran mit Teil nehme; es einem Zweifler oder Sceptico nicht schwer fallen werde, seine Schlüsse so weit zu treiben und anbei zum Grunde zu setzen, dass die Dinge ohne eine vorhergehende wahre Schöpfung oder Kraft eines allgemeinen Urhebers der Welt, sondern bloß vermöge der von einigen

---

31 Galilei 1968, Bd. I., 344: „Graviora centro propinquiora, minus gravia centro remotiora, a natura constituta esse, et cur.“: „Vastissimae caelestis excrementa sphaerae, post illius mirabilem compaginem, divinus Opifex, ne forte immortalium beatorumque spirituum offenderent intuitum, in eiusdem globi centrum extrusit atque abscondidit: verum; cum satis amplum et capax sub ultimi concava superficie orbis relictum spacium densissima gravissimaque illa materia mole sua non expleret, ne magnum spacium otiosum atque vacuum esset, quae, pressa gravitate sui, onerosam illam indigestamque massam, in angustis se cancellis concluserat, distraxit; et ex illius innumeris particulis plus minusve rarefactis quatuor illa efformavit corpora, quae postea elementa diximus.“

32 Koyré 1980, 211 und 245.

Raisonneurs so genannten allweisen und ewigen Natur sich von aller Ewigkeit her also zugetragen, wie sie sich jetzo noch ereignen. Wenn ein König ein Königreich hätte, allwo alles ohne seine Veranstaltung und Regierung geschähe, so würde dieses nur ein Königreich dem Namen nach auf Seiten des Königs sein; und er würde in der Tat den Titel eines Königs oder Regenten im geringsten nicht verdienen.<sup>33</sup>

Diese Auseinandersetzung illustriert die Entgegensetzung einer unvollkommenen, geschaffenen Welt und einer Welt, die sich wie ein idealisiertes wissenschaftliches Instrument etwa eine Präzisionsuhr verhält. Während das letztere Modell dem universellen immanenten Erklärungsanspruch der neuzeitlichen Naturwissenschaft besser zu entsprechen scheint als ein Handwerkermodell der Unvollkommenheit der Natur, war es jedoch dieses, das in der Naturphilosophie und Mechanik der Renaissance eine entscheidende Rolle spielte. Denn nur die Vorstellung einer unvollkommenen, kontingenten Natur ermöglichte es den Renaissance Philosophen und Wissenschaftler-Ingenieuren ihren Erklärungs- und Beherrschungs-Anspruch der Natur auch trotz der offensichtlichen Diskrepanzen zwischen ihren mathematischen Modellen und ihren praktischen Erfahrungen aufrecht zuhalten. Zugleich hielt auch eine wesentlich als kontingent gedachte Natur die Perspektive menschlicher Freiheit offen und unterlag noch nicht dem Determinismus-Dilemma der späteren, mechanistisch interpretierten Naturwissenschaft.

### **Die Transformation der Arbeits- oder Handwerksmetapher in der Renaissance**

Seit der Renaissance gewinnt die Metapher des Handwerkers durch die Praxis der Wissenschaftler-Ingenieure neue Konkretheit. Die Abweichung vom mathematischen Entwurf in der Realität wird von diesen durch ihre praktische Erfahrung neu gedacht. Das technische Wissen wurde in der Renaissance durch die aufsteigende Klasse der Wissenschaftler-Ingenieure wegen ihrer zunehmenden Bedeutung in einer sich rasch entwickelnden Gesellschaft Neubewertet und wegen seiner Nützlich-

---

33 Ebd., 214-215.

keit für zivile und militärische Zwecke hoch eingeschätzt. Im Brief *ai lettori* (an den Leser), Vorwort zur italienischen Übersetzung von Del Montes *Le mechaniche* (Venedig, 1581), schrieb Filippo Pigafetta: „Mechaniker ist eine sehr ehrenwerte Bezeichnung, die sich nach Plutarch auf einen militärischen Beruf bezieht, der einem hoch angesehenen Mann würdig ist. Dieser ist fähig mit den Händen und der Vernunft wunderbare Werke herzustellen, die besonders nützlich und vergnüglich [*utilità et diletto*] für das menschliche Leben sind.“<sup>34</sup>

Im Gegensatz zur aristokratischen Philosophie der Antike und zum theologischen Denken des Mittelalters führte die weltliche und praxis-orientierte Einstellung der Renaissance zur Umwälzung der traditionellen Perspektive auf das Verhältnis zwischen Denken und Handeln.<sup>35</sup> Die Überlegenheit der Praxis über die Kontemplation wird vom Polymath Girolamo Cardano in *De inventione* explizit postuliert: „*Inventio ipsa sapientia praestantior est [...]*.“ „Die Erfindungsgabe ist höher als die Weisheit. Die Erfindungsgabe ist potentiell unendlich, aber aktuell endlich: Deshalb ist sie es allein, die das Unendliche mit dem Endlichen verbindet. Und sie verbindet uns mit den Göttern selbst“.<sup>36</sup>

Dieses praktische Anliegen hat die Renaissance-Mechanik mit verwandten Disziplinen gemein, die auf die Praxis und die Erfahrung gerichtet sind. Wie Paolo Rossi in seinen Studien zur Geburt der neuzeitlichen Wissenschaft bereit hervorgehoben hat, entstammte die empirische, experimentelle und angewandte Seite der klassischen Physik unter anderem aus Wissensbereichen, die zu späteren Zeiten aus der Sphäre der Wissenschaft ausgegrenzt wurden, etwa wie Magie und Alchemie. Beide Künste antizipierten paradoxerweise die baconische Wissenschaftsphilosophie der menschlichen Herrschaft über die Natur durch Wissen und Technik.<sup>37</sup> Jedoch basierten Magie und Alchemie

---

34 Del Monte 1581, Bl. b3r: „*Mechanico è vocabolo honoratissimo, dimostrante, secondo Plutarco, mestiero alla Militia pertinente, et convenevole ad huomo di alto affare, et che sappia con le sue mani et co'l senno mandare ad esecutione opre maravigliose a singulare utilità et diletto del vivere humano.*“

35 Siehe Rossi 2001, 15-17.

36 Cardano 1966, Bd. X., 90: „*Inventio ipsa sapientia praestantior est: quoniam sapientia humana res est perexigua, tum ob vitae brevitatem, tum ob tot impedimenta, quae hominibus occurrunt etiam in temporibus felicissimis: at inventio infinitis simul satisfacit velut qui de triangulo demonstravit, quoniam tres angulos habet duobus rectis aequales, de infinitis et licet numero tantum differentibus: etiam iuxta species idem continget [...]. Itaque inventio potestate quidem infinita actu vero finita: Igitur haec pene sola infinitum cum finito coniungit. Nosque cum Diis continuat.*“

37 Rossi 1968, insbes. Kap. I. „*The Mechanical Arts, Magic, and Science*“, 1-35.

auf einem Erkenntnismodell des Zusammenwirkens von Mensch und Natur und nicht der Überlegenheit des Ersteren.

Das Wesen der Magie—so schrieb Cornelius Agrippa von Nettesheim in *De incertitudine et vanitate scientiarum* (Köln, 1527)—besteht in der Betrachtung aller natürlichen und himmlischen Kräfte, der tiefgründigen Erforschung ihrer Zusammenhänge und Wirkungen und in der Suche nach Kräften in der Natur, die noch tief in ihr verborgen ruhen. Dabei wird Irdisches mit vom Himmel Gegebenem als Anreiz in so enge Beziehung gebracht, dass daraus oft höchst erstaunliche Phänomene hervorgehen, und zwar nicht so sehr durch die Kunst, sondern vor allem durch die Natur, deren Wirken die Kunst nur dienend unterstützt.<sup>38</sup>

Der Magier ist also derjenige, der die Natur dazu führt, zu seinen Gunsten sich zu entfalten. Die erstaunlichsten Effekte, die seine Kunst hervorbringt, sind nicht unnatürlich oder übernatürlich. Er agiert *in* und *mit* der Natur zusammen.

Ähnliche Vorstellungen über die Zusammenarbeit von Mensch und Natur liegen hinter der alchemistischen Praxis, wie man in Benedetto Varchis *Questione sull'alchimia* (Florenz, 1544) lesen kann:

Weder die Kunst noch der Alchemist kann Gold produzieren, sondern nur die Natur vorbereitet und unterstützt durch den Alchemisten und die Kunst, genau wie die Gesundheit nicht wieder hergestellt werden kann an einem leidenden Körper allein durch Medizin und Ärzte. [...] Es ist daher klar, dass die Kunst alleine keine Metalle transmutieren kann, sondern dass die Natur mindestens eben so Werkzeug ist wie die Kunst.<sup>39</sup>

---

38 Agrippa 1993, Kap. XLII., 87.

39 Varchi 1827, 21-22.

Die gleiche Idee stellt Galilei direkt am Anfang von *Le mechaniche* vor. In diesem Traktat über einfache Maschinen zeigt er, dass die Natur nicht hintergangen werden kann, sondern, wie er betont, dass die wundervollen und nützlichen Maschinen, die die Mechaniker herstellen, nur dadurch funktionieren, dass sie den Gesetzen der Natur gehorchen und sie zu gegebenen Zielen kanalisieren können. Nur das kann durch die mechanische Kunst in und aus der Natur aufgerufen werden, was schon in ihr liegt. Falsch ist laut Galilei das Gerücht, dass die *artefici*, die Ingenieure, „fähig sind, mit wenig Kraft sehr große Gewichte zu heben, dadurch dass sie durch ihre Maschinen die Natur irgendwie betrügen.“<sup>40</sup> Die Komplizenschaft zwischen Mechanikern und ihrer natürlichen Umwelt sowie der Kontinuität von Kunst und Natur sind Vorstellungen, die einen Naturbegriff voraussetzen, der nun etwas ausführlicher behandelt werden soll.

### **Spekulative Widerspiegelung: Die Natur als Handwerker**

„Wie soll man eigentlich nicht staunen, wenn man sieht, dass die Kunst, die ein externes Prinzip ist, den leblosen Dingen eine innere Bewegung verleiht, die derjenigen ähnlich ist, die die Natur selbst den natürlichen Dingen gibt?“ Mit dieser Frage stellte Commandinos Schüler Bernardino Baldi in seiner Heron-Übersetzung *Di Herone Alessandrino de gli Automati, over machine se moventi* (Venedig, 1601) das Problem des Zusammenhangs von mechanischer Kunst als externer Urheberin von natürlichen Effekten und der Natur selbst in ihrer inneren Kausalität vor.<sup>41</sup> Die klassische Frage nach dem Wesen der Kunst als *imitatio naturae* kann jetzt hermeneutisch umgedreht werden, als Frage nach der Naturvorstellung, die aus der Erfahrung der Renaissance Mechaniker folgt.

Die praktisch-technische Erfahrung der frühneuzeitlichen Ingenieure unterschied sich, wie schon bemerkt, von der klassischen Vorstellung, weil letztere die Praxis degradierte. Dadurch wurde zugleich das Handwerker-Modell, das nach wie vor zur Interpretation der Wirkungen der Natur

---

40 Galilei 1968, Bd. II., 155: „[la credenza] di potere con poca forza muovere ed alzare grandissimi pesi, ingannando in un certo modo, con le loro macchine la natura.“

41 Baldi 1601, Bl. 10r: „Et in vero, come non ha da porgere meraviglia il veder che l’arte, la quale è principio estrinseco, dia a le cose inanimate un moto intrinseco, e simile a quello, che a le cose naturali dà la natura medesima?“ Die Autoren danken Matteo Valleriani für die Unterstützung bei der Identifizierung von mehreren Passagen der Renaissance-Mechanik in diesem Abschnitt.

verwendet wurde, transformiert. Der Akzent verschob sich vom letztlich unüberbrückbaren Zwiespalt zwischen Idee und Realität zur Betonung der Prozessualität der Produktion. Zeitgenössische Reflexionen über Kunst und Technik betonten das kreative und aktive Moment gegenüber dem fertigen und statischen Produkt. Dieser Selbstreflexion von Künstlern und Ingenieuren entsprach auch ein Weltverständnis, nach dem die Natur nicht statisch gegeben ist, sondern einem Produktionsprozess entspricht. Letztere wurde als innere Dynamik gedacht, als Subjekt oder als Künstlerin, die aus dem Inneren der Materie die Welt bewegt und gestaltet.

In *De subtilitate* (Lyon, 1550) behandelt Cardano den Ursprung der Bewegung auch in Bezug auf mechanische Systeme. „Die Bewegung—schreibt er—wird nicht durch die Seele sondern durch die Natur verursacht. Das, was ein Element bewegt, ist nämlich intern.“<sup>42</sup> Natur wird hier als Selbstbewegung postuliert. Aus einer ähnlichen Perspektive reduzierte Niccolò Tartaglia die von aussen verursachte Bewegung zur „Okkasion“ der Entfaltung interner Tendenzen in der *Nuova scientia* (Venedig, 1537): „Es ist offenkundig, dass die natürliche Bewegung die gewaltsame verursacht und nicht anders herum, d.h. dass die gewaltsame [Bewegung] die natürliche verursacht. Im Gegenteil verursacht sie sich selbst.“<sup>43</sup> Dasselbe Bild findet sich in zeitgenössischen philosophischen Schriften wieder, etwas wie in den folgenden Passagen aus Giordano Brunos *Camoeracensis Acrotismus* (Wittenberg, 1588), in dem die Natur als lebendige mathematische Künstlerin porträtiert wird:

Die NATUR: [...] Sie ist eine lebendige Kunst und eine gewisse intellektuelle Fähigkeit [*potestas*] der Seele, die nicht fremd sondern eigen, nicht extrinsisch sondern intrinsisch [*ist*], nicht beliebig sondern wesentlich und die die Materie beständig gestaltet [*figuratur*]. [Das geschieht] nicht wie beim Bildhauer extern, der mit Hilfe von Vernunft und Instrument operiert, sondern eher wie beim Geometer, wenn er

---

42 Cardano 1966, Bd. II., 360A: „Motus non ab anima sed a natura est [...]. Intimum igitur est, quo movetur elementum.“

43 Tartaglia 1558, Bl. 4r: „Per il che egl'è cosa manifesta che dal moto naturale si causa il violente, et non e converso, cioè che dal violente giamai viene causato il naturale, anzi si causa per se.“

sich mit Leidenschaft und Macht geometrische Bilder [*figuras*] vorstellt [und] seinen Geist mit der Einbildungskraft von innen [*intimum*] bewegt und gestaltet [*figurat*].<sup>44</sup>

Einerseits wird die Natur als lebendige Handwerkerin gedacht, andererseits wird menschliche Kreativität naturalisiert. Diese philosophische Position, die die Kontinuität zwischen menschlichem Handeln und Naturprozessen postuliert, ist die Voraussetzung der frühneuzeitlichen Annahme, die Natur lasse sich durch technischen Zugriff erkennen. Beide, Natur und menschliche Erfindungskraft, werden letztendlich als mechanische Handwerker konzipiert. In seinem mechanischen Werk *Le diverse et artificiose machine* (Paris, 1588) stellt Agostino Ramelli diesen Zusammenhang den Lesern seines Buches klar vor Augen, indem er ankündigt: „Das wird wohl jeder bemerken, der sich mit der Lektüre dieses Bandes von mir vergnügen wird. In ihm kann man alle wunderschönen Werke beobachten, die die Natur, die Kunst, oder die menschliche Erfindungskraft vor den Augen der lebendigen Zuschauer hervorbringen können.“<sup>45</sup>

### **Praktische Erfahrung und Kontingenz**

Die voran gegangene Analyse hat die naturphilosophischen Ansichten und Anschauungen als abstrakte „Spiegelbilder“ der epistemologischen Kontingenz betrachtet, wie sie aus dem historischen Stand der Naturwissenschaften und vor allem der Künste hervorging. Es soll nun über die Spekulation hinaus gefragt werden, auf welche Erfahrung sich die wissenschaftlichen Theorien und die philosophische Rechtfertigung stützten. Es sei zunächst erwähnt, dass Galilei in seinem Werk immer wieder auf den methodologischen Zwang verwies, die Wissenschaft durch die Erfahrung zu begründen und in ihren Ergebnissen zu bestätigen.

44 Bruno 1962, 80: „DE NATURA: [...] Ipsa est ars viva et quaedam intellectualis animae potestas, non alienam sed propriam, non extrinsecus sed intrinsecus, non electione tali, sed essentia tali, materia perpetuo figurans: utpote non sicut statuaris externe, cum discursu, et instrumento operatur, sed perinde ut Geometra, dum vehementer quodam affectu figuras imaginatur, spiritum eius intimum imaginatione movet atque figurat.“

45 Ramelli 1588, Bl. 7v: „[...] Si come potrà vedere ciascuno che piglierà piacere di leggere il presente Volume, che io gli appresento, in cui scorgere si puote tutte quelle stupende cose, che la natura, l'arte o lo ingegno humano con tal scienza possa, o sappia fare innanzi a gli occhi de i viventi.“

Simplicio: [...] Ich würde es für sehr wünschenswert halten, an dieser Stelle irgendeine Erfahrung heranzuziehen, von der behauptet wurde, dass es ihrer viele gäbe, die in verschiedenen Fällen mit den bewiesenen Schlussfolgerungen übereinstimmen.

Salviati: Ihr stellt in der Tat, als Mann der Wissenschaft, eine ganz vernünftige Frage, und so ist es üblich und gehört es sich in den Wissenschaften, die auf natürliche Schlussfolgerungen mathematische Beweise anwenden wie man bei den Perspektivkundigen, Astronomen, Mechanikern, Musikern und den anderen sieht, die mit Sinneserfahrungen ihre Prinzipien bestätigen, die die Fundamente der gesamten darauf bauenden Struktur sind.<sup>46</sup>

Die in dieser Passage der *Discorsi* aufgeführten Empirie, die noch nicht mit dem späteren Konzept des Experiments zusammenfällt, birgt in sich die Erfahrung der Kontingenz. Durch ihre Praxis waren sich die Renaissance-Ingenieure und Wissenschaftler, zu denen auch Galilei gehörte, der Abweichung des Hergestellten von den abstrakten Prinzipien bewusst, die jeglicher technischen Realisation innewohnten. Aus deren Perspektive dieser Wissenschaftler-Ingenieure sind reine Geometrien in der Natur nie gegeben. Das heisst aber nicht, dass die Natur von Zufall gesteuert wird. Eher folgt sie unvollkommenen Wegen, die im Prinzip geometrisch verlaufen, und kann auch dabei durch die Technik geführt und „exakter“ gemacht werden. Technik und Wissenschaft „geometrisieren“ die Natur, die nicht selbst perfekt geometrisch sein muss.

Leonardo da Vinci, der quasi als Prototyp der Renaissance Ingenieur-Wissenschaftler angesehen werden kann, behandelte das Gleichgewicht einer am Fulkrum aufgehängten gleicharmigen Waage nach dem archimedischen Prinzip des *centrum gravitatis*. Seine Erklärung kam dadurch der späteren Theorie von Del Monte sehr nah: Laut Leonardo sollte die Waage theoretisch in ihrer jeweiliger

---

46 Galilei 1968, Bd. VIII, 212: „Simpl. [...] Ma se tale sia poi l'accelerazione della quale si serve la natura nel moto de i suoi gravi descendent, io per ancora ne resto dubbioso; e però, per intelligenza mia e di altri simili a me, parmi che sarebbe stato opportuno in questo luogo arrear qualche esperienza di quelle che si è detto esservene molte, che in diversi casi s'accordano con le conclusioni dimostrate.

Salv. Voi, da vero scienziato, fate una ben ragionevol domanda; e così si costuma e conviene nelle scienze le quali alle conclusioni naturali applicano le dimostrazioni matematiche, come si vede ne i prospettivi, negli astronomi, ne i mecanici, ne i musici ed altri, li quali con sensate esperienze confermano i principii loro, che sono i fondamenti di tutta la seguente struttura.“

Position unbewegt bleiben, auch wenn sie nicht horizontal ausgerichtet ist. Jedoch zeigt die Erfahrung etwas anders. Typischerweise kehrt die Waage in die horizontale Position zurück.

Das Gewicht ist ganz für die gesamte Länge seines Trägers und ganz für jeden seiner Teile. Doch was geschieht in der Erfahrung [*in isperienza*], wenn sich die Balken längs einer geneigten Linie befinden und ihre Teile gleich weit von der mittleren Linie entfernt sind, bleiben sie nicht geneigt sondern werden horizontal und bilden mit der besagten mittleren Linie 4 rechte Winkel? Die Antwort ist, dass dies durch die Unvollkommenheit des Drehpunktes hervorgerufen wird.<sup>47</sup>

In dieser Passage aus dem Kodex Forster II antwortet also Leonardo auf die Frage, wieso die reale am Schwerpunkt aufgehängte gleicharmige Waage zur horizontalen Position zurückkehrt, obwohl sie sich nach der archimedischen Lehre nicht aus dieser Lage bewegen sollte: „Risponda nascere dalla imperfezione del polo.“ Diese Unvollkommenheit der *isperienza* ist der Kontingenz geschuldet. Der Handwerker und die Natur verwirklichen eine mathematische Realität, die *in concreto* geometrische Gesetze nur bedingt verkörpert. Ähnlich argumentiert Guidobaldo del Monte:

Es soll aber hier angemerkt werden, dass man nur mit Schwierigkeit eine materielle Waage herstellen kann, die nur in einem Punkt aufgehängt ist—so wie wir sie uns im Geist vorstellen [...]. Denn die Materie duldet nur mit großer Schwierigkeit ein solches ausgewogenes Maß. Deswegen, wenn wir annehmen, dass das Zentrum in der Waage selber liegt, sollen wir uns nicht unserer Sinne bedienen, denn Maschinen [*le cose artificiate*] können nicht zu einem solchem Perfektionsgrad gelangen.<sup>48</sup>

---

47 Leonardo 1992, 108 (=Bl. 128r): „La gravità è tutta per tutta la lunghezza del suo sostentaculo e tutta in ogni parte di quello. Per che causa accade in isperienza che quando l’aste istando per obliqua linia e restando colle sue parti equalmente distante a la linia centrale, essa non resta obliqa, anzi si fa equidiacente e componente colla detta linia centrale con 4 angoli retti? Risponda nascere dalla imperfezione del polo.“

48 Del Monte 1581, Bl. 20r: „Egli è però d’avertire in questa parte che con difficoltà si puote lavorare una bilancia materiale, che in uno punto solamente sia sostenuta, sì come con la mente la imaginiamo, et habbia le braccia dal centro così eguali non solamente in lunghezza, ma in larghezza, et in profondità o grossezza che tutte le parti di qua e di là pesino a punto egualmente. Percioché la materia difficilissimamente patisce cotale giusta misura. Per la qual cosa se considereremo il centro essere in essa bilancia, non bisogna ricorrere al senso, conciosia, che le cose

Diese Passage aus Del Montes *Le mechaniche* (Venedig, 1581) über den Unterschied zwischen der ideellen und materiellen Waage ist das *pendant* zu der zitierten Überlegung von Leonardo. Die Vollkommenheit der Prinzipien ist technisch unerreichbar. Jedoch sind die Prinzipien der technischen Herstellung und der Natur intrinsisch mathematisch: Es geht um eine Mathematik ohne absolute Notwendigkeit.

### **Galileis Experimente**

Die epistemologische Kontingenz der Renaissance-Naturwissenschaft hatte nicht nur technologische Gründe, sondern auch theoretische und methodologische Wurzeln. Wie der historische Stand der Technologie die Theorieentwicklung der Mechanik (vor allem in ihrem Ursprung als Technologie-Wissenschaft) bestimmte, so wurde die theoretische Entwicklung auch von den zu Verfügung stehenden konzeptuellen Werkzeugen determiniert. Dies soll im folgenden am Beispiel der historischen Versuche, die Bahn eines Projektils geometrisch und naturphilosophisch zu bestimmen, kurz gezeigt werden. In der Beschreibung und Erklärung der Trajektorie einer Kanonenkugel versuchten berühmte Renaissance-Autoren wie Tartaglia, Benedetti und Galilei mit Aristoteles gegen Aristoteles zu denken.<sup>49</sup> Die aristotelische Naturphilosophie spielte dabei durch ihre Unterscheidung zwischen natürlicher und gewaltsamer Bewegung eine Schlüsselrolle. Andererseits erwarteten die Wissenschaftler-Ingenieure der Renaissance, dass sich in der Form der Bahnkurve eine mathematische Gestalt wiedererkennen lasse. Nur die genaue mathematische Form war umstritten, also ob es sich um ein Kreissegment oder eine Parabel handelte, die Tatsache jedoch, dass eine solche mathematische Gestalt hinter den realen Erscheinungen stehen musste, wurde dagegen vorausgesetzt. Diese doppelte Erwartung der Existenz einer mathematischen Struktur einerseits und ihrer kontingenten

---

artificiate non si possano ridurre a quel sommo grado di perfezione. Ma nelle altre cose la esperienza veramente potrà insegnare le cose che appaiono, perciocché quantunque il centro della bilancia sempre sia un punto, nondimeno quando egli sarà sopra la bilancia, poco importa, se ben la bilancia non sarà sostenuta in quel punto così puntualmente, però che per essere sempre sopra la bilancia averrà sempre il medesimo. Con il simile modo, quando egli anco è sotto la bilancia, il che tuttavia non accade stando il centro in essa bilancia, perché se egli non sarà sostenuto sempre in quel mezo accuratamente, sarà differenza essendo cosa facilissima che quel centro muti il proprio sito mentre si muove la bilancia. “

49 Büttner-Damerow-Renn-Schemmel 2003 und Valleriani 2013.

Realisierung in der Wirklichkeit andererseits bildete auch den Hintergrund für Galileis berühmte Experimente zur Projekttilbewegung. In diesen Experimenten führe er einerseits sehr genaue Messungen durch, lies sich aber andererseits von der Vorstellung einer prästabilierten Harmonie zwischen den kontingenten Erscheinungsformen mathematischer Prinzipien leiten. So war er der irrigen Überzeugung, dass die Wurftrajektorie und die aufgehängte Kette beide die Form einer Parabel besitzen müssen und lies sich von dieser Überzeugung auch durch genauesten Messungen nicht abhalten.<sup>50</sup>

Die selben Erwartungen hinsichtlich der Existenz einer mathematischen Struktur der Natur und ihrer kontingenten Umsetzung wurden auch auf die allgemeinsten Fragen zur Konstitution der Welt übertragen.<sup>51</sup> Das zeigt sich insbesondere anhand des Vergleichs von Galileis Forschungsnotizen zu einer Plato zugeschriebenen Theorie der Weltentstehung und ihrer Interpretation in seinem berühmten *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (Florenz, 1632). In seiner kosmogonischen Theorie nahm Galilei an, dass Gott die Planeten aus einer bestimmten Höhe in Richtung der Sonne herabfallen lies, um sie dann umzulenken und auf den ihnen entsprechenden Bahnen und mit der aus dem Fall resultierenden Geschwindigkeit um die Sonne kreisen zu lassen. Zur Berechnung und Überprüfung dieses Modells verwendete Galilei in seinen Forschungsnotizen die Werte von Planetenperioden, die er aus Johannes Keplers *Mysterium cosmographicum* entnommen hatte, und kombinierte sie mit seinem Fallgesetz.<sup>52</sup>

Obwohl die so berechneten Zahlen nur annähernd die Realität wiederzugeben vermochten, war Galilei mit seinem Ergebnis so zufrieden, dass er auf diese kosmogonischen Rechnungen auch in seinem späteren Werken verwies. Man liest zum Beispiel in den *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (Leiden, 1638):

---

50 Siehe Renn-Damerow-Rieger 2001.

51 Ebd. und Büttner 2001.

52 Siehe Büttner 2001, 392.

Dieser Einfall ist wahrhaftig Platos würdig und ist um so höher zu schätzen, als die von jenem verschwiegenen Grundlagen, die von unserem Autor aufgedeckt wurden, indem er jenem die Maske oder poetische Erscheinung entriss, ihn in seiner Gestalt als wahrhaftige Geschichte enthüllen. [...]

Ich glaube mich zu erinnern, dass jener mir bereits gesagt hat, dass er einst eine Rechnung angestellt hat und dass er sie auch als ziemlich befriedigend den Beobachtungen entsprechend gefunden hat.<sup>53</sup>

Galilei ist wegen des Mangels an Übereinstimmung zwischen Rechnung und Naturphänomenen nicht besorgt. Die „wahrhaftige Geschichte“, die hinter dem kosmogonischen Mythos von Plato zu entziffern ist, ist eben nur eine „kontingente Wahrheit“, oder besser die Realität in ihrer unvermeidbaren Gegebenheit. Denn die Welt ist nach Überzeugung der Renaissance-Wissenschaftler das Königreich der Kontingenz, in der die Natur als Handwerker und Künstlerin mathematische Formen und Zusammenhänge aufführt, ohne dass dadurch die Realität auf die Mathematik reduziert wird. Es ist das dynamische Natur-Modell, das wir als eine Transformation des Handwerkermodells betrachtet haben und in dem die Tätigkeit über die statischen Elementen des Plans und des Produkts dominiert.

Solcher schöpferischen Natur konnten sogar göttliche Eigenschaften zugeschrieben werden, wie es Galilei am Anfang von *De motu* tat. Um die *gravitas* und *levitas* verschiedener Körper zu erklären, fragte er nach dem Grund ihrer natürlichen Neigung nach unten beziehungsweise nach oben. Die Natur wurde von ihm als ein Subjekt gesehen, aus welchem die beobachtbaren Phänomene hervorgehen („quare talia determinata loca illis [quae naturaliter moventur] a natura

---

53 Galilei 1968, EN VIII, 284. Die ganze Passage lautet: „Il concetto è veramente degno di Platone; ed è tanto più da stimarsi, quanto i fondamenti taciuti da quello e scoperti dal nostro Autore, con levargli la maschera o sembianza poetica, lo scuoprono in aspetto di verace istoria. E mi pare assai credibile, che avendo noi per le dottrine astronomiche assai competente notizia delle grandezze de gli orbi de i pianeti e delle distanze loro dal centro intorno al quale si raggirano, come ancora delle loro velocità, possa il nostro Autore (al quale il concetto Platonico non era ascosto) aver tal volta per sua curiosità auto pensiero d'andare investigando se si potesse assegnare una determinata sublimità, dalla quale partendosi, come da stato di quiete, i corpi de i pianeti, e mossisi per certi spazii di moto retto e naturalmente accelerato, convertendo poi la velocità acquistata in moti equabili, si trovassero corrispondere alle grandezze de gli orbi loro e a i tempi delle loro rivoluzioni.

Salv. Mi par sovvenire che egli già mi dicesse, aver una volta fatto il computo, ed anco trovato assai acconciamente rispondere alle osservazioni, ma non averne voluto parlare, giudicando che le troppe novità da lui scoperte, che lo sdegno di molti gli hanno provocato, non accendessero nuove scintille. Ma se alcuno avrà simil desiderio, potrà per sè stesso, con la dottrina del presente trattato, sodisfare al suo gusto.“

praescripta esse“ und „cur talem ordinem in distribuendis locis prudens natura servaverit“).<sup>54</sup> Die übliche philosophische Erklärung der natürlichen Regelmäßigkeit, insbesondere der natürlichen Orte, als providentiell („placuit Summae Providentiae in hunc distribuere“) reichte Galilei offenbar nicht aus. Eine solche theologische von den Philosophen vertretene Meinung, bemerkte er, lässt daran zweifeln, dass die Naturordnung keine zwingende Erklärung beziehungsweise keinen Nutzen besitzt. Die Philosophen führen Gott als *Deus ex machina* ein, wenn sie nicht in Besitz einer ausreichenden Theorie sind. Im Gegensatz dazu suchte Galilei die Bewegungsgründe einer „providentiellen Natur“, die keine Willkür zulässt und den Zufall soweit wie möglich eindämmt:

Nun, so weit ich gelesen habe, wird kein anderer Grund für die bestehende Verteilung durch die Philosophen angeführt, als dass sich alles in irgend einer Ordnung befinden müsse. Und dass es der Höchsten Vorsehung [*Summa Providentia*] gefiel, alles so zu verteilen. Doch, wenn wir die Sache näher betrachten, können wir keineswegs glauben, dass die Natur bei dieser Verteilung keine Notwendigkeit und Nützlichkeit besaß, sondern in irgend einer Weise nur mit Willkür und Zufall verfahren habe. Weil ich aber glaubte, dass dies der vorsehenden Natur [*provida natura*] keinesfalls zugeschrieben werden könnte, versuchte ich bisweilen ängstlich herauszufinden, ob es irgendwelche, wenn nicht notwendige dann doch angemessene und nützliche Ursachen gäbe und ob es mir nicht wirklich gelänge herauszufinden, dass die Natur diese Ordnung mit höchstem Recht und mit höchster Umsicht [*summa prudentia*] gewählt habe.<sup>55</sup>

Die Erklärung der natürlichen Bewegungen ist nach Galilei in der Stoffdichte zu finden. Auf diese Art, beschliesst er, kann man vielleicht keine Notwendigkeit (*necessitas*) der natürlichen Ordnung feststellen, aber zumindest ihre Angemessenheit (*congruentia*). Dafür sorgt die von ihm fast ver-

---

<sup>54</sup> Galilei 1968, Bd. I, 252.

<sup>55</sup> Ebd.: „Huius distributionis non alia, quod legerim, a philosophis affertur causa, nisi quod in aliquem ordinem erant cuncta disponenda, placuit autem Summae Providentiae in hunc distribuere. [...] Attamen, si rem accuratius spectemus, non erit profecto existimandum, nullam in tali distributione necessitatem aut utilitatem habuisse naturam, sed solum ad libitum et casu quodammodo operatam esse. Hoc cum provida natura nullo pacto existimari posse perpenderem, interdum anxius fui in excogitanda, nisi necessaria saltem congruente ac utili, aliqua causa: ac profecto, non nisi optimo iure summaque prudentia hunc elegisse ordinem naturam, comperi.“

göttliche *provida natura*. Die Planmässigkeit, die hier als Vorsehung dargestellt wird, schränkt den Zufall so weit wie möglich ein, schliesst ihn aber nicht notwendig aus. Da die Kontingenz die konkrete Realisierung eines inneren künstlerischen Triebs ist, ist sie auch der Willkür diametral entgegengesetzt. Bei Galilei ist eine kontingente Natur also der Gegenpol der Vorstellung von einem durch bloßen Zufall beherrschten Universum.

Die Vollkommenheit der Schöpfung ist also nicht mathematisch. Sie ist mathematisierend. Diese Überzeugung geht auch aus den Methoden und Überlegungen der mathematischen Naturwissenschaft *par excellence*, der Astronomie, hervor. Der Wegbereiter Galileis, Benedetti, stellte in seinem Werk *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber* (Turin, 1585) sogar die mathematische Harmonie des Himmels in Frage. Obwohl er ein überzeugter Vertreter der mathematischen Erklärbarkeit der Naturphänomene in der Mechanik sowie in der Astronomie war, behauptete er, dass die himmlische Harmonie nur aus der göttlichen Vorsehung zu erklären ist und nicht durch die Mathematik determiniert ist. In Bezug auf die Musik der himmlischen Körper schrieb Benedetti:

Die Musik der himmlischen Körper—schrieb Benedetti—[...] Es ist die Wahrheit, dass man keine harmonischen Intervalle in den Aspekten entdeckt hat, wie Ptolemäus gezeigt hat [...]. Was aber die Bewegungen, die Größen, die Entfernungen und Einflüsse betrifft, zeigt sich nichts, was diesen Proportionen entspricht. Aber, da alles dies von der unendlichen und göttlichen Vorsehung Gottes abhängt, ist es notwendig, dass jene Geschwindigkeiten, Größen, Entfernungen und Einflüsse eine solche Ordnung und Beziehung unter sich und zum Universum haben, die höchst vollkommen sind.<sup>56</sup>

Die Perfektion im Sinne der mathematischen Genauigkeit ist in der Natur nicht gegeben. Sie wird vielmehr hervorgebracht. Genauso ist die Mathematik in der Natur nicht *gegeben*, sondern

---

<sup>56</sup> Benedetti 1585, 190-191: „De sonitu corporum coelestium [...]. Verum quidem est nonnulla harmonica intervalla in aspectibus comperta fuisse, ut Prolomeus ostendit [...]. Quod autem attinet ad motus, ad magnitudines, ad distantias, et ad influxus, nihil est, quem hisce proportionibus conveniat, sed quia haec omnia dependent ab infinita, et divina providentia Dei, necessario fit ut istae velocitates, eae magnitudines, distantiae, et influxus, talem ordinem, et respectum inter seipsa, et universum habeant, qualis perfectissimus sit.“

*inszeniert*. Die natürlichen durch eine innere künstlerische Kraft angetriebenen Körper repräsentieren die Geometrie auf der Bühne der Welt. Das Buch der Natur, im Unterschied zu den Heiligen Schriften, ist noch nicht vollendet. Es wird vor unseren Augen gewissermaßen geschrieben.

Die Philosophie ist in diesem sehr großen Buch geschrieben, das uns fortwährend offen vor Augen steht (ich spreche vom Universum), das man aber nicht verstehen kann, wenn man nicht zuvor die Sprache verstehen und die Buchstaben erkennen lernt, in der es geschrieben ist. Es ist in mathematischer Sprache geschrieben, und die Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren, ohne deren Hilfsmittel es unmöglich ist, auf menschenmögliche Weise auch nur ein Wort zu verstehen; ohne diese ist es ein vergebliches Umherirren in einem dunklen Labyrinth.<sup>57</sup>

In dieser berühmten Passage aus dem *Saggiatore* weist Galilei auf Dädalus, den Archetyp eines Ingenieur-Wissenschaftlers in der griechischen Mythologie hin. Das Stichwort „Labyrinth“ macht deutlich, dass es hier nicht einfach um eine von vorn herein klar und mathematisch geordnet vor unseren Augen offenbarte Natur handelt, sondern um eine Natur, in der wir den Ariadnefaden immer erst finden müssen, bevor wir uns in ihr zurecht finden. Die Natur hat offenbar eine helle und eine dunkle Seite. Halten wir uns nicht an den Ariadnefaden von Geometrie und Mechanik, droht uns das Minotaurusungeheuer der Kontingenz zu verschlingen. Der Mechaniker Dädalus war derjenige, der durch seine Instrumente in der Lage war, sich vom „vergeblichen Umherirren in einem dunklen Labyrinth“ zu befreien. Wie Pigafetta in der Widmung der italienischen Ausgabe des bereits erwähnten Werkes von Guidobaldo del Monte *Le Mecaniche* 1581 schrieb: „In der archaischen Epoche vor dem Trojanischen Krieg lebte der großartige Meister der Mechanik

---

<sup>57</sup> Galilei 1968, Bd. VI, 232: „La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggravarsi veramente per un oscuro laberinto.“

Dädalus von Athen, der als erster die Säge, die Axt, das Senkblei [*piombino da torre le diritture*], den Bohrer [*trivella*], den Mast [*albero*], den Rüstbaum [*antenna*], das Segel und andere Erfindungen [*ordigni*] entdeckte. Er zeichnete dann in Kreta das berühmte, verworrene Labyrinth. Laut den Dichtern musste er schließlich für sich und seinen Sohn Ikarus zwei Paar Flügel bauen, um vogelgleich wegzufiegen.<sup>58</sup> Aus Galileis Passage erfahren wir, dass Dädalus' Instrumente mathematisch waren, genauso wie die Mittel mathematisch sind, durch die das natürliche Buch des Universums vor unseren Augen geschrieben wird. Die Natur und ihre Prinzipien nutzenden Mechaniker generieren als kundige Handwerker eine geometrische aber nicht-deterministisch konnotierte Welt.

### **Nachspiel: die Aufhebung der Kontingenz**

Diese Untersuchung hatte Kontingenz in der Geschichte, Theorie und Praxis der Renaissance-Naturwissenschaft zum Gegenstand. Dieser relevante, aber häufig vernachlässigte Aspekt—so unsere These—war unmittelbar mit der Vorstellung der Natur als handwerklicher Herstellungsprozess verbunden. Das Handwerker-Modell wurde aus der praktischen Erfahrung des Handwerkers, die eine Diskrepanz zwischen seiner Intention und seinem Produkt einschloss, abgeleitet. Von der Antike bis zur Renaissance implizierte dieses Modell die Kontingenz der Erzeugnisse praktischer Tätigkeit. Gleichzeitig schloss dieses mentale Modell die durch den Zufall bedingte Weltvorstellung, als Gegenmodell zur planmässigen, vom Logos gesteuerten Realisierung der Wirklichkeit, aus. In der Frühen Neuzeit wurde das Modell zur Grundlage eines neuen Naturverständnisses. Dies geschah im Rahmen historischer Prozesse, die den *mechani*ci und *ingegneri* eine soziale Bedeutung und intellektuelle Würde ohne Präzedenz verlieh.

Somit ist im Verständnis der Naturwissenschaften und auch der Erkenntnistheorie der Re-

---

58 Del Monte 1581, Bl. A3r: „Ne gli antichissimi secoli, che passarono avanti la guerra di Troia visse Dedalo Atheniese, gran maestro di Mechanica, il quale trovò il primiero la sega, l'ascia, il piombino da torre le diritture, la trivella, l'albero, l'antenna, la vela, et altri ordigni: disegnò in Creta poi quell'intricato labirinto, et alla fine gli convenne fabricare per se, et per Icaro suo figlio due paia d'ali, et volarsene via per l'aere a guisa d'augelli, come cantano i Poeti.“

naissance die Realität von Kontingenz durchgedrungen. Diese Kontingenz betrifft die Faktizität der Welt in ihrer Gesamtheit sowie einzelne Naturprozesse in ihr. Das Leben und die Bewegung, welche alle Phänomene begründen, in einem Wort, die *natura naturans*, erschaffen die Welt zwar geometrisch, aber „mit Freiheit“. Im Gegensatz zur Weiterentwicklungen der Naturphilosophie im 17. Jahrhundert folgt daher kein deterministischer Mechanizismus aus dieser Vorstellung, auch wenn Wissenschaft, Technik und Naturvorstellungen auf einer mathematischen Grundlage beruhen. Darüber hinaus wird in der Renaissance Kontingenz nicht bloß als Folgerung der Begrenztheit der menschlichen Möglichkeiten gegenüber der Komplexität des Realen betrachtet. Sie beschränkt sich also nicht allein auf die Erkenntnistheorie, sondern schliesst die Natur und die Naturphänomene ein. Die Wissenschaft der Renaissance kennt noch keine strenge Anwendung des leibnizschen Satzes vom zureichenden Grund. Stattdessen gilt das „Prinzip der Kontingenz“, das die Unschärfe der natürlichen Prozesse postuliert. Erst später, im Zeitalter des Mechanizismus wurde die „Kontingenz“ zum subjektiven Mangel an vollkommener Genauigkeit beziehungsweise an Übereinstimmung mit den Phänomenen. Diese Auffassung darf allerdings nicht, wie wir gezeigt haben, auf die Renaissance-Naturwissenschaft zurückprojiziert werden. Der Mechanizismus entstand vielmehr erst vor dem Hintergrund des Erfolgs der mathematischen Naturwissenschaften, der ihre Wurzeln in einem handwerklich verfassten und von Kontingenz geprägten Erkenntnisprozess verdrängte. So verbietet Spinoza ausdrücklich die Kontingenz aus dem Naturbereich in seiner deduktiven Ethik, *Ethica ordine geometrico demonstrata*, I. Teil, Lehrsatz 29: „In der Natur der Dinge gibt es nichts Kontingentes, sondern alles ist kraft der Notwendigkeit der göttlichen Natur bestimmt, auf gewisse Weise zu existieren und zu wirken.“<sup>59</sup> Noch klarer definiert Spinoza im I. Teil, Lehrsatz 33 die Kontingenz als eine *determinierte* Möglichkeit, die nur *für uns* undeterminiert bleibt:

---

59 Spinoza 1943, 31 (Übersetzung revidiert). Siehe Spinoza 1843 Benedictus de Spinoza, *Opera quae supersunt omnia*, vol. 1, Lipsia: Typis et sumptibus Bernh. Tauchnitz Jun., 1843, 210 “In rerum natura nullum datur contingens, sed omnia ex necessitate divinae naturae determinata sunt ad certo modo existendum et operandum”.

Aus eben den Ursachen sodann heißt ein Ding unmöglich, weil nämlich entweder seine Wesenheit oder Definition einen Widerspruch in sich schliesst, oder weil keine äußere Ursache vorhanden ist, die dazu bestimmt wäre, es hervorzubringen. Dagegen heißt ein Ding kontingent [*contingens*] allein im Hinblick auf einen Mangel unserer Erkenntnis und sonst aus keiner anderen Ursache, Denn ein Ding, von dem uns unbekannt ist, ob seine Wesenheit einen Widerspruch in sich schliesst, oder von dem wir zwar genau wissen, dass seine Wesenheit keinen Widerspruch in sich schliesst, über dessen Existenz wir aber mit Gewissheit nichts behaupten können, weil die Ordnung der Ursachen uns verborgen ist: ein solches Ding kann uns niemals weder als notwendig, noch als unmöglich erscheinen, und deshalb nennen wir es kontingent oder möglich [*contingentem sive possibilem*].<sup>60</sup>

Spinoza weist hier deutlich auf eine Tendenz hin, die der gesamten Naturwissenschaft seit dem 17. Jahrhundert innewohnt. Die Kontingenz als das Konkrete oder *possibilitas determinata* verliert die frühere ontologische Valenz und behält nur die epistemologische. Sie weist bloß auf die unvollkommene Übereinstimmung zwischen dem menschlichem Wissen und der Komplexität des Realen hin. Die Kontingenz betrifft keine Einzelprozesse mehr, um möglicherweise nur als abstraktester Horizont in der Betrachtung des Universums als Ganzes zu überleben, wie es beispielsweise aus Leibniz' These der Existenz vom bestmöglichen *systeme de l'univers* hervorgeht. In der post-cartesianischen Naturphilosophie und Naturwissenschaft verwandelt sich die Welt in eine tadellose und präzise Uhr. Die Natur wird nicht mehr als Künstlerin gesehen. Stattdessen wird sie zu einem Präzisionsinstrument und einer perfekten Maschine.

---

60 Spinoza 1943, 35 (Übersetzung revidiert). Siehe Spinoza 1843, 213.

## Literaturverzeichnis

- Agrippa von Nettesheim, *Über die Fragwürdigkeit, ja Nichtigkeit der Wissenschaften, Künste und Gewerbe*, Berlin 1993.
- Aristarchus Samios [Gilles Personne de Roberval], *De mundi Systemate*, Paris 1644.
- Aristoteles, *Generation of Animals*, hg. v. Arthur Leslie Peck, Cambridge (Mass.) 1990.
- Baldi, Bernardino, *Di Herone Alessandrino De gli automati, overo machine semoventi*, In Venetia 1601.
- Benedetti, Giovanni Battista, *Diversarum speculationum mathematicarum, et physicarum liber*, Taurini 1585.
- Bloch, Ernst, *Avicenna und die aristotelische Linke*, Frankfurt a.M. 1963.
- Bruno, Giordano, *Jordani Bruni Nolani opera latine conscripta*, Bd. I.1, Stuttgart 1962.
- Bruno, Giordano, *Dialoghi filosofici italiani*, Milano 2000.
- Büttner, Jochen, »Galileo's Cosmogony«, in: *Largo campo di filosofare. Eurosymposium Galileo 2001*, hg. v. José Montesinos y Carlos Solís, La Orotava 2001, 391-402.
- Büttner, Jochen, Peter Damerow, Jürgen Renn und Matthias Schemmel, »The Challenging Images of Artillery«, in: *The Power of Images in Early Modern Science*, hg. v. Wolfgang Lefèvre, Jürgen Renn und Urs Schoepflin, Basel [u.a.] 2003, 3-27.
- Cardano, Gerolamo [Hieronymus Cardanus], *Opera Omnia: Faksimile-Neudruck der Ausgabe Lyon 1663*, Stuttgart-Bad Cannstatt 1966.
- Cusanus, Nicolaus, *De docta ignorantia*, in *Opera omnia*, vol. 1, Hamburg 1932.
- Cusanus, Nicolaus [Nikolas von Kues], *Die belehrte Unwissenheit*, Bd. 2, Hamburg 1977.
- Del Monte, Guidobaldo, *Le mechaniche... tradotte in volgare dal Sig. Filippo Pigafetta*, In Venetia 1581.
- Freudenthal, Gideon, *Atom und Individuum im Zeitalter Newtons. Zur Genese der mechanistischen Natur- und Sozialphilosophie*, Frankfurt a. M. 1982.

- Galen, *On Semen*, hg. v. Philip de Lacy, Berlin 1992.
- Galilei, Galileo, *Le Opere... Nuova ristampa dell'Edizione Nazionale*, Firenze 1968.
- Gingerich, Owen, »Did Copernicus Owe a Debt to Aristarchus?«, in: *Journal for the History of Astronomy* 16 (1985), 36-42.
- Heath, Thomas, *Aristarchus of Samos: The ancient Copernicus*, Oxford 1913, neu aufgelegt 1997.
- Klemm, Friedrich, *Technik – eine Geschichte ihrer Probleme*, Freiburg 1954.
- Koyré, Alexandre, »Galileo and Plato«, in: *Journal of the History of Ideas* 4/4 (1943), 400-428.
- Koyré, Alexandre, »Du monde de l'à peu près à l'univers de la précision«, in: *Critique* 28 (1948), 806-823.
- Koyré, Alexandre, *Von der geschlossenen Welt zum unendlichen Universum*, Frankfurt a. M. 1980.
- Lefèvre, Wolfgang, *Naturtheorie und Produktionsweise, Probleme einer materialistischen Wissenschaftsgeschichtsschreibung – Eine Studie zur Genese der neuzeitlichen Naturwissenschaft*, Darmstadt/Neuwied 1978.
- Lefèvre, Wolfgang, »Galileo Engineer, Art and Modern Science«, in: *Galileo in Context*, hg. v. Jürgen Renn, Cambridge 2001, 11-27.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm, *Monadologie und andere metaphysischen Schriften*, hg. v. Ulrich Johannes Schneider, Hamburg 2002.
- Da Vinci, Leonardo, *I codici Forster del Victoria and Albert Museum di Londra: Il codice Forster II*, hg. v. Augusto Marinoni, Firenze 1992.
- Lloyd, Geoffrey E. R., »Greek cosmologies«, in: *Methods and Problems in Greek Science*, Cambridge [u.a.] 1991, 141-163.
- Lukács, György, »Die Eigenart des Ästhetischen«, Bd. I,1, in: *Werke*, Bd. 11, Neuwied [u.a.] 1963.
- Lukrez, *Vom Wesen des Weltalls (De rerum natura)*, Berlin/Weimar 1994.
- Olschki, Leonhard, *Geschichte der neusprachlichen wissenschaftlichen Literatur*, Bd 1, *Die Literatur der Technik und der angewandten Wissenschaften vom Mittelalter bis zur Renaissance*, Heidelberg 1919.

- Omodeo, Pietro Daniel, »Fato, amore e astrologia: Uno scambio poetico tra Francesco Giuntini e Alfonso Cambi Importuni«, in: *Zeitschrift für romanische Philologie* 127/2 (2011), 360-366.
- Omodeo, Pietro Daniel, »Perfection of the World and Mathematics in Late Sixteenth-Century Copernican Cosmologies«, in: *The Invention of Discovery (1500-1700)*, hg. v. James Douglas Fleming, Farnham (UK)/Burlington (USA) 2011, 93-108.
- Omodeo, Pietro Daniel, *Copernicus in the Cultural Debates of the Renaissance: Reception, Legacy, Transformation*, Preprint of the Max Planck Institute for the History of Science 429, Berlin 2012.
- Omodeo, Pietro Daniel, »Archimede e Aristarco nel Cinquecento«, in: *Archimede. Arte e scienza dell'invenzione*, hg. v. Paolo Galluzzi, Firenze 2013 (im Druck).
- Plato, *Timaios Griechisch-Deutsch*, hg. v. Hans Günter Zekl, Hamburg 1992.
- Ramelli 1588: Agostino Ramelli, *Le diverse et artificiose machine*, A Parigi 1588.
- Regiomontanus, Johannes, *Epytoma in Almagestum Ptolemaei*, Venedig 1496.
- Renn, Jürgen [Hrsg.], *Galileo in Context*, Cambridge 2001.
- Renn, Jürgen, »La controversia sull'equilibrio«, in: *Archimede. Arte e scienza dell'invenzione*, hg. v. Paolo Galluzzi, Firenze 2013 (im Druck).
- Renn, Jürgen und Peter Damerow, »Mentale Modelle als kognitive Instrumente der Transformation von technischem Wissen«, in: *Übersetzung und Transformation*, hg. v. Hartmut Böhme, Christof Rapp und Wolfgang Rösler, Berlin/New York 2007, 311-332.
- Renn, Jürgen und Peter Damerow, »The transformation of ancient mechanics into a mechanistic world view«, in: *Transformationen antiker Wissenschaften*, hg. von Georg Toepfer und Hartmut Böhme, Berlin 2010, 243-268.
- Renn, Jürgen und Peter Damerow, *The Equilibrium Controversy: Guidobaldo del Monte's Critical Notes on the Mechanics of Jordanus and Benedetti and their Historical and Conceptual Background*, Berlin 2012.
- Renn, Jürgen, Peter Damerow und Simone Rieger, »Hunting the White Elephant. When and How did Galileo Discover the Law of Fall?«, in: *Galileo in Context*, hg. v. Jürgen Renn, Cambridge

2001, 29-149.

Renn, Jürgen und Pietro Daniel Omodeo, »Guidobaldo Del Monte's Controversy with Giovan Battista Benedetti on positional heaviness«, in: *Guidobaldo del Monte (1545–1607). Theory and Practice of the Mathematical Disciplines from Urbino to Europe*, hg. v. Antonio Becchi, Domenico Bertoloni Meli und Ezio Gamba, Berlin 2013 (im Druck).

Rossi, Paolo, *The Mechanical Arts, Magic, and Science*, London 1968.

Rossi, Paolo, *The Birth of Modern Science*, Oxford 2001.

Spinoza, Baruch de, *Opera quae supersunt omnia*, vol. 1, Leipzig 1843.

Spinoza. Baruch de, *Ethik nach geometrischer Methode dargestellt*, Leipzig 1943.

Tartaglia, Niccolò, *La nova scientia*, Vinegia 1558.

Valleriani, Matteo, *Metallurgy, Ballistics and Epistemic Instruments. The Nova scientia of Niccolò Tartaglia – A New Edition*, Berlin 2013.

Varchi, Benedetto, *Questione sull'alchimia*, Firenze 1827.

Zilsel, Edgar, »The Social Roots of Science«, in: *American Journal of Sociology* 47 (1942), 245-279.

Zilsel, Edgar, *Die sozialen Ursprünge der neuzeitlichen Wissenschaft*, Frankfurt a. M 1976.



## MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR WISSENSCHAFTSGESCHICHTE

Max Planck Institute for the History of Science

**Preprints since 2011 (a full list can be found at our website)**

- 411** Henning Schmidgen & Urs Schoepflin (eds.) **Hans-Jörg Rheinberger : a Bibliography**
- 412** Renate Wahsner & Horst-Heino v. Borzeszkowski **Erkenntnis statt Erbauung: Hegel und das naturwissenschaftliche Denken der Moderne**
- 413** Mirjam Brusius **From photographic science to scientific photography: Photographic experiments at the British Museum around 1850**
- 414** Viktor J. Frenkel **Professor Friedrich Houtermans – Arbeit, Leben, Schicksal. Biographie eines Physikers des zwanzigsten Jahrhunderts.** Herausgegeben und ergänzt von Dieter Hoffmann, unter Mitwirkung von Mary Beer
- 415** Ilana Löwy (ed.) **Microscope Slides – Reassessing a Neglected Historical Resource**
- 416** André L. Blum, John Michael Krois und Hans-Jörg Rheinberger (Hrsg.) **Verkörperungen**
- 417** Pietro Daniel Omodeo **Sixteenth Century Professors of Mathematics at the German University of Helmstedt.** A Case Study on Renaissance Scholarly Work and Networks
- 418** Peter Schöttler & Hans-Jörg Rheinberger (éds.) **Marc Bloch et les crises du savoir**
- 419** Albert Presas i Puig (ed.) **A Comparative Study of European Nuclear Energy Programs**
- 420** Mathias Grote & Max Stadler (eds.) **Membranes Surfaces Boundaries**  
Interstices in the History of Science, Technology and Culture
- 421** Frank W. Stahnisch **The emergence of *Nervennahrung*: Nerves, mind and metabolism in the long eighteenth century**
- 422** Pietro Daniel Omodeo, Irina Tupikova **Aristotle and Ptolemy on Geocentrism: Diverging Argumentative Strategies and Epistemologies** (TOPOI – Towards a Historical Epistemology of Space)
- 423** Han F. Vermeulen **Linguistik und Völkerkunde – der Beitrag der historisch-vergleichenden Linguistik von G.W. Leibniz zur Entstehung der Völkerkunde im 18. Jahrhundert**  
[Leicht erweiterte Fassung des Working Papers No. 133 aus dem MPI for Social Anthropology]
- 424** Alfred Gierer **Mit Schiller gegen den „Egoismus der Vernunft“.** Zeitübergreifende Gedanken zur Natur des Menschen
- 425** Annette Vogt **Die Berliner Humboldt-Universität von 1945/1946 bis 1960/1961**
- 426** Klaus Geus, Martin Thiering (eds.) **Common Sense Geography and Mental Modelling**
- 427** Renate Wahsner **Kann eine moderne Naturphilosophie auf Hegelsche Prinzipien gegründet werden?** Spekulatives und naturwissenschaftliches Denken
- 428** Stefano Bordoni **Widening the Scope of Analytical Mechanics** Duhem's third pathway to Thermodynamics
- 429** Pietro Daniel Omodeo **Copernicus in the Cultural Debates of the Renaissance: Reception, Legacy, Transformation** [Part I & II]
- 430** Mark Geller & Klaus Geus (eds.) **Productive Errors: Scientific Concepts in Antiquity**  
(TOPOI – Dahlem Seminar for the History of Ancient Sciences)
- 431** Klaus Gottstein **The Amaldi Conferences. Their Past and Their Potential Future**
- 432** Mikuláš Teich **The Scientific Revolution Revisited**

- 433** Lorraine Daston & Jürgen Renn (Hrsg.) **Festkolloquium für Hans-Jörg Rheinberger**  
Beiträge zum Symposium am 24. 1. 2011 im Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte
- 434** Conference **Epistemology and History. From Bachelard and Canguilhem to Today's History of Science**
- 435** Jens Høyrup **Sanskrit-Prakrit interaction in elementary mathematics as reflected in Arabic and Italian formulations of the rule of three – and something more on the rule elsewhere**
- 436** Jens Høyrup **A hypothetical history of Old Babylonian mathematics: places, passages, stages, development**
- 437** Jürgen Renn **Schrödinger and the Genesis of Wave Mechanics**
- 438** Pietro Daniel Omodeo **L'iter europeo del matematico e medico scozzese Duncan Liddel**
- 439** Irina Tupikova & Klaus Geus **The Circumference of the Earth and Ptolemy's World Map**