



universität  
wien

# MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Das heuristische Experimentalprogramm Robert Boyles  
der frühen 1660er-Jahre“

verfasst von / submitted by

Andreas Prischl

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Arts (MA)

Wien, 2017 / Vienna 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /  
degree programme code as it appears on  
the student record sheet:

A 066 803

Studienrichtung lt. Studienblatt /  
degree programme as it appears on  
the student record sheet:

Masterstudium Geschichte

Betreut von / Supervisor:

emer. o. Univ.-Prof. Dr. Mitchell Ash

# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Danksagung.....   | 3  |
| Abstract auf Deutsch.....   | 4  |
| Abstract in English.....  | 5  |
| Kapitel 1: Einleitung.....  | 6  |
| Kapitel 2: Begriffliche Grundlagen bei Boyle, Forschungsdiskussion und<br>Quellenauswahl.....   | 9  |
| 2.1 Begriffliche Grundlagen.....  | 9  |
| 2.1.1 Naturphilosophie und Naturgeschichte.....   | 9  |
| 2.1.2 Boyles Theorie zur Erklärung der Welt: Die Korpuskularphilosophie.....  | 10 |
| 2.1.3 Vakuum und Vakuumpumpe.....   | 11 |
| 2.1.4 Boyles Hauptexperimente mit dem Torricellianischen Barometer und<br>Tierversuche.....   | 12 |
| 2.1.5 Die Federkraft und das Gewicht der Luft.....  | 14 |
| 2.2 Die Diskussion des Begriff eines „Boyle’schen Programms“ in der historischen<br>Forschung.....  | 15 |
| 2.2.1 Michael Hunter.....   | 16 |
| 2.2.2 Steven Shapin & Simon Schaffer.....   | 16 |
| 2.2.3 Peter Anstey.....   | 17 |
| 2.2.4 Rose-Mary Sargent.....  | 18 |
| 2.2.5 Forschungslücke: Der tote Winkel zwischen Boyles Theorien und<br>Experimenten.....  | 18 |
| 2.2.6 Die Synthese von Boyles Theorien und Experimenten als heuristisches<br>Experimentalprogramm.....  | 19 |
| 2.3 Quellenauswahl.....   | 21 |
| 2.3.1 <i>New Experiments Physico-Mechanical Touching the Spring of the Air, and<br/>its Effects (1660)</i> .....  | 22 |
| 2.3.2 <i>Certain Physiological Essays (1661)</i> .....  | 23 |
| 2.3.3 Boyles Verteidigung seiner <i>New Experiments: A Defence of the Doctrine of<br/>the Spring and Weight of the Air</i> und <i>An Examen of Mr. T. Hobbes’s Dialogus<br/>Physicus de Natura Aëris (1662)</i> ..... | 23 |
| Kapitel 3: Boyles Kontext der Naturphilosophie im 17. Jahrhundert.....  | 24 |
| 3.1 Aristotelische, deduktive Naturerforschung.....   | 24 |
| 3.2 Beobachtende und experimentelle Forschung – die „Neue Naturphilosophie“ vor<br>Boyle.....   | 26 |
| 3.2.1 Galileo Galilei.....  | 26 |
| 3.2.2 William Harvey.....   | 27 |
| 3.2.3 René Descartes.....   | 28 |
| 3.2.4 Francis Bacon.....  | 29 |
| 3.3 Boyles Beweggründe für das Experimentieren in der Auseinandersetzung mit<br>seinen Zeitgenossen.....  | 33 |
| 3.3.1 Künstliche Experimente geben Aufschluss über die natürliche Welt.....   | 33 |
| 3.3.2 Experimente sind nicht durch den Verstand im Vorhinein bestimmt.....  | 34 |
| 3.3.3 Wer keine Experimente anstellt, den werden die Sinne täuschen.....  | 35 |
| 3.3.4 Verzweiflung über jene, die Experimente nicht oder nicht ausführlich<br>durchführen.....  | 37 |
| 3.4 Boyles religiöse Motivation zum experimentellen Forschen.....   | 40 |
| Kapitel 4: Boyles Praxis des Experimentierens: Planung und Durchführung der<br>Experimente.....   | 48 |
| 4.1 Naturphänomene und experimentelle Phänomene wecken Boyles Neugier.....  | 48 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.2. Fragestellung an das Naturphänomen.....   | 50  |
| 4.3. Idee zu einem Experiment zur Erklärung des Phänomens – Konzeption zum Experiment, Aufbau des Experiments, Kreativität.....          | 54  |
| 4.4. Durchführung des Experiments.....   | 59  |
| 4.5. Wiederholung des Experiments.....   | 61  |
| 4.5.1 Wiederholung beim Scheitern des Experiments.....   | 64  |
| 4.6. Variation des Experiments im Aufbau und in der Durchführung.....  | 66  |
| 4.6.1 Zufälle und Umstände.....  | 73  |
| 4.7. Falsifizierung.....   | 75  |
| Kapitel 5: Boyles Interpretationen von Experimenten und ihre Verschriftlichung.....  | 78  |
| 5.1 Die Interpretation von Experimenten:.....  | 79  |
| 5.2 Vergleichen und Vorwissen, Austausch mit Zeugen der Experimente und Forschern, Handwerkern, Reisenden und anderen Fachleuten.....    | 83  |
| 5.3 Protokollieren & Publizieren als Bestandteil des Experimentalprogramms.....  | 87  |
| Kapitel 6: Schlussfolgerungen: Boyles Synthese von Theorie und Experimenten als erkenntnistheoretisch heuristische Zwischenposition..... | 93  |
| Verzeichnis der Quellen, Literatur, Tabellen und Abbildungen.....  | 102 |
| Primärquellen.....   | 102 |
| Quelleneditionen von Robert Boyle.....   | 102 |
| Sekundärliteratur.....   | 103 |
| Internetdokumente.....   | 108 |
| Tabellenverzeichnis.....   | 108 |
| Abbildungsverzeichnis.....   | 108 |

## **Danksagung**

Ich danke meinen Eltern und meinem Bruder. Ohne sie wäre nichts.

Ich danke Herrn Professor Mitchell Ash für die Betreuung dieser Arbeit, seine Expertise und lange Geduld.

Ich danke Alison Winter (1965–2016) und Robert Richards von der University of Chicago, die mir gemeinsam mit neugierigen Seminarkolleginnen und -kollegen dieses Thema eröffnet haben.

Ich danke meinen vielen lieben Studienkolleginnen und -kollegen für ihre Kritik und Impulse, darunter:

Florian Pistor dafür, dass er die gesamte Arbeit begleitet hat.

Lilly Schmidl und Anna Stoiber für ihre Hilfe mit der Korrektur des Entwurfs.

## **Abstract auf Deutsch**

Die vorliegende wissenschaftsgeschichtliche Masterarbeit untersucht, aus welcher Motivation heraus, zu welchem Zweck und mit welcher Methode der in England wirkende Robert Boyle (1627–1691) naturwissenschaftliche Experimente anstellte. Die Hypothese lautet, dass sich die Planung, Durchführung und Interpretation von Boyles Experimenten als ein einheitliches „Experimentalprogramm“ lesen lassen. Dieses sollte auch Boyles – anfänglich vermuteten – heuristischen erkenntnistheoretischen Standpunkt offenlegen.

Die Wissenschaftsgeschichtsschreibung registriert bisher Widersprüche zwischen Boyles Philosophie und Praxis, das heißt, sie sieht einen Konflikt zwischen seiner eigenen Formulierung theoretischer Grundsätze und seinem ergebnisoffenen Experimentieren. Diese Arbeit löst diesen scheinbaren Gegensatz auf, indem sie Boyles philosophischen und religiösen Überzeugungen einerseits, und seine experimentelle Arbeit andererseits, in einer Synthese zusammenführt. Zu diesem Zweck werden ausgesuchte Quellen aus Boyles Anfangszeit seiner naturwissenschaftlichen Publikationstätigkeit in den frühen 1660er-Jahren analysiert.

Unter seinen vielfältigen Experimenten ergibt sich im Fall von Versuchen mit einem Quecksilberbarometer und lebenden Tieren tatsächlich eine Systematik. Diese Systematik erklärt als „heuristisches Experimentalprogramm“ Boyles Standpunkt zwischen mehreren erkenntnistheoretisch unvereinbar erscheinenden Extrempositionen. Nur in diesem Spannungsfeld, von der Boyle-Forschung bisher als Widerspruch aufgefasst, konnte Boyle eine erkenntnistheoretische „Zwischenposition“ entwickeln. Diese „Zwischenposition“ wird hier heuristisch genannt.

Aus dieser heraus betrieb er experimentelle Forschung, um neues, für temporären Gebrauch bestimmtes Wissen zu schaffen. Dieses sollte der weiteren Arbeit von Fachkollegen, kommenden Forschergenerationen und ihm selbst nützlich sein. Wissen sollte nicht abgeschlossen, sondern einer Überprüfung auf abweichende Ergebnisse durch andere Forscherinnen offen sein. Die Schilderung von Boyles Auseinandersetzung mit seinen Zeitgenossen zeigt, dass diese Zielsetzung keine Selbstverständlichkeit war, sondern er sie erst mitentwickelte.

Erst seine Ambivalenz zwischen erkenntnistheoretischen Extremen ermöglichte es Boyle, um wie in einem Kreislauf aus Wissen weiteres, in der Verwendung offenes und temporäres Wissen zu gewinnen. Boyle war ein Pionier, dessen Methode und Erkenntnistheorie zu Standards der Naturwissenschaft wurden. Diese Erkenntnis ist nicht neu. Erst diese Arbeit erklärt jedoch, wie Boyle mit seinen Experimenten eine erkenntnistheoretisch fruchtbare „Zwischenposition“ entwickelte, die Grundlage für die Motivation, den Zweck und die Methode seines experimentellen Arbeitens war. Diese begründeten wiederum das Erfolgspotential seiner Experimente im Sinne ihres Beitrags zum Erkenntnisgewinn über sein eigenes Labor hinaus.

## **Abstract in English**

This masters thesis in the history of science examines the natural scientific experiments of Robert Boyle (1627–1691) who lived most of his life in England. It asks the following questions: out of what motivation, to what end, and by what method did he conduct his experiments? The hypothesis for this work states that the planning, execution and interpretation of Boyle's experiments can be read as a comprehensive "experimental programme". It is further supposed that the analysis of such a programme will uncover a heuristic epistemological position of Boyle.

In the historiography of science, a tension is recorded between Boyle's philosophy and his practical work, that is a conflict between his own expressions of theoretical principles and his open-ended experimentation. This thesis solves this apparent conflict by forming a synthesis of Boyle's philosophical and religious beliefs on the one hand, and his experimental work on the other. To this end, sources from Boyle's first natural scientific publications of the early 1660s are examined.

Indeed, among his manifold experiments, Boyle demonstrates a systematic approach in the case of his trials with a mercury barometer and animal testing. This consistent system, as a "heuristic experimental programme", is able to explain Boyle's epistemological position. This combines elements of extremes that seem to exclude one another. Yet this thesis concludes that only in the tension between extremes, viewed as contradictory by modern historiography, Boyle could develop an epistemological "intermediate position", termed heuristic here.

Starting from this position, he conducted experimental research in order to generate new knowledge. This new knowledge was meant for temporary use only as a springboard for further research by his scientific peers, future generations of researchers and himself. Boyle intended knowledge not to be sealed off, but to be open to review by other experimenters in the face of different results than his own. Nowadays such a view of scientific knowledge may be the norm. However, the description of Boyle's debates with contemporaries over his results demonstrates that this goal he envisioned for natural scientific research was no matter of course. Only his work contributed to setting such a norm.

Only his ambivalence between epistemological extremes enabled Boyle to start a cycle of using knowledge to gain new knowledge, open for temporary use. Boyle was a pioneer whose method and epistemology were soon recognised as standards in the natural sciences. This insight is not new. Only this work explains, however, how Boyle formed his epistemologically fruitful "intermediate position" in the course of his experiments. It formed the basis for the motivation, the purpose and the method of his experimental works. This in turn formed the basis for the potential success of Boyle's experiments in terms of gaining insight beyond his own laboratory.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Fletch Williams danke ich für ihre Hilfe mit der Übersetzung des Abstracts. (Anmerk. d. Verf.)

“To the Danish agent late was showne  
That where noe aire is ther's noe breath.  
A glass this secrett did make knowne,  
Wherein a catt was putt to death  
Out of the glass the air being screw'd,  
Pus dyed and never so much as mew'd.”<sup>2</sup>

## **Kapitel 1: Einleitung**

Diese wissenschaftsgeschichtliche Masterarbeit untersucht die Experimente Robert Boyles (1627–1691), der in der sogenannten „Wissenschaftlichen Revolution“ des 17. Jahrhunderts Pionierarbeit im naturwissenschaftlichen Experimentieren leistete. Mich interessieren seine Experimente, weil Boyle die Methode, wie Wissenschaft betrieben wurde, veränderte, und damit insgesamt die historische Veränderlichkeit von Naturwissenschaft verdeutlicht. Mit Experimenten meine ich die aktive und bewusste Manipulation von Naturphänomenen, die auf einer offenen Skala des menschlichen Eingriffs am entgegengesetzten Ende zur passiven Beobachtung steht.<sup>3</sup>

Experimentieren als die grundsätzliche Methode des Forschens mag heute als unverzichtbarer Ausweis von Natur-Wissenschaftlichkeit gelten. Spekulative, nicht-empirische Naturwissenschaft würde heute als Oxymoron gelesen werden, und in keinem Einführungswerk in eine naturwissenschaftliche Disziplin mehr als eine historische Behandlung finden, oder eine Erwähnung als okkultes Kuriosum. Robert Boyle dagegen erkämpfte die Akzeptanz der experimentellen Naturerforschung erst, indem er neues Wissen mit Experimenten schuf und im Lichte heftiger Kritik mancher Zeitgenossen erklärte und rechtfertigte.

Robert Boyle war ein „Schlüsselprotagonist in der Wissenschaftsgeschichte“ (“key protagonist in the history of science”)<sup>4</sup> im Übergang der Naturwissenschaft weg von spekulativem, aristotelischem Naturverständnis hin zu empirisch begründeter Naturbeherrschung.<sup>5</sup> In Abgrenzung vom Aristotelismus nannten die Protagonisten dieser neuen, experimentellen und mathematischen Ausrichtung ihre Wissenschaft die „Neue Naturphilosophie“.<sup>6</sup> Boyle wird heute als einer der herausragenden Naturwissenschaftler des 17. Jahrhunderts angesehen, auf einer Stufe mit Isaac Newton, René Descartes oder Gottfried Wilhelm Leibniz, wenn er heute auch nicht mehr die gleiche Prominenz erreicht.<sup>7</sup>

Die meiste Zeit seines Lebens lebte der in Irland geborene Boyle in England. Der Reichtum seiner adeligen Familie erlaubte ihm ein Forscherleben ohne persönliche materielle Sorgen. Seine tief empfundene Religiosität wird eine wichtige Rolle für die Fragen dieser Arbeit spielen. Im Genaue-

<sup>2</sup> Frank Sherwood Taylor (Hrsg.): ‘An Early Satirical Poem on the Royal Society’, in *Notes and Records of the Royal Society* 5, Heft 1 (1947), S. 37–46, S. 39. Der ursprüngliche Autor und das Erscheinungsjahr des Gedichts ist nicht mit Sicherheit bekannt, vgl. ebd. S. 37.

<sup>3</sup> Vgl. Peter Anstey: ‘Philosophy of Experiment in Early Modern England: The Case of Bacon, Boyle and Hooke’, in *Early Science and Medicine* 19, Nr. 2 (2014), 103–132, S. 105.

<sup>4</sup> Michael Hunter: *Boyle. Between God and Science*. New Haven, 2009. S. 257. Im Folgenden sind alle Übersetzungen die des Verfassers, wenn nicht anders vermerkt. (Anmerk. d. Verf.)

<sup>5</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences. European Knowledge and its Ambitions*. Basingstoke, 2001. S. 3;

<sup>6</sup> Vgl. Paolo Rossi: *Die Geburt der modernen Wissenschaft in Europa*. München, 1997. S. 17–20, 75–76.

<sup>7</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 1, 251–255.

ren behandelt diese Arbeit die Motivation, den gesuchten Zweck und die Methode Boyles, mithilfe von physikalischen und chemischen Experimenten neues Wissen zu generieren, und in größere Zusammenhänge zu stellen.

Noch mehr als seine Experimente hat in den letzten 20 Jahren Boyles Philosophie Aufmerksamkeit in der Wissenschaftsgeschichtsschreibung erhalten. Mit dieser historischen Arbeit möchte ich mich aber hauptsächlich seinen Experimenten aus den frühen 1660er-Jahren widmen. Experimente waren der Kernbereich von Boyles Schaffens,<sup>8</sup> das er in diesen Jahren erstmals öffentlich sichtbar entfaltete.<sup>9</sup> Die Experimente wecken mein Interesse, nicht weil sie aus heutiger Sicht richtig oder falsch interpretiert sein mögen, sondern weil sie der Vorstellung und damit meiner historischen Fantasie leicht zugänglich sind. Dazu stelle ich die folgenden Forschungsfragen:

1. Zur Motivation: Warum experimentierte Boyle, und warum für seine Zeit so außergewöhnlich viel?
2. Zum Zweck: Welches Wissen suchte Robert Boyle mit seinen Experimenten zu schaffen, nach welcher Erkenntnis strebte er?
3. Zu seiner Methode: Wie suchte und fand Boyle Wissen?

In allen drei Fragen fällt zunächst auf, dass Boyle eine Mittelstellung zwischen den erkenntnistheoretischen Gegenpositionen „Planhaftigkeit“ und „Theoriegebundenheit“ einerseits und „Ergebnisoffenheit“ und „Möglichkeit“ andererseits einnahm. Theoriefreies Forschen war unmöglich, doch wollte sich Boyle von als starr empfundenen Dogmen der Naturwissenschaft lösen. Die Frage, wie dazwischen Erkenntnis möglich ist, beschäftigt die Wissenschaftsphilosophie und -geschichte heute noch, weil sie nicht abschließend zu klären ist. Boyles Antwort auf die Frage wird in dieser Arbeit, zunächst für den Zeitraum der frühen 1660er-Jahre, erarbeitet und dargestellt.

Das Verhältnis zwischen fester Theorie und offenem Experiment, und zwischen Erkenntnissicherheit und Erkenntnismöglichkeit war die für ihn entscheidende erkenntnistheoretische Frage. Die Royal Society, deren Gründung in den Untersuchungszeitraum fällt und zu deren prominenten Gründungsmitgliedern Boyle zählte, fand eine Umsetzung ihrer erkenntnistheoretischen Stoßrichtung in der experimentellen Forschung Boyles. Deswegen wurden Boyle selbst, seine Werke und seine wissenschaftlichen Instrumente in den 1660er-Jahren als Embleme dieser wissenschaftlichen Institution angesehen.<sup>10</sup> Umgekehrt galt auch die Royal Society bald als institutionelle Verkörperung experimenteller Forschung in England.<sup>11</sup>

Boyle bewertete Erkenntnissicherheit und Erkenntnismöglichkeit neu, was eine Untersuchung seiner nuancierten, und wie ich vermute, heuristischen, Position zwischen diesen beiden Polen lohnend macht. Die moderne Geschichtswissenschaft hat bereits hervorragende Forschungsarbeit über Boyle geleistet. Jedoch plädiere ich dafür, noch stärker die von mir vermutete, heuristische, Zwischenposition Boyles zwischen „Planhaftigkeit“ und „Offenheit“ zu untersuchen. Mit dieser Ar-

---

<sup>8</sup> Vgl. ebd. S. 2.

<sup>9</sup> Vgl. ebd. S. 104, 121.

<sup>10</sup> Vgl. ders.: 'A Reciprocal Exchange in the Making of Baconian Science', in *British Journal for the History of Science* 40, Heft 1 (2007), S. 1–23, S. 1–3.

<sup>11</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*. S. 139, 143.



beit werde ich für die Verortung Boyles eine Synthese zwischen diesen beiden Extrempositionen anstreben. Deswegen stelle ich die Frage, ob sich Boyles Experimente aus den ausgewählten Quellen der frühen 1660er-jahre als „Experimentalprogramm“ lesen lassen, und welche erkenntnistheoretische Position Boyles daraus abgeleitet werden könnte.

Dazu werde ich als Methode der Untersuchung zuerst ein tieferes Verständnis für Boyles philosophische und religiöse Einstellung zum Experimentieren erarbeiten, wie er sie im Kontext seiner Zeitgenossen und in Auseinandersetzung mit ihnen entwickelte. Eine dicht gelesene Quellenanalyse ausgewählter naturwissenschaftlicher Werke wird zeigen, ob Boyle ein systematisches Experimentalprogramm entwickelte, und ob sich dieses wie vermutet als eine heuristische Mittlerposition zwischen „Planhaftigkeit“ und „Offenheit“ deuten lässt.

Aufgebaut wird die Arbeit folgendermaßen:

In Kapitel 2 werden Definitionen für Begriffe aus Boyles Kontext erarbeitet, die zum Verständnis seiner Experimente notwendig sind, aber nicht den heute üblichen Bedeutungen entsprechen. Daran anschließen wird eine Diskussion des Begriffs eines „Programms“ oder „Experimentalprogramms“ bei Boyle, wie ihn die für seine Experimente wichtigste moderne Forschungsliteratur behandelt. Darin wird verdeutlicht, welche wissenschaftsgeschichtliche Nuance über eine heuristische Position Boyles mithilfe dieser Arbeit noch hinzugefügt werden könnte.

In Kapitel 3 werden anhand ausgewählter Beispiele von empirisch und teilweise experimentell arbeitenden Forschern aus dem 17. Jahrhundert Vorläufer zu Boyles eigener Arbeit vorgestellt, an denen er sich orientierte. Anhand dessen und anhand Boyles eigener Bezugnahme auf diese und andere zeitgenössische Forscher wird verdeutlicht, aus welchen philosophischen und religiösen Gründen Boyle experimentell forschte, von welchen philosophischen Positionen er sich damit abgrenzte, und welche eigene Position zum Zweck und zur Methode des Experimentierens er entwickelte.

In Kapitel 4 wird zunächst anhand zweier Hauptexperimente Boyles seine Methode analysiert, Experimente zu konzipieren, vorzubereiten, durchzuführen und in deren Verlauf stetig zu verändern. Die Untersuchung weiterer Experimente wird zeigen, inwiefern sich Boyles Methode in der historischen Rückschau als ein Experimentalprogramm generalisieren lässt.

Kapitel 5 wird das Gleiche für seine Methode der Interpretation, Verschriftlichung und Veröffentlichung von experimenteller Naturforschung leisten.

Abschließend wird in den Schlussfolgerungen eine Synthese seiner theoretischen Kontextualisierung und der Analyse seiner experimentellen Arbeit entworfen, die eine eindeutigere Positionierung Boyles zwischen „Planhaftigkeit“ und „Offenheit“ erlauben soll. Darin soll einfließen, inwiefern Boyles von seinen eigenen theoretischen Grundsätzen und seiner eigenen Methode im Laufe seiner Arbeit abwich.

## **Kapitel 2: Begriffliche Grundlagen bei Boyle, Forschungsdiskussion und Quellenauswahl**

### **2.1 Begriffliche Grundlagen**

Menschen aller Zeiten und aller Fachgebiete verwenden ihnen eigene Begriffe, um ihre Theorien, ihre Forschungsgegenstände und Modeerscheinungen zu benennen. Die heutige Wissenschaftssprache weist im Vergleich mit der von Boyle und seinen Zeitgenossen in Bezug auf Begriffsdefinitionen und das Verhältnis zwischen Natur und ihrer Erforschung erhebliche Unterschiede auf. Zum Verständnis von Boyles philosophischem Kontext und seiner eigenen Forschungsarbeit ist es unumgänglich, einige dieser Begriffe zu erklären. Diese Erläuterungen sollen einen begrifflichen Konsens für die kritische Analyse seiner Weltanschauung und experimentellen Arbeit schaffen. Formulierungen Boyles, die eine eindeutige und konsistente begriffliche Abgrenzung vermuten lassen, sind mit Vorsicht zu lesen. Sein Einsatz von abstrakten Begriffen wie „Theorie“, „Tatsache“, „Auffassung“ oder Hypothese“ erweist sich als nicht deutlich definiert und nicht durchgängig gleich festgelegt.<sup>12</sup> Wertschätzend formuliert, könnte daraus ein undogmatischer Zugang zu Wissenschaft abgeleitet werden. Negativ formuliert, könnte es als Zeugnis von Chaos und Zaghaftheit im Werk von Boyle ausgelegt werden.

Beide möglichen Schlussfolgerungen legen nahe, Boyles Begrifflichkeiten nicht als prinzipielle Bausteine für die Untersuchung des hier postulierten heuristischen Experimentalprogramms zu verwenden. In ähnlicher Weise liefert Boyle mit seinen *Certain Physiological Essays*<sup>13</sup> Ansätze eines theoretischen Unterbaus und einer methodologischen Anleitung seiner Experimente. Für diese Ansätze gilt aber ebenso wie für seine abstrakten Begriffe, dass von ihnen keine klar und konsequent nachvollziehbare Systematik erwartet werden darf.<sup>14</sup> Deswegen setzt sich diese Arbeit zum Ziel, eine Systematik in den Beschreibungen und Interpretationen von Boyles Experimenten selbst zu suchen und auszuwerten.

#### **2.1.1 Naturphilosophie und Naturgeschichte**

Boyles Zeitgenossen kannten den Begriff der „Naturwissenschaft“ und des „Naturwissenschaftlers“ noch nicht.<sup>15</sup> Stattdessen sprachen sie von der „Naturphilosophie“. Darunter wurde bis zu Boyles Zeit das Sinnieren über die höchsten Ursachen in der Natur verstanden. Davon unterschieden wurde die „Naturgeschichte“ („natural history“)<sup>16</sup>, welche die beschreibende und klassifizierende Beob-

<sup>12</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 136–137; Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 135; Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. With a new Introduction by the Authors. Princeton, 2011. S. 50. Im Folgenden ist mit *Leviathan and the Air-Pump* immer die Auflage von 2011 gemeint, wenn nicht anders angegeben. (Anmerk. d. Verf.)

<sup>13</sup> Vgl. Robert Boyle: *Certain Physiological Essays*. In ders.: *The Works of the Honourable Robert Boyle*. 6 Bände. Hrsg. v. Thomas Birch. London (Faksimile Hildesheim), 1772 (Faksimile 1965). Ausgabe von 1772 online verfügbar unter: <http://data.onb.ac.at/ABO/%2BZ174848005>. Band I, S. 298–457. Im Folgenden wird mit *The Works* immer diese Werksausgabe von Thomas Birch bezeichnet, wenn nicht anders angegeben.

<sup>14</sup> Vgl. Peter Anstey: 'Experimental versus Speculative Natural Philosophy', in: Peter Anstey, John Schuster (Hrsg.): *The Science of Nature in the Seventeenth Century. Patterns of Change in Early Modern Natural Philosophy*. Dordrecht, 2005. S. 215–242, S. 221.

<sup>15</sup> Vgl. Paolo Rossi: *Die Geburt der modernen Wissenschaft in Europa*. S. 20.

<sup>16</sup> Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 79.

achtung oder auch experimentelle Manipulation von einzelnen Phänomenen der Natur bezeichnete. Boyle fasste die Naturgeschichte als notwendigen Baustein der Naturphilosophie auf, ohne den Ursachenforschung unmöglich wäre.<sup>17</sup> Empirische Arbeit war seiner Ansicht nach eine notwendige Voraussetzung für das Aufstellen von Theorien, im Unterschied zum aristotelischen Wissenschaftsverständnis, das wissenschaftliche Erkenntnisse durch Deduktion aus Lehrsätzen herleitet. Die neue empirische und mathematische Ausrichtung war der Grund, aus dem Boyle und Gleichgesinnte ihre Wissenschaft eine „Neue Naturphilosophie“ nannten.<sup>18</sup>

In dieser Arbeit möchte ich die „Naturphilosophie“ nicht der „Naturwissenschaft“ im Sinne von „rückständig“ versus „modern“ entgegengesetzt verstanden wissen. Die „Naturwissenschaft“ sehe ich als meinen eigenen Begriff für ein historisches Betätigungsfeld. In diesem suchten Männer und ebenso einige Frauen nach Wissen über die natürliche Welt. Sie untersuchten die Phänomene der Natur und die Ursachen dafür, unabhängig von der Selbst- oder Fremdbezeichnung „neu“ und dem damit zugleich gemeinten Antonym „alt“.<sup>19</sup>

### **2.1.2 Boyles Theorie zur Erklärung der Welt: Die Korpuskularphilosophie**

Zu Boyles Zeiten hingen viele Naturphilosophen der sogenannten „mechanischen“ oder auch „mechanistischen Philosophie“ als der prinzipiellen Theorie über die inneren Vorgänge der Materie an, aus der auch die verschiedenen Naturgesetze folgten. Das bedeutete, dass die Naturgesetze nicht den vier aristotelischen Ursachen<sup>20</sup> oder anderen, beseelten Absichten folgten, sondern wie die Mechanik eines Uhrwerks oder einer anderen Maschine Regeln folgten, die sich aus der Zusammensetzung seiner für sich gesprochen leblosen Teile ergab. Diese Teile wurden als unzählige winzige, für das bloße Auge und selbst ein Mikroskop unsichtbare Teilchen verstanden, die Boyle „Korpuskel“ („corpuscles”)<sup>21</sup> nannte. Die Eigenschaften dieser Korpuskel, wie etwa Größe, Form, Bewegung, und die Interaktionen zwischen ihnen, bewirkten alle Vorgänge in der Natur und letztlich auch alle menschlichen Sinneseindrücke.

Den Beweis für seine Theorie zur Erklärung der Welt strebte er zwar an, befand aber, dass die von seinen Zeitgenossen und ihm selbst geleistete Arbeit dafür noch lange nicht genügte.<sup>22</sup> Mit dem ihm eigenen Begriff einer „Korpuskularphilosophie“ („corpuscular philosophy”)<sup>23</sup> oder in leicht anderer Wortwahl auch „Korpuskularischen Philosophie“ („Corpuscularian philosophy”)<sup>24</sup> übergang Boyle Differenzen um die Details der mechanistischen Philosophie.<sup>25</sup> Er wählte diesen pragmati-

<sup>17</sup> Vgl. Robert Boyle: *Proëmial Essay*. S. 307; Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*. S. 65–72.

<sup>18</sup> Vgl. David Wootton: *The Invention of Science. A New History of the Scientific Revolution*. New York, 2015. S. 30–32. Für Boyle eigene Haltung gegenüber der Mathematik, vgl. Kapitel 3.3.2 der vorliegenden Arbeit.

<sup>19</sup> Vgl. Peter Anstey, John Schuster: 'Introduction', in: Dies. (Hrsg.): *The Science of Nature in the Seventeenth Century. Patters of Change in Early Modern Natural Philosophy*. Dordrecht, 2005. S. 1–7, S. 1–2.

<sup>20</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*. S. 11–15.

<sup>21</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, S. 11-15.

<sup>22</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 173

<sup>23</sup> Robert Boyle: *Some Specimens of An Attempt to make Chymical Experiments useful to illustrate the notion of the Corpuscular Philosophy*. Aus: *Certain Physiological Essays*. In *The Works*, Band I, S. 354–359, S. 356.

<sup>24</sup> Ders.: *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. In: *The Works*, Band I, S. 118–185, S. 119.

<sup>25</sup> Es gibt keinen Anhaltspunkt dafür, dass mit unterschiedlicher Wortwahl auch unterschiedliche Bedeutungen gemeint waren. Auch in der Sekundärliteratur werden ohne erkennbare Regel verschiedene Formulierungen gewählt: Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 3 „corpuscularism“, S. 120 „corpuscularianism“, S. 145 „corpuscular philosophy“; Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist. Robert Boyle and the philosophy of experiment*. Chicago, 1995. S. 4,

schen Begriff für sich, weil er der Offenheit zugeneigt war, die der Begriff der von anderen Naturphilosophen vorgeprägten „Mechanistischen Naturphilosophie“ nicht mehr zuließ.<sup>26</sup> Auseinandersetzungen über die Details dieser Philosophie erachtete er für weniger wichtig als die Gemeinsamkeiten der verschiedenen Anschauungen und eine Abgrenzung von der aristotelischen Philosophie.<sup>27</sup> Zum Beispiel verweigerte sich Boyle einer Festlegung in Detailfragen der mechanistischen Philosophie, die als Konsequenz entweder die Möglichkeit eines absoluten Vakuums oder aber umgekehrt einer perfekt gefüllten Welt bedeutet hätte.<sup>28</sup> Er nahm dazu selbst eine pragmatische Haltung ein:

„Ich erkläre hiermit ein für alle Mal, dass ich [unter Vakuum, Anmerk. d. Verf.] nicht einen Raum verstehe, in welchem kein einziger Körper ist, sondern einen solchen, der entweder vollkommen oder fast ganz luftleer ist.“<sup>29</sup>

### **2.1.3 Vakuum und Vakuumpumpe**

An anderer Stelle entschlug sich Boyle in ähnlicher Weise einer eindeutigen Klassifizierung als ein „Vakuist“ („Vacuist“)<sup>30</sup>. Entgegen dem Vorwurf seines Kritikers Thomas Hobbes wollte Boyle nämlich nicht die Möglichkeit eines absoluten Vakuums behaupten. Die Frage der Möglichkeit oder Unmöglichkeit eines Vakuums, ob auf der Erde oder im Weltraum, war sowohl von philosophischer wie von praktischer Bedeutung. Wenn es einen Ort gegeben haben könnte, an dem keine Materie anwesend wäre, wären die Anhänger der mechanistischen Naturphilosophie in Erklärungsnöte geraten. War doch Materie ihrer Meinung nach für alles andere im Universum notwendig. In der aristotelischen Philosophie wiederum fürchtete die Natur ein Vakuum und unternahm stets alles, um ein Vakuum gar nicht entstehen zu lassen, was auf Lateinisch als „horror vacui“ bezeichnet wurde, das heißt als „Angst der Natur vor der Leere“.<sup>31</sup> Boyle lehnte es ab, der Natur Emotionen wie Angst oder Hass zu unterstellen.<sup>32</sup>

Ganz praktisch gedacht stellte sich Boyle eine Frage, die jeden Menschen betraf, und zwar, warum und wie Menschen atmeten.<sup>33</sup> Zur Erforschung sowohl der philosophischen Hintergründe als auch seiner praktischen Fragen über das Vakuum und die Luft ließ Boyle ein Instrument konstruieren,

---

<sup>106</sup> „corpuscular philosophy“; J.J. MacIntosh, Peter Anstey: ‘Robert Boyle’, in: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/boyle>. Abgerufen am 24.10.2017. Einführender Teil: “corpuscularian doctrine”, “corpuscularian gospel”.

<sup>26</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science God*. S. 3. Peter Anstey erklärt Boyles Unterscheidung von „mechanistischer“ und „korpuskularer“ Philosophie anders, eine Auffassung, die ich jedoch sonst nirgends bestätigt finde, auch bei Boyle selbst nicht. Vgl. Peter Anstey: ‘Robert Boyle and the heuristic value of mechanism’, in *Studies in History and Philosophy of Science* 33, Heft 1 (2002), S. 161–174, S. 165; Robert Boyle: *Some Specimens of An Attempt to make Chymical Experiments useful to illustrate the notion of the Corpuscular Philosophy*. Aus: *Certain Physiological Essays*. In *The Works*, Band I, S. 354–359, S. 355; Auch David Wootton schreibt das genaue Gegenteil von Anstey, vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 433.

<sup>27</sup> Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. New York, 1998. S. 227.

<sup>28</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 176–177. J.J. MacIntosh, Peter Anstey: ‘Robert Boyle’, Einführender Teil.

<sup>29</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: *The Works*, Band I, S. 10: (“[...] I here declare once for all, that I understand not a space, wherein there is no body at all, but such as is either altogether, or almost totally devoid of air.”)

<sup>30</sup> Ders.: *An Examen of Mr. T. Hobbes’s Dialogus Physicus*, in: *The Works*, Band I, S. 207.

<sup>31</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 126.

<sup>32</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: *The Works*, Band I, S. 75.

<sup>33</sup> Vgl. ebd. S. 6.

das er in den hier behandelten Werken zumeist in Kurzform eine „Maschine“ („engine“)<sup>34</sup>, in der Langform eine „pneumatische Maschine“ („pneumatic engine“)<sup>35</sup> nannte. Als eindeutigere Bezeichnung wird diese „Maschine“ in der vorliegenden Arbeit „Vakuumpumpe“ genannt.

Die Vakuumpumpe bestand aus zwei maßgeblichen Teilen: Der erste Teil war ein Holzgestell, indem ein Messingzylinder eingebaut war. Innerhalb dieses Messingzylinders konnte ein Kolben Luft aus ihm hinausdrücken, wenn seine Ventile geöffnet waren. Wenn der Kolben bei geschlossenen Ventilen in die Gegenrichtung bewegt wurde, verblieb die gleiche Menge Luft in einem größeren Raum. Das bewirkte nach Boyles Auffassung einen geringeren Luftdruck, wie er aus heutiger Sicht völlig korrekt folgte. Der zweite Teil der Vakuumpumpe war ein kugelrunder Glaskolben oder Glasgefäß („vessel“ oder „receiver“)<sup>36</sup>, der auf den Messingzylinder aufgesetzt und durch Ventile mit ihm verbunden wurde. Über diese Ventile konnte der Luftdruck auch im Glasgefäß verringert werden. Am oberen Ende des Glasgefäßes befand sich eine verschließbare Öffnung, durch die Boyle Versuchsobjekte in die Vakuumpumpe einführen konnte. Zwei Hauptexperimente, die Boyle damit ausführte, waren das Experiment mit dem „Torricellianischen Barometer“ und seine „Tierversuche“.

#### **2.1.4 Boyles Hauptexperimente mit dem Torricellianischen Barometer und Tierversuche**

Sowohl das Experiment mit dem „Torricellianischen Barometer“ als auch die „Tierversuche“ waren in ihrem Ablauf spektakulär, weil sie für die Beobachter visuell leicht zu verstehende und faszinierende Ergebnisse zeigten. Auch für den heutigen Leser sind sie leicht vorstellbar. Für den Forscher Boyle waren sie besonders wichtig, nicht nur weil er sie offensichtlich oft wiederholte und immer wieder variierte, sondern weil er ihnen ausdrücklich eine spezielle Bedeutung für seine Fragen nach einem Vakuum und über die Atmung beimaß.

Als „Hauptexperimente“ werden sie hier bezeichnet, weil an ihnen ein hoher Grad von Systematik festgestellt werden kann. An diesen beiden Experimentalserien verdeutlichte Boyle seine Methode der Fragestellung, der Planung, der Durchführung, der Wiederholung, der Variation und der Interpretation von Experimenten. Die ausführliche Analyse der beiden Hauptexperimente wird diese Methode Boyles herausarbeiten. Abschließend wird in den Schlussfolgerungen die Frage beantwortet, ob in Kombination mit Boyles anderen Experimenten von einem konsistenten Experimentalprogramm gesprochen werden kann, und wie dieses Boyle erkenntnistheoretisch positioniert.

1644 führte Evangelista Torricelli (1608–1647) in Italien erstmals ein Experiment mit zwei Glasgefäßen und Quecksilber durch, mit dem er ein Vakuum erzeugte.<sup>37</sup> Dabei machte er sich die Eigenschaften des Quecksilbers als Flüssigkeit und sein hohes spezifisches Gewicht zunutze. Das bedeutet, dass Wasser und Quecksilber bei gleichem Volumen verschieden schwer sind. Beide Glasgefäße werden im Experiment mit Quecksilber befüllt. Eines dieser Gefäße, eine Schüssel, verfügt über

---

<sup>34</sup> Vgl. ebd. S. 8, 10, 11.

<sup>35</sup> Ebd. S. 1; Vgl. R. E. W. Maddison: *The Life of the honourable Robert Boyle F. R. S.* London, 1969, S. 228.

<sup>36</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: *The Works*, Band I, S. 7.

<sup>37</sup> Vgl. Peter Anstey: 'Robert Boyle and the heuristic value of mechanism', in *Studies in History and Philosophy of Science* 33, Heft 1 (2002), S. 161–174, S. 167.

eine große Öffnung an der Oberseite. Das andere Gefäß ist eine schmale, längere Röhre, die auf einer Seite fest verschlossen ist, und auf der anderen mit einem abnehmbaren Deckel oder mit einem Finger verschlossen wird. Wenn nun die Röhre mit dem geschlossenen Deckel nach unten voran in die Schüssel eingetaucht und der Deckel sodann geöffnet wird, fließt ein Teil des Quecksilbers aus der Röhre in die Schüssel. Ein anderer Teil jedoch bleibt in der aufrecht gehaltenen Röhre als Quecksilbersäule stehen.

Das eigentlich Interessante daran ist der Raum zwischen dem oberen Ende dieser Quecksilbersäule und dem fest verschlossenen, nun oberen Ende der Glasröhre. Für den Betrachter erscheint dieser Raum frei von Quecksilber. War er auch frei von Luft? Oder womit gefüllt und warum? Diese waren die Fragen, über die sich Zeitgenossen Torricellis und Boyles den Kopf zerbrachen. Manche dachten, dass das Vakuum selbst eine ziehende Wirkung auf das Quecksilber ausübte, und die Quecksilbersäule deswegen nicht weiter sank. Heute noch wirkt die intuitive Erklärung der Funktionsweise eines modernen Staubsaugers auf den ersten Blick schlüssig, dass nämlich der Unterdruck im Gerät den Staub ansauge. Tatsächlich ist es aber der Luftdruck außerhalb des Geräts, der Luft in den Staubsauger hineindrückt.

Auch Torricelli und Boyle vermuteten, aus heutiger Sicht richtig, dass der atmosphärische Luftdruck auf das Quecksilber in der Schüssel drückte, und dieses in weiterer Folge auf die in die Schüssel eingetauchte Quecksilbersäule in der Glasröhre ebenso eine Kraft ausübte. Die Quecksilbersäule blieb stehen, weil auf ihrer anderen Seite, vom fest verschlossenen Ende der Glasröhre her, keine Luft mit ebenso starkem Luftdruck die Säule hinunterdrückte. Bis vor wenigen Jahren wurden handelsübliche Barometer mit Quecksilber gefüllt und funktionierten damit genau nach der beschriebenen Art und Weise.

Toricellis Experiment wurde innerhalb weniger Jahre in vielen Ländern bekannt und von vielen Naturphilosophen nachgeahmt, abgewandelt und mehrere Male an öffentlichen Orten vor den Augen vieler Schaulustiger vorgeführt.<sup>38</sup> Boyle hatte aus Frankreich Nachrichten über das „Torricellianische Experiment“ („Torricellian experiment“)<sup>39</sup> erhalten<sup>40</sup> und führte es weiter, indem er es in seine Vakuumpumpe verfrachtete. Dort konnte er den Luftdruck, der auf das Quecksilber in der Glasschüssel drückte, verändern und die Wirkung auf die Höhe der Quecksilbersäule studieren.

Das zweite Hauptexperiment ist einfach nachvollziehbar, weil jeder Menschen Luft zum Atmen braucht. Boyle sperrte Vögel und andere kleine Tiere in den Glaskolben seiner Vakuumpumpe und betätigte den Pumpmechanismus. Schnell starben die Tiere, wie Boyle es in drastischen Worten beschrieb. Insbesondere die Variationen dieses Experiments nutzte Boyle, um seinen Fragen nachzugehen und seine Erkenntnisse gegenüber Kritikern zu behaupten.

Diese beiden Hauptexperimente widmete Boyle der Erforschung zweier Eigenschaften der Luft, die er ihre „Federkraft“ und ihr „Gewicht“ nannte.

---

<sup>38</sup> Vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 333–340.

<sup>39</sup> Robert Boyle: *An Examen of Mr. T. Hobbes's Dialogus Physicus*, in: *The Works*, Band I, S. 209–210.

<sup>40</sup> Vgl. ders.: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: *The Works*, Band I, S. 6.

### **2.1.5 Die Federkraft und das Gewicht der Luft**

Boyles Arbeiten mit der Vakuumpumpe machten ihn innerhalb weniger Jahre sowohl in England als auch auf dem Kontinent in naturphilosophisch interessierten Kreisen berühmt, sodass sowohl die Pumpe als auch er selbst als Verkörperung der experimentellen „Neuen Naturphilosophie“ galten.<sup>41</sup> Die für Boyle wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeiten waren, was er die „Federkraft“ („spring“) und das „Gewicht“ („weight“) der Luft nannte.<sup>42</sup>

Boyle war der Meinung, dass in der Erdatmosphäre unzählbar viele Luftteilchen übereinanderlagen. Weil sie von der Erde angezogen wurden, drückte auf jeden Punkt der Erdoberfläche eine kilometerhohe Säule aus Luft, woraus sich eine Kraft ergab, die als „Gewicht“ der Luft wirkte. Unter der „Federkraft“ der Luft wiederum verstand Boyle die Eigenschaft der Luft, auf Druck einen Gegendruck auszuüben. In einem aufgeblasenen Luftballon wird Luft zusammengepresst. Als Gegenreaktion auf das Zusammenpressen übt die Luft einen Druck auf den elastischen Kunststoff des Luftballons aus, der sich in der Folge ausdehnt. Eine Erscheinung des Luftdrucks als Gegenreaktion nannte Boyle eine Federkraft der Luft. Er beschrieb diese Federkraft selbst in ganz ähnlichen Bildern: Ein Stück Wolle dehnte sich wieder aus, nachdem die Hand, die sie zusammendrückte, losgelassen hatte.<sup>43</sup>

Boyle differenzierte zwischen den beiden offenbar insofern, als das Gewicht jene Kraft war, die dauernd in der Atmosphäre ausgeübt wurde, und die Federkraft erst eine Gegenreaktion der Luftteilchen war. Aus heutiger Sicht gibt es keinen Unterschied zwischen den Phänomenen, die Boyle als Gewicht und Federkraft der Luft bezeichnete, beides bedeutet schlicht den Luftdruck.

In beiden Begriffen, der Federkraft und dem Gewicht der Luft, spielen Boyles Korpuskulartheorie und seine Vorstellungen von Vakuum eine entscheidende Rolle. Denn erstens konnte veränderlicher Luftdruck von Bedeutung nur in einer Umgebung sein, die weder völlig leer noch unveränderlich an jeder Stelle ohne Zwischenräume vollgefüllt mit Teilchen war. Und zweitens waren es unzählige kleine, unsichtbare Teilchen, die eine Veränderung des Phänomens Luftdruck sowohl zuließen als auch bewirkten.

Von Boyles wechselnden wissenschaftstheoretischen Klassifizierungen des Gewichts und der Federkraft der Luft sollte keine konsistente, einfach zu verstehende Bedeutung erwartet werden. Er nannte die Federkraft in seiner ersten und nicht beständigen Definition eine „Auffassung“ oder „Meinung“ („notion“)<sup>44</sup>, dann im Titel des darauf folgenden Werkes eine „Doktrin“ („Doctrine“)<sup>45</sup>. Parallel zu diesen Definitionen bezeichnete er sie in den gleichen Werken wiederum als eine „Hypothese“ („hypothes[is]“)<sup>46</sup> oder auch eine „Tatsache“ („matter of fact“)<sup>47</sup>.

---

<sup>41</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 132, 144.

<sup>42</sup> Vgl. die Titel seiner ersten zwei Werke dazu: Robert Boyle.: *New Experiments Physico-Mechanical Touching the Spring of the Air, and its Effects; Made, for the most part, in a New Pneumatical Engine*. In *The Works*, Band I, S. 1–117; Ders.: *A Defence of the Doctrine of the Spring and Weight of the Air*. In *The Works*, Band I, S. 118–185.

<sup>43</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: *The Works*, Band I, S. 16.

<sup>44</sup> Ebd. S. 47.

<sup>45</sup> Vgl. ders.: *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. In: *The Works*, Band I, S. 118–185.

<sup>46</sup> Ebd. S. 124; Ders.: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: *The Works*, Band I, S. 12.

<sup>47</sup> Ders.: *A Defence of the Doctrine against the Objections of Franciscus Linus*, in: *The Works*, Band I, S. 132, 169.

Zurück bleibt ein Puzzle von Begriffen,<sup>48</sup> das hier nicht gelöst werden soll. Gemeinsam ist ihnen, dass Boyle seine Interpretation nicht von vornherein für bewiesen hielt.<sup>49</sup> Mit diesen Ausführungen möchte ich darlegen, dass bei der Lektüre von Boyles Werk das Augenmerk weniger auf die Formulierung einzelner Worte als auf die Experimente und ihre Interpretationen im Gesamten acht gegeben werden sollte.

## **2.2 Die Diskussion des Begriff eines „Boyle’schen Programms“ in der historischen Forschung**

In den letzten dreißig Jahren standen im Fokus der Boyle-Forschung immer wieder zwei Themenkomplexe, die ich als „philosophisch“ bezeichne. Zum ersten etwa wurde die Frage einer Hierarchie des Wissens bei Boyle diskutiert oder, konkreter gefasst, in welchem Verhältnis etwa die komplexen Begriffe von Tatsachen, Doktrinen, Auffassungen und Hypothesen in seinem Verständnis zueinanderstanden.<sup>50</sup> Dabei hat speziell jene Frage zu einer seit 1993 bis heute geführten Debatte mit mehreren wissenschaftlichen Aufsätzen und Gendarstellungen geführt, ob zwischen Boyles Auffassung von der mechanistischen Philosophie und seinen Experimenten überhaupt ein zwingender Zusammenhang bestand.<sup>51</sup> Daraus schließe ich, dass zwar Konsens darüber besteht, dass Boyles Begrifflichkeiten Probleme bereiten. Doch wird die Debatte offenbar immer noch deswegen fortgesetzt, weil diese Probleme nicht aufzulösen sind.

Frederic Holmes hat dazu schon 1992 einen pragmatischen Zugang vorgeschlagen, weil Aussagen über Beobachtungen und Aussagen über Theorien nicht als völlig rein voneinander getrennt werden können.<sup>52</sup> Dem schließe ich mich an und meine selbst mit einem pragmatischen Zugang, einzelnen Worte nicht allzu viel Bedeutung beizumessen, sondern verschiedene von Boyles vielfältigen Experimenten zu untersuchen.

Zum zweiten wird immer wieder Boyles Korpuskularphilosophie untersucht, weil sich dadurch Vergleiche mit seinen berühmten Zeitgenossen wie Descartes, Leibniz oder Newton ziehen lassen.<sup>53</sup> Ich bin mir der Problematik von Boyles undifferenzierter Begriffsverwendung und der historiographischen Debatten darüber bewusst und verstehe, dass Boyle mit seiner Korpuskulartheorie in

<sup>48</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 135; Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 50.

<sup>49</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 279.

<sup>50</sup> Vgl. Peter Anstey: 'Philosophy of Experiment in Early Modern England: The Case of Bacon, Boyle and Hooke', in *Early Science and Medicine* 19, Nr. 2 (2014), 103–132, S. 116–122; Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. Chicago, 1995, S. 1–3, S. 163–164, S. 294;

<sup>51</sup> Vgl. Alan Chalmers: 'The Lack of Excellency of Boyle's Mechanical Philosophy', in *Studies in History and Philosophy of Science* 24 (1993), S. 541–564; Peter Anstey: 'Robert Boyle and the heuristic value of mechanism', in *Studies in History and Philosophy of Science* 33, Heft 1 (2002), S. 161–174; Andrew Pyle: 'Boyle on science and the mechanical philosophy: a reply to Chalmers', in *Studies in History and Philosophy of Science* 33 (2002), S. 175–190; Alan Chalmers: 'Boyle and the origins of modern chemistry: Newman tried in the fire', in *Studies in History and Philosophy of Science* 41, Heft 1 (2010), S. 1–10; William R. Newman: 'How not to integrate the history and philosophy of science: a reply to Chalmers', in *Studies in History and Philosophy of Science* 41, Heft 2 (2010), S. 203–213; Alan Chalmers: 'Understanding science through its history: a response to Newman', in *Studies in History and Philosophy of Science* 42, Heft 1 (2011), S. 150–153; Ders.: 'Viewing past science from the point of view of present science, thereby illuminating both: Philosophy versus experiment in the work of Robert Boyle', in *Studies in History and Philosophy of Science* 55 (2016), S. 27–35.

<sup>52</sup> Vgl. Frederic Holmes: 'Do we understand historically how experimental knowledge is acquired?', in *History of Science* 30, Heft 2 (1992), S. 119–136, S. 133.

<sup>53</sup> Vgl. Peter Anstey: *The Philosophy of Robert Boyle*. London, 2000; Wojcik Jan W.: *Robert Boyle and the Limits of Reason*. Cambridge, 1997; Osler, Margaret J. (Hrsgin.): *Rethinking the Scientific Revolution*. Cambridge, 2000;



wichtige Diskussionen seiner Zeit eingebunden war. Mit dieser Arbeit möchte ich dazu keinen Beitrag leisten. Hier beschäftige ich mich ausführlich mit jüngerer Sekundärliteratur, die sich mit Boyles Experimenten befasst. Werke, die sich hauptsächlich mit seiner Philosophie befassen, werden im Verlauf dieser Arbeit nur vereinzelt herangezogen. Der Begriff eines „Boyle’schen Programms“ oder auch eines „Experimentalprogramms“ von Robert Boyle ist nicht neu, deswegen ist es erforderlich, die verschiedenen Auffassungen eines solchen „Programms“ in der Forschung differenziert herauszuarbeiten und gegen die Hypothese der vorliegenden Untersuchung abzugrenzen.

### **2.2.1 Michael Hunter**

Der Historiker Michael Hunter gab nach jahrzehntelanger Forschung über Robert Boyle unter anderem dessen Gesamtwerk in völlig neuer Bearbeitung<sup>54</sup> und die gesamte Korrespondenz<sup>55</sup> Boyles zum ersten Mal heraus. Seine Biographie *Boyle. Between God and Science*<sup>56</sup> kann daher als Synthese seines Lebenswerkes gelesen werden. Umfangreich fällt dort Hunters Auffassung eines „Boyle’schen Programms“ („Boylean Programme“)<sup>57</sup> aus, das beinhaltet:

1. Die Begründung experimentellen Forschens aus religiösen wie auch praktischen Gründen, sowie die Verteidigung des Experimentierens als „Zweck an sich“ („for its own sake“).<sup>58</sup>
2. Konzeptuelle wie auch praktische Anleitungen zum Experimentieren mit Beispielen.
3. Die Verteidigung der mechanistischen Korpuskulartheorie, vor allem gegenüber der damals an den Universitäten immer noch stark verankerten aristotelischen Physik.

In seiner Biographie über Boyle, wie auch in anderen Werken, betont Hunter immer wieder Boyles Gegnerschaft zum Aristotelismus, seine Auslegung und Verteidigung der Korpuskularphilosophie sowie seine religiöse Motivation zum experimentellen Forschen als die Kernpunkte seines Programms.<sup>59</sup> Hunter sieht den Anfang, oder besser die ersten deutlichen Zeichen, von Boyles Experimentalprogramm in den frühen 1660er-Jahren.

### **2.2.2 Steven Shapin & Simon Schaffer**

Der Historiker und Soziologe Steven Shapin und der Historiker Simon Schaffer setzen den Begriff eines Experimentalprogramms in *Leviathan & the Air-Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life* mit einer „Lebensweise“ („form of life“) gleich.<sup>60</sup> Damit erhält bei ihnen das Boyle’sche „Experimentalprogramm“ eine soziale Ausrichtung, denn über die „Lebensweise“, die ihrer Meinung nach die Lösung von wissenschaftlichen und sozialen Problemen zum Zweck hat, schreiben sie:

“We shall suggest that solutions to the problem of knowledge are embedded within practical solutions to the problem of social order, and that different practical solutions to

<sup>54</sup> Vgl. Michael Hunter, Edward B. Davis (Hrsg.): *The Works of Robert Boyle*. 14 Bände. London, 1999–2000.

<sup>55</sup> Vgl. Michael Hunter, Antonio Clericuzio, Lawrence M. Principe (Hrsg.): *The Correspondence of Robert Boyle*. 6 Bände. London, 2001.

<sup>56</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle. Between God and Science*. New Haven, 2009.

<sup>57</sup> Ebd. S. 104.

<sup>58</sup> Ebd. S. 104.

<sup>59</sup> Vgl. ebd. S. 104, 120, 145; Ders.: Boyle, Robert. In: Arne Hessenbruch (Hrsg.): *Reader’s Guide to the History of Science*. London, 2000. S. 101–103.

<sup>60</sup> Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 22. Vgl. auch S. 341–344.

the problem of social order encapsulate contrasting practical solutions to the problem of knowledge. *That is what the Hobbes-Boyle controversies were about.*"<sup>61</sup>

Diese Ausrichtung hat ihre Berechtigung und war für die Autoren eine im Erscheinungsjahr 1985 notwendige „Intervention“ („intervention“)<sup>62</sup> in die damalige Wissenschaftsgeschichtsschreibung. *Leviathan and the Air-Pump* schärfte die Aufmerksamkeit der Wissenschaftsgeschichtsschreibung für soziale Dimensionen der Wissenschaft. Das Buch wird in seinen Rezensionen, ob in überwiegend positiven oder auch überwiegend negativen, als Klassiker der Wissenschaftsgeschichtsschreibung betrachtet, weswegen die wissenschaftsgeschichtliche Zeitschrift *ISIS* diesem Werk über 30 Jahre nach seinem ersten Erscheinen ein neues Rezensionsforum widmete.<sup>63</sup>

Ich sehe Shapins und Schaffers Studie insofern kritisch, als in ihrer beinahe ausschließlich sozialgeschichtlichen Perspektive die Neugier und die Suche nach Wissen der historischen Akteure bedeutungslos werden. Deswegen dient mir Shapins und Schaffers detailreiche Studie immer wieder als Informationsquelle über Boyles Experimente, während ich ihren Interpretationen, nicht immer wieder argumentativ aufs Neue entgegen werde.

### **2.2.3 Peter Anstey**

Der Philosoph Peter Anstey setzt den Begriff eines Experimentalprogramms von Robert Boyle offensichtlich gleich mit der Durchführung seiner einzelnen Experimente, ohne in dem Begriff eine übergreifende Systematik oder andere größere Zusammenhänge auszudrücken.<sup>64</sup> Interessanter für die Forschungsfragen dieser Arbeit ist daher sein Verständnis einer Heuristik, die bei ihm, wie auch der Programm-Begriff, eine wesentlich andere Ausrichtung erfährt, als in der vorliegenden Arbeit vertreten wird. Anstey begreift unter einer Heuristik eine enge logische Beziehung zwischen Boyles Korpuskularphilosophie und den Experimenten, die Boyle durchführte, um eben diese Theorie zu erforschen. Er schließt aus seinen Recherchen, dass Boyles Korpuskularphilosophie seine Experimente anleitet. Es ist diese Anleitung der praktischen Arbeit durch die Theorie, die Anstey als Heuristik versteht.<sup>65</sup> Anderenorts schreibt er, dass sich Boyles Experimente wiederum genau auf seine Theorien bezogen, und diese zu bestärken suchten.<sup>66</sup>

Insgesamt geht es Anstey offenbar um eine enge wechselseitige Beziehung zwischen Theorie und Praxis bei Boyle. Die Position der experimentellen Arbeit Boyles im Spannungsfeld zwischen theoriegebundener Methode und praktischer Umsetzung steht auch in dieser Untersuchung im Zen-

---

<sup>61</sup> Ebd. S. 15. (Die Akzentuierung folgt hier dem ursprünglichen Text. Anmerk. d. Verf.)

<sup>62</sup> Ebd. 'Introduction to the 2011 edition. Up for Air: *Leviathan and the Air-Pump* a Generation On.' S. xii. Während die 2011 erschienene Ausgabe um eine zusätzliche Einleitung der Autoren erweitert wurde, wurde Simon Schaffers Übersetzung von Thomas Hobbes' *Dialogus Physicus de Natura Aëris* ins Englische gestrichen, die in der Erstausgabe enthalten war. Eine Gegenposition zur Notwendigkeit dieser Intervention, mit Bezug auf die historische Interpretation von Boyles Experimenten liefert Frederic Holmes: 'Do we understand historically how experimental knowledge is acquired?'

<sup>63</sup> Vgl. Floris Cohen: 'A Second Look: *Leviathan and the Air-Pump*', in *ISIS* 108, Heft 1 (2017), S. 107; Siehe auch die anderen, neuen Rezensionen in der gleichen Ausgabe, online verfügbar unter: <http://www.journals.uchicago.edu/toc/isis/2017/108/1>. Abgerufen am 18.5.2017.

<sup>64</sup> Vgl. Peter Anstey: 'Robert Boyle and the heuristic value of mechanism', in *Studies in History and Philosophy of Science* 33, Heft 1 (2002), S. 161–174, S. 164, 172.

<sup>65</sup> Vgl. ebd. S. 161, 173.

<sup>66</sup> Vgl. Peter Anstey: 'Philosophy of Experiment in Early Modern England: The Case of Bacon, Boyle and Hooke', in *Early Science and Medicine* 19, Nr. 2 (2014), 103–132, S. 126.

trum. Unter Heuristik wird jedoch etwas anderes verstanden. Die Heuristik begreife ich nämlich als Boyles Methode, mit seiner für die Betrachterin doch oft chaotischen Arbeitsweise neues Wissen hervorzubringen. Diese Neuheit fasse ich bei Boyle als wichtiger auf als die Abhängigkeit des Experiments von der Theorie.

#### **2.2.4 Rose-Mary Sargent**

Die Historikerin Rose-Mary Sargent schreibt ebenfalls von „Boyles Experimentalprogramm“ („Boyle’s experimental program“)<sup>67</sup>. Offenbar versteht sie darunter vor allem Boyles lebenslanges Bemühen, experimentelles Forschen einerseits selbst zu betreiben, andererseits gegenüber Kritikern seine Methode zu verteidigen.<sup>68</sup> Als Inhalt dieses Programms sieht sie „the open-ended and dynamic way in which he [Boyle, Anmerk. d. Verf.] characterized the nature of his experimental program.“<sup>69</sup> Wie sie in der Einleitung ausdrücklich festhält, betont sie in ihrem Buch *The Diffident Naturalist. Robert Boyle and the Philosophy of Experiment* vor allem diese Seite Boyles.<sup>70</sup> Seine „Dynamik“ gebraucht sie augenscheinlich als Schlüsselbegriff.<sup>71</sup> Offenbar meint sie damit Boyles Distanz zu Dogmen und seine Bereitschaft, sich von Experimenten überraschen zu lassen, ohne nur ein mögliches Ergebnis zuzulassen, sowie die Bereitschaft, sein experimentelles Vorgehen im Verlauf des Arbeitens anzupassen.<sup>72</sup> Ebenso meint sie seine Offenheit dafür, Ergebnisse aus eigenen Beobachtungen und Experimenten mit denen anderer Forscher zu verknüpfen.<sup>73</sup>

Während ich diese „dynamische“ Seite von Boyle nur bestätigen kann, kann mein Begriff eines heuristischen Experimentalprogramms eine Nuance einbringen, die zwischen der von Hunter betonten Planhaftigkeit einerseits und der von Sargent in den Mittelpunkt gestellten Offenheit andererseits liegt.

#### **2.2.5 Forschungslücke: Der tote Winkel zwischen Boyles Theorien und Experimenten**

Was die skizzierte moderne Historiographie und mein eigenes Verständnis eines „Programms“ eint, ist die historische Rückschau. Keine dieser Arbeiten bezieht sich ausschließlich auf Boyles eigene Ankündigungen eines Programms oder Ähnlichem, sondern konstruiert, notwendigerweise, aus der eigenen historischen Interpretation.<sup>74</sup> Dennoch neigt die hier ausgewählte moderne Forschungsliteratur meiner Meinung nach zu sehr dazu, Boyles Experimente aus dem Blickwinkel seiner theoretischen Aussagen zu betrachten, als es seiner Arbeitsweise nach meiner Auffassung entspricht. Ich selbst möchte überprüfen, welche erkenntnistheoretischen Aussagen ich direkt aus Boyles Experimenten gewinnen kann. Seine Korpuskularphilosophie möchte ich nicht ausblenden. Doch mit meiner eigenen Position eines heuristischen Experimentalprogramms möchte ich die Aufmerksamkeit ein wenig mehr auf die Experimente selbst in ihrer Gesamtheit lenken.

<sup>67</sup> Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 1.

<sup>68</sup> Vgl. ebd. S. 39, 68, 83, 109, 136.

<sup>69</sup> Ebd. S. 136.

<sup>70</sup> Vgl. ebd. S. 10–13.

<sup>71</sup> Vgl. ebd. S. 10–13, 17–18, 115, 127, 136, 182–183, 186, 211–215.

<sup>72</sup> Vgl. ebd. S. 17.

<sup>73</sup> Vgl. ebd. S. 20.

<sup>74</sup> Vgl. Frederic Holmes: ‘Do we understand historically how experimental knowledge is acquired?’, S. 127–128.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine kleine Verschiebung oder Betonung der stellenweise kontrastierenden Auffassungen von Sargent, Anstey und Hunter einzubringen. Eine Nuance, die eine entscheidende Verbindung zwischen diesen beiden Polen, Planhaftigkeit einerseits und Offenheit andererseits, von Boyles wissenschaftlichen Aktivitäten darstellt. Bei Hunter und Anstey sehe ich vor allem die Betonung auf Boyles Korpuskularphilosophie und seinen darin begründeten wissenschaftlichen Kampf gegenüber aristotelischen Naturtheorien. Hunter betont zusätzlich noch mehr als Anstey die religiöse Grundlage für die naturwissenschaftlichen Ansichten Boyles. Hunter und Anstey überblicken Boyles gesamtes Werk und bemerken im Längsschnitt einen regelhaften Zusammenhang. Sargent dagegen legt ihr Hauptaugenmerk auf Abwechslung und Offenheit, mit ihren Worten auf die „Dynamik“ Boyles, auf die vielen unterschiedlichen und ergebnisoffenen Schritte, die sein Werk ausmachen. Alle drei begründen ihre Analyse von Boyle auf jahrelanger Forschung und entwickeln nuancierte Interpretationen, die der vorliegenden Untersuchung als Ausgangspunkt wichtige Ergebnisse und Einblicke liefern.

Mein Querschnitt aus Boyles Werk der frühen 1660er-Jahre bringt eine kleine Nuance ein, welche die begrifflichen Extreme „Planhaftigkeit“ und „Theoriegebundenheit“ einerseits und „Ergebnisoffenheit“, „Neugier“, „Möglichkeiten“ und „Dynamik“ andererseits zu verbinden sucht. Sein Vermächtnis an die moderne Wissenschaft bestand darin, in seinem Plan auch viele Variationen, Überraschungen und Zufälle nicht nur zuzulassen, sondern ihre Nützlichkeit für die Forschung von vornherein zu suchen.

Um es auf den Punkt zu bringen: Boyles Plan bestand aus vielen kleinen Teilen. Doch neue Teile einzubauen oder den vorgefassten Weg einstweilen zu verlassen, gehörte ebenso zu seinem Plan. Dementsprechend liegt dieser Arbeit die Hypothese zugrunde, dass Boyle einen Plan verfolgte, mit Experimenten ungewissen Ausgangs neues Wissen hervorzubringen. Gerade weil er sich über die Schritte, die zu seinem Plan gehörten, bewusst war, konnte er davon abweichen, und Exkurse wagen, die ebenso neue Erkenntnisse bringen konnten. Seine Sprunghaftigkeit und seine Variationen waren seiner Ansicht die der Natur entsprechende Methode, wenn sie durchdacht verfolgt wurde. Die Natur gehorchte nämlich Gesetzen, die der Mensch aber nur noch durch eine riesige Sammlung von Beobachtungen und Experimenten in immer neuen Variationen begreifen konnte.

Boyle dachte sich erst am Anfang der Naturerforschung stehend, und zielte daher vorrangig auf Erkenntniserweiterung statt Erkenntnissicherung in feststehenden Theorien oder auch mathematisch ausgedrückten Formeln ab. Sicher bin ich mir schon an dieser Stelle, dass beide Extreme, „Theoriegebundenheit“ einerseits und „Ergebnisoffenheit“ andererseits, charakteristisch für Boyles Werk stehen. Meine These lautet, dass Boyle selbst dies deswegen nicht als Widerspruch auffasste, da sich daraus eine erkenntnistheoretische und methodische Zwischenposition ergab. Begrifflich fasse ich diese, zunächst hypothetisch, als eine „Heuristik“, die seine Experimente bestimmte.

### **2.2.6 Die Synthese von Boyles Theorien und Experimenten als heuristisches Experimentalprogramm**

Boyle rückte konkrete Experimente in den Vordergrund, die ihm stets nur stückhaftes, temporäres Wissen lieferten, das für ihn zur Überprüfung und wiederum für neue Erkenntnisse offenstand.

Boyle war sich bewusst, dass er stets mit unvollständigem Wissen arbeitete, und betrachtete auch seine höher stehenden Theorien nicht als bereits vollkommen erklärt und bewiesen. Er konzentrierte den Problemsachverhalt auf kleinere Elemente der gesamten Naturphilosophie und fuhr von einer Erkenntnis zur nächsten fort.

Sein, hier vermutetes, Experimentalprogramm begreife ich als Verfahren, neues Wissen zu finden, ohne dies auch stets sichern zu können. Darin sehe ich für diese Arbeit den Begriff der „Heuristik“ begründet. Die Gemeinsamkeiten zwischen den verschiedenen, für die moderne Wissenschaft aufgestellten Definitionen des Begriffs „Heuristik“ beschränken sich meines Erachtens nach darauf, dass damit eine unvollkommene Regelmäßigkeit von Verfahren zum Erkenntnisgewinn bezeichnet wird, zum Beispiel von wissenschaftlichen Methoden. Eine Entsprechung meines Verständnisses des frühneuzeitlichen griechischen Neologismus der „Heuristik“ oder „Findekunst“<sup>75</sup>, lese ich bei Friedrich Schleiermacher,<sup>76</sup> wo ich Boyles Vorgehen widergespiegelt sehe:

„Das Verfahren, von einem Denkakte zu einem anderen überzugehen, wenn wir es auch vollendet denken, (...)“<sup>77</sup>

Das Wesentliche ist hier die Einbettung von Ergebnissen, die für sich allein stehend unvollendet blieben, aber als Teil eines vollendeten Ganzen gedacht wurden. So lassen sich auch Boyles Experimente, für sich betrachtet chaotisch und ohne Ordnung, in einen für Boyle größeren Zusammenhang stellen. Diesen größeren Zusammenhang verstehe ich als Experimentalprogramm, dessen Existenz durch die Analyse von Primärquellen aus den frühen 1660er-Jahren geprüft werden soll. Schleiermacher differenzierte seinen methodischen Ansatz zur Wissensgenerierung insofern, als er betonte, dass mit dem Übergang von einem Denkakt zum nächsten allein „die Idee des Wissens noch nicht zur Vollendung“<sup>78</sup> geriet.

Das Experimentalprogramm, das hier vermutet wird, ergäbe sich nicht bloß aus der Summe aller Experimente Boyles. Es mag so erscheinen, als implizierte ich, dass seine Korpuskularphilosophie die Summe seiner Experimente zu einem größeren Ganzen mache. Doch eine Verbindung zwischen Theorie und Praxis dieser Art, oder konkreter über Boyle formuliert, eine Verbindung zwischen Philosophie und Experimenten, ist allein nicht hinreichend. Ich stelle mir nicht bloß Boyles Korpuskularphilosophie als heuristischen Vorgriff auf seine Experimente vor, sondern in dieser Untersuchung umgekehrt, seine Experimente als heuristischen Vorgriff auf weitere Erkenntnisse. Ich will seine Verknüpfungen seiner Experimente mit seiner Korpuskularphilosophie nicht ausblenden, sondern behaupten, dass er mit seinen Experimenten zunächst so vorging, wie Schleiermacher hier zitiert wird, „von einem Denkakte zum einem anderen überzugehen“. Wenn Boyle überhaupt davon ausging, seine Korpuskularphilosophie je im heutigen Sinne beweisen zu können, dann baute er summarisch an ihr, von einem, für sich genommen kleinen, Denkakt zum nächsten, Stück für Stück.

<sup>75</sup> H. Schepers: ‚Heuristik, heuristisch‘, in: Joachim Ritter (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Band III, Basel, 1974. S. 1115–1120, S. 1116.

<sup>76</sup> Vgl. Friedrich Schleiermacher: *Dialektik*. Berlin, 1903. S. 255–256, 259, 305–306;

<sup>77</sup> Vgl. ebd. S. 255.

<sup>78</sup> Ebd. 255

Auch Boyles Experimentalprogramm kann ich mir als Stückwerk denken, dass das vollendete Wissen gleichwohl schon vorausahnt. Aus neuem Wissen entstand wie in einem Kreislauf wieder neues Wissen. Boyle war sich dessen bewusst, dass er nicht alle seine Wissensbausteine zusammensetzen konnte. Inwiefern er dennoch regelhaft arbeitete, um dies zu versuchen, und wie er sich damit erkenntnistheoretisch positionierte, untersucht diese Masterarbeit. Sein Einsatz von wissenschaftlichen Instrumenten, mehreren Beobachtern und laufender Veränderung des Experimentaufbaus sollte ihm Wissen zugänglich machen, das sonst als zufälliges Phänomen oder unbewusster Vorgang nicht erschließbar gewesen wäre.

Boyles Experimentieren begreife ich insofern als Heuristik, wörtlich als „Findekunst“, die Kunst des Suchens und Findens, als er sich selbst dessen bewusst war, dass er keine letzte Gewissheit über die Gültigkeit seines Wissens hatte.<sup>79</sup> Und doch legte gerade er besonders großen Wert darauf, sein Wissen als Wissenschaft für andere überprüfbar und veränderlich zu machen und eine dafür geeignete soziale Organisationsform mitzuentwickeln. Diese Überlegungen und Vermutungen gilt es anhand der Experimente Boyles im Rahmen dieser Untersuchung zu überprüfen.

### **2.3 Quellenauswahl**

Diese Masterarbeit analysiert Werke, die Robert Boyle in den frühen 1660er-Jahren publizierte. Sie gehören damit zur ersten Phase seiner naturphilosophischen, gedruckten Werken. Das 1660 im Druck erschienene *New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of the Air, and its Effects* war sogar überhaupt Boyles erstes gedrucktes naturwissenschaftliches Werk.<sup>80</sup> Dieses Werk trug ihm auch sehr schnell den Ruf eines der „führenden Wissenschaftler seiner Zeit ein“ („the leading scientist of his day”)<sup>81</sup>. Davor hatte er seine naturwissenschaftlichen Ansichten vor allem in Form von ausführlichen Briefwechseln, in persönlichen Gesprächen oder mit von Hand zu Hand gereichten Manuskripten verbreitet.<sup>82</sup> In den 1660er-Jahren hingegen publizierte Boyle erstmals auf systematische Weise seine naturwissenschaftlichen Werke in Auflagen mehrerer Hundert Stück von gedruckten Büchern.<sup>83</sup> Die Reihenfolge der Publikationen spiegelte dabei nicht linear die Reihenfolge der Entwürfe wieder.

Zur Quellenlektüre von Boyles Werken wird hier die von Thomas Birch und Henry Miles herausgegebene Gesamtausgabe *The Works of The Honourable Robert Boyle*<sup>84</sup> herangezogen, die erstmalig 1744<sup>85</sup> und in der heute üblichen, zweiten Edition im Jahr 1772 erschien.<sup>86</sup> Ihr betagtes Alter änderte nichts daran, dass sie bis zum Ende des vergangenen Jahrtausends die maßgebliche Edition blieb, zum Beispiel in der Form eines seitengleichen Nachdrucks aus den 1960er-Jahren. Bis zum

<sup>79</sup> Ebd. S. 305; H. Schepers: ‚Heuristik, heuristisch‘, S. 1118–1119.

<sup>80</sup> Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 121.

<sup>81</sup> Ebd. S. 125.

<sup>82</sup> Vgl. ebd. S. 104.

<sup>83</sup> Vgl. ebd. 104

<sup>84</sup> Robert Boyle: *The Works of the Honourable Robert Boyle*. 6 Bände. Hrsg. v. Thomas Birch. London (Faksimile Nachdruck Hildesheim), 1772 (Faksimile 1965). Ausgabe von 1772 online verfügbar unter: <http://data.onb.ac.at/ABO/%2BZ174848005>. Abgerufen am 11.11.2017. Im Folgenden wird mit *The Works* immer diese Werksausgabe von Thomas Birch bezeichnet, wenn nicht anders angegeben.

<sup>85</sup> Vgl. ebd. S. 9.

<sup>86</sup> Zur Geschichte dieser Ausgabe vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 249–250.

Erscheinen der „ersten wissenschaftlichen“<sup>87</sup> Gesamtausgabe, die Michael Hunter und Edward B. Davis 1999/2000 in 14 Bänden als *The Works of Robert Boyle* vorlegten.<sup>88</sup> Während sich die geographisch nächste gedruckte Ausgabe in München befindet, ist die elektronische Version aus Bibliotheken in Wien leider nicht zugänglich.

Die wichtigsten Veröffentlichungen Boyles im Kontext dieser Arbeit sind drei Werke aus den allerersten Jahren seiner naturphilosophischen Publikationstätigkeit. In diesen befasste sich Boyle mit physikalischen und teilweise auch chemischen Experimenten und entwickelte sowohl seine Arbeitsmethode als auch seinen Schreibstil. Deswegen soll der Kontext, aus dem sich der Inhalt dieser drei Bücher ergab, im Folgenden erläutert werden.

### **2.3.1 New Experiments Physico-Mechanical Touching the Spring of the Air, and its Effects (1660)**

1659 wurde Boyles Vakuumpumpe fertiggestellt, im Jahr darauf publizierte er seine Experimente damit in *New Experiments Physico-Mechanical Touching the Spring of the Air, and its Effects; Made, for the most part, in a New Pneumatical Engine*. Dieses Buch gliederte er in 43, ausschließlich in Fließtext beschriebenen Experimente. Diese Struktur folgte keiner chronologischen Reihung der Durchführung oder einer in thematischen Blöcken. Boyle selbst schrieb dazu, dass die Experimente in beliebiger Reihenfolge gelesen werden konnten. Mit dieser Anordnung hielt Boyle die in der Einleitung erklärte Absicht nicht ein, das Buch in zwei Teile zu teilen. Ein naturgeschichtlicher, der die Experimente wiedergab, und einer, der Boyles theoretische Schlussfolgerungen daraus erläutern sollte.<sup>89</sup> Zu sehen ist diese Struktur aber nicht. Zu vermuten ist, dass die politischen Vorgänge in England rund um eine mögliche Restauration der Monarchie Boyle zu sehr in Bann hielten, um dem Werk die geplante Aufmerksamkeit zu widmen. Boyle selbst schrieb in der Einleitung davon, dass die Unruhe der „unglücklichen Nation“ („unhappy nation”)<sup>90</sup> auch ihn gestört habe. Seinem Drucker sendete er das Manuskript Stück für Stück direkt nach der Fertigstellung der einzelnen Teile. Im Schlusskapitel fasste er nicht, wie zu erwarten wäre, seine Ergebnisse zusammen, sondern klagte darüber, dass er sein Werk auf einer Reise in einem Gasthaus sitzend hastig beschließen musste, ohne seine Notizen zur Hand zu haben. Wieder machte er dafür in dunklen Andeutungen „das politischen Unheil, das diese nur zu unglückliche Nation heimsucht“ („public calamities that distress this too unhappy nation”)<sup>91</sup> verantwortlich.

Die nach Boyles eigener Aussage beliebig gehaltene Struktur dieses ersten Buchs gebietet eine genaue Analyse, erst in der Gesamtschau aller Experimente ist es möglich, Regelmäßigkeiten seiner naturphilosophischen Arbeit zu erkennen.

<sup>87</sup> Jan W. Wojcik: 'The Works of Robert Boyle (review)', in *Journal of the History of Philosophy* 40, Heft 4 (2002), S. 543–545, S. 543: („the first scholarly edition ever”).

<sup>88</sup> Michael Hunter, Edward B. Davis (Hrsg.): *The Works of Robert Boyle*. 14 Bände. London, 1999/2000.

<sup>89</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical Touching the Spring of the Air, and its Effects; Made, for the most part, in a New Pneumatical Engine*. In *The Works*, Band I, S. 1–117, S. 2.

<sup>90</sup> Ebd. S. 3.

<sup>91</sup> Ebd. S. 116.

### **2.3.2 Certain Physiological Essays (1661)**

Sein erstes Buch *New Experiments Physico-Mechanical* war auf großes Interesse gestoßen, was Boyle den Anstoß dazu gab, die Veröffentlichung weiterer, teilweise schon geschriebener Bücher voranzutreiben. Aus mehreren Essays, die Boyle über den Lauf mehrerer Jahre verfasste, formte er die Aufsatzsammlung *Certain Physiological Essays, and other Tracts*.<sup>92</sup> Die Sammlung vereint auf bestimmte Experimente konzentrierte Schriften mit Abhandlungen über Boyles Korpuskularphilosophie und seine Reflexionen über seine Methode des naturwissenschaftlichen Forschens. Letztere sind für diese Arbeit besonders interessant, vor allem der *Proëmium Essay*, in dem Boyle über die Ziele und Methode seiner Experimente und über die richtige Sprache und Ethik in der Wissenschaft schrieb. Eine durchgängige Programmatik darf aus diesem Sammelsurium an Texten aber nicht erwartet werden. Die einzelnen Überlegungen bleiben oft Stückwerk, woran zu sehen ist, dass Boyle erst am Anfang dessen stand, woraus sich in der Rückschau möglicherweise ein Experimentalprogramm ergibt.

### **2.3.3 Boyles Verteidigung seiner *New Experiments: A Defence of the Doctrine of the Spring and Weight of the Air* und *An Examen of Mr. T. Hobbes's Dialogus Physicus de Natura Aëris* (1662)**

Gemeinsam mit einer zweiten Auflage seiner *New Experiments Physico-Mechanical* brachte Boyle 1662 Antworten auf zwei Kritiker heraus. Franciscus Linus (1595–1675) hatte in seinem 1661 erschienenen Werk *Tractatus de corporum inseparabilitate* Boyles Experimente über Gewicht und Federkraft der Luft seiner eigenen, aristotelisch geprägten, Neuinterpretation unterzogen.<sup>93</sup>

Thomas Hobbes (1588–1679), vor allem als politischer Philosoph bekannt, verfasste 1661 mit dem *Dialogus Physicus de Natura Aëris* eine radikale Entgegnung auf Boyles Erstlingswerk.<sup>94</sup> Er vertrat die Haltung, dass wissenschaftliche Erkenntnis nur aus philosophisch festgelegten und daher sicheren Prinzipien erlangt werden konnte, und dass die Welt stets vollgefüllt mit Luft war. Aus diesen beiden Ansichten entwickelte er die Meinung, dass Boyles Experimente ein falscher Weg zur Erkenntnis gewesen seien, weil sie nicht auf vorher definierten Prinzipien fußten, und dass die von Boyle erwähnte Möglichkeit des Vorhandenseins eines Vakuums unvorstellbar sei.

Zusammen als Buch herausgegeben, doch in einzelner Behandlung, reagierte Boyle mit *Defence of the Doctrine of the Spring and Weight of the Air* auf Franciscus Linus und mit *An Examen of Mr. T. Hobbes's Dialogus Physicus de Natura Aëris* auf Thomas Hobbes. Mit Kritik an seinen Experimenten konfrontiert, ersann Boyle in den beiden Verteidigungsschriften viele neue Experimente, um die Behauptungen seiner Widersacher zu entkräften, und entwickelte seine eigenen erkenntnistheoretischen Positionen weiter.

---

<sup>92</sup> Vgl. ders.: *Certain Physiological Essays, and other Tracts*. In *The Works*, Band I, S. 298–457.

<sup>93</sup> Vgl. Franciscus Linus: *Tractatus de corporum inseparabilitate; in quo experimenta de vacuo, tam Torricelliana, quàm Magedburgica, & Boyleana, examinatur*. London, 1661. Vgl. die schneller zur Hand gehenden Zitate und Beschreibungen aus Linus' Werk in Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 156–169, und Boyles eigenen Zitate in Robert Boyle: *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. In *The Works*, Band I, S. 118–185.

<sup>94</sup> Vgl. Thomas Hobbes: *Dialogus Physicus de Natura Aëris*. Zitiert nach der englischen Übersetzung von Simon Schaffer in Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. 1985, 2011. S. 345–391.



## **Kapitel 3: Boyles Kontext der Naturphilosophie im 17. Jahrhundert**

Boyle bezog sich in seinen philosophischen Überzeugungen und seiner experimentellen Arbeit auf frühere Naturwissenschaftler im weitesten Sinn. Während er zur aristotelischen Naturphilosophie eine größtenteils ablehnende Haltung einnahm, orientierte er sich in grundsätzlichen Fragestellungen und Hypothesen explizit an frühneuzeitlichen Kollegen, insbesondere an den schon damals berühmten Galileo Galilei, William Harvey, René Descartes und Francis Bacon.

Noch mehr als Galileo und Harvey arbeitete Boyle mit Experimenten, während er die mathematische Ausrichtung von Galileo und Descartes auf Berechnungen und Formeln zur Verallgemeinerung nicht verfolgte. Von Descartes und in dessen Schatten stehenden französischen Naturphilosophen wie u. a. Pierre Gassendi entwickelte Boyle seine eigene Version der mechanistischen Naturphilosophie.

Francis Bacon war insofern die hauptsächliche Inspirationsquelle für Boyle, als es ihm darum ging, Wissen nicht zu systematisieren, sondern neues Wissen durch systematisch geplante und durchgeführte Beobachtungen und Experimente zu erlangen.<sup>95</sup> Bacons programmatische Schriften gaben Boyle meines Erachtens die wichtigste Inspiration für seine eigene experimentelle Naturerforschung, vermutlich deswegen finden sich in Bacons und Boyles Ansichten über Experimente viele Übereinstimmungen. Daher steht Bacon in dieser ansonsten chronologischen Schilderung an letzter Stelle, direkt vor der Analyse von Boyles eigenen Überzeugungen.

### **3.1 Aristotelische, deduktive Naturerforschung**

Als Kind und Jugendlicher wurde Robert Boyle in aristotelischer Naturkunde unterrichtet, so wie es den Gepflogenheiten der Zeit entsprach.<sup>96</sup> Als Erwachsener stand Boyle Aristoteles und seiner sogenannten „Peripatetischen Schule“ und der darauf begründeten mittelalterlichen Scholastik äußerst skeptisch bis eindeutig ablehnend gegenüber.<sup>97</sup> Eben diese Scholastik beherrschte im frühen und zur Mitte des 17. Jahrhunderts immer noch den Lehrplan der meisten europäischen Universitäten.<sup>98</sup> Im Vergleich zum Mittelalter dominierte diese dogmatische Methode jedoch nicht mehr völlig uneingeschränkt.<sup>99</sup> In der Universitätsstadt Oxford entstand ein Kreis namens „Oxford-Zirkel“ („Oxford circle“)<sup>100</sup>, der an der „Neuen Naturphilosophie“ Interessierten ein reges Forum für Austausch außerhalb des Lehrplans bot. Diesem schloss sich Robert Boyle nach seiner zur Mitte der 1650er-Jahre erfolgten Übersiedlung nach Oxford an.<sup>101</sup>

<sup>95</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 109–110.

<sup>96</sup> Vgl. ebd. S. 53–56.

<sup>97</sup> Vgl. Robert Boyle: *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy*. In *The Works*, Band II, S. 5. Im Folgenden ist mit *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy* immer dieses 1663 erschienene Werk im zweiten Band von *The Works* gemeint, wenn nicht anders angegeben. Mehrere Jahre später folgte eine Fortsetzung unter fast gleichem Titel. (Anmerk. d. Verf.)

<sup>98</sup> Vgl. Charlotte Schönbeck: ‚Renaissance – Naturwissenschaften und Technik zwischen Tradition und Neubeginn‘, in: Armin Hermann, Charlotte Schönbeck (Hrsg.): *Technik und Wissenschaft*. (Technik und Kultur, Band 3) Düsseldorf, 1991. S. 240–268, S. 259–260.

<sup>99</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*, S. 3.

<sup>100</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 94.

<sup>101</sup> Vgl. ebd. S. 92–96.

Diese Zurückweisung der aristotelischen Schule durch die Vertreter der „Neuen Naturphilosophie“ drückte sich in Kritik in Form „vehemente[r] Polemik“<sup>102</sup> bis zu „herablassenden Zerrbildern“ („dismissive caricature“)<sup>103</sup> aus. Die Vehemenz, mit der sich Boyle in seinem gesamten Werk gegen die für ihn erstarrte Tradition richtete, zeigte jedenfalls, dass es ihm ernsthaft darum bestellt war.<sup>104</sup> Drei für seine Mitstreiter typische Argumente führte auch Boyle immer wieder gegen die aristotelische Philosophie an:

Erstens widerspräche die Lehre der Essenzen der mechanistischen Philosophie. Ein Stein etwa sehne sich wegen seiner „Essenz“ als Stein und damit als irdisches Element nach der Erde.<sup>105</sup> Dieses Prinzip war für Boyle weder ursächlich begründbar oder nachweisbar noch weiter erforschbar. Somit wäre die Theorie der „Essenzen“ ein rein deduktives, spekulatives und damit letztlich okkultes Wissen, das sich nicht für weiteren Erkenntnisgewinn über die Natur eignete. Die mechanistische Philosophie drückte sich hingegen in Kategorien aus, die der menschlichen Erfahrung prinzipiell zugänglich waren, etwa Größe, Form und Geschwindigkeit.<sup>106</sup>

Zweitens folgte Boyle aus seiner Ablehnung des „Essentialismus“, dass es einen prinzipiellen Gegensatz zwischen natürlicher „Essenz“ und künstlichen, das heißt durch den Menschen der Natur gewaltsam entrissenen, Phänomenen, nicht gebe.<sup>107</sup> Daher gälten die Naturgesetze für alle Phänomene, ob sie „natürlich“ oder „künstlich“ sein mochten. Wenn die Vorstellung einer Dichotomie von Natur und Kunst in der physischen Welt noch zahlreiche Experimente von Boyles Zeitgenossen prägte, erhielt diese Auffassung einer Teilung der natürlichen Welt in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts immer weniger Zuspruch.<sup>108</sup> Galileo hatte geschrieben, dass Naturgesetze überall und immer Gültigkeit besäßen und die Natur sich daher nicht überlisten ließe.<sup>109</sup> Die aristotelische Unterscheidung zwischen der Physik als Lehre der natürlichen Zustände und der Mechanik als Kunst der Manipulation dieser natürlichen Zustände legte Galileo damit für die „Neue Naturphilosophie“ beiseite.<sup>110</sup> Der Titel *New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of the Air* von Boyles erstem publizierten naturwissenschaftlichen Werk kann vor diesem Hintergrund als Herausforderung des Aristotelismus gelesen werden. Boyle war damit nicht allein. Mit der Selbstbezeichnung als „Neue Naturphilosophie“ suchten sich ihre Protagonisten vom Aristotelismus ab-

---

<sup>102</sup> Andreas Kleinert: ‚Technik und Naturwissenschaften im 17. und 18. Jahrhundert‘, in: Armin Hermann, Charlotte Schönbeck (Hrsg.): *Technik und Wissenschaft*. (Technik und Kultur, Band 3) Düsseldorf, 1991. S. 269–295, S. 277.

<sup>103</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*, S. 2.

<sup>104</sup> Für Sachverhalte, zu denen Boyle dennoch implizit oder auch explizit eine aristotelische Haltung einnahm, vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 228–229, Endnote 16 und S. 285, Endnote 66. Für Boyles Lob auf Aristoteles‘ Aufforderung, die Natur zu studieren, vgl. Robert Boyle: *Some Considerations Touching The Usefulness of Experimental Natural Philosophy*. In *The Works*, Band II, S. 5–10.

<sup>105</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*, S. 10–15.

<sup>106</sup> Vgl. ebd. S. 70–71; Robert Boyle: *Some Specimens of An Attempt to make Chymical Experiments useful to illustrate the notion of the Corpuscular Philosophy*. Aus: *Certain Physiological Essays*. In *The Works*, Band I, S. 354–359, S. 355.

<sup>107</sup> Steven Shapin: ‚Woher stammt das Wissen in der wissenschaftlichen Revolution?‘ In: Michael Hagner (Hrsg.): *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*. S. 43–103, S. 78. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 159–161, S. 292.

<sup>108</sup> Vgl. Peter Anstey: ‚Philosophy of Experiment in Early Modern England: The Case of Bacon, Boyle and Hooke‘, in *Early Science and Medicine* 19, Nr. 2 (2014), 103–132, S. 131.

<sup>109</sup> Vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 432.

<sup>110</sup> Andreas Kleinert: ‚Technik und Naturwissenschaften im 17. und 18. Jahrhundert‘. S. 270–271.

zugrenzen. Den Begriff des „Neuen“ setzen sie in „nahezu obsessiver Weise“ in vielen Buchtiteln ein.<sup>111</sup>

Drittens brachte Boyle ein Argument ins Spiel, mit welchem schon die Humanisten vor ihm regelmäßig begründeten, zurück zu den Originalquellen der antiken Philosophen zu gehen<sup>112</sup>: Die Schüler des Aristoteles hätten als schlechte „Kopisten“ seine Lehre beim Abschreiben verfälscht, hätten sie aus Faulheit ohne Sorgfalt oder aber als reiner Selbstzweck angewandt.<sup>113</sup> Letzteres bedeutete, Beobachtungen ohne Klassifizierung, ohne Beschreibungen oder ohne die Möglichkeit einer Überprüfung durch Dritte bloß anzuhäufen.<sup>114</sup> Sie brächten dem Kollektiv der Naturphilosophen damit keinen Nutzen.<sup>115</sup>

Diese Ablehnung war für die sich im 17. Jahrhundert als „neu“ erklärende Naturforschung typisch, barg sie doch den Vorteil, gegenüber dem tradierten Wissen zwei flexibel einsetzbare Argumente zu haben: Soweit die aristotelische Lehre an sich noch akzeptabel war, konnte man sich darauf berufen, dass sie durch mangelhafte Überlieferung korrumpiert worden war.<sup>116</sup> War an der Überlieferung wiederum nichts auszusetzen, konnten ihre ursprünglichen Prinzipien angegriffen werden.<sup>117</sup> Im Schul- und Privatunterricht setzte sich Boyle mit der aristotelischen Lehre auseinander, der entgegenzuwirken er sich zur Lebensaufgabe machen sollte.<sup>118</sup> Ebenfalls in seinen Jugendjahren begegnete Boyle jedoch im Kontext des sogenannten „Hartlib-Zirkels“ rund um den Gelehrten Samuel Hartlib zum ersten Mal der „Neuen Naturphilosophie“, der er sich ab den späten 1640er-Jahren als positives Gegenstück zum Aristotelismus widmete.<sup>119</sup>

### **3.2 Beobachtende und experimentelle Forschung – die „Neue Naturphilosophie“ vor Boyle**

#### **3.2.1 Galileo Galilei**

Galileo Galilei (1564–1642) forderte, die Natur in mathematisch formulierte Gesetze zu schreiben, weil das der Natur entspreche:

„Die Philosophie ist in diesem gewaltigen Buch geschrieben, das beständig unseren Augen offen steht, ich nenne es das Universum. Doch man kann es nicht verstehen, wenn man nicht die Sprache zu verstehen lernt, und die Buchstaben zu beherrschen lernt, in denen es geschrieben ist. Es ist geschrieben in der Sprache der Mathematik, und seine Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren, unbemittelt derer auch nur ein Wort zu verstehen menschenunmöglich ist. Ohne diese wandelt man einen Irrweg durch ein obskures Labyrinth.“<sup>120</sup>

<sup>111</sup> Vgl. Paolo Rossi: *Die Geburt der modernen Wissenschaft in Europa*. S. 75–76.

<sup>112</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*. S. 30–33.

<sup>113</sup> Steven Shapin: ‚Woher stammt das Wissen in der wissenschaftlichen Revolution?‘ In: Michael Hagner (Hrsg.): *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*. S. 55–56.

<sup>114</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 26.

<sup>115</sup> Robert Boyle: *Some Considerations Touching The Usefulness of Experimental Natural Philosophy*. In *The Works*, Band II, S. 10.

<sup>116</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 25; Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*, S. 59.

<sup>117</sup> Vgl. Marie Boas Hall: *Robert Boyle on Natural Philosophy*, S. 177–179.

<sup>118</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 104.

<sup>119</sup> Vgl. ebd. S. 65–77.

<sup>120</sup> Galileo Galilei: *Il Saggiatore*. In: *Le Opere di Galileo Galilei*. Band 4, S. 145–369, S. 171: („La filosofia è scritta in questo grandissimo libro, che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l’Universo), ma non si può

Boyle schrieb in seinen Jugenderinnerungen, dass zu seiner ersten italienischen Lektüre auf der Florentiner Station seiner Kavaliertour auch die Bücher des „großen Sterngucker[s]“ („the great star-gazer“), [...] „dieses berühmten *Galileo*“ („this famous *Galileo*“)<sup>121</sup> gehörten. Galileo wies dabei Experimenten eine ebenso wichtige als auch im Vergleich zu Boyles späterer Umsetzung unterschiedliche Rolle in der Naturphilosophie zu.

Den entscheidenden Unterschied in der Anwendung von Experimenten zwischen Galileo und Boyle meine ich in der unterschiedlichen Zielsetzung ihrer beiden wohl berühmtesten Experimente feststellen zu können: Galileo setzte seinen Versuchsaufbau der schiefen Ebene dafür ein, die Gleichförmigkeit des freien Falls jedes Körpers unabhängig von seiner Masse zu demonstrieren, kurz seine schon davor aufgestellten Fallgesetze zu beweisen. Die schiefe Ebene sollte die Bewegung eines idealen Körpers im idealen Raum (das heißt unter anderem ohne Luftwiderstand) unter nicht idealen Bedingungen approximieren und damit erst messbar machen. Ein mechanischer Versuchsaufbau sollte mathematisch errechenbar werden lassen, was der Sinneserfahrung ohne fremde Hilfe widersprach. Das bloße Auge sah eine leichte Feder und eine schwere Kugel nicht gleich schnell fallen.<sup>122</sup>

Robert Boyle dagegen war es selten um eine quantitativ messbare, mathematisch formulierte Messung oder gar Gesetzmäßigkeit gelegen. Das sogenannte „Boyle’sche Gesetz“ oder „Boyle-Mariotte’sche Gesetz“ ist bei ihm nicht viel mehr als eine Randbemerkung.<sup>123</sup> Vielmehr dienten seine Experimente mit der Vakuumpumpe dazu, Bedingungen herzustellen, die in der gewöhnlichen Atmosphäre nicht zu beobachten waren. Die Unterschiede liegen im Vergleich zu ausschließlich spekulativer oder bloß beobachtender Wissenschaft freilich in Nuancen: Das eine ist eine Messhilfe, um den gewöhnlichen Fortgang der Naturphänomene erfahrbar werden zu lassen, das andere ein Eingriff in eben diesen Fortgang, um einen neuen, veränderten Fortgang der Naturphänomene zu ermöglichen. Das Adjektiv „neu“ im Titel der *New Experiments Physico-Mechanical* mag unter anderem ein modischer Aufputz zur Abgrenzung von der traditionellen Scholastik gewesen sein, doch vermittelte das Buch tatsächlich bis dahin nie erprobte Experimente.

### **3.2.2 William Harvey**

William Harvey (1578–1657) wies 1628 als Erster den Blutkreislauf nach: eine Idee, die er mit einer experimentell gestützten Methode ersonnen hatte. Sargent schreibt, dass es nicht völlig klar sei, ob zu dieser Entdeckung Experimente auch unbedingt notwendig waren.<sup>124</sup> Offensichtlich oder leicht verständlich waren Harveys aufwendige Experimente nämlich nicht. Unter anderem waren nämlich die für den Blutkreislauf essentiellen Kapillaren ohne das erst später erfundene Mikroskop nicht sichtbar.<sup>125</sup> So konnte die Exaktheit seiner Experimente und damit seine Theorie mit den da-

---

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 intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto.”)

<sup>121</sup> Robert Boyle: *An Account of Philaretus*, in: *The Works*, Band I, S. xxiv.

<sup>122</sup> Vgl. Andreas Kleinert: „Technik und Naturwissenschaften im 17. und 18. Jahrhundert“, S. 272–276.

<sup>123</sup> Robert Boyle: *A Defence of the Doctrine against the Objections of Franciscus Linus*, in: *The Works*, Band I, S. 158.

<sup>124</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 109.

<sup>125</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences. European Knowledge and its Ambitions, 1500–1700*. Basingstoke, 2001. S. 146.

mals üblichen Argumenten gegen experimentelles Forschen bezweifelt werden. Warum sich die Idee des Blutkreislaufs dennoch vergleichsweise rasch durchsetzte, wird hier nicht näher ergründet. Für Boyle jedenfalls war die Theorie „unseres berühmten Harvey[s]“ (“our famous Harvey”)<sup>126</sup>, „dieses großen Förderers von anatomischem Wissen, Dr. *Harvey*“ (“of that great promoter of anatomical knowledge, Dr. *Harvey*”)<sup>127</sup>, „[u]nseres englischen *Demokrits*, Dr. *Harvey*“ (“Our English *Democritus*, Dr. *Harvey*”)<sup>128</sup> ein Paradebeispiel für experimentelle Methoden des Forschens. Boyle selbst musste indessen für deren Anerkennung noch kämpfen. Den Grund für die Anerkennung von Harveys Entdeckungen sah Boyle auch in der Arbeit von dessen Anhängern und Schülern, die seine Experimente fortführten und die Theorie des Blutkreislaufs damit untermauerten.<sup>129</sup> Diese Ansicht spiegelte sich auch wider in Boyles Selbstverständnis als einer von vielen, die seiner Arbeit vorangegangen waren oder sie fortsetzen würden.<sup>130</sup>

### **3.2.3 René Descartes**

Robert Boyle berief seine mechanistische Philosophie unter anderem in besonderem Maße auf René Descartes (1596–1650).<sup>131</sup> Dem Experimentieren wies dieser aber einen ganz anderen Platz in der Naturphilosophie zu. Der rationale Verstand sollte apriorische, also noch vor die Erfahrung gesetzte, mathematische oder geometrische Prinzipien hervorbringen. Descartes „erste[r] Grundsatz der Philosophie“ war der folgende: Alles wäre ungewiss, alles ließe sich anzweifeln, doch dieses Zweifeln an sich nicht und damit auch das Denken an sich nicht. Wer denkt, existiert: „Ich denke, also bin ich.“<sup>132</sup> Descartes ermutigte zum Experimentieren und stellte auch eigene Versuche an. Er reihte seine Experimente im Forschungsprozess jedoch weit nach hinten, oder sie dienten ihm schlicht der Demonstration statt der Überprüfung seiner Prinzipien.<sup>133</sup>

In einer enorm komplexen Welt standen Naturphänomene immer in Beziehung zu vielen Naturphänomenen, so wie etwa Regen mit Sonnenlicht, Temperatur, Luftdruck und Wind gleichzeitig zusammenhängt. Experimente konnten Licht in diese vielfältigen Beziehungen bringen, indem sie die Aufmerksamkeit von Beobachtungen darüber stärkten, was womit wie zusammenhing. Descartes konkretisierte dieses Vorgehen von rationalen Prinzipien hin zu einer Erklärung von Naturphänomenen am Beispiel der Theorie des Blutkreislaufs von William Harvey. Deren experimenteller Nachweis hätte gezeigt, wie Experimente eine Verbindung zwischen Naturgesetzen und Einzelfällen belegen könnten.<sup>134</sup>

Neues Wissen oder gar neue Naturgesetze zu entdecken blieb aber nach Descartes dem rationalen wie auch skeptischen, menschlichen Verstand vorbehalten. Experimenten wies Descartes damit

---

<sup>126</sup> Robert Boyle: *Some Considerations Touching The Usefulness of Experimental Natural Philosophy*. In *The Works*, Band II, S. 22.

<sup>127</sup> Ebd. S. 31.

<sup>128</sup> Ders.: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: *The Works*, Band I, S. 109.

<sup>129</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 83.

<sup>130</sup> Robert Boyle: *A Defence of the Doctrine against Linus*, *The Works*, Band I, S. 121.

<sup>131</sup> Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 106.

<sup>132</sup> René Descartes: *Discours de la Méthode. Französisch – Deutsch*. Übersetzt und herausgegeben von Lüder Gäbe. Hamburg, 1964. S. 53.

<sup>133</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences. European Knowledge and its Ambitions, 1500–1700*. Basingstoke, 2001. S. 90–95.

<sup>134</sup> Vgl. René Descartes: *Discours de la Méthode*. S. 67–99.

eine illustrative Rolle für bekanntes Wissen zu. Seine Skizzen von Experimenten sollten offenbar als solche Gedankenstützen dienen, indem sie verbildlichten und damit vereinfachten, was sich der Verstand zuvor ausgedacht hatte. Solche einfach gehaltenen Zeichnungen bildeten nicht zu untersuchende, einzelne Phänomene ab, sondern verdinglichten generelle Prinzipien.<sup>135</sup> Wiewohl Boyle Descartes auch schätzte, bedeutete diese Anschauung des Experimentierens für ihn eine gefährliche Neigung zum Systematisieren. Denn das Wissen zu systematisieren, bedeutete für Boyle nur solange eine nützliche Tätigkeit, wie die Vermeidung von redundanten Experimenten schlichte Arbeitersparnis erlaubte; oder wenn sie Neugierde erwecken konnte, indem sie Wissenslücken offenbarte. Doch die Gefahr bestand darin, abgeschlossenes Wissen auch sehr schnell zu absolut gesichertem Wissen zu erklären, das keinerlei Überprüfung mehr bedurfte.<sup>136</sup>

### **3.2.4 Francis Bacon**

Francis Bacon (1561–1626) stellte in seinem Werk *Novum Organum* 1620 die Forderung, ein als „Naturgeschichte“ titulierte Programm der Naturforschung auf empirischer Grundlage aufzustellen. Vor den Theorien, die große Zusammenhänge herstellen, sollte zuerst ein systematisches wie auch breites Fundament an Beobachtungen angelegt werden, das heute „Datenbasis“ genannt würde: Eine große Sammlung, die möglichst alle Naturphänomene klassifiziert und beschreibt. Sehr wohl müsse die Naturphilosophie letztlich die Gesetze erarbeiten, die die Natur regieren.<sup>137</sup> Großen Theoriegebäuden fehlte bis dato schlicht das Fundament, diese zu stützen.<sup>138</sup> Bacon beschrieb das Verhältnis zwischen Einzelfall und Gesetz in einem genau formulierten Aphorismus:

„Nun existiert in der Natur zwar nichts außer individuellen Körpern, die rein individuelle Handlungen nach einem festen Gesetz verrichten. Jedoch ist in der Philosophie genau dieses Gesetz, und sind seine Erforschung, Entdeckung und Erklärung, die Basis sowohl des Wissens wie auch der Vorgehensweise.“<sup>139</sup>

Dieses Verständnis der Welt verbot es, von den Einzelfällen direkt zu systematisierenden Theorien zu gehen. Ebenso erteilte Bacon eine Absage an rein deduktives Vorgehen zum „festen Gesetz“, das aus obersten Prinzipien alle anderen Gesetze und Einzelfälle ableitet:

<sup>135</sup> Vgl. die von Peter Dear reproduzierten Skizzen Descartes, Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*. S. 92–95.

<sup>136</sup> Vgl. Robert Boyle: *Certain Physiological Essays*, in: *The Works*, Band I, S. 301–303; Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 27–37.

<sup>137</sup> Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. S. 228; Steven Shapin: ‚Woher stammt das Wissen in der wissenschaftlichen Revolution?‘ In: Michael Hagner (Hrsg.): *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*. S. 66.

<sup>138</sup> Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 52; Steven Shapin: ‚Woher stammt das Wissen in der wissenschaftlichen Revolution?‘ In: Michael Hagner (Hrsg.): *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*. S. 43–44; John Henry: ‚Empirismus‘, In: Friedrich Jaeger (Hrsg.): *Enzyklopädie der Neuzeit*, Band 3, S. 271–276, S. 273.

<sup>139</sup> Francis Bacon, *Novum Organum*, II. Buch, Aphorismus II, S. 120: („For though in nature nothing really exists beside individual bodies, performing pure individual acts according to a fixed law, yet in philosophy this very law, and the investigation, discovery, and explanation of it, is the foundation as well of knowledge as of operation.“) Steven Shapin überspringt „For though [...]“ und den Satzteil ab „according to a fixed law“ in Steven Shapin: ‚Woher stammt das Wissen in der wissenschaftlichen Revolution?‘, S. 70, was der Komplexität des Satzes auch im dortigen Kontext nicht gerecht wird.

„Die Feinheiten der Natur übersteigen die der Sinne oder des Verstehens bei Weitem; deshalb sind die Kontemplationen, Spekulationen und Theorien der Menschheit nichts weiter als eine Art des Wahnsinns, [...]“<sup>140</sup>

Aus praktischen Gründen verbot es die bisherige Geschichte der Wissenschaften, aus ihren Leistungen das Wissen zu systematisieren, weil die „Naturgeschichte“ schlicht fehlte oder aber entgegen ihrer Aufgabe nie verlässlich aufgebaut wurde:

„Auf dem Gebiet der Erfahrung [...] ist bisher keine Anstrengung dafür gemacht worden, einen Vorrat einzelner Beobachtungen entweder in hinreichender Anzahl, Art oder Gewissheit anzulegen, um das Verständnis zu unterrichten, oder in irgendeiner adäquaten Weise. Im Gegenteil, gelehrte Männer, bequem wie auch obendrein untätig, nahmen zum Aufbau oder zur Bestätigung ihrer Philosophie gewisse Gerüchte und vage Geschichten oder Anflüge von Erfahrung, und gaben diesen die Gewichtung rechtmäßiger Beweise. [...] Nichts gebühlich Untersuchtetes, nichts Nachgewiesenes, nichts Gezähltes, nichts Gewogenes, nichts Gemessenes, ist in der Naturgeschichte zu finden. Und was in der Beobachtung lose und vage ist, ist in den Kenntnissen irreführend und betrügerisch.“<sup>141</sup>

Bacon berichtete selbst nur von wenigen Experimenten, die er eigens durchgeführt hatte.<sup>142</sup> Doch sein Entwurf einer neuen, empirisch arbeitenden Naturforschung erstreckte sich nicht nur auf beobachtende Erfahrungen. Er forderte auch mit mehreren Argumenten das Experimentieren als aktiven, manipulativen Eingriff des Menschen in die Natur und legte mit seinen theoretischen Schriften ein Fundament, auf das Robert Boyle sein eigenes Experimentalprogramm aufbaute. Boyle folgte Bacon in seinen Ansichten über die Naturgeschichte und die Naturphilosophie und erwähnte ihn in seinen eigenen Schriften stets mit lobenden Worten.<sup>143</sup> In ehrfurchtsvoller Weise nannte er ihn meist bei seinem Adelstitel „Lord Verulam“.<sup>144</sup>

Später sollte an Boyle die Kritik geäußert werden, dass Experimente ein erstens künstliches und daher nicht der Natur entsprechendes und zweitens gedankenloses Schaffen seien.<sup>145</sup> Doch laut Ba-

<sup>140</sup> Francis Bacon, *Novum Organum*, I. Buch, Aphorismus X, S. 48: („The subtilty [sic!] of nature is far beyond that of sense or of the understanding: so that the specious meditations, speculations, and theories of mankind, are but a kind of insanity, [...]“)

<sup>141</sup> Francis Bacon, *Novum Organum*, I. Buch, Aphorismus XCVIII, S. 94–95: („Now for grounds of experience [...] as yet [...] no search has been made to collect a store of particular observations sufficient either in number, or in kind, or in certainty, to inform the understanding, or in any way adequate. On the contrary, men of learning, but easy withal and idle, have taken for the construction or for the confirmation of their philosophy certain rumours and vague fames or airs of experience, and allowed to these the weight of lawful evidence. [...] Nothing duly investigated, nothing verified, nothing counted, weighed, or measured, is to be found in natural history: and what in observation is loose and vague, is in information deceptive and treacherous.“)

<sup>142</sup> Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 231.

<sup>143</sup> Vgl. J.J. MacIntosh, Peter Anstey: Robert Boyle. In: Stanford Encyclopedia of Philosophy, <https://plato.stanford.edu/entries/boyle>, einführender Teil. Abgerufen am 24.10.2017; Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 300–301; oder Joseph Agassi: *The Very Idea of Modern Science. Francis Bacon and Robert Boyle*. S. 129.

<sup>144</sup> Vgl. Robert Boyle: *Some Considerations Touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy. The Second Tome*. In *The Works*, Band III, S. 392–425, S. 423: „ein so verständiger Freund der Philosophie und der Menschheit, wie Sir Francis Bacon“ („so judicious a friend to philosophy and mankind, as Sir Francis Bacon“); Ders.: *New Experiments Physico-Mechanical*, *The Works*, Band I, S. 1–117, S. 87: „der erlauchte Verulam“ („the illustrious Verulam“); Ders.: *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. In *The Works*, Band I, S. 118–185, S. 151: „unser erlauchter Verulam“ („our illustrious Verulam“); Ders.: *An Experimental History of Cold begun*. In *The Works*, Band II, S. 462–734, S. 468: „unser großer Verulam“ („our great Verulam“).

<sup>145</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 159–161; Steven Shapin: „Woher stammt das Wissen in der wissenschaftlichen Revolution?“, S. 78.

con ergänzte gerade kunstvolles Experimentieren die unmittelbaren menschlichen Sinneseindrücke um die notwendige rationale Sichtweise. Bloße Beobachtungen könnten „lose und vage“ („loose and vague“) und die Sinneswahrnehmungen „irreführend und betrügerisch“ („deceptive and treacherous“)<sup>146</sup> sein und daher nur die Oberfläche der Naturphänomene berühren. Experimente hingegen könnten gerade wegen ihres künstlichen, also durch den Menschen geplanten, Aufbaus unter diese Oberfläche vordringen:

„Wie auch in den Angelegenheiten des Lebens können die Disposition und die unsichtbaren Umtriebe des Verstandes und Gemütsbewegungen eines Menschen besser in Zeiten der Not als in anderen erforscht werden; ebenso offenbaren sich die Geheimnisse der Natur bereitwilliger in der Knochenarbeit der Kunst, als auf ihrem eigenen Wege.“<sup>147</sup>

Boyle sollte dem später noch hinzufügen, dass in der Künstlichkeit des Experimentierens auch eine bessere Kontrolle über die Vorgänge lag. Und da die Vorgänge kontrolliert und ihre Einzelheiten dem Wissenschaftler bekannt waren, würde auch die Urteilskraft für ihre Zusammenhänge gestärkt.<sup>148</sup>

Zusammenfassend lässt sich über Bacon schreiben, dass er für die Naturphilosophie ein wohl ausgewogenes Verhältnis verschiedener Wege des Forschens forderte, zwischen a) dem Einsatz der begrenzten menschlichen Rationalität oder Verstandeskraft zu abstrahieren, zu verknüpfen, zusammenzufassen oder zu prognostizieren, b) den über die Sinneseindrücke gewonnenen Beobachtungen, und c) dem sorgfältigen Ausprobieren und Manipulieren mittels Experimenten:

„Diejenigen, die die Wissenschaften betrieben, sind entweder Männer des Experiments oder Männer des Dogmas gewesen. Die Männer des Experiments sind wie Ameisen, die bloß sammeln und benützen; die Denker gleichen Spinnen, die aus ihrem eigenen Stoff Spinnennetze weben. Nur die Biene nimmt einen Mittelweg; sie sammelt ihr Material von den Blumen des Gartens und des Feldes, doch wandelt und verdaut sie es aus eigener Kraft. Das ähnelt der wahren Ausübung der Philosophie; weil sie weder ausschließlich oder hauptsächlich auf die Verstandeskraft baut noch das Material im Gedächtnis speichert, wie sie es in der Naturgeschichte und in mechanischen Experimenten vorgefunden hat; anstatt dessen speichert sie das Material in veränderter und verdauter Weise ab. Deswegen kann viel erhofft werden aus einem engeren und reineren Bündnis zwischen diesen beiden Fähigkeiten, der experimentellen und der rationalen (wie es bisher noch nie gemacht wurde).“<sup>149</sup>

<sup>146</sup> Francis Bacon, *Novum Organum*, Buch I, Aphorismus XCVIII, S. 94.

<sup>147</sup> Ebd. Buch I, Aphorismus XCVIII, S. 95: („For even as in the business of life a man’s disposition and the secret workings of his mind and affections are better discovered when he is in trouble than at other times; so likewise the secrets of nature reveal themselves more readily under the vexations of art than when they go their own way.“) Als ausgebildeter Jurist, der mit heutigen Justizministern vergleichbare Ämter bekleidete, gebrauchte Bacon juristische Begriffe metaphorisch für seine wissenschaftstheoretischen Ausführungen. Forderte Bacon auch zu einer „Folterung“ der Natur auf? Der Historiker David Wootton verneint dies angesichts der zu dieser Frage erschienenen Forschungsliteratur. Vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 314–315, 629–630.

<sup>148</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 159, S. 214.

<sup>149</sup> Francis Bacon: *Novum Organum*, Buch I, Aphorismus XCV, S. 92–93: („Those who have handled sciences have been either men of experiment or men of dogmas. The men of experiment are like the ant; they only collect and use: the reasoners resemble spiders, who make cobwebs out of their own substance. But the bee takes a middle course; it gathers its material from the flowers of the garden and of the field, but transforms and digests it by a power of its own. Not unlike this is the true business of philosophy; for it neither relies solely or chiefly on the powers of the mind, nor does it take the matter which it gathers from natural history and mechanical experiments and lay it up in the memory whole, as it finds it; but lays it up in the understanding altered and digested. Therefore from a closer and purer league between these two faculties, the experimental and the rational, (such as has never yet been made) much



Dieses Zitat zeigt, warum Bacon in England zur Leitfigur der „Neuen Naturphilosophie“ werden konnte, ohne selbst viele Experimente durchgeführt zu haben. Er verlieh ihr eine sprachgewandte Stimme, indem er gegen die aristotelische Wissenschaft polemisierte, und statte die experimentelle Forschung mit argumentativen Rechtfertigungen aus. Boyle schloss sich Bacons Forderung nach einem Mittelweg an.<sup>150</sup> Doch 50 Jahre nach Bacons *Novum Organum* und nach über zwei Jahrzehnten eigener Forschung klagte er immer noch über die fehlende naturgeschichtliche Grundlage für sein Lebenswerk.<sup>151</sup> Boyle sah den Grund dafür aber nicht nur in dem Müßiggang seiner wissenschaftlichen Vorfahren, sondern auch in der ungeheuren Vielfalt der Natur selbst begründet: Einerseits hätte kaum jemand sich an einer systematisch aufgebauten Naturgeschichte auch nur versucht. Andererseits jedoch wäre es kaum zu vermeiden, dass spätere Entdeckungen die früher getroffenen Erkenntnisse immer wieder umstießen.<sup>152</sup>

Angesichts dieser unvollständigen Faktenlage schrieb Boyle, dass er sich erst einmal bescheiden geben müsse und zunächst gerne ein „Hilfsarbeiter“ („under-builder“) sei oder auch im sprichwörtlichen „Steinbruch“ („quarry“) erst einmal das Material für die experimentelle Naturphilosophie ausgrabe.<sup>153</sup> Über seine *New Experiments Physico-Mechanical* am Anfang seiner naturwissenschaftlichen Publikationstätigkeit schrieb Boyle tatsächlich genau das:

„[...] [E]s war nicht mein hauptsächliches Anliegen, Theorien und Prinzipien festzuschreiben. Vielmehr wollte ich Experimente konzipieren, und die Naturgeschichte mit sorgfältig angestellten und notierten Beobachtungen bereichern. Diese und ähnliche Beiträge von anderen sollten die Menschen mit der Zeit mit einem ausreichenden Vorrat an Experimenten ausrüsten, auf dem sie Hypothesen und Theorien bauen.“<sup>154</sup>

Francis Bacon war eine hauptsächliche Bezugsperson für Boyle, was die Motivation für und den Zweck von experimentellem Arbeiten anbelangt. Dies zeigen die Ähnlichkeiten der Ansichten der beiden, in denen sich Boyle außerdem häufig explizit und ehrerbietig auf Bacon bezog. Während dieser jedoch vor allem grundlegende, theoretische Ansprüche für die zukünftige Ausrichtung der Naturphilosophie formulierte, konzentrierte sich Boyle auf die praktische experimentelle Arbeit. Mehr als Bacons programmatische Schriften sind Boyles Überlegungen über das Experimentieren deswegen durch seine Perspektive der experimentellen Praxis und die daraus entstehenden Kontroversen mit seinen Zeitgenossen geprägt.

---

may be hoped.”) Boyle verwendete eine ganz ähnliche Metapher, vgl. Robert Boyle: *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy*. In *The Works*, Band II, S. 9.

<sup>150</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 41; Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 109.

<sup>151</sup> J.J. MacIntosh, Peter Anstey: Robert Boyle. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/boyle>, einführender Teil. Abgerufen am 24.10.2017.

<sup>152</sup> Robert Boyle: *The Excellency of Theology*. *The Works*, Band IV, S. 1–66, S. 59.

<sup>153</sup> Ders.: *Proëmial Essay*. Aus *Certain Physiological Essays*, in: *The Works*, Band I, S. 307. Sargent merkt an, dass diese und ähnliche Bezeichnungen typisch etwa für Francis Bacon, Galileo Galilei oder John Locke gewesen seien, vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 64, S. 235.

<sup>154</sup> Robert Boyle: *A Defence of the Doctrine against Linus*, *The Works*, Band I, S. 121: (“[...] it was not my chief design to establish theories and principles, but to devise experiments, and to enrich the history of nature with observations faithfully made and delivered; that by these and the like contributions made by others, men many in time be furnished with a sufficient stock of experiments, to ground hypotheses and theories on.”)

### **3.3 Boyles Beweggründe für das Experimentieren in der Auseinandersetzung mit seinen Zeitgenossen**

#### **3.3.1 Künstliche Experimente geben Aufschluss über die natürliche Welt**

Eine von Boyles grundsätzlichen Überzeugungen über das Wesen der natürlichen Welt lautete, dass Gott die Welt als eine Einheit schuf, in der überall die gleichen Naturgesetze galten. Gott hätte die Welt, ihre Naturgesetze und ihre Naturphänomene auch ganz anders gestalten können, tatsächlich war sie aber wie aus einem Guss. Wenn also nun verschiedene Experimente verschiedene Ergebnisse hervorbrachten, konnte das viele Gründe haben, nicht aber eine Kontingenz oder offene Veränderlichkeit der natürlichen Welt. Genau dies sah Boyle auch als Grundlage dafür, dass Experimente überhaupt mehr als nur über sich selbst etwas aussagen konnten. Wenn die Natur einheitlichen Regeln folgte, dann konnte ein sorgfältig ausgedachtes Experimentalprogramm der Natur diese Regeln hinter der nur scheinbaren Kontingenz der Naturphänomene entlocken. Experimente mögen etwas vom Menschen künstlich Geschaffenes sein, doch folgten sie immer noch den gleichen Regeln wie vom Menschen unbeeinflusste Vorgänge in der Natur. Boyle verglich etwa die chemischen Prozesse in einem kleinen Schmelzofen mit denen im brodelnden Inneren eines Vulkans, wie er aus Reiseberichten erfahren hatte:

„Da nun diese Erzeugnisse des Feuers der Natur eigener Machart sind und ihre Natürlichkeit nicht bestritten werden kann, sehe ich keinen Grund, aus welchem gleiche Erzeugnisse des Feuer nicht so genannt werden dürften, und das nur, weil das Feuer, das die einen erzeugte, durch Zufall in einem Berg entfacht wurde, und jenes Feuer, welches die anderen ergab, von einem Menschen in einem Brennofen entfacht wurde.“<sup>155</sup>

Nichts steht hier von einer göttlichen Harmonie oder einer göttlichen Allmacht, die Boyle als besonders religiöser Mensch doch sein Leben lang betonte und erforschte. Boyles wissenschaftliche Nachfolger wiederum sahen keine große Schwierigkeit darin, seine naturwissenschaftlichen Schriften unabhängig von seinen religiösen Überzeugungen zu lesen. Michael Hunter begründet diese Trennbarkeit mit der strikten Forderung Boyles, naturwissenschaftliches Wissen auf Beobachtungen und Experimenten zu bauen.<sup>156</sup>

Wer oder was die Welt geschaffen hatte und warum, ist bei der Lektüre von Boyles naturwissenschaftlichen Büchern viel weniger von Bedeutung als die Beschaffenheit dieser Welt, meine ich. Wer ein völlig anderes Bild von der Schöpfung der Welt vertrat als Boyle, konnte sich mit ihm nicht einig werden. Wem es jedoch darum ging, die Naturgesetze und Naturphänomene zu erforschen, musste sich bei der Lektüre von Boyles Werk mit Gott nicht zwingend auseinander setzen. Gleichwohl lag für Boyle die Begründung seines Experimentalprogramms tief in seinem Glauben verankert.

<sup>155</sup> Ders.: *The Origin of Forms and Qualities, according to the Corpuscular Philosophy*, in: *The Works*, Band III, S. 52: (“Since then these productions of the fire being of nature’s own making, cannot be denied to be natural bodies, I see not why the like productions of the fire should be thought unworthy that name, only because, the fire that made the former was kindled by chance in a hill, and that which produced the latter was kindled by a man in a furnace.”)

<sup>156</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 254.

### **3.3.2 Experimente sind nicht durch den Verstand im Vorhinein bestimmt**

Boyles Zeitgenossen wie etwa Baruch Spinoza, Thomas Hobbes, Margaret Cavendish oder Gottfried Wilhelm Leibniz beanspruchten für die Mathematik oder für die Geometrie als rationale, deduktive Wissenschaften die Basis aller anderen Wissenschaften zu sein, aus deren Prinzip das weitere Forschen deduktiv abgeleitet werden kann. Die Philosophin und Schriftstellerin Margaret Cavendish zum Beispiel räumte dem Verstand einen Vorrang vor der Erfahrung ein. Beobachtungen und Experimente könnten nicht darüber hinausgehen, was nicht schon der Verstand herausgefunden hatte.<sup>157</sup> Eine ähnlich kritische Haltung gegenüber Experimenten nahm Gottfried Wilhelm Leibniz ein. Er urteilte über Boyle, dass seine unzähligen Experimente keine Erkenntnissicherheit gebracht hätten, und seiner Ansicht nach nicht dem richtigen Ziel der Wissenschaft gedient hätten:

„Ich würde mich wundern, wenn M. Boyle, der so viele schöne Experimente durchgeführt hat, nicht auf eine Theorie über die Chemie gekommen wäre, nachdem er so viel darüber sinniert hat. Aber in seinen Büchern, und in allen Schlüssen, die er aus seinen Beobachtungen zieht, schlussfolgert er nur, was uns allen offensichtlich ist, dass alles mechanisch stattfindet. Vielleicht ist er zu vorsichtig. Herausragende Menschen müssen auch ihre Vermutungen kundtun, und sie sind im Unrecht, wenn sie nur sichere Tatsachen mitteilen wollen.“<sup>158</sup>

Leibniz konnte sich in dieser Meinung, laut Marie Boas Hall, der Zustimmung vieler Zeitgenossen sicher sein. Über Cavendishs und Leibniz' Haltung fügen Hunter und Boas Hall eine wichtige Nuance hinzu: Sie beide loben Boyles Experimente oder zeigen sich angesichts von spektakulären Demonstrationen sogar begeistert. Doch richtige Philosophie war, sowohl für Cavendish als auch für Leibniz, nur eine solche, die gesicherte Theorien hervorbringen konnte, und damit verdiente die experimentelle Philosophie Boyles diese Beschreibung nicht.<sup>159</sup>

Eine ähnliche Ansicht über den Stellenwert der Mathematik und Geometrie und daraus folgend, über die experimentelle Naturphilosophie, vertrat Baruch Spinoza. Sargent beschreibt einen Austausch zwischen Spinoza und Boyle, den die beiden indirekt führten, mittels ihrer Korrespondenz mit dem Sekretär der Royal Society, Henry Oldenburg: Wo die Mathematik die Mechanik der Natur nicht zuallererst exakt berechnet habe, schrieb Spinoza, könnten Experimente diese nie bestimmen und erst recht nicht glaubhaft beweisen. Experimente könnten daher nicht das Fundament der Naturphilosophie sein.<sup>160</sup> Boyles mathematische Bildung erlaubte es ihm, sich mit den mathematischen Schriften seiner Zeitgenossen auseinander zu setzen. Doch war sie ihm zu sehr auf idea-

<sup>157</sup> Vgl. ebd. S. 156–157; Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 310.

<sup>158</sup> Gottfried Wilhelm Leibniz: Brief an Christiaan Huygens vom 29.12.1691 (8.1.1692), in: Ders.: *Mathematischer, Naturwissenschaftlicher und Technischer Briefwechsel*, Band 5 1691–1693. Bearbeitet von Heinz-Jürgen Hess. Berlin, 2003. S. 241: („Je m'etonnerois si M. Boyle qui a tant de belles experiences ne seroit arrivé `quelque theorie sur la Chymie après y avoir tant medité. Cependant dans ses livres et pour toutes consequences qu'il tire des ses observations, il ne conclut que ce que nous sçavons tous sçavoir, que tout se fait mecaniquement. Il est peustestre trop reservé. Les hommes excellens nous doivent laisser jusqu'à leur conjectures, et ils ont tort, s'ils ne veulent donner, que des verités certaines.“) Ich danke Damita Pressl für die Hilfe bei der Übersetzung. (Anmerk. d. Verf.)

<sup>159</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 157, und Marie Boas Hall: *Robert Boyle on Natural Philosophy*. Bloomington, 1965. S. 43.

<sup>160</sup> Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 38–39.

le Gedankengänge beschränkt, um sie auf seine experimentelle und damit praktische Arbeit anzuwenden.<sup>161</sup> Boyle formulierte eine differenzierte Haltung zur Mathematik:

„[...] [D]och die Gewissheit und Genauigkeit, die dem zugeschrieben wird, was sie [die Mathematiker, Anmerk. d. Verf.] liefern, muss darauf beschränkt bleiben, was sie betreffend die rein mathematischen Disziplinen lehren, Arithmetik und Geometrie. Dort werden die Neigungen der Quantität abstrakt betrachtet. Doch dürfen wir von den Mathematikern nicht die gleiche Genauigkeit erwarten, wenn sie Beobachtungen über jene Dinge liefern, in denen nicht nur Menge und Zahl, sondern Materie und ihre anderen Eigenschaften betrachtet werden müssen.“<sup>162</sup>

Boyles zweifache Antwort auf Spinoza beschreibt Sargent dann so: Erstens wäre es gar nicht das Ziel seiner Experimente, unmittelbar zu den Gesetzen der Mechanik der Natur zu gelangen. Zweitens könne sich die Mathematik nur theoretisch ausdrücken. Weil aber, in Anlehnung an Bacon, der menschliche Verstand und die menschlichen Sinneseindrücke trügerisch seien, müsse dies zu falschen Annahmen über die Natur führen.<sup>163</sup>

### **3.3.3 Wer keine Experimente anstellt, den werden die Sinne täuschen**

Boyle sprach sich, aufgrund möglicher Trugschlüsse durch den Verstand und durch Sinneseindrücke, dagegen aus, Experimente als Gedankenexperimente nur in der Vorstellung durchzuführen. Er bediente sich in der Auseinandersetzung mit Franciscus Linus des Werkes von Blaise Pascal, um die Relevanz von aufwendiger experimenteller Forschung an sich zu demonstrieren.<sup>164</sup> In seinen *Hydrostatical Paradoxes* dagegen kritisierte Boyle, dass Pascal seine Gedankenexperimente nicht als solche gekennzeichnet hatte. Es musste Pascal nämlich an, mit der nötigen Präzision hergestellten, Versuchsmaterialien gefehlt haben, um sie tatsächlich durchzuführen.<sup>165</sup>

Boyle selbst legte lange Listen von zu seiner Zeit technisch noch unmöglichen Versuchen an und beschrieb, wie man sie ausführen könnte, die notwendigen Mittel vorausgesetzt.<sup>166</sup> Anders als Pascal unterschied er dabei jedoch zwischen unmöglicher, gescheiterter und erfolgreicher Ausführung eines Experiments.<sup>167</sup> Denn sich sicher zu sein, dass das Gedankenexperiment in der praktischen Ausführung so wie geschrieben ablaufen müsse, bedeutete, sich auf die trügerischen Sinne oder auf die begrenzte Verstandeskraft zu verlassen. Damit könnten frühere Erfahrungen falsch verstanden oder aber nicht auf neue Umstände angewandt vorgestellt werden, was zu Trugschlüssen führen würde. Deshalb könnte Pascal anhand seiner Erfahrung und seiner Vorstellung keine Gewissheit

<sup>161</sup> Vgl. Marie Boas Hall: *Robert Boyle on Natural Philosophy*. Bloomington, 1965. S. 55–56.

<sup>162</sup> Robert Boyle: *Certain Physiological Essays. Two Essays, Concerning the Unsuccessfulness of Experiments*. In: *The Works*, Band I, S. 347: (“[...] yet the certainty and accurateness, which is attributed to what they deliver, must be restrained to what they teach concerning those purely-mathematical disciplines, arithmetic and geometry, where the affections of quantity are abstractedly considered: but we must not expect from mathematicians the same accurateness, when they deliver observations concerning such things, wherein it is not only quantity and figure, but matter, and its other affections, that must be considered.”)

<sup>163</sup> Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 66–69.

<sup>164</sup> Vgl. Robert Boyle: *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. In: *The Works*, Band I, S. 118–185, S. 151–155.

<sup>165</sup> Vgl. Robert Boyle: *Hydrostatical Paradoxes*. In: *The Works*, Band II, S. 738–797, S. 745–746, 766.

<sup>166</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: *The Works*, Band I, S. 64.

<sup>167</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 174.

der daraus gezogenen Erkenntnisse beanspruchen. Tatsächlich konnte Boyle die Ergebnisse einiger Gedankenexperimente korrigieren, indem er diese selbst durchführte.<sup>168</sup>

Boyle warnte in seinen Notizen zum offenbar geplanten *Essay of the Discernment of Suppositions* vor allzu schneller Zustimmung zu „nicht genügend offenkundigen Dingen“ (“things not sufficiently evident”).<sup>169</sup> Vor solchen Trugschlüssen waren auch gelehrte Philosophen nicht gefeit, weil laut Boyle Menschen allgemein Ideen mehr Glauben schenkten, als ihnen bewusst war. Die Notizen führen ihre verschiedenen Titel als „Köpfe“ (“Heads”)<sup>170</sup> an, was Boyle offenbar als Platzhalter für weitere Ausführungen verstand. Diese „Köpfe“ warnten vor Sinnestäuschungen:

- „Menschen nehmen Dinge im Allgemeinen als einheitlicher an, als sie es tatsächlich sind. [...]“
- Menschen nehmen an, dass sie selbst und ihre Sinnesorgane im gleichen Zustand verharren, wenn sie es tatsächlich nicht tun. [...]
- Menschen sind sich nicht ausreichend dessen bewusst, wie weit eine vermeintlich schwacher Umstand oder eine schlichte Variation reichen mag, um beträchtliche Auswirkungen zu produzieren.“<sup>171</sup>

Boyles offensichtlichste Methode, mit den Tücken des Verstandes und der Sinne umzugehen, ist sein Experimentalprogramm als Ganzes. Dieses noch näher zu untersuchende Experimentalprogramm erschöpfte sich nicht in der Ausführung einzelner Versuche. Erst seine Experimente als Einheit, vermute ich, leisteten die von Bacon geforderte „Knochenarbeit der Kunst“. In der Detailarbeit seiner Experimente legte Boyle großen Wert darauf, seine Wahrnehmungen in der Niederschrift eindeutig als solche zu kennzeichnen.

Er arbeitete mit allen fünf Sinnen – Hören, Fühlen, Sehen, Riechen und Schmecken – was an sich noch nichts Besonderes gewesen wäre, doch benannte er in seinen Aufzeichnungen die Quelle seiner Interpretationen eindeutig.<sup>172</sup> Bei Experiment XXI<sup>173</sup> in den *New Experiments Physico-Mechanical* war sich Boyle selbst nicht sicher, ob er nicht von seinen Sinnen hinters Licht geführt worden war, und drückte das auch genauso aus. Seine Reaktion darauf war, sich selbst ein Urteil über die beobachteten Phänomene zu verweigern, und noch einmal zu vorsichtigem Schlussfolgerungen aufzurufen:

„So begabt sind wir darin, zu Fehlern geleitet zu werden, sogar von Experimenten selbst, wenn wir nicht bedenken, dass die meisten Effekte von mehreren Ursachen her stammen, oder wenn wir nur diejenigen Umstände unseres Experiments beachten, die mit unserer vorgefassten Hypothese oder unseren vorgefassten Vermutungen übereinstimmen.“<sup>174</sup>

<sup>168</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 147; Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 66–69.

<sup>169</sup> Vgl. Robert Boyle: Notizen zum *Essay of the Discernment of Suppositions*, in *Boyle Papers* der Royal Society. Band IX, Blatt 12v.–15r. Online verfügbar unter: [http://www.bbk.ac.uk/boyle/boyle\\_papers/bp09\\_docs/bp9\\_012v-013r.htm](http://www.bbk.ac.uk/boyle/boyle_papers/bp09_docs/bp9_012v-013r.htm). Abgerufen am 10.6.2017.

<sup>170</sup> Ebd. Blatt 15r.

<sup>171</sup> Ebd. Blatt 15r.

<sup>172</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*. Experiment XIV, S. 30–31., S. 31; Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 177–178.

<sup>173</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: *The Works*, Band I, Experiment XXI, S. 45–47.

<sup>174</sup> Ebd. S. 47: (“So apt are we to be misled, even by experiments themselves, into mistakes, when either we consider not that most effects may proceed from various causes, or mind only those circumstances of our experiment, which seem to comply with our preconceived hypothesis or conjectures.”)

### **3.3.4 Verzweiflung über jene, die Experimente nicht oder nicht ausführlich durchführen**

Mit seinem als politischem Philosophen berühmten Zeitgenossen Thomas Hobbes (1588–1679) verband Boyle eine jahrelange Auseinandersetzung über die Rechtfertigung experimenteller Forschung und Boyles Schlussfolgerungen über das Gewicht und die Federkraft der Luft.<sup>175</sup> Von Hobbes wurde die Kontroverse erstaunlich affektiert geführt. Boyle behielt im Vergleich dazu einen ruhigeren Ton bei, stand aber offenbar immer wieder am Rande intellektueller Verzweiflung darüber, dass Hobbes den *New Experiments Physico-Mechanical* widersprach, ohne jedoch selbst experimentelle Belege für seine Meinung ins Feld zu führen.

Hobbes sah durch Boyles Experimente bloß seine eigenen Hypothesen bestätigt, wie er 1661 in seinem *Dialogus Physicus de Natura Aëris* schrieb, aus dem ich in der englischen Übersetzung von Simon Schaffer in *Leviathan and the Air-Pump* zitierte.<sup>176</sup> Boyles mühselige Arbeit hätte nicht mehr erbracht, als er, Hobbes, selbst ohnehin schon herausgefunden hätte: „Warum solche Maschinerien, warum solcher Aufwand für Maschinen solch komplexer Bauweise, nur um zu jenem Punkt zu gelangen, den Hobbes bereits erreicht hatte?“<sup>177</sup> Die Erbitterung, mit der die Auseinandersetzung zumindest von Hobbes auf persönliche Ebene hinabgezogen wird, wird noch deutlicher im von ihm so empfundenen und wörtlich so beschriebenen „Hass gegen Hobbes [*odium Hobbi*]“<sup>178</sup>, dem er sich ausgesetzt sah, sowie in der Feststellung Hobbes‘ über die Mitglieder der Royal Society: „Sie alle sind meine Feinde.“<sup>179</sup>

Diese letzte Eskalation der Worte nahm Boyle in seinem *Examen of Mr. T. Hobbes’s Dialogus Physicus* nicht im gleichen Maße auf, als er sich offenbar genau darauf bezog: „[...] Ich habe einige provokante und sehr unberechtigte Ausdrücke unkommentiert gelassen, die er auf der gleichen Seite und sogar in diesem Absatz verwendet, [...]“<sup>180</sup> Ähnlich wie Spinoza warf Hobbes der Royal Society und damit Boyle vor, dass ihre Experimente nicht stärkere Gewissheit brächten als Beobachtungen der gleichen Phänomene, wie sie die Natur selbst hervorbrachte:

„Diese Experimente, die Sie in den Sitzungen sehen, deren Experimente Zahl wohlbekannt gering ist, die Sie dennoch für genügend halten; doch gibt es nicht, glauben Sie nicht, genug am hohen Himmel und in den Meeren und auf der weiten Erde?“<sup>181</sup>

<sup>175</sup> Vgl. Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air-Pump*. S. 176–177.

<sup>176</sup> Vgl. Thomas Hobbes: *Dialogus Physicus de Natura Aëris*. Zitiert nach der englischen Übersetzung von Simon Schaffer in Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton, 1985. S. 345–391.

<sup>177</sup> Ebd. S. 379: “Why such apparatus and the expense of machines of difficult manufacture, just so as you could get as far as Hobbes had already progressed?”

<sup>178</sup> Ebd.: (“hatred of Hobbes [*odium Hobbi*]”)

<sup>179</sup> Ebd. S. 348 (Edition S. 237): “All of them are my enemies.” Nachdem sich dieser Satz erst in der Widmung zur 1668 erschienen zweiten Auflage findet, hat sich seit der ersten Auflage Hobbes‘ Verhältnis zur Royal Society offenbar nicht wesentlich verbessert.

<sup>180</sup> Robert Boyle: *An Examen of Mr. T. Hobbes’s Dialogus Physicus*, in: *The Works*, Band I, S. 233: “[...] I have left unrecited several provoking and very undeserved expressions he employs in the same page, and even that passage, [...]”

<sup>181</sup> Thomas Hobbes: *Dialogus Physicus*, S. 351: (“Those experiments you see in the meetings, which experiments indeed are well known to be few, you will believe to be sufficient; but are there not enough, do you not think, shown by the high heavens and the broad Earth?”)

Solch eine Experimentalphilosophie könnte niemals mit hinreichender Sicherheit die Ursachen der Naturphänomene bestimmen. Vielmehr sollte Philosophie von eindeutigen und sicheren Prinzipien ausgehen.<sup>182</sup> Falls sie das zu erreichen nicht einmal versuchte, wäre sie nicht mehr als ein Handwerk und dürfte sich gar nicht Philosophie heißen.<sup>183</sup> Doch Boyle und seine Mitstreiter dachten gar nicht daran, einzelne, deduktiv abgeleitete Prinzipien zum Ausgangspunkt ihrer Forschung zu nehmen. Vielmehr orientierten sie sich an einem Prozess, dessen Anfang und Ende nicht das Wichtigste war. Stattdessen machten sie Beobachtungen und Experimente zum Zentrum ihrer Philosophie.<sup>184</sup>

Boyle nahm die von Hobbes spöttisch gemeinte Bezeichnung „Experimentalphilosoph“ („experimental philosopher“) als stolze Selbstbezeichnung auf<sup>185</sup> und bemühte sich, Hobbes' Argumente in eine positive Begründung für sein Werk zu verwandeln. Er verteidigte seine aufwendigen Experimente unter anderem damit, dass diese fähig gewesen wären, die verschiedenen möglichen Ursachen eines Phänomens näher zu ergründen. Die „künstlichere Versuchsreihe“ könnte dann bestimmen, welche die „wahre Ursache sei“. <sup>186</sup> Die „Wahrheit“ sollte hier wohl nicht als „absolute Wahrheit“ gelesen werden, weil Boyle von ihr keineswegs ein simples Verständnis zeigte. Im Experimentieren zwischen mehreren Ursachen zu wählen hieß für Boyle jedenfalls auch zu falsifizieren; eine Methode, die hier als substantielles Merkmal des heuristischen Experimentalprogramm aufgefasst wird.

In der Auseinandersetzung mit Hobbes möchte ich Boyle mit seinen eigenen Aussagen sekundieren, die das Experimentieren als Arbeitsweise grundsätzlich begründen. Zu diesem Zweck sollen Variationen der Tierversuche herangezogen werden, die Boyle bereits in seinen *New Experiments Physico-Mechanical* beschrieben hatte. Hobbes bestritt Boyles Schlussfolgerungen, die dieser daraus über die Atmung zog:

„Glauben Sie, die Tiere wurden so schnell getötet, weil es ihnen an Luft mangelte? Wie können dann Taucher unter Wasser überleben, da doch manche, die es von Kindheit an gewohnt sind, eine ganze Stunde ohne Luft bleiben? Die gewaltsame Bewegung, die auch Blasen [Schweinsblasen aus anderen Versuchen, Anmerk. d. Verf.] ausdehnt und zerbricht ist es, die die im Glaskolben eingeschlossenen Tiere tötet.“<sup>187</sup>

Nachdem Hobbes gewisse Details der Tierversuche Boyles aber nicht kommentierte, hatte er offenbar nicht gemerkt, wie diese seinen eigenen, das heißt Hobbes', Ansichten widersprachen. Denn gegen Ende der *New Experiments Physico-Mechanical* beschrieb Boyle zwei solche Experimente, die Hobbes widerlegen. Zum ersten sperrte Boyle einen Vogel in die sorgfältig versiegelte Vakuumpumpe, ohne jedoch die Pumpe selbst zu bedienen. Nach einer Dreiviertelstunde starb auch dieser

---

<sup>182</sup> Vgl. ebd. S. 353, S. 369, S. 379.

<sup>183</sup> Ebd. S. 383.

<sup>184</sup> J.J. MacIntosh, Peter Anstey: Robert Boyle, Kapitel 6: Boyle's Philosophy of Experiment.

<sup>185</sup> Robert Boyle: An Examen of Mr. T. Hobbes's Dialogus Physicus, in: The Works, Band I, S. 187.

<sup>186</sup> Ebd. S. 193: "that a more artificial trial may determine which one is the true."

<sup>187</sup> Thomas Hobbes: *Dialogus Physicus*, S. 366–367: "Do you believe that those animals were killed so quickly due to the fact that they lacked air? Then how do divers live underwater, when some, being used to it from childhood, go without air for a whole hour? The very violent motion by which the enclosed bladders are distended and broken kills those animals contained in the receiver."

Vogel auf drastisch geschilderte Weise.<sup>188</sup> Und zum Zweiten bemerkte Boyle, dass die verwendeten Tiere noch nicht unbedingt dem Tod geweiht waren, wenn sie in der evakuierten Pumpe die ersten Anzeichen eines Todeskampfes gaben. In einer seltenen Erwähnung von weiblichen Zeugen seiner Experimente schrieb Boyle von der Rettung eines Vogels:

„Wegen des Mitleids einiger holder Damen [...], die mich dazu bewegten, hastig etwas Luft beim Absperrhahn hineinzulassen, erreichte das keuchende Tier sogleich wieder einen Zustand, in dem es sich der Fürsorge der Damen erfreuen konnte.“<sup>189</sup>

Hobbes' Kritik mutet angesichts der sorgfältigen Abänderung von Boyles Versuchen unwissenschaftlich an. Seiner Vermutung über die platzende Lunge als Todesursache der Versuchstiere widersprechen diese Experimente nämlich meiner Meinung nach offensichtlich. Hobbes ignorierte damit auch die Beschreibung Boyles, der die toten Vögel sezieren hatte lassen, dabei aber keine Veränderung der Lungen feststellen konnte.<sup>190</sup> Wären außerdem die Lungen der Vögel tatsächlich explodiert, wäre der erste Vogel nicht so langsam gestorben, oder aber er wäre in Ermangelung einer von Hobbes behaupteten „gewaltsamen Bewegung“ überhaupt nicht verendet. Und der zweite Vogel hätte sich unter einer solchen Annahme nicht wieder erholen können, jedenfalls nicht so schnell. Das gilt selbst unter der Prämisse Hobbes', dass auch eine langsamere, kontinuierliche Bewegung eine Membran wie die Lunge zerstören könnte.<sup>191</sup> Es ist schließlich nicht zu erwarten, dass die Lunge so schnell geheilt wäre, gleichwohl sie davor nicht in einer einzigen, abrupten Bewegung geplatzt wäre.

Hobbes' Aussage führte Boyle, aus der heutigen Kenntnislage heraus begründet nachvollziehbar, zu der Annahme, dass Hobbes selbst keine oder kaum Experimente durchführte. Boyle widerlegte mit seinen Experimenten eine nicht erprobte Vermutung und lieferte damit für die Notwendigkeit von Experimenten eine gewissermaßen negative Begründung, denn doppelt verneint verdeutlichte er: Es ist notwendig, nicht keine Experimente anzustellen. Angesichts der prinzipiellen Unvereinbarkeit der Einwände Hobbes' mit seinen eigenen Ansichten machte sich bei Boyle offenbar eine gewisse Verzweiflung breit: „Wenn das [Hobbes' weitere Kritik im Verlauf seiner Antwort auf Boyle, Anmerk. d. Verf.] eine ausreichende Antwort auf solch ein Experiment sein soll, muss ich befürchten, dass es schwieriger noch wird als wir annahmen, auch nur irgendetwas mit Experimenten zu beweisen.“<sup>192</sup>

Schon zuvor hatte Boyle im *Proëmium Essay* aus den *Certain Physiological Essays* jene Gruppe unter seinen wissenschaftlichen Kollegen ausgemacht, die seinen Respekt am wenigsten verdienten. Wenig überraschend seien das diejenigen gewesen, die selbst keine experimentellen Anstrengungen unternahmen:

<sup>188</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: The Works, Band I, S. 105.

<sup>189</sup> Ebd.: (“[...] by the pity of some fair ladies [...] who made me hastily let in some air at the stop-cock, the gasping animal was presently recovered, and in a condition to enjoy the benefit of the ladies compassion.”)

<sup>190</sup> Vgl. ebd. S. 98.

<sup>191</sup> Thomas Hobbes: *Dialogus Physicus*, S. 372–373.

<sup>192</sup> Robert Boyle: *An Examen of Mr. T. Hobbes' s Dialogus Physicus*, in: The Works, Band I, S. 202: (“But, if this be a sufficient answer to such an experiment, I confess I fear it will be harder than we are yet aware of, to prove any thing by experiments.) Für Boyles Gebrauch des heute anders definierten Begriffs „Beweis“ (“proof”), vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 415–416.



„Nun, andererseits, wenn eingebildete Autoren, um sich einen Namen zu verschaffen, sich dazu anmaßen, der Welt solche Dinge aufzudrängen, unter dem Begriff von experimentellen Wahrheiten oder sogar großen Mysterien, während sie jedoch weder selbst die Mühsal auf sich genommen haben, davon selbst Versuche anzustellen, noch diese von einer glaubwürdigen Person bekundet bekamen, welche beteuert, diese versucht zu haben: Dann, in solchen Fällen, sehe ich nicht ein, wie wir verpflichtet sein sollten solchen Autoren, die keine Anstrengungen unternommen haben, sich von Irrtum oder Betrug fern zu halten, nein, die sich nicht darum scherten, wie sie uns missbrauchen, um sich Reputation zu verschaffen, den gleichen Respekt angedeihen lassen sollten, den wir jenen schuldig sind, die, wie sie die Wahrheit auch verfehlt haben, sie gefunden zu haben glauben, und sowohl vorhatten, sie zu vermitteln, und auch einige (wenn auch glückliche) Anstrengungen unternommen haben, dass sie uns nichts anderes vermitteln.“<sup>193</sup>

Neben der Debatte mit Hobbes führte Boyle einen anders, konstruktiver gelagerten, Disput mit seinem Zeitgenossen Franciscus Linus. Dieser hatte in seinem 1661 erschienenen Werk *Tractatus de corporum inseparabilitate* die Experimente Boyles über Gewicht und Federkraft der Luft seiner eigenen, aristotelisch geprägten, Neuinterpretation unterzogen.<sup>194</sup>

Anders als Hobbes sprach sich Linus nicht pauschal gegen das Experimentieren aus, sondern stellte einige von Boyles Experimenten selbst auf die Probe.<sup>195</sup> Dafür lobte ihn Boyle, bei allen sachlichen Differenzen, und erarbeitete mit dem Buch *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus* eine ausführliche Erwiderng.<sup>196</sup> Doch führte eine komplizierte Hilfstheorie ohne experimentellen Beleg in Linus' Werk Boyle zu folgender Entgegnung: „Denn dies zu sagen, heißt es nur zu behaupten, nicht jedoch es zu beweisen.“ (“Since to say so, is but to affirm, not to prove.”)<sup>197</sup> Wer Experimente nicht auch selbst in aller Gründlichkeit durchführte, oder überhaupt nicht durchführte, der hatte keinen Beitrag zur Wissensfindung geleistet. Dem Experimentator Boyle selbst dagegen konnte wohl niemand vorwerfen, dass er seine praktischen Ansprüche an sein hier postuliertes Experimentalprogramm nicht auch selbst eingelöst hätte.

### **3.4 Boyles religiöse Motivation zum experimentellen Forschen**

Boyles Glaube – „wohl die zentrale Tatsache seines Lebens“<sup>198</sup> – galt ihm, infolge seiner daraus geprägten Weltanschauung, als der wichtigste Grund dafür, Naturphilosophie zu betreiben, und zwar

<sup>193</sup> Robert Boyle: *Certain Physiological Essays. Proëmial Essay*, in: *The Works*, Band I, S. 312–313: (“[...] so, on the other side, when vain writers, to get themselves a name, have presumed to intrude upon the credulous world such things, under the notion of experimental truths, or even great mysteries, as neither themselves ever took the pains to make trial of, nor received from any credible persons that professed themselves to have tried them: in such cases, I see not how we are obliged to treat writers, that took no pains to keep themselves from mistaking or deceiving, nay, that cared not how they abuse us to win themselves a name, with the same respect, that we owe to those, who though they have missed of the truth, believe they had found it, and both intended to deliver it, and took some (though not prosperous) pains, that they might convey nothing else to us.”)

<sup>194</sup> Vgl. Franciscus Linus: *Tractatus de corporum inseparabilitate; in quo experimenta de vacuo, tam Torricelliana, quàm Mageburgica, & Boyliana, examinatur*. London, 1661. Vgl. die schneller zur Hand gehenden Zitate und Beschreibungen aus Linus' Werk in Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 156–169; Robert Boyle: *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. In *The Works*, Band I, S. 118–185.

<sup>195</sup> Vgl. Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 160.

<sup>196</sup> Vgl. Robert Boyle: *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. In *The Works*, Band I, S. 118–185, S. 120, S. 152.

<sup>197</sup> Ders.: *A Defence of the Doctrine*, in: *The Works*, Band I, S. 164.

<sup>198</sup> Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 204: (“arguably the central fact of his life.”)

experimentelle Naturphilosophie.<sup>199</sup> Seine ausgesprochen „eklektische Einstellung“ („eclectic attitude“)<sup>200</sup> in Fragen der Theologie oder der Metaphysik untersagt eine einfache Kategorisierung seines Glaubens in Begriffe wie etwa Anglikanismus. So ist eine eindeutige Zuordnung zu einer der damals in England vorherrschenden protestantischen Konfessionen nicht möglich. Unabhängig von konfessionellen Kategorisierungen betrieb Boyle ein lebenslanges Bibelstudium. Dieses half ihm dabei, seine bisweilen aufkommenden Zweifel über seinen Glauben auszuräumen.<sup>201</sup> Letztlich verschafften ihm seine religiösen Studien die Gewissheit, dass er nicht nur in gutem Glauben auf Gott vertrauen konnte, sondern auch der richtigen Religion angehörte.<sup>202</sup>

Sargent fasst überzeugend zusammen, dass Boyle die Naturphilosophie als Anbetung an Gott und seine wissenschaftliche Praxis als verpflichtenden<sup>203</sup> Gottesdienst verstand.<sup>204</sup> Aus Dutzenden Belegen und Zitaten von Boyle selbst, die Sargent anführt, finde auch ich zwei Passagen aus Boyles *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy* aus den frühen 1660er-Jahren besonders aufschlussreich.

Zum einen bediente sich Boyle bei mehreren Philosophen, unter anderem bei Seneca beziehungsweise aus der von ihm seit seiner Jugend besonders hoch geschätzten Stoa<sup>205</sup>, und entlieh hier die Bezeichnung von der Welt als „Tempel“ („temple“). In diesem sollte der Mensch als „Priester“ („priest“) oder sogar „Priester der Natur“ („priest of nature“) Gott lobpreisen, stellvertretend für die Geschöpfe Gottes, die dies nicht konnten oder Gott nicht begreifen konnten.<sup>206</sup> Solche Ideen aus dem antiken römischen Kontext interpretierte Boyle offensichtlich im christlichen Kontext und forderte eine Verpflichtung zum christlichen Gottesdienst, insbesondere in der Form von Naturforschung durch den neugierigen Naturphilosophen“:

„Denn die Werke Gottes gleichen nicht den Kunstgriffen der Gaukler oder den Festumzügen, die die Fürsten belustigen, da das Staunen der Verschleierung bedarf. Vielmehr bemisst die Kenntnis der Werke Gottes unsere Bewunderung dafür. Die Werke Gottes sind so sehr Teil der unerschöpflichen Vollkommenheit ihres Urhebers und geben viel darüber preis, dass wir umso mehr Fußspuren und Eindrücke der Vollkommenheit ihres Schöpfers entdecken, je mehr wir sie beschauen. Unsere höchste Wissenschaft kann uns nur eine angemessenere Verehrung seiner Allwissenheit geben. [...] Die Existenz Gottes ist in der Tat so leserlich auf die Kreaturen geschrieben, dass (wie die Schrift in anderem Sinne spricht) *Er sie geläufig lesen kann*; selbst ein nachlässiger Betrachter, der es nicht zu seiner Angelegenheit macht, kann es wahrnehmen: nur dass dieser Gott in diesen Kreaturen eine Macht, eine Weisheit, und eine Güte würdig seiner selbst offenbart hat, braucht einen aufmerksamen und gewissenhaften Verständigen, es zu entdecken. Wie unterschiedliche Vorstellungen von Gottes Weisheit ergeben die Eier von Hennen in ihren gewöhnlichen Essern, und [S. 31] in neugierigen Naturalisten, die vorsichtig betrachten, und gewissenhaft beobachten, von Zeit zu Zeit, den wunderbaren Fortschritt der Natur im Heranwachsen eines Kükens, von der ersten Veränderung in der *Cicatricula* (oder der im

<sup>199</sup> Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 215.

<sup>200</sup> Ebd. S. 88.

<sup>201</sup> Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 101.

<sup>202</sup> J.J. MacIntosh, Peter Anstey: Robert Boyle, Kapitel 2.2: Miracles.

<sup>203</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 88.

<sup>204</sup> Vgl. ebd. S. 91–92.

<sup>205</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 49–50.

<sup>206</sup> Robert Boyle: *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy*. In *The Works*, Band II, S. 32.

Mantel des Eigelbs erkennbare kleine weißliche Fleck) bis zum Durchbrechen der Eierschale durch den perfekt ausgebrüteten Vogel.“<sup>207</sup>

Sorgfältige Beobachtung der Natur lässt den Menschen die Macht Gottes kennenlernen. Die Vielfalt der belebten und unbelebten Natur lässt ihren Beobachter staunen, zum Beispiel über die angeborene Eigenschaft von Seidenraupen, kostbare Seide zu spinnen und sich später von einem Kriechtier zu einem wunderbaren Schmetterling zu entwickeln. Die Astronomie als andere Form der Naturbeobachtung wiederum verdeutlicht dem Menschen seine bescheidene Position auf dem Planeten Erde, dem die kosmischen Vorgänge des riesigen Universums gegenüberstehen.

Wer daher die Natur nur oberflächlich betrachtete, möge die Natur als von Gott unabhängiges Wunderwerk wahrnehmen, auf Gott vergessen und eine atheistische Position einnehmen.<sup>208</sup> Wer aber die Vielfalt, Größe und Macht der Schöpfung sorgfältig studierte, könnte gar nicht anders, als Gott anzubeten.<sup>209</sup> Dennoch sah sich Boyle wohl aus Vorsicht vor unbenannten „Gegnern“ („adversaries“) und aus Respekt vor der Kirche dazu verpflichtet, seinen Bemerkungen über Atheismus ausdrücklich voranzustellen, dass er an Gott und seine Schöpfung der Welt glaubte.<sup>210</sup>

Boyles tiefverwurzelter Glaube an Gott lässt sich als Ausgangspunkt seiner Neigung zur Naturphilosophie verstehen. Seine Motivation dazu, über bloße Beobachtung hinaus auch zum Experimentieren zu gehen, sehe ich im Zusammenspiel von drei Motiven begründet: In seinem voluntaristischen Bild der Schöpfung, seiner Art des Bibelstudiums und in seiner Sorge vor Atheismus.

1. Bei aller Abwägung und bei allem Skrupel, Boyle festen Kategorien der Philosophie oder Theologie zuzuordnen<sup>211</sup>, vertreten sowohl Hunter als auch Sargent die Meinung, dass Boyles Verständnis der göttlichen Schöpfung der Welt ein überwiegend voluntaristisches war.<sup>212</sup> Boyle glaubte, dass Gott die Welt auch anders hätte erschaffen können, als sie sich darbietet, und auch die Naturgesetze Gottes Willen zu jedem Zeitpunkt unterworfen waren, und dass er sie daher auch verändern könnte.<sup>213</sup> Im Gegensatz zu Boyles Voluntarismus neigten Anhänger des intellektualistischen Bild der Schöpfung zur Auffassung, dass Gott an sein eigenes Wesen gebunden gewesen wäre. Sein Handeln folgte damit notwendigerweise aus seinem Wesen heraus.<sup>214</sup> Wenn Gottes Wille aber,

<sup>207</sup> Ebd. S. 30: (“For the works of God are not like the tricks of jugglers, or the pageants, that entertain princes, where concealment is requisite to wonder; but the knowledge of the works of God proportions our admiration of them, they participating and disclosing so much of the inexhausted perfections of their author, that the further we contemplate them, the more footsteps and impressions we discover of the perfections of their Creator; and our utmost science can but give us a juster veneration of his omniscience. [...] The existence of God is indeed so legibly written on the creatures, that (as the Scripture speaks in another sense) *He may run, that reads it*; that is, even a perfunctory beholder, that makes it not his business, may perceive it: but that this God hath manifested in these creatures a power, a wisdom, and a goodness worthy of himself, needs an attentive and diligent surveyor to discover. How different notions of God's wisdom do the eggs of hen produce in the ordinary eaters of them, and [p. 31] in curious naturalists, who carefully watch, and diligently observe, from time to time, the admirable progress of nature in the formation of a chick, from the first change appearing in the *cicatricula* (or little whitish speck discernible in the coat of the egg's yolk) to the breaking of the egg-shell by the perfectly hatched bird.”)

<sup>208</sup> Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. S. 322–323.

<sup>209</sup> Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 93.

<sup>210</sup> Robert Boyle: *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy*. In *The Works*, Band II, S. 35.

<sup>211</sup> Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 210.

<sup>212</sup> Ebd. S. 100–102.

<sup>213</sup> Vgl. Robert Boyle: *An Examen of Mr. T. Hobbes's Dialogus Physicus*, in: *The Works*, Band I, S. 236.

<sup>214</sup> Vgl. John Henry: ‘Voluntarist Theology at the Origins of Modern Science. A Response to Peter Harrison’, in *History of Science* 47, Heft 1 (2009), S. 79–113, S. 79–82.

Boyles voluntaristischem Weltbild folgend, veränderlich wäre, könnte der Mensch Gottes Beweggründe oder Gedanken nie zur Gänze verstehen. Daher müsste er sich davor hüten, seine ganze Schöpfung auf einmal entschlüsseln oder verstehen zu wollen. Gott hatte vielleicht die Welt wie einen Mechanismus erschaffen, der von seinem Schöpfer abhängig war.<sup>215</sup> Er selbst war aber kein Mechanismus.<sup>216</sup> Laut Boyle passte mit ihren einfachen Prinzipien die mechanistische Philosophie gut zur im Prinzip ebenfalls einfachen Schöpfung der Welt.<sup>217</sup> Dem Menschen war daher beschieden, Gottes Schöpfung so gut wie möglich zu erklären.<sup>218</sup> Boyle behauptete jedoch nicht, die mechanistische Naturphilosophie endgültig beweisen oder vollkommen erklären zu können.<sup>219</sup> Sein gesamtes Werk lässt sich als Mahnung gegen zu frühe Theoriebildung und Systematisierung und als Appell für Ergebnisoffenheit lesen.<sup>220</sup>

Einer späteren Generation von Forschern könnte, nach Boyles Vorstellung, ein endgültiger Nachweis der Richtigkeit der mechanistischen Naturphilosophie und damit ein vollkommenes Verständnis der Welt vielleicht gelingen.<sup>221</sup> Dieser Zeitpunkt war jedoch in eine weit entfernte Zukunft gelegt, als Resultat der Arbeit einer als Kollektiv wirkenden Gruppe von Forschern, wie es sie zu Boyles Lebzeiten auch mit der Royal Society nicht gab. Als Vorleistung für diese Gruppe sah er seine eigene Arbeit, wenn er von sich selbst als „Hilfsarbeiter im Steinbruch“ schrieb. Als Vorbild für diese in die Zukunft gerichtete Vorstellung einer fruchttragenden, auf nützliche Zwecke ausgerichteten Naturphilosophie diente Boyle wahrscheinlich „Haus Salomons“ aus dem utopischen Werk *New Atlantis* von Francis Bacon.<sup>222</sup>

Ich bemerke dazu, dass sich für Boyle eine Parallele zwischen dem Beweis der mechanistischen Naturphilosophie und der sicheren Erkenntnis von Gottes Schöpfung zeigte, und könnte mir dies als apokalyptische Hoffnung Boyles vorstellen, im Sinne einer Enthüllung göttlichen Wissens. Das Durchschauen der natürlichen Welt wird eintreten, wenn der Mensch am Ende der Zeit dem wieder erschienenen Messias ins Auge blicken wird. Bis dahin jedoch war eine intellektuelle Bescheidenheit gefragt, die sich damit zufrieden geben sollte, nicht Gottes Werk im Gesamten überschauen zu können. Gott war die sichere Wahrheit und Allwissenheit. Solcher Art waren die wenigen, theologischen Gewissheiten Boyles. Von der Natur könnte der Mensch jedoch stets nur ein ungesichertes Wissen erlangen, das er immer weiter ausbaute und verfeinerte.<sup>223</sup> Die Abneigung Boyles ge-

<sup>215</sup> Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. S. 297.

<sup>216</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 88–89, 203–204.

<sup>217</sup> Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. S. 298.

<sup>218</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 176–177.

<sup>219</sup> Vgl. Alan Chalmers: 'Robert Boyle (1627–1691)', in: Andrea Woody, Robin Findlay Henry et al. (Hrsg.): *Philosophy of Chemistry*. Amsterdam, 2012. S. 47–53, S. 51; Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 173; Peter Anstey: 'Robert Boyle and the heuristic value of mechanism', in *Studies in History and Philosophy of Science* 33, Heft 1 (2002), S. 161–174, S. 173.

<sup>220</sup> Vgl. Robert Boyle: *Proëmial Essay*. Aus: *Certain Physiological Essays*, in: *The Works*, Band I, S. 303.

<sup>221</sup> Vgl. wie oben zitiert: Robert Boyle: *A Defence of the Doctrine against Linus*, in: *The Works*, Band I, S. 121: ("[...] men may in time be furnished [...]"); Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 38, S. 62; Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*, S. 140.

<sup>222</sup> Vgl. Francis Bacon: *New Atlantis*. London, University Tutorial Press, ohne Jahr. (Ursprünglich 1627 posthum erschienen, Anmerk. d. Verf.); Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. S. 229.

<sup>223</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 148.

genüber systematisierender Philosophie lässt sich also ebenfalls aus seinen religiösen Ansichten heraus erklären.<sup>224</sup>

2. Im Zusammenhang mit diesem voluntaristischen Bild der Entstehung der Welt führte Boyles Bibelstudium ihn zu seiner experimentellen Naturphilosophie. Boyle lernte in seiner Jugend neben seiner englischen Muttersprache auch Latein, Französisch und Italienisch. Als Erwachsener eignete er sich in den 1650er-Jahren Kenntnisse des Hebräischen und Griechischen an, und versuchte sich in Aramäisch und Arabisch<sup>225</sup>. Während tägliches Bibelstudium zu seiner Ausbildung selbstverständlich dazugehörte<sup>226</sup>, las er, dem Bericht eines befreundeten Wissenschaftlers nach, jeden Tag in der Früh ein Kapitel des Alten Testaments in seiner originalen hebräischen Sprache und eines des Neuen Testaments auf Griechisch.<sup>227</sup>

Michael Hunter beschreibt, dass Boyle Ende der 1640er-Jahre und Anfang der 1650er-Jahre mit Experimentieren begann. Im gleichen Zeitraum entwickelte er laut Hunter beim Studium der Bibel und anderer theologischen Texte ein neues Textverständnis, das er erstmals in seinem damals verfassten *Essay of the Holy Scriptures* darlegte. Hunter bezeichnet diese neue Lesart als neue „Gelehrsamkeit“ („erudition“). Diese neue Gelehrsamkeit ging ursprünglich von Altphilologen in der Renaissance aus, die sich intensiv mit der Sprache der Bibel auseinandersetzten. Im Mittelalter begriffen sich im damaligen Heiligen Römischen Reich viele Menschen noch als unmittelbare Nachfolger des antiken Römischen Reichs. Das bedeutete, dass sie auch keinen Begriff einer Zäsur zwischen der Antike und dem Mittelalter hatten, und damit keinen wesentlichen Unterschied zwischen der Zeit der Bibel und ihrer eigenen Gegenwart ausmachten, wie es heute für selbstverständlich gilt. Zur Zeit Boyles aber entwickelte sich laut Michael Hunter langsam ein Verständnis von historischen Unterschieden zwischen der Zeit der Bibel und der Gegenwart durch, die beim genauen Studium der Bibel zutage traten.<sup>228</sup>

Seine Zeitgenossen forderte Boyle auf, sie sollten die Bibel genau studieren, nicht wie ein Fleischer sein Schlachtvieh tausende Male zerlegt, ohne darüber nachzudenken, wie solch ein Organismus überhaupt entstehen konnte. Sie sollten die Bibel wie ein Anatom den Körper lesen, der aus sorgfältiger Betrachtung den Aufbau des Körpers lernt und seine Erschaffung dadurch bewundern lernt.<sup>229</sup> Das Bewusstsein für die historischen Unterschiede gebot es, die Sprache, Geographie, Geschichte und Kultur der in der Bibel genannten Individuen und Gruppen zu untersuchen. Damit wurde es überhaupt erst möglich, die Bibel als historischen Text zu lesen.<sup>230</sup>

Weil Hunter mit der Entdeckung dieser neuen „Gelehrsamkeit“ wesentlich begründet, dass sich Boyle dem Experimentieren zuwandte, möchte ich Hunter ausführlich dazu zitierten, welche Wir-

---

<sup>224</sup> Vgl. ebd. S. 200–201.

<sup>225</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 274; Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 80.

<sup>226</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 47.

<sup>227</sup> Vgl. ebd. S. 159.

<sup>228</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 79–83; Vgl. ebenfalls Rivka Feldhay: ‘Religion’, in: Katharine Park, Lorraine Daston (Hrsg.): *Early Modern Science*. The Cambridge History of Science. Bd. 3. Cambridge, 2006. S. 727–755. S. 729, 754–755.

Vgl. Peter Anstey: ‘Experimental versus Speculative Natural Philosophy’, in: Peter Anstey, John Schuster (Hrsg.): *The Science of Nature in the Seventeenth Century. Patterns of Change in Early Modern Natural Philosophy*. Dordrecht, 2005. S. 215–242, S. 221.

<sup>229</sup> Robert Boyle: *The Christian Virtuoso. The second Part*. In: The Works, Band VI, S. 785–786.

<sup>230</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 47.

kung die „Gelehrsamkeit“ auf den *Essay of the Holy Scripture* und überhaupt auf Boyles Schreiben hatte:

“Instead, Boyle seems to have been primarily concerned to do justice to the full complexity of the matters with which he was dealing, and this led to a quite different method of writing, involving the use of long, often digressive sentences, in which facts and arguments were piled up to present all facet of a complicated argument. This was the style which, for better or worse, Boyle was to deploy for the rest of his career; and hence the encounter with erudition which the ‘Essay’ documents had a permanent effect on him. The passages in the text dealing with the understanding of nature show a similar sense of the complexity of issues and a concomitant desire to multiply testimony in order to reinforce his case – traits which look forward to Boyle's mature writings and away from the stylistic pretensions of his youth.”<sup>231</sup>

Den Wunsch, der Komplexität der Natur gerecht zu werden mit vielen, ebenso komplexen Argumenten und Belegen aus vielen Quellen, sehe ich auch in Boyles Experimentalprogramm. Ein totales – total wie auch im Sinne einer geschichtswissenschaftlichen „histoire totale“ der Schule der französischen Annales<sup>232</sup> – Studium aller Komplexitäten der Natur wies ihm den Weg zum Experimentieren.

Boyle begriff sich und seine Zeitgenossen wie auch Francis Bacon ganz am Anfang der Naturerforschung stehend. Beide forderten ihre Zeitgenossen immer wieder auf, nach dem Ungewöhnlichen und Besonderen Ausschau zu halten, und es dann gegen das überkommene Wissen zu prüfen.<sup>233</sup> Denn das nur ungesicherte Wissen der Menschen war es, das Menschen Dinge „gewöhnlich“ („common“) nennen ließ.<sup>234</sup> Die Ignoranz für die Vielfalt der göttlichen Schöpfung und für ihre Feinheiten erlaubte es ihnen, einfache Regeln und Systeme aufzustellen, oder aber Widersprüche darin als solche hinzunehmen. Doch Widersprüche konnten laut Boyle in Gottes Schöpfung nicht existieren: „Die Natur widerspricht sich nie.“ („Nature never contradicts herself.”)<sup>235</sup> Noch einmal sei an Bacon erinnert: „Nun existiert in der Natur zwar nichts außer individuellen Körpern, die rein individuelle Handlungen nach einem festen Gesetz verrichten.“<sup>236</sup>

Indem Boyle sich stets für die nähere Erforschung von Einzelfällen interessierte und vorschneller Systematisierung von Wissen abgeneigt war, folgte er diesem Aphorismus genauso wie jenem von der „Knochenarbeit der Kunst“, die der Natur ihre Geheimnisse erst entlocken konnte. Wenn Boyle es als aus religiöser Überzeugung für wertvoll befand, die gesamte Natur in ihrer Komplexität und Vielfalt zu erforschen und dabei mithilfe jener „Knochenarbeit der Kunst“ immer mehr mehr Indizien zur göttlichen Schöpfung zu entdecken, liegt die Umsetzung dieses Wunsches in seiner prakti-

<sup>231</sup> Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 82.

<sup>232</sup> Dieser Begriff wird häufig auf Lucien Febvre oder Marc Bloch zurückgeführt, die ihn wohl beide nicht wörtlich verwendeten. Vgl. Lucien Febvre: ‚Ein Historiker prüft sein Gewissen. Antrittsvorlesung am Collège de France 1933‘, in: Lucien Febvre, Ulrich Raulff (Hrsg.): *Das Gewissen des Historikers*. Berlin, 1988. S. 9–22, S. 18–20; Marc Bloch: *Apologie der Geschichtswissenschaft oder der Beruf des Historikers*. Stuttgart, 2002, S. 27–30, kommen dem obigen Sinn sehr nahe.

<sup>233</sup> Vgl. Francis Bacon, *Novum Organum*, II. Buch, Aphorismus XXIX, S. 169.

<sup>234</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 143–144.

<sup>235</sup> Robert Boyle: *Boyle Papers* der Royal Society. Band IV, Blatt 6r., zitiert nach Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 124. (Dieser Teil der *Boyle Papers* ist nicht online zugänglich, Anmerk. d. Verf.)

<sup>236</sup> Francis Bacon, *Novum Organum*, II. Buch, Aphorismus II, S. 120: („For though in nature nothing really exists beside individual bodies, performing pure individual acts according to a fixed law, [...]“)

schen Erfüllung nahe. Die Verknüpfung von Theorie und Praxis liegt in seinem Experimentalprogramm begründet, lautet die Vermutung.

3. Boyle war der Meinung, dass ein rein oberflächliches Naturstudium den Menschen zu atheistischen Ansichten verleiten könnte. Begründet sehe ich das in Boyles wie auch Bacons oft wiederholter Feststellung der begrenzten menschlichen Verstandeskraft oder Rationalität. Gerade aber, weil die Rationalität Grenzen habe, könnte ein Mensch, der dennoch ganz auf sie und damit auf sich selbst vertraute, überheblich werden und den Glauben an eine göttliche Schöpfung der Welt und Gottes Wirken darin für überflüssig halten. Boyle sah in einem daraus erwachsenden Atheismus eine noch größere Gefahr für das Christentum als durch konfessionelle Spaltungen oder nicht-christliche Religionen wie das Judentum oder den Islam.

Experimente können sowohl einen Ausgleich vermitteln zwischen den rein rationalen, spekulativen Vorstellungen als auch den ebenfalls fehlbaren Sinneseindrücken. Deswegen, schreibt Michael Hunter, könne man Boyles Hinwendung zum experimentellen Forschen auch im Zusammenhang mit seiner Sorge vor Atheismus sehen.<sup>237</sup> Die richtige Verknüpfung von Verstand und Erfahrung könnte einem Atheismus vorbeugen, meinte Boyle. Ein gutes Beispiel für Boyles Umsetzung dieses Appells lässt sich in seinem ausgeprägten Interesse für Wunder und Berichte darüber finden. Sie weckten seine Neugierde, wie er auch einzelne Naturphänomene und die eigenen Experimente darüber zum Ausgangspunkt seiner Forschungsarbeit machte. Boyle betrachtete seine hohe Neugierde und Wertschätzung von Wundern und einzelnen Naturphänomenen als die ihm gebührende, bescheidende Rolle als Erforscher von Gottes Schöpfung.<sup>238</sup> Übernatürliches, den Gesetzen der Natur Zuwiderlaufendes, könnte nur geschehen, wenn Gott in die Natur eingriff. Ein als solches erwiesenes Wunder könnte somit auch Gott beweisen<sup>239</sup>, denn dazu müsste Gott existieren. Selbst bezeugen konnte Boyle keine solchen Wunder.

Obgleich er zwingende Beweise für Gottes Existenz für unmöglich hielt<sup>240</sup>, sammelte er sein Leben lang Berichte über mögliche Wunder, Kuriositäten oder Abnormitäten aus aller Herren Länder. Die Zeitschrift *Philosophical Transactions* der Royal Society gab ihm die Möglichkeit, solche Ereignisse unter genauer Angabe der Überlieferungskette an interessierte Fachkollegen zu berichten: etwa die Geburt eines Fohlen mit einem „monströsen Kopf“ („monstrous head“), welcher auch in einer für Boyles seltenen wie kunstvollen Abbildung gezeigt wird, die Geburt eines Kalbes mit einer „Zerberus-artigen, dreifachen“ („*Cerberus-like, triple*“) Zunge oder über einen Mann, in dessen Adern statt Blut Milch geflossen sein soll.<sup>241</sup>

Gottes Schöpfung der Welt steht in Boyles Werk nicht im Widerspruch zur Naturforschung, wie aus heutiger Sicht zu erwarten wäre. Im Gegenteil diene Boyle sein Glaube an eine göttliche Existenz sogar als Bekräftigung für seinen Naturforschertrieb. Die Suche nach Übernatürlichem und

<sup>237</sup> Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 83.

<sup>238</sup> Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. S. 244–245, 298, 322–323.

<sup>239</sup> Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 186.

<sup>240</sup> Vgl. J.J. MacIntosh, Peter Anstey: Robert Boyle. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Kapitel “2.1 Boyle on arguments for the existence of God”.

<sup>241</sup> Robert Boyle: *Observables upon a Monstrous Head. Some Anatomical Observations of Milk found in Veins instead of Blood*. In: The Works, Band II, S. 735–736; Ders.: *An Account of a very odd monstrous Calf*. In: The Works, Band II, S. 461. Die Abbildung des „monströsen Kopf[es]“ befindet sich ganz am Ende von Band II.

Wundern verstand Boyle vor allen Dingen als harte Forschungsarbeit. Naturphänomene, die sich einer Erklärung oder Klassifizierung widersetzen, mussten in mühevoller naturgeschichtlicher und experimenteller Arbeit untersucht werden, um als Wunder gelten zu dürfen.<sup>242</sup> Der scheinbare Widerspruch zwischen Gottesglauben und Naturphilosophie lässt sich mit einer historischen Einstellung zur Religion als grundsätzliches Prinzip der Weltanschauung im 17. Jahrhundert auflösen. Religion wurde viel weniger als Privatsache angesehen, sondern als verbindendes Prinzip sowohl des Staates als auch der Gesellschaft, in der die englische Monarchie bestand. Die Existenz Gottes wurde als eine dem menschlichen Verstand zugängliche Tatsache betrachtet, oder ihr rationaler Beweis zumindest gesucht.

Michael Hunter geht über die Ansicht hinaus, dass in Boyles Werk Religion und Wissenschaft einander nicht im Weg standen. Er schlussfolgert weiter, dass gerade die *Unterscheidung* zwischen Wissenschaft und Religion ein Teil von Boyles Vermächtnis an seine Nachwelt war. Seine Nachfolger hätten wenige Schwierigkeiten dabei gefunden, Boyles – einflussreichen – naturwissenschaftlichen Schriften auch ohne den ihr für Boyle beflügelnden Glauben an Gott, die göttliche Schöpfung der Welt und die Auferstehung Christi und die Vergebung der Sünden zu lesen.<sup>243</sup> Paradoxerweise hätten also, zumindest auf Boyle bezogen, seine aus religiöser Überzeugung erschaffenen Werke die Entstehung der von Religion getrennten Wissenschaft ermöglicht.<sup>244</sup>

---

<sup>242</sup> Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. S. 244.

<sup>243</sup> Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 204.

<sup>244</sup> Ebd. S. 254.



## **Kapitel 4: Boyles Praxis des Experimentierens: Planung und Durchführung der Experimente**

Boyle experimentierte, weil er Experimente für die richtige Vorgehensweise zur menschlichen Erforschung der von Gott geschaffenen Welt hielt. Gott hatte die Natur mit unzähligen verschiedenen Arten von Lebewesen und ebenso unzähligen Variationen ihrer unbelebten Umwelt ausgestattet. Als bibelfester Mensch hatte Boyle den unendlichen Arten- und Detailreichtum der Schöpfung als Auftrag interpretiert, die Natur zu erforschen. Gott war allwissend, doch hatte er seine Geschöpfe mit begrenzter Erkenntnisfähigkeit, das heißt mit begrenzter Sinneswahrnehmung und Verstandeskraft versehen. Die in ihren Details vielfältige wie auch regelhafte Natur konnte der Mensch daher am besten mit ebenfalls regelhaft geplanten Experimentalserien untersuchen. Hier ist der Punkt, an dem Boyles Motivation zum experimentellen Forschen und seine praktische Methode des Experimentierens aufeinandertreffen.

### **4.1 Naturphänomene und experimentelle Phänomene wecken Boyles Neugier**

Robert Boyles Glaube an eine von unendlicher Vielfalt geprägte, göttliche Schöpfung der Natur muss als wesentlicher Antrieb für seinen schier unersättlichen Wissenshunger über Naturphänomene aller Art beurteilt werden.<sup>245</sup> Als „Phänomene“ („phænomena”)<sup>246</sup> bezeichnete er in einem mit dem heutigen vergleichbaren Sinn alle Erscheinungen, die sich einem Beobachter erschließen oder gegeben sind.<sup>247</sup>

Sein mannigfaltiger Wissensdrang trieb ihn im Laufe seines Lebens zu Forschungen beispielsweise über die korrosive Wirkung einer Flüssigkeit aus fermentiertem Brot oder die Auswirkung von Spargel, Terpentin oder Rhabarber auf seine eigenen Ausscheidungen; er untersuchte mitten in der Nacht und trotz einer starken Verköhlung stundenlang das seltsame Licht, das von einem Stück Fleisch, einem verfaulenden Fisch oder einem Edelstein ausging;<sup>248</sup> er betrieb umfangreiche alchemistische Versuche und unterhielt eine Korrespondenz mit Alchemisten in ganz Europa<sup>249</sup>, er sammelte und erweiterte medizinische Rezeptsammlungen, die als praktische Hilfsmittel eine weit verbreitete Lektüre ergaben, und interessierte sich für Echos, Licht, die Sitten und das Klima fremder Länder<sup>250</sup>, Geschmack, Geruch, Korrosion, Fällung (Niederschlag im chemischen Sinn), Magnetismus und Elektrizität von Chemikalien.<sup>251</sup> Er erkundigte sich darüber, ob abgeschnittene Zangen von Flusskrebse wieder nachwachsen und fragte bei Fleischhauern nach, ob geschlachtete Tiere Gallensteine in sich trügen wie auch Menschen.<sup>252</sup> Eine Beschreibung von Boyles Schlafzimmer aus

<sup>245</sup> J.J. MacIntosh, Peter Anstey: Robert Boyle. In: Stanford Encyclopedia of Philosophy, <https://plato.stanford.edu/entries/boyle>, einführender Teil. Abgerufen am 24.10.2017.

<sup>246</sup> Vgl. Robert Boyle: *A Defence of the Doctrine against the Objections of Franciscus Linus*, in: The Works, Band I, S. 175; Ders.: *Certain Physiological Essays*, in: The Works, Band I, S. 347.

<sup>247</sup> Vgl. Theda Rehbock: ‚Phänomen‘, in: Joachim Ritter (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Band VII, Basel (1989), S. 471–483, S. 471.

<sup>248</sup> Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. S. 312.

<sup>249</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 75–78, 179–186.

<sup>250</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 138.

<sup>251</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 177–178.

<sup>252</sup> Vgl. ebd. S. 96.

der Feder eines Freundes, des Literaten John Evelyn, vervollständigt das Bild von Boyles Arbeitsumgebung:

„Gläser, Töpfe, chemische und mathematische Instrumente, Bücher und Papierbündel füllten und verstellten sein Schlafzimmer dermaßen, dass darin gerade nur Platz für ein paar Sessel war; wie auch sein ganzes Instrumentarium sehr philosophisch [Gemeint ist vermutlich ohne Luxus und nur auf das für die Forschung Notwendige beschränkt, Anmerk. d. Verf.] und frei von Formalitäten war.<sup>253</sup>

In Boyles Erwachsenenleben lassen sich langfristige, dauerhafte Stationen ausmachen – Stalbridge, Oxford und London – und in jeder dieser Städte richtete er sich ein Laboratorium in seinem Wohnhaus ein. Von seiner religiösen Hingabe abgesehen, verbrachte er die allermeiste Zeit seiner Tage mit Naturforschung, wie aus seinen Notizbüchern hervorgeht.<sup>254</sup> Boyle bewegte sich mühelos von einem Gebiet der Naturwissenschaft zum anderen<sup>255</sup>, um sein Wissen einmal auf mehr theoretischen Überlegungen, in Experimenten oder gänzlich praktischen Unternehmungen wie einer Meeresentsalzungsanlage zu vertiefen und anzuwenden.<sup>256</sup> Insgesamt überrascht es nicht, dass er sich laut Rose-Mary Sargent über die „Sklaverei des Schlafes“ („slavery of sleep“) beklagte.<sup>257</sup>

Die natürliche Welt bot Boyle eine unerschöpfliche Quelle an Erscheinungen und Ereignissen, die seine Forscherneugier herausforderten.<sup>258</sup> Dabei möchte ich die Phänomene der Natur, die sich ihm zunächst außerhalb des Labors oder aber ohne Eingriff in ihren Ablauf darboten, von den experimentellen Phänomenen unterscheiden. Am einen, passiven Ende einer offenen Skala der Manipulation steht die Beobachtung des Naturphänomens in seiner natürlichen Umgebung. Am anderen, aktiven Ende dieser Skala steht das Experiment im Labor, in dem sowohl die Umstände des Experiments als auch das Versuchsobjekt selbst manipuliert werden.<sup>259</sup>

Ein Naturphänomen, für das sich Boyle in besonderem Maße interessierte, war die Atmung, für die er einen Zusammenhang zwischen Lebewesen aller Art herstellte, vor allem jedoch die menschliche Atmung. Das andere, experimentelle Phänomen, ist der schaurig beschriebene Tod mehrerer Vögel und Insekten unter der Glasglocke seiner Vakuumpumpe, der ganz offensichtlich seiner Meinung nach auch Aussagen über die menschliche Atmung erlaubte. Auf diese Weise übersetzte Boyle seine Neugier über ein aus dem Alltag bekanntes Naturphänomen in eine durch die experimentelle Umgebung des Labors kontrollierte, wissenschaftliche Fragestellung. Die Respiration als jedem Men-

---

<sup>253</sup> John Evelyn: 'Letter to William Wotton, 30<sup>th</sup> March, 1696', in: William Bray (Hrsg.): *Diary of John Evelyn, to which are added a Selection from his Familiar letters and Private Correspondence*. London, 1879, S. 479–487, S. 485: ("Glasses, pots, chemical and mathematical instruments, books and bundles of papers, did so fill and crowd his bed-chamber, that there was but just room for a few chairs; so as his whole equipage was very philosophical without formality.")

<sup>254</sup> Vgl. ebd. S. 167.

<sup>255</sup> Vgl. ebd. S. 147.

<sup>256</sup> Vgl. ebd. S. 215–219.

<sup>257</sup> Robert Boyle: *Boyle Papers* der Royal Society. Band XIV, Blatt 16v.–17r., zitiert nach Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 138.

<sup>258</sup> Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. S. 311–312.

<sup>259</sup> Vgl. Peter Anstey: 'Philosophy of Experiment in Early Modern England: The Case of Bacon, Boyle and Hooke', in *Early Science and Medicine* 19, Nr. 2 (2014), 103–132, S. 105.

schen eigenes und bekanntes Phänomen, nahm Boyle zum Ausgangspunkt für seine *New Experiments Physico-Mechanical*:

„Und ich bin nicht schwach veranlasst, dieses Thema auszuwählen, eher als eines der erwarteten chemischen, um Eure Lordschaft [Einer von Boyles Neffen, an den Boyle das Werk adressierte, Anmerk. d. Verf.] zu unterhalten, von diesen zwei Überlegungen: die eine, dass die Luft so notwendig für das menschliche Leben ist, dass nicht nur die Allgemeinheit der Menschen, sondern auch die meisten anderen Lebewesen, die atmen, ohne Luft nicht viele Minuten lang überleben können, wodurch jede wesentliche Entdeckung ihrer Natur sich als bedeutend für die Menschheit erweisen wird.“<sup>260</sup>

Luft und die Atmung waren nicht nur offensichtlich praktische Fragen, sondern auch für theoretische Überlegungen über größere Zusammenhänge ein viel diskutiertes Thema unter Boyles Zeitgenossen. Boyle fühlte sich verpflichtet, seine Anknüpfungspunkte zum Thema ausdrücklich zu nennen. Dazu schrieb er in der Einleitung der *New Experiments Physico-Mechanical* von Otto von Guericke (1602–1686) Experimenten mit den sogenannten „Magdeburger Halbkugeln“ und von Experimenten nach Art von Evangelista Torricelli. Beide Experimente hatten mit den im Langtitel *New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of the Air, and its Effects* genannten Federkraft der Luft zu tun, zumindest nach Boyles Interpretation.

Das Experiment mit den „Magdeburger Halbkugeln“ ist einfach verständlich: Zwei Hälften einer Kugel lassen sich nicht mehr auseinanderziehen, nachdem eine Pumpe betätigt wurde, die – nach Guericke, Boyles und dem heutigen Verständnis – die Luft aus den zusammengefügteten Teilen absaugte. Die Halbkugeln waren dann, auch mithilfe der Kraft mehrerer Pferdegespanne nicht mehr voneinander zu trennen. Der zweite direkte Vorläufer von Boyles Experimenten mit Vakuum waren die Experimente mit Quecksilber von Evangelista Torricelli, von Boyle auch das „Torricellianische Experiment“ genannt. An diesem Experiment kann gezeigt werden, wie Boyle aus seiner Neugier für Naturphänomene eine Systematik für seine experimentelle Erforschung entwickelte.

#### **4.2. Fragestellung an das Naturphänomen**

Die Konzeption von Evangelista Torricellis Versuchsaufbau mit dem Quecksilberbarometer entsprang, wie so oft im 17. Jahrhundert<sup>261</sup>, philosophischen Überlegungen und gleichermaßen einer praktischen Fragestellung: In seinem Werk *Unterredungen und mathematische Beweisführungen zu zwei neuen Wissensgebieten* bemerkte Galileo, dass damalige Wasserpumpen es nicht vermochten, aus einem Brunnen mit einer größeren Tiefe als ungefähr zehn Metern Wasser an die Oberfläche zu pumpen. Das hieß genau genommen, dass damalige Pumpen, die mit einem Kolben eine Saugwirkung auf das Wasser ausübten, eine Wassersäule nicht weiter als zehn Meter in die Höhe

<sup>260</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: *The Works*, Band I, S. 6: (“And I am not faintly induced to make choice of this subject, rather than any of the expected chymical ones, to entertain your Lordship upon, by these two considerations: the one, that the air being so necessary to human life, that not only the generality of men, but most other creatures that breathe, cannot live many minutes without it, any considerable discovery of its nature seems likely to prove of moment to mankind.”)

<sup>261</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*, S. 26–27, S. 46–48, S. 52–55

treiben konnten.<sup>262</sup> Davon und von den Vorarbeiten seiner Zeitgenossen ausgehend<sup>263</sup>, hatte Galileos Schüler Torricelli in den 1640er-Jahren das Problem mit dem viel dichteren Element Quecksilber in handlichem Maßstab nachgebildet. Im von Boyle selbst erwähnten Frankreich hatte Blaise Pascal (1623–1662) im gleichen Jahrzehnt mithilfe seines Schwagers Florin Périer dieses Experiment auf einem Berg, dem Puy de Dôme, durchgeführt. Am Gipfel des Berges stand die Quecksilbersäule in der Glasröhre beträchtlich tiefer, als sie noch im Tal gestanden war, was mit gleichzeitigen Kontrollexperimenten überprüft wurde.<sup>264</sup> Für die Beteiligten wie auch für Boyle und die heutige Wissenschaft stand dafür der Druck der atmosphärischen Luft verantwortlich, der mit steigender Höhe über dem Meer fiel. Als Boyle nun mit seiner neuartigen Vakuumpumpe dieses viel diskutierte Phänomen untersuchte, konnte er sich daher sicher sein, sich am Weg zu aufsehenerregenden Entdeckungen zu befinden.

Neben dem Gewicht und dem daraus resultierenden Druck postulierte er eine Federkraft oder auch „elastische Kraft“ (“elastical power”)<sup>265</sup> der Luft. Als konkrete Fragestellungen, die über Boyles Experimenten mit der Vakuumpumpe stehen, finde ich grundsätzliche Fragen über ein ganz offensichtliches Naturphänomen wie die Atmung von Lebewesen. Dieser „Überlegung“ (“consideration”) fügte Boyle unmittelbar danach eine zweite an, die noch weiter gefasst war als die erste. Außer der Atmung sei der Mensch mit dem ganzen Körper in fast dauernder Berührung mit der Luft, was für Boyle die Luft zu einem besonders lohnenswerten Forschungsobjekt machte:

„[...] [D]och ebenso wird uns die weitere Entdeckung der Natur der Luft erschließen, dass sie mehr oder weniger mit dem Auftreten vieler Phänomene zusammenwirkt, in denen ihre Bedeutung bisher kaum vermutet worden ist. Eine wahre Darstellung jedes neuen Experiments, das eine Sache betrifft, mit der wir solch andauernden und unumgänglichen Kontakt haben, mag damit nicht nur für das menschliche Leben von Vorteil sein, sondern auch Philosophen erfreuen, indem es ihre Spekulationen über ein Thema befeuert, welches so viele Möglichkeiten hat, um ihre Neugier zu werben.“<sup>266</sup>

In den konkreten Experimenten hingegen, die sich mit der Atmung von Tieren und mit dem Torricellianischen Barometer befassten, beschränkte Boyle seine Fragestellung ganz auf die unmittelbar erkennbaren Phänomene oder überhaupt auf die Wirkungsweise seines Instruments, der Vakuumpumpe. Zu Beginn von Experiment XL seiner *New Experiments Physico-Mechanical* schrieb er:

„Es mag wohl wert erscheinen, auszuprobieren, ob in unserem geleerten Glas der Mangel an einem umgebenden Körper, an der gewöhnlichen Dicke der Luft, es sogar leichten und

<sup>262</sup> Vgl. Galileo Galilei: *Unterredungen und mathematische Beweisführungen zu zwei neuen Wissensgebieten*. Hrsg. und übers. von Ed Dellian. Berlin, 2014. S. 57–58.

<sup>263</sup> Boyle kannte diese Problemschilderung Galileos und darauf folgende Versuche von dessen Schülern offenbar. Vgl. Robert Boyle: *An Examen of Mr. T. Hobbes's Dialogus Physicus*, in: *The Works*, Band I, S. 192–193; David Wootton: *The Invention of Science*. S. 333–353.

<sup>264</sup> Vgl. Douglas McKie: Introduction, in: *The Works*, Band I, S. V–XX, S. XI.

<sup>265</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: *The Works*, Band I, S. 11.

<sup>266</sup> Ebd. Einleitung, S. 6: (“[...] but likewise, the further discovery of the nature of the air will probably discover to us, that it concurs more or less to the exhibiting of many phaenomena, in which it hath hitherto scarce been suspected to have any interest. So that a true account of any experiment that is new concerning a thing, wherewith we have such constant and necessary intercourse, may not only prove of some advantage to human life, but gratify philosophers, by promoting their speculations on a subject, which hath so much opportunity to solicit their curiosity.”)

kleinen Tieren, wie Bienen, und anderen geflügelten Insekten, das Fliegen verunmöglichen würde.“<sup>267</sup>

Nachdem die Insekten im evakuierten Glaskolben zu Boden gefallen waren, bemerkte Boyle, dass er nicht unterscheiden könnte, ob die Insekten aus einem Mangel an Atemluft oder aber aus Mangel an einem Fortbewegungsmedium abstürzten. Daher zog er für das nächste, Experiment XLI<sup>268</sup>, größere, mit Lungen ausgestattete Tiere heran, zuallererst einen Vogel, und stellte wieder zunächst seine Absicht für diesen Versuch klar:

„Um uns einigermaßen zufrieden zu stellen über die Darstellung, aufgrund derer die Atmung derart unerlässlich für die Tiere ist, die die Natur mit Lungen ausgestattet hat, nahmen wir [...] eine Lerche [...].“<sup>269</sup>

Boyle nahm es für diese Experimente also als gegeben an, dass seine Pumpe Luft aus ihrem Glaskolben absaugte, und wollte überprüfen, ob dies die Atmung von Tieren beeinträchtigte. Bei seinem Experiment XVII<sup>270</sup> mit dem Torricellianischen Barometer hingegen interessierte es ihn zunächst nur, ob seine Maschine auf dieses Experiment den gleichen Effekt ausüben würde, den Pascal beziehungsweise Florin Périers Wanderung auf das Absinken des Quecksilbers in der Röhre gezeigt hatte:

„Fahren wir nun fort, jenes Experiment zu erwähnen, dessen erfolgreicher Versuch der hauptsächlichste Fruchtgenuss war, den ich mir von unserer Maschine versprach, da es hinreichend bekannt war, dass im Experiment *über das Vakuum* das Quecksilber in der Röhre für gewöhnlich auf erhöhtem Niveau verbleibt, über der Oberfläche dessen, worauf es gestützt ist [das Quecksilber in der Glasschüssel, Anmerk. d. Verf.], ungefähr 27 Fingerbreit. Ich erwog, dass, falls der wahre und einzige Grund dafür, dass das Quecksilber nicht tiefer fällt, jener sein sollte, dass sich auf jener Höhe die Quecksilbersäule in der Röhre in einem Gleichgewicht befindet mit der Luftsäule, die vom angrenzenden Quecksilber [in der Glasschüssel, Anmerk. d. Verf.] bis zum Höhepunkt der Atmosphäre reicht; dann würde das Quecksilber in der Röhre auf das gleiche Niveau wie das in der Schüssel fallen, wenn dieses Experiment außerhalb der Atmosphäre durchgeführt werden könnte, [...]. Woraus ich schloss (so einfach ich konnte), dass, falls das Experiment in unserer Maschine versucht werden könnte, das Quecksilber unter 27 Fingerbreit absinken würde, im Verhältnis zum Abpumpen von Luft, die den Glaskolben verlassen würde. [...] Wenn wir daher die Luft aus dem Glaskolben vollkommen absaugen könnten, würde dies unserem Behuf ebenso förderlich sein, als könnten wir das Experiment jenseits der Atmosphäre anstellen.“<sup>271</sup>

<sup>267</sup> Ebd. Experiment XL, S. 97: (“It may seem well worth trying, whether or no in our exhausted glass the want of an ambient body, of the wonted thickness of air, would disable even light and little animals, as bees, and other winged insects, to fly.”)

<sup>268</sup> Vgl. ebd. Experiment XLI, S. 97–99.

<sup>269</sup> Ebd. Experiment XLI, S. 97: (“To satisfy ourselves in some measure about the account upon which respiration is so necessary to the animals that nature hath furnished with lungs, we took [...] a lark [...].”)

<sup>270</sup> Vgl. ebd. Experiment XVII, S. 33–39.

<sup>271</sup> Ebd. Experiment XVII, S. 33: (“Proceed we now to the mention of that experiment, whereof the satisfactory trial was the principal fruit I promised myself from our engine, it being then sufficiently known, that in the experiment *de vacuo*, the quicksilver in the tube is wont to remain elevated, above the surface of that whereon it leans, about 27 digits. I considered, that, if the true and only reason why the quicksilver falls no lower, be, that at that altitude the mercurial cylinder in the tube is in an equilibrium with the cylinder of air supposed to reach from the adjacent mercury to the top of the atmosphere; then if this experiment could be tried out of the atmosphere, the quicksilver in the tube would fall down to a level with that in the vessel, [...] . Whence I inferred (as easily I might) that if the experiment could be tried in our engine, the quicksilver would subside below 27 digits, in proportion to the exsuction

Genau genommen sollte dieses Experiment also nicht mehr als etwas über sich selbst und Boyles Vakuumpumpe aussagen. Seiner übergeordneten Fragestellung näherte sich Boyle also in kleinen Schritten.

Dafür, dass Boyle auf die Versuche unter dem Titel des Experiments XVII den höchsten Wert legte, mag dies nicht viel erscheinen. Jedoch verdeutlicht es, wie sehr Boyle daran gelegen war, zunächst in kleinen Schritten überhaupt die Wirkung seiner Maschine auf die Verdünnung der Luft und damit die Existenz einer Federkraft der Luft zu veranschaulichen. Mehr noch als über das Experiment sagt das Zitat damit etwas über Boyle und seine kleinteilige Arbeitsweise aus. Boyles Apparatur versetzte ein wohl bekanntes Experiment in andere Umstände, das Experiment von Florin Périers und Pascal am Berg Puy de Dôme in sein eigenes Laboratorium an einem ebenen Ort in England. Und ohne ein Gedankenexperiment zu sein, versetzte es das Versuchsobjekt gleichzeitig auch an den Rand der Atmosphäre. Somit konnte er eine Brücke schlagen zwischen Fragestellungen, die genau genommen nur die Funktionsweise der Vakuumpumpe betrafen, und Fragen über größere Zusammenhänge der natürlichen Umwelt.

Boyle stellte also am Anfang seiner Experimente allgemeine Phänomene wie die Atmung zur Diskussion, um seine eigene Hypothese der Federkraft der Luft zu untersuchen. Die Korpuskulartheorie der Materie stellte er als grundlegende Prämisse dabei nicht in Frage, behauptete jedoch auch nicht, diese beweisen zu können. Ebenso gab er zu, umgekehrt die Federkraft nicht direkt aus der Korpuskulartheorie herleiten zu können, ihre Ursache also nicht zu kennen. Vielmehr strebte er „nur“ („only“) danach, „zu offenbaren, dass die Luft eine Federkraft hat, und von manchen ihrer Wirkungen zu berichten“.<sup>272</sup> Eine Frage in ihrem Wortsinn stellte er im weiteren Verlauf seiner Versuchsreihen selten an den Anfang.

Eine genaue Erwartung hegte er dennoch bezüglich des veränderten Experiments, wie im Fortgang seiner Versuche mit dem Torricellianischen Barometer deutlich wird. Dort formulierte er die Annahme, „[...] dass das Absinken des Quecksilbers in der Röhre auf eine bestimmte Höhe aus dem Gleichgewicht mit der äußeren Luft resultiert [...].“ („[...] that the falling of the quicksilver in the tube to a determinate height, proceedeth from the aequilibrium, wherein it is at that height with the external air [...].“)<sup>273</sup> Ähnlich vorsichtig formulierte Boyle seine Hypothesen immer wieder.<sup>274</sup> Es ist zu vermuten, dass dies sein Vorgehen allgemein kennzeichnete, Hypothesen als kleine Schritte zu äußern, mit denen er von einem Experiment zum nächsten fortschritt.

Immer wieder ist bei Boyles Experimenten aber schlicht keine Fragestellung oder Hypothese festzustellen. In den *New Experiments Physico-Mechanical* untersuchte Boyle wie aus einem abzuarbeitenden Katalog Gegenstände wie Membranen (Schweinsblasen), Festigkeit von Glas, Feuer, Magnetismus, Quecksilber, Wasser, Pendel, Schall, die Schwerkraft, Schnee, Atmung und Leben und Korrosion. Diese Vorgehensweise betrachte ich als Erfüllung von Bacons und auch Boyles eigenem Anspruch, über möglichst viele Wissensgebiete sogenannte Naturgeschichte zu schreiben, deren

---

of air, that should be made out of the receiver. [...] So if we could perfectly draw the air out of the receiver, it would conduce as well to our purpose, as if we were allowed to try the experiment beyond the atmosphere.”)

<sup>272</sup> Ebd. S. 12: (“to manifest, that the air hath a spring, and to relate some of its effects.”)

<sup>273</sup> Ebd. S. 34

<sup>274</sup> Vgl. ebd. S. 97.

Relevanz für die Naturphilosophie nicht im Einzelnen begründet wurde, sondern die als Fundament von Erfahrungswissen galten.

Boyles Neugier an Natur- und Experimentalphänomenen und seine daraus formulierten Fragestellungen werden hier als erste Teile einer Struktur eines komplexen, heuristischen Experimentalprogramms verstanden. Boyles Wille, strukturiert vorzugehen, lässt sich auch an der zunehmend differenzierten Ordnung seiner Werke ablesen. In *New Experiments Physico-Mechanical* waren die Experimente nach römischen Ziffern, nicht aber nach ihren Untersuchungsgegenständen geordnet. Boyle selbst schrieb, dass seine Leserin die Reihenfolge der Experimente bei der Lektüre ganz nach Belieben anordnen könnte.<sup>275</sup> In späteren Werken richtete sich Boyle genauer nach an der von Bacon vorgeschlagene Kategorisierung nach „Köpfen“ oder „Titeln der Untersuchung“ (“heads” und “titles of inquiry”)<sup>276</sup> oder auch „[b]estimmte Themen“ oder „bestimmte Artikel der Untersuchung“ (“Particular Topics or Articles of Inquiry”).<sup>277</sup>

#### **4.3. Idee zu einem Experiment zur Erklärung des Phänomens – Konzeption zum Experiment, Aufbau des Experiments, Kreativität**

Sowohl Hunter als auch Sargent schreiben nicht, dass Boyle ein Genie gewesen sei, entgegen einer früher in der Wissenschaftsgeschichte üblichen „monumentalistischen“<sup>278</sup> Weise der Geschichtsschreibung, die entweder Boyle zum Helden erklärte<sup>279</sup> oder gar nicht in Frage stellte, warum er biographiewürdig gewesen sein könnte.<sup>280</sup> Explizit damit eröffnet Sargent überhaupt ihre Behandlung Boyles.<sup>281</sup> In einem Punkt billigen beide, Sargent und Hunter, Boyle aber wiederum zu, „genialer“ (“ingenious”) Geistesblitze fähig gewesen zu sein, dem Konzipieren von Experimenten, einem wesentlichen Bestandteil seines hier vermuteten Experimentalprogramms.<sup>282</sup> Ich schließe mich dieser Meinung insofern an, als ich die tatsächlich oft verblüffenden und vor allem planvollen Konzepte für Boyles Experimente für einen Kernbereich seines strukturierten Experimentalprogramms halte. Sollte Boyles Experimentalprogramm die Bezeichnung „genial“ verdienen, dann aufgrund seiner genauen Vorausplanung und aufgrund seiner gleichzeitigen Kreativität, die dazu nicht im Widerspruch stand.

Nach Steven Shapin waren Boyles Experimente mit der Vakuumpumpe die „Großforschung“ (“big science”)<sup>283</sup> des 17. Jahrhunderts, im dafür betriebenen Aufwand vergleichbar mit Teilchenbeschleunigern des 20. Jahrhunderts. Tatsächlich benötigte Boyles Forschung nicht nur viel Geld, sondern auch längere Vorbereitungen, so benötigte die die Konstruktion der Vakuumpumpe meh-

---

<sup>275</sup> Vgl. ebd. S. 3.

<sup>276</sup> Vgl. Peter Anstey: ‘Philosophy of Experiment in Early Modern England: The Case of Bacon, Boyle and Hooke’, in *Early Science and Medicine* 19, Nr. 2 (2014), 103–132, S. 116;

<sup>277</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 146.

<sup>278</sup> Friedrich Nietzsche: *Vom Nutzen und Nachteil der Historie für das Leben*. Stuttgart, 2005. S. 19.

<sup>279</sup> Vgl. Douglas McKie: Introduction, in: *The Works*, Band I, S. XX.

<sup>280</sup> Beachtenswert ist in diesem Zusammenhang das völlige Fehlen einer reflektierenden Einleitung oder Schlussbetrachtung in der letzten wissenschaftlichen Biographie vor jener von Michael Hunters *Boyle, Science, God*. Vgl. R. E. W. Maddison: *The Life of the honourable Robert Boyle F. R. S.* London, 1969.

<sup>281</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 1.

<sup>282</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 2, 118, 126.

<sup>283</sup> Steven Shapin, ‘Pump and circumstance. Robert Boyle’s literary technology’, in *Social Studies of Science* 14, Heft 4 (1984), S. 481–520, S. 486.

rere Mitarbeiter und mehrere Monate Zeit.<sup>284</sup> Offensichtlich war Boyle abhängig von Instrumenten, um Erscheinungen hervorzubringen, die die Natur ohne manipulativen Eingriff nicht zeigte. Doch auch auf seine Assistenten war Boyle in besonderer Weise angewiesen. Nach einem Reitunfall und einer daran anschließenden Erkrankung in den 1650er-Jahren litt er sein ganzes Leben lang an einer Schwäche des Augenlichts. Bis auf wenige Zeilen, die er pro Tag mit eigenen Augen lesen und schreiben konnte, mussten ihm deswegen seine Gehilfen Bücher und Briefe vorlesen und für ihn zu Papier bringen, während er diktierte.<sup>285</sup>

Neben dem Holzgestell, der eigentlichen Pumpe innerhalb des Messingzylinders ("sucker") und dem Kurbelwerk dürften die technisch anspruchsvollsten Teile der Maschine die Ventile sowie die Glaskolben oder Glasgefäße ("vessel" oder "receiver") gewesen sein. Denn an mehreren Stellen seiner *New Experiments Physico-Mechanical* schrieb Boyle davon, wie erstens die Maschine als Ganzes nicht vollkommen luftdicht war und zweitens seine Aufträge über besonders große, besonders kleine oder bestimmt geformte Gläser von den beauftragten Glasbläsern nicht erfüllt werden konnten.<sup>286</sup> Da ein etwaiger Glasbruch nicht einfach zu ersetzen gewesen wäre, wurden bestimmte Experimente aus Vorsicht nicht durchgeführt.<sup>287</sup>

Boyle interessierte sich für die Arbeit von Handwerkern, pflegte mit manchen gute Kontakte und ließ die Vakuumpumpe während seines Aufenthalts in der Universitätsstadt Oxford anfertigen. Es ist daher nicht davon auszugehen, dass Boyle sich mit der Arbeit eines zufällig gewählten Glasbläfers schon zufrieden gegeben hätte. Um alle diese Teilarbeiten ineinander greifen zu lassen, brauchte Boyle auch einen Plan, der schon lange vor dem ersten Experiment einsetzen musste. In den 160er-Jahren waren Versuche, in Boyles Labor einen Schmelzofen zu betreiben, immer wieder gescheitert, weil dieser auch nach mehrmaligen Anläufen nicht intakt geliefert wurde.<sup>288</sup> Boyles Pläne mussten als organisatorisches Gesamtwerk beinhalten: viel Geld, kurze Transportwege, gute Kontakte zu bekannt vertrauenswürdigen und geschickten Handwerkern und Lieferanten für Versuchsmaterialien wie Apothekern, einfallsreiche und auch fachkundige Assistenten wie etwa der später berühmte Robert Hooke, Geduld und eine Vorstellung davon, welche Experimente denn durchzuführen wären.

Dieser Plan ist in der Bewertung des Nachlasses von Boyle ("The Boyle Papers")<sup>289</sup> erschlossen. Dieser Quellenbestand wird im Archiv der Royal Society aufbewahrt und wurde unter der Leitung von Michael Hunter zugänglich gemacht. Aus diesem Bestand edierte das Erschließungsprojekt einen Teil des Nachlasses, der „Notizbücher“ oder „Arbeitstagebücher“ ("Workdiaries" im englischen Original)<sup>290</sup> genannt wurde. Diese Bezeichnung stammt nicht von Boyle selbst und fasste großteils

---

<sup>284</sup> Vgl. Douglas McKie: Introduction, in: The Works, Band I, S. X; Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 26.

<sup>285</sup> Jordan Avramov, Michael Hunter: 'Reading by Proxy. The Case of Robert Boyle (1627–1691)', in *Intellectual History Review* 25, Heft 1 (2015), S. 37–57, S. 38–40.

<sup>286</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in: The Works, Band I, S. 10, 21.

<sup>287</sup> Ebd. S. 64.

<sup>288</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 248; Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 71.

<sup>289</sup> Die "Boyle Papers" sind teilweise online zugänglich:

[http://www.bbk.ac.uk/boyle/boyle\\_papers/boylepapers\\_index.htm](http://www.bbk.ac.uk/boyle/boyle_papers/boylepapers_index.htm). Abgerufen am 10.6.2017.

<sup>290</sup> Die "Workdiaries" sind zur Gänze online zugänglich: <http://www.livesandletters.ac.uk/wd/view/view.html>. Abgerufen am 10.6.2017.



aus losen Zetteln bestehende Dokumente zusammen, die Einblicke in Boyles Arbeitsroutine erlauben.<sup>291</sup>

Als „Arbeitstagebücher“ wurden insbesondere solche Aufzeichnungen von Boyle zusammengefasst, die er selbst in Serien, mit Nummern versehen oder tageweise organisiert hatte.<sup>292</sup> In diesen „Notizbüchern“ fertigte Boyle Listen von Experimenten an, die an einem bestimmten Tag durchzuführen waren, und legte Protokolle über die Ergebnisse der vollbrachten Arbeit an. Hier dokumentierte er mit Namen und Adressen die umfangreichen Beziehungen zu Kaufleuten, Handwerkern, die er für die Verwirklichung seiner Experimentkonzepte brauchte. Zumindest in den „Arbeitstagebüchern“ aus den 1680er-Jahren vermerkte er seine Einträge in strenger Ordnung. Ich vermute, dass er diese Ordnung über die Jahre erst entwickelte, denn oft reihte er die Pläne und Ergebnisse eines Arbeitstages ohne sachliche Struktur aneinander. Das war vermutlich auch der Angewohnheit Boyles geschuldet, zunächst auf losen Zetteln zu schreiben, und diese erst später oder überhaupt nicht zu ordnen oder zusammenzubinden.<sup>293</sup> Er klagte selbst darüber, dass er deswegen bestimmte Arbeitsmaterialien nicht wiederfinden konnte.<sup>294</sup>

Erst das Erschließungsprojekt der „Workdiaries“ ordnete zuvor über den Nachlass verstreutes Material in neuer Logik. Boyles Aufzeichnungen geben damit Einblick einerseits in die buntgemischten Interessen Boyles, während ebenso, und für Boyle wohl frei von Widerspruch, sein planvolles Arbeiten ersichtlich wird.

Ein Beispiel gibt eine Liste über geplante „Neue Experimente über die Bewegung von Körpern in Vacuo Boyleana“ („New Experiments About the motion of bodies in vacuo Boyleana“) mit der Vakuumpumpe aus den 1670er-Jahren wieder:

„Die Bewegung von Wasser in einem E. R. [“evacuated receiver”? Anmerk. d. Verf.]  
Die Bewegung eines Pendels in demselben  
Die Bewegung einer fallenden Feder und einer verschlossenen Flasche  
Die Beschleunigung der Bewegung mit seinen Leerräumen  
Die Bewegung von Wasser und anderen aufgetragenen Flüssigkeiten  
Die Bewegung einer Flamme sowohl aus Schießpulver als auch anderen Gegenständen  
[...];<sup>295</sup>

Für mich lässt sich mithilfe der Ordnung von Boyles Notizen ein planvolles Arbeiten ableiten, trotz der immer wieder chaotischen Aufzeichnungen über seine Experimente. Mit einem „Experiment“ war dabei offenbar nie nur ein einziger Durchlauf dieses Experiments gemeint. Hierbei unterschied Boyle zwischen „Experiment“ („experiment“) und „Versuch“ („trial“). In der Niederschrift zu seinen Erwartungen mit dem „Torricellianischen Experiment“ verdeutlichte Boyle, dass er unter einem „Experiment“ einen Sinnzusammenhang aus einem oder zwischen mehreren Versuchsabläu-

<sup>291</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 71.

<sup>292</sup> Vgl. <http://www.livesandletters.ac.uk/wd/editorial/definition.html>. Abgerufen am 10.6.2017.

<sup>293</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 175.

<sup>294</sup> Vgl. Robert Boyle: *The Origin of Forms and Qualities, according to the Corpuscular Philosophy*. In *The Works*, Band III, S. 1–137, S. 4.

<sup>295</sup> The Boyle Papers: Band 10, Blatt 74 r.: [http://www.bbk.ac.uk/boyle/boyle\\_papers/bp10\\_docs/bp10\\_073v-074r\\_2.htm](http://www.bbk.ac.uk/boyle/boyle_papers/bp10_docs/bp10_073v-074r_2.htm): “The motion of water in an E. R.[“evacuated receiver”? Anmerk. d. Verf.][,] The motion of a pendulum in the same[,] The motion of a descending feather and a sealed bottle[,] The Acceleration of motion with its vacuities[,] The motion of water and other liquors projected[,] The motion of Flame both of Gunpowder and other Subjects [...]”. Abgerufen am 10.6.2017.

fen meinte. Es stand für ihn das Experiment für einen Entwurf oder ein Konzept, deren Ausführung die Versuche umsetzten.<sup>296</sup> Die Regel waren offensichtlich mehrere Versuchsabläufe. Hier fand meiner Meinung nach die Planhaftigkeit des Programms eine seltene Entsprechung in der Genauigkeit der Begriffe<sup>297</sup>, wenn auch nicht immer.<sup>298</sup>

Die Planung der Experimente einerseits und ihre Wiederholung und Variation andererseits stellten Boyles Experimente in das Spannungsfeld einer wohlüberlegten „Knochenarbeit der Kunst“ und ein „Eigenleben der Experimentiertätigkeit“<sup>299</sup>, wie es der Wissenschaftshistoriker Ian Hacking nannte. Ich beurteile es für die damalige Zeit als Besonderheit von Boyles Experimentalprogramm, beides zu verbinden. Eindeutig jedoch nahm Boyle eine Gegenposition zu Gedankenexperimenten ein, indem sein Konzept des Experimentierens auch daraus bestand, Experimente tatsächlich und mehrmals durchzuführen, und sie zu variieren.

Zu seinen Experimentenwürfen gehörte es, den Versuchsaufbau und die dazu gehörigen Instrumente als erstes zu testen. Es erstaunt zunächst, dass Boyle seine Vakuumpumpe selbst zum Versuchsobjekt im ersten seiner *New Experiments Physico-Mechanical* kürt:

„Ich halte es nicht für ungeeignet, damit zu beginnen, was sich unserer Beobachtung konstant und regelmäßig anbietet, insofern es von der Substanz der Maschine selbst abhängt, und nicht in der Natur dieses oder jenes Experiments liegt, welches sie zu testen benutzt wird.“<sup>300</sup>

Ähnlich wie Boyle hatte Galileo der Beschreibung seiner Entdeckungen der rauen Mondoberfläche und der Jupitermonde eine Beschreibung und eine Anleitung zur korrekten Kalibrierung des Teleskops vorangestellt, das ihm seine Himmelsbeobachtung ermöglichte.<sup>301</sup> Boyle kannte Galileos Bücher laut eigener Aussage<sup>302</sup> und musste sein Publikum und zunächst sich selbst davon überzeugen, dass sein Instrument, die Vakuumpumpe, eine gelungene Konstruktion war. Denn wie auch das Teleskop zeigte Boyles Vakuumpumpe Phänomene, die mit dem bloßen Auge noch kein Mensch davor gesehen hatte.<sup>303</sup>

Boyles Konzentration auf das technisch mögliche Experiment grenzt ihn nochmals vom Gedankenexperiment ab. Im Gegensatz zu Pascal schrieb Boyle ausdrücklich, welchen Nutzen bestimmte Experimente möglicherweise zeigen könnten, wenn sie denn technisch möglich wären, die Umstände wie das Wetter günstiger wären oder Boyle die nötige „Muße“ oder „Freizeit“ („leisure“) dafür hätte.<sup>304</sup> Die Wunschlisten solcher Experimente nannte Boyle „fiat experimentum“, „es werde das Ex-

<sup>296</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, Experiment XV, S. 33.

<sup>297</sup> Vgl. ebd. Experiment XIV, S. 31, Experiment XV, S. 32.

<sup>298</sup> Vgl. die einmal doch wechselnden Begrifflichkeiten in Experiment XIV, ebd. S. 31: („Repeating this experiment divers times, we observed, whether or no [...]“), oder ders.: *An Experimental History of Cold begun*, in *The Works*, Band II, S. 541.

<sup>299</sup> Ian Hacking: *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*. Stuttgart, 1996. S. 254.

<sup>300</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, S. 10: („I hold it not unfit to begin with what doth constantly and regularly offer itself to our observation, as depending upon the fabric of the engine itself, and not upon the nature of this or that particular experiment, which it is employed to try.“)

<sup>301</sup> Galileo Galilei: *Sternenbotschaft*. In: Anna Mudry (Hrsg. in): *Galileo Galilei. Schriften, Briefe, Dokumente*. 2 Bände. Bd. 1, Schriften. München, 1987. S. 94–144, S. 101–103.

<sup>302</sup> Vgl. Robert Boyle: *An Account of Philaretus*, in: *The Works*, Band I, S. xxiv.

<sup>303</sup> Vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 244–245.

<sup>304</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, S. 32, S. 64, S. 67.

periment“. Die bloße Idee, die zum Experiment führte, wertete Boyle ausdrücklich positiv, insbesondere, wenn sie in Zukunft zu weiterer Forschung anleiten würde.<sup>305</sup> Was aber technisch möglich und erstrebenswert war, das sollte auch tatsächlich durchgeführt werden.

Seine Überprüfungen der Instrumente wie auch die weiteren Experimente reduzierten erstens die in Frage kommenden Einflussgrößen auf möglichst wenige und möglichst genau kontrollierte oder beobachtete Umstände. Zweitens strebte Boyle in heutiger Sprache ausgedrückt danach, die abhängige Variable des Experiments, das heißt die untersuchte Eigenschaft oder, mathematisch ausgedrückt, Messgröße des Experiments möglichst deutlich hervor zu bringen.

Ein Experiment aus *An Experimental History of Cold begun* hebt auch Sargent besonders hervor:<sup>306</sup> Boyle untersuchte, was denn eigentlich Kälte sei, und erforschte dies unter anderem anhand der Frage, aus welchem Grund die Eisenringe um mit Wasser gefüllte Fässer im Winter zum Bersten neigten. Boyle vermutete, dass Wasser sein Volumen vergrößert, wenn es erstarrt. Um das zu überprüfen, musste er in mehreren technisch neuen und methodisch ungewohnten Schritten andere Überlegungen ausschließen:<sup>307</sup>

- Boyle musste Glasgefäße benutzen, weil andere Materialien andere Ursachen zugelassen hätten.<sup>308</sup>
- Boyle ließ neuartige Glasgefäße konstruieren, die erst nach dem Befüllen mit Wasser verschlossen werden konnten, um den Kontakt mit der Außenluft als Ursache auszuschließen.
- Die Glasgefäße mussten dennoch Luft beinhalten, was jedoch nur unter seiner Annahme der Dehnbarkeit von Luft weiterführte, das heißt der Veränderlichkeit von Luftdruck. Damit konnte er Eigenschaften des Glases als Ursache ausschließen.
- Erst nachdem Boyle das Wasser gefroren hatte, konnte er nun alle anderen Ursachen für das Bersten der Eisenringe ausschließen: Das Wasser hatte sich im Vorgang des Frierens im Glasgefäß sichtbar ausgedehnt, ohne dieses zu sprengen.

Dieses faszinierende Experiment zeigt, wie viel gedankliche Kreativität, handwerkliches Geschick und beharrliches Tun sich in Boyles Experimentalprogramm vereinten. Die nächste Stufe dieses Experiments bestand darin, die Wirkung der Ausdehnung mithilfe von Gewichten auf der Eisdecke messbar, in Zahlen begreiflich, zu machen.<sup>309</sup> Hier wird exemplarisch wieder der Gegensatz zwischen Galileo und Boyle sichtbar: Galileo führte seine unzähligen Experimente mit der schiefen Ebene wohl auch durch, um ein bis dahin unbekanntes Phänomen für den menschlichen Verstand greifbar zu machen. Für das menschliche Auge war der Unterschied zwischen der Fallgeschwindigkeit einer kleinen und einer großen Kanonenkugel nämlich zu klein. Darüber hinaus brachte Galileo dieses Phänomen jedoch mithilfe eines Gesetzes in mathematische Form.

Boyle dagegen zog aus seinen Experimenten mit gefrorenem Wasser keine weiteren Schlussfolgerungen, als die Ausdehnung von Wasser beim Erstarren. Offenbar ging es Boyle vor allem darum,

<sup>305</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 174.

<sup>306</sup> Vgl. ebd. S. 201–202.

<sup>307</sup> Robert Boyle: *An Experimental History of Cold begun*, in *The Works*, Band 2, S. 536–542.

<sup>308</sup> Zur Frage, ob Glas tatsächlich als absolut dicht gelten konnte, wie Boyle selbst meinte vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment II, S. 16, Experiment XXXVI, S. 83; Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 162, Fußnote 18.

<sup>309</sup> Robert Boyle: *An Experimental History of Cold begun*, in *The Works*, Band 2, S. 551.

anders nicht erfassbare Phänomene zu isolieren und damit zu zeigen. Hinter der numerischen Messung, die er durchführte, sehe ich in diesem Fall nicht mehr als die allgemeine Begeisterung in naturphilosophischen Kreisen für Zahlen im 17. Jahrhundert, die außer Galileo auch Johannes Kepler (1571–1630), René Descartes und Baruch Spinoza noch viel stärker als Boyle teilten. Der Schirmherr der Royal Society, König Charles II. hatte sich über deren Mitglieder lustig gemacht als „meine Idioten“ (“my fools”), die Luft abwogen<sup>310</sup>.

#### **4.4. Durchführung des Experiments**

Boyle erfüllte seinen eigenen Anspruch an das Experimentieren, indem er seine Experimentkonzepte tatsächlich ausführte oder die Durchführung durch seine Mitarbeiter beaufsichtigte, und die Experimente wiederholte und abwandelte, soweit ihm das möglich war. Dafür spricht die Menge an ähnlichen Experimenten, zum Beispiel die Gesamtheit der 43 Experimente in *New Experiments Physico-Mechanical*.

Die Betonung auf die praktische Umsetzung seiner Ideen zeigt sich auch in der genauen schriftlichen Wiedergabe seiner Experimente. Die Experimente I bis III der *New Experiments Physico-Mechanical* setzten sich detailliert mit der Funktionsweise der Vakuummaschine auseinander, wie zum Beispiel damit, dass nach dem Betätigen der Vakuumpumpe ein erheblicher Krafteinsatz benötigt wurde, um den Verschluss des Glaskolbens anzuheben. Boyle zog daraus die Erkenntnis, dass der Pumpvorgang die Luft in der Pumpe verdünnt hatte.<sup>311</sup>

An der gleichen Stelle nannte Boyle die Verlagerung des Torricellianischen Experiments auf den Puy de Dôme, die er zur Bestätigung seiner Hypothese von der Federkraft der Luft anführt. Im Vergleich dieser knappen Schilderung mit jener der eigenen Versuchsreihen mit dem Quecksilberbarometer sehe ich, dass Boyle gemeinsam mit seinen Assistenten Experimente vor allem selbst ausprobieren wollte, anstatt über der Arbeit anderer zu brüten.

Erkenntnisse aus seiner Arbeit zu schöpfen bedeutete für Boyle, nicht auf die Urteile, das heißt die Worte oder die Autorität anderer zu vertrauen, so sehr er sich auch auf die philosophische und experimentelle Vorarbeit etwa von Torricelli, Pascal und vieler anderer stützte, ebenso wie auf den mündlichen und schriftlichen Austausch mit Zeitgenossen.<sup>312</sup>

Die körperlich schwere Arbeit überließ Boyle zu einem großen Teil seinen Mitarbeitern, denen er damit großes Vertrauen für das unmittelbare körperliche Gefühl der Durchführung und der aufrichtigen Weitergabe der daraus gewonnenen Informationen schenken musste. Treffend verknüpft Steven Shapin den Wissensfluss in diesem Satz: “Assistants’ hands were subsumed in his [Robert Boyles, Anmerk. d. Verf.] head.”<sup>313</sup> Doch bedeutete dies meiner Meinung nach eine vertrauensvollere Beziehung zwischen Boyle und seinen Laborgehilfen, als Shapin in seiner Beschreibung derselben Boyle zugesteht.<sup>314</sup> Wenn Boyle davon schrieb, Experimente selbst durchzuführen, hieß das daher in vielen Fällen genau genommen, dass er sie beauftragte und beaufsichtigte. In diesem Sinn

<sup>310</sup> Zitiert nach Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*, S. 118.

<sup>311</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment II, S. 15.

<sup>312</sup> Vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 333–353.

<sup>313</sup> Vgl. Steven Shapin: *A Social History of Truth. Civility and Science in Seventeenth-Century England*. Chicago, 1994. S. 383

<sup>314</sup> Vgl. ebd. S. 376, 388, 393.

muss Boyles meines Erachtens das Motto der Royal Society – „Nullius in verba“ – aufgefasst haben.<sup>315</sup> In seinem eigenen Werk betonte er stets den Vorrang des Experimentierens vor der spekulativen und kontemplativen Reflexion seiner Arbeit. Auf seine Weise drang Boyle „zu den Experimenten selbst“ vor, wie ich es in Anlehnung an Edmund Husserls Phänomenologie verstehe, der vom „Rückgang auf die Sachen oder Sachverhalte selbst in ursprünglicher Erfahrung und Einsicht“ schrieb.<sup>316</sup>

In diesem Sinne warnte Boyle im ersten seiner *Two Essays, Concerning the Unsuccessfulness of Experiments* vor der Enttäuschung, die sich einstellen konnte, wenn Experimente zunächst durch Dritte vermittelt worden waren. Deren Ergebnisse könnten schwierig zu reproduzieren oder schlicht falsch gewesen sein.<sup>317</sup>

Der körperlich eingeschränkte Boyle<sup>318</sup> scheute neben dem finanziellen und zeitlichen Aufwand auch den physischen nicht, den das tagtägliche Experimentieren sowohl für ihn als auch seine Assistenten bedeutet haben musste. Boyles Assistenten mussten nicht stundenlang pumpen, um der Vakuumpumpe überhaupt einen erkennbaren Effekt zu entlocken, wie es Boyle über Otto Guericke's Erfindung gelesen hatte.<sup>319</sup> Doch auch Boyles Mitarbeiter gelangten immer wieder an ihre körperlichen Grenzen, wie er gelegentlich beschrieb: „[...] die Pumpe wurde in Gang gesetzt; [...] bis jener, der pumpte, seines Einsatzes überdrüssig wurde [...]“<sup>320</sup> Ironisch bemerkte Boyle, wie im Zuge von Experiment XXIV<sup>321</sup> die Anstrengung bis zur Ermüdung auch unerwartete Ergebnisse bringen konnte:

„[...] und als wir den Pumper schon ziemlich erschöpft hatten, wie auch unsere eigene Geduld, die wir dem widmeten, stiegen die Blasen fast (wenn nicht ganz und gar) in so großer Zahl auf wie jemals zuvor, insofern, als keine der verschiedenen Flüssigkeiten, die wir zuvor oder seither erprobten, so reich an luftartigen Teilchen war, wie es dieses Öl war.“<sup>322</sup>

Boyles Arbeitsweise des rastlosen Experimentierens, wie es nicht nur seine Notizbücher, sondern auch die penible Art der Verschriftlichung in seinen gedruckten Werken festhält, lässt mich an ein Zitat eines anderen berühmten Erfinders denken, Thomas Edison: „Genie ist neunundneunzig Prozent Perspiration und ein Prozent Inspiration.“<sup>323</sup> Daran musste wohl auch Rose-Mary Sargent ge-

<sup>315</sup> Vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 44, Woottons Übersetzung lautet: “Take no man’s word for it.”; Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 270, Sargents Übersetzung des ganzen lateinischen Horaz-Zitates „Nullius addictus jurare in verba magistri“ lautet: “I am not bound over to swear to any master’s dictates.”

<sup>316</sup> Edmund Husserl: *Cartesianische Meditationen und Pariser Vorträge*. Husserliana Band I. Den Haag, 1973. S. 6. Die Akzentuierung ist die von Husserl selbst. Vgl. auch ders.: *Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie. Erstes Buch: Allgemeine Einführung in die reine Phänomenologie*. Den Haag, 1976. S. 41.

<sup>317</sup> Vgl. Robert Boyle: *The First Essay, Concerning the Unsuccessfulness of Experiments*, in *The Works*, Band I, S. 318–319.

<sup>318</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 91–92.

<sup>319</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, S. 7.

<sup>320</sup> Ebd. Experiment XXXVI, S. 82: (“[...] the pump set on work; [...] till he that pumped began to grow weary of his employment [...].”)

<sup>321</sup> Vgl. ebd. Experiment XXIV, S. 56–59.

<sup>322</sup> Ebd. Experiment XXIV, S. 57: (“and when by having quite tired the pumper, and almost our own patience, we gave over, the bubbles rose almost (if not altogether) in as great numbers as ever, insomuch that none of the various liquors we tried either before or since, seemed to abound more with aërial particles than did this oil.”)

<sup>323</sup> Thomas Edison, zitiert nach Matthew Josephson: *Edison. A Biography*. London, 1959. S. 435: (“Genius is ninety-nine per cent perspiration and one per cent inspiration.”)

dacht haben, als sie ihr Buch mit der Bemerkung eröffnete, dass Boyle kein Genie gewesen wäre. Wie weit Boyle die körperlichen Anstrengungen seiner Assistenten trieb, wies jedoch auch auf sein planvolles Vorgehen hin.

Boyle ließ seine Mitarbeiter nicht immer bis zur Erschöpfung arbeiten, sondern stoppte an mehreren Stellen seines Berichts den Betrieb eines bestimmten Experiments, wenn der zeitliche und körperliche Aufwand offenbar nicht mehr zum Tagesplan passte. Das legt die immer wiederkehrende Formulierung „aus Mangel an Muße“ („for want of leisure“) nahe.<sup>324</sup> Doch bemerken die Historikerinnen Lorraine Daston und Katharine Park, dass diese Erklärung nicht ausreicht. Denn insbesondere erklärte Boyle den Abbruch von Arbeiten mit Rücksicht auf seine Gesundheit oder einem Mangel an Muße, wenn es darum gegangen wäre, die Ursache oder Kategorisierung eines Phänomens näher zu ergründen. Hatte jedoch ein faszinierendes Phänomen wie etwa ein leuchtender Edelstein Boyles Aufmerksamkeit gepackt, konnte er auch nächtelang trotz einer Verkühlung immer wieder neue Versuche anstellen, die seine Neugierde nur weiter beflügelten.<sup>325</sup> Daraus schließe ich, dass Boyle der experimentellen Arbeit selbst hohe Bedeutung beimaß, auch ohne dass diese eine kausale Ursache aufdecken musste.

#### **4.5. Wiederholung des Experiments**

Das Wiederholen von Experimenten gehörte ebenso zu Boyles Routine wie der produktive Umgang mit Experimenten, die die in sie gesetzten Erwartungen nicht erfüllt hatten und damit gescheitert waren.<sup>326</sup> Dass Experimente nicht wie gewünscht funktionierten und wiederholt werden mussten, war für Boyle ein normaler Vorgang in der Naturphilosophie. Die Notwendigkeit zur Wiederholung von Experimenten musste gar nicht an Ungeschicklichkeit oder gar Betrugsabsichten von Forschern liegen, sondern galt Boyle als normaler Vorgang.

Zunächst rufe ich in Erinnerung, dass Boyle zwei entscheidende Einschränkungen im menschlichen Naturverständnis ausmachte, dass erstens die Sinne fehlbar und zweitens der Verstand begrenzt sei. Penibel gesehen, konnte also jede Wiederholung eines Experiments eine Veränderung entweder der Vorgangsweise des Forschers oder auch der Begleitumstände wie zum Beispiel Temperaturschwankungen nach sich ziehen. Der Mensch mochte diese gar nicht bemerken, wenn die Veränderungen klein waren. Wiederholungen des Experiments machten damit ein verlässliches Ergebnis erst möglich. Zeugen konnte diesen Standardisierungseffekt verstärken.<sup>327</sup> Abweichungen von Erwartungen ließen sich erst durch Wiederholungen als regelhaft erkennen. Boyle drückte die ihm selbstverständliche Notwendigkeit, Experimente zu wiederholen, in Experiment XIV<sup>328</sup> der *New Experiments Physico-Mechanical* aus, in welchem er mithilfe einer Pistole (offenbar ohne Kugel) Feuer in seiner entleerten Pumpe zu entzünden suchte:

<sup>324</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, S. 32, S. 64, S. 67.

<sup>325</sup> Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. S. 313.

<sup>326</sup> Vgl. ders.: *Certain Physiological Essays. The Second Essay, Of Unsucceeding Experiments*, in *The Works*, Band I, S. 348.

<sup>327</sup> Vgl. ders.: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XXXVII, S. 89–94.

<sup>328</sup> Vgl. ebd. Experiment XIV, S. 30–31.

„Denn als der Hahn mit der ihm gewöhnlichen Gewalt auf den Stahl fiel, schlugen daraus so viele, genauso auffällige Feuerteile, wie, soviel wir wahrnehmen konnten, sie es im Freien getan hätten. Indem wir das Experiment verschiedene Male wiederholten, beobachteten wir auch, ob in der Bewegung der leuchtenden Funken irgendwelche erhebliche Vielfältigkeit auftauchen würde, an einem Ort, an dem die Luft so sehr verdünnt war, konnten aber beobachten, dass sich manche aufwärts, manche abwärts, und manche seitwärts bewegten, wie sie es für gewöhnlich tun, wenn sie bei solchen Kollisionen in der Luft herumfliegen.“<sup>329</sup>

Boyle ging hier äußerst genau vor. Seine vergleichenden Bemerkungen wie „mit der ihm gewöhnlichen Gewalt“, „so viele, genauso auffällige Feuerteile“ und „wie sie es für gewöhnlich tun“ begründete er erst mit der „verschiedene Male“ durchgeführten Wiederholung. Dabei schrieb er nicht dem Untersuchungsgegenstand selbst diesen Vergleich zu, sondern ausdrücklich den „Wahrnehmungen“ und „Beobachtungen“ seines Teams, offenbar im Bewusstsein, dass diese nicht ein reines Abbild der Natur sein mochten. Die Ergebnisse hielt er mit der Formulierung, „ob“ eine Vielfältigkeit auftauchen „würde“, zunächst offen.

Regelmäßigkeit und deren Ausnahmen von Experimentergebnissen konnte Boyle wie auch ihr „Scheitern“ und ihren „Erfolg“ erst nach genügend Wiederholungen definieren, das heißt mit genügend Erfahrung. Boyle verglich im *Second Essay, Of Unsuccessful Experiments* die Einschätzung von Experimenten mit dem Erfahrungswissen aus der Anatomie. Erst ihr Wissen aus vielen verschiedenen Sektionen, in denen sie ganz unterschiedlich große oder anders gelagerte Organe gesehen hatten, erlaubte es ihnen, Normalität und Abweichung davon zu definieren.<sup>330</sup>

Eine strikte Regel dafür, wie oft ein Experiment wiederholt werden musste, um als reproduzierbar zu gelten und unbemerkte Abweichungen der Eingriffe und Umstände festzustellen, findet sich nicht bei Boyle. Wahrscheinlich deswegen schreibt Sargent, dass Boyles Äußerungen darüber als generelle Richtlinien zu lesen seien, nicht als genaue Regel.<sup>331</sup> Zu Experiment XIV mit der Pistole schrieb Boyle, dass er die Versuche „verschiedene Male“ hatte wiederholen lassen. Dann schrieb er, dass „den meisten unserer Versuche“ („most of our attempts“) nur einer funktioniert hatte. Die „zwei oder drei“ folgenden Versuche entzündeten wieder kein Feuer, weswegen Boyle diese Versuchsreihe abbrach, denn „wir haben nicht die Muße, lange bei einer Art von Versuchen zu verweilen.“ („we have not the leisure to dwell long upon one kind of trials.“)

Auf ebensolche Weise verfuhr Boyle mit einer Versuchsreihe über Magnetismus. Auch hier schrieb er einem „Mangel an Muße und Zweckmäßigkeit“ („for want of leisure and conveniency“)<sup>332</sup> zu, dass er in Experiment XVI zwar ankündigte, dass seine Forschungsgruppe weit umfassendere Experimente über Magnetismus in der abgesaugten Pumpe interessiert hätten, sie sich aber mit einem simplen Versuch beschränkte.

<sup>329</sup> Ebd. Experiment XIV, S. 31: („For the cock falling with its wonted violence upon the steel, struck out of it as many, as conspicuous parts of fire, as, for aught we could perceive, it would have done in the open air. Repeating this experiment divers times, we also observed, whether or no there would appear any considerable diversity in the motion of the shining sparks, in a place where the remaining air was so much rarified, but could not perceive but that they moved some of them upwards, as well some of them downwards, and some of them side-ways, as they are wont to do, when upon such collisions they fly out in the open air.“)

<sup>330</sup> Vgl. ders.: *Certain Physiological Essays. The Second Essay, Of Unsuccessful Experiments*. In *The Works*, Band I, S. 343.

<sup>331</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 179.

<sup>332</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XVI S. 32.

Hinter den Gesamt- und Tagesplänen, welche Experimente durchzuführen wären, steckte offenbar auch nachvollziehbare Improvisation. Die Vakuumpumpe zum Beispiel bedurfte fast andauernder Reparaturarbeiten, um sie funktionsfähig und dicht zu halten.<sup>333</sup> Hinter den 43 Experimenten allein seiner *New Experiments Physico-Mechanical* mussten jedenfalls enorme körperliche Arbeit und hunderte, wenn nicht tausende, einzelne Versuche stehen, mit denen diese Experimente durchgeführt wurden. Im Vergleich zu seinen Zeitgenossen beschrieb Boyle seine Experimente besonders ausführlich. Doch er beschränkte sich in der publizierten Niederschrift offensichtlich darauf, jene Versuchsausführungen wiederzugeben, die ihm besonders aussagekräftig erschienen. Nicht alle Zeitgenossen Boyles handhabten ihre Forschung als eine solche Wissenschaft durch Ermüdung, wie ich sie bei Boyle zeitweise feststelle. Denn für Boyle ergab sich ein Nachweis einer Hypothese erst aus der Gesamtheit der Argumente, wie Sargent Boyle aus den *Boyle Papers* im Archiv der Royal Society zitiert:

„ein Komplex von Argumenten, welche nicht jedes für sich beansprucht, das große Endergebnis zu sein, sondern [...] zusammengenommen ergeben und werden ein totales Argument, wenn ich mir erlauben darf, das direkt die große und letzte Schlussfolgerung beweist.“<sup>334</sup>

Über die Federkraft und das Gewicht der Luft schrieb Boyle in seiner *Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*:

„Um zusammenzufassen: Ob meine Schriften geschützt werden oder nicht, ich sehe keinen Grund daran zu zweifeln, dass die Wahrheiten, die sie beinhalten, sich mit der Zeit trotz des Widerstandes im Geist der Menschen etablieren werden, wie es auch der Kreislauf des Blutes, und andere, ehemals stark angefochtene Wahrheiten, schon getan haben.“<sup>335</sup>

Gewiss dachte Boyle bei diesen Zeilen an die zu geflügelten Worten gewordenen Aussagen von Francis Bacon über die Normen schaffende Kraft der Zeit, die auch der Glaube an alte Autoritäten wie Aristoteles nicht aufhalten konnte:

„[...] lasst den große Autoren, was ihnen gebührt, wie die Zeit, die Autorin der Autoren, nicht dessen beraubt werden soll, was ihr gebührt, das ist, weiter und weiter die Wahrheit zu entdecken.“<sup>336</sup>

Im Einklang mit meiner Behauptung eines Boyle'schen Experimentalprogramms gehe ich darüber hinaus, was Sargent explizit schreibt, und meine, dass nicht eine einzelne Argumentationskette

<sup>333</sup> Vgl. Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air-Pump*. S. 229–231.

<sup>334</sup> Robert Boyle: *Boyle Papers* der Royal Society. Band V, Blatt 18v., zitiert nach Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 134: (“a complex of arguments which do not pretend each of them to the grand conclusion but [...] when [...] taken together, they make and become one total Argument, if I may so speak, that directly proves the grand and ultimate conclusion.”) (Dieser Teil der *Boyle Papers* ist nicht online zugänglich, Anmerk. d. Verf.)

<sup>335</sup> Robert Boyle: *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. In: *The Works*, Band I, S. 118–185, S. 123: (“To conclude, I see no cause to despair, that whether or no my writings be protected, the truths they hold forth will, in time, in spite of opposition, establish themselves in the minds of men, as the circulation of the blood, and other, formerly, much contested truths, have already done.”)

<sup>336</sup> Francis Bacon: *The Advancement of Learning. The First Book*. In: James Spedding (Hrsg.): *The Works of Francis Bacon*. Stuttgart, 1963. Band III, S. 253–319, S. 290: (“[...] let great authors have their due, as time which is the author of authors be not deprived of his due, which is further and further to discover truth.”)



Boyles, sondern erst sein gesamtes Experimentalprogramm, das heißt die Durchführung und Wiederholung unzähliger Experimente als Argument und versuchter, nicht endgültiger Beweis seiner mechanistischen Naturphilosophie überhaupt zu sehen ist. „Zeit“ aus Bacons Zitat könnte im Sinne Boyles als sein Experimentalprogramm gelesen werden, das dieser als Lebenswerk für sich und folgende Generationen anlegte.

#### **4.5.1 Wiederholung beim Scheitern des Experiments**

Den am meisten zielführenden Sinn ergeben Boyles Experimente, wenn sie nicht einzeln, sondern als Experimentalprogramm gelesen werden. Die Sinnhaftigkeit dieser Lesart finde ich auch bei Boyles Umgang mit fehlgeschlagenen Experimenten bekräftigt. Zwischen Erfolg und Misserfolg eines Experiments zu unterscheiden, diente Boyle nicht nur dazu, „richtig“ von „falsch“ zu trennen. Als Gesamtwerk warf Boyles Experimentalprogramm ein misslungenes Experiment nicht zurück. Boyle und sein Team verwendeten solche Rückschläge vielmehr dafür:

1. ihre Instrumente und Materialien zu überprüfen und sorgfältig auszuwählen,
2. ihre Arbeitsmethode sowie ihre Hypothesen und damit Erwartungen an die Experimente zu schärfen und
3. durch Zufall und notwendige Änderungen neue und unerwartete Entdeckungen zu machen.

1. Im ersten seiner *Two Essays, Concerning the Unsuccessfulness of Experiments* behandelt Boyle Experimente, deren Misslingen auf fehlerhaftes Material oder Instrumente zurückzuführen sind, der zweite handelt von den begleitenden „Umständen“ („circumstances“)<sup>337</sup> und ebenfalls von mangelhaften Instrumenten<sup>338</sup>.

Die Beschreibung der vielfältigen Änderungen, die Boyle an den in bestimmten chemischen Experimenten eingesetzten Materialien unternahm, verlieren sich im Text dermaßen im Detail, dass ihnen im Einzelnen nur schwer zu folgen ist.<sup>339</sup> Jedenfalls wird in diesem Dickicht von Beschreibungen deutlich, dass Boyle alle Anstrengungen unternahm, um für eine fachgerechte Durchführung seiner Experimente zu sorgen. Unreinheiten der verwendeten Chemikalien könnten in betrügerischer Absicht der Händler liegen, schrieb Boyle. Umso wichtiger erscheinen unter diesem Gesichtspunkt seine mit viel persönlichem Einsatz und Genauigkeit der Aufzeichnungen geführten Kontakte zu Lieferanten. Doch auch reines Material aus verschiedenen Quellen konnte sich ganz verschieden verhalten, wie Boyle über pures Gold einerseits aus Madagaskar und andererseits aus anderen Ländern schrieb. Hier konnte Boyle im Labor sein Wissen anwenden, dass er im persönlichen Kontakt mit Handwerkern erworben hatte. In diesem Fall bei persönlichen Ausflügen, um die Bergleute über ihre Erfahrungen zu befragen.<sup>340</sup>

Seine Vakuumpumpe betreffend schrieb Boyle gleich zu Beginn seiner *New Experiments Physico-Mechanical*, dass seine Maschine „ein bisschen leckt[e]“ („leak a little“)<sup>341</sup>. Erst die schon beschrie-

<sup>337</sup> Robert Boyle: *The Second Essay, Of Unsucceeding Experiments*. Aus *Certain Physiological Essays*, in *The Works*, Band I, S. 334.

<sup>338</sup> Vgl. ebd. S. 347.

<sup>339</sup> Vgl. Robert Boyle: *The First Essay, Concerning the Unsuccessfulness of Experiments*, in *The Works*, Band I, S. 329–333.

<sup>340</sup> Vgl. ebd. S. 319–323.

<sup>341</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Einführung, S. 10.

bene genaue Beschäftigung mit den Vorzügen und Defekten der Maschine erlaubte es Boyle, Robert Hooke und Boyles späteren Assistenten Denis Papin, im Laufe der 1660er- und 1670er-Jahre immer wieder verbesserte Konstruktionen der Vakuumpumpe zu bauen.<sup>342</sup> Die namentliche Nennung dieser beiden Assistenten soll einmal mehr verdeutlichen, wie sehr Boyle auf fähige Mitarbeiter angewiesen war. Denn Hooke und Papin wurden später selbst zu berühmten Naturphilosophen. Die Kleinarbeit mit den Unzulänglichkeiten der Instrumente war für Boyle unabdinglich, um irgendwann die langen Listen der zum Zeitpunkt ihrer ersten gedanklichen Konzeption und als solche ausgewiesenen, noch unmöglichen Experimente in die Tat umzusetzen.

2. Boyle schrieb über Experiment XV<sup>343</sup> seiner *New Experiments Physico-Mechanical* mit dem gewohnten Detailreichtum, nur gelang ihm dieses Experiment nicht. Er versuchte, im Glaskolben, mithilfe von in einer Lupe gebündeltem Sonnenlicht, ein Feuer zu entzünden, was dem Versuchsmaterial aber nicht mehr als ein wenig Rauch entlockte. Boyle führte das auf die Eigenschaften des Glasgefäßes zurück. Den Misserfolg kündigte Boyle noch vor der Schilderung des eigentlichen Experiments an, und erklärte ihn, in umständlichen Worten, mit der Eigenschaft seiner Gefäße und dem kalten Wetter.<sup>344</sup>

Durch den Fehlschlag dieses Experiments wird die Fragestellung Boyles deutlich, dass er nämlich der Wechselwirkung von Feuer und Luft näher auf den Grund gehen wollte, wie sich auch andere Experimente damit befassten. Boyle betrachtete es als selbstverständlich, das Scheitern von Experimenten nicht zu verschweigen.<sup>345</sup> Zum genauen Verständnis seiner Leser und zum eigenen Arbeitsethos gehörte es für Boyle, Experimente mit allen, wirklich allen, gelungenen wie auch misslungenen Details zu beschreiben, manchmal zum Leidwesen der Leserin. Freilich begreifen Shapin und Schaffer Boyles Umgang mit gescheiterten Experimenten ausschließlich in einer sozialen Perspektive, als Ermutigung der Leser und zur Demonstration der Verlässlichkeit des Forschers.<sup>346</sup> Ebenso wie Sargent<sup>347</sup> meine ich, dass Boyle die im engeren Sinne wissenschaftlichen Vorzüge dieser Vorgangsweise sowohl in *New Experiments Physico-Mechanical* wie auch in seinen weiteren Werken deutlich durch seine Erkenntnisse rechtfertigt, die ihm sonst verwehrt geblieben wären.

3. Das Scheitern von Experimenten ermöglichte nicht nur ein besseres Verständnis komplexer Vorgänge, in denen immer mehrere Ursache-Wirkung-Beziehungen für die beobachteten Phänomene verantwortlich zeichneten. Es eröffnete auch den Blick für gänzlich neue und unerwartete Phänomene und Einsichten. In einem metaphorisch lieblichen Vergleich zum Schluss seiner *Two Essays, Concerning the Unsuccessfulness of Experiments* zeichnete Boyle ein Bild davon, wie nicht nur Seefahrer und Kaufleute an unbekanntem Küsten, an die sie ein unerwarteter Wind verschlagen hatte, großartige Entdeckungen und klingenden Profit machen konnte, sondern auch die Naturphilosophie:

---

<sup>342</sup> Vgl. Douglas McKie: Introduction, in: *The Works*, Band I, S. V–XX, S. XI.

<sup>343</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment X, S. 32.

<sup>344</sup> Vgl. ebd. S. 32.

<sup>345</sup> Vgl. ebd. Experiment IX, S. 26.

<sup>346</sup> Vgl. Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 64.

<sup>347</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 299, Fußnote 85.

„Und sicher ist der blühende Erfolg vieler erfolgreicher Versuche gut befähigt, die fruchtlosen Mühen zu entschädigen, die auf die wenigen angewandt werden, die nicht gelingen; besonders da es bei Experimenten nicht häufig geschieht, dass sogar wenn wir nicht finden, was wir suchen, wir etwas finden, das genauso wert ist, es zu suchen, wie das, das wir verfehlen. [...] so auch in philosophischen Versuchen, jene unerwarteten Missgeschicke, die unsere Anstrengungen zunichtemachen, werfen uns manchmal auf neue Entdeckungen viel größeren Nutzens, als der gewöhnliche und erwartete Erfolg des versuchten Experiments uns erwiesen hätte.“<sup>348</sup>

Weil Boyle sich oft ausdrücklich auf Francis Bacon bezog, gehe ich davon aus, dass er auch beim oft gewählten Ausdruck der „Frucht“ an Bacons Aphorismen über lichtbringende und fruchtbringende Experimenten dachte. In Aphorismus XCIX aus dem ersten Buch des *Novum Organum* hatte Bacon geschrieben, dass sogenannte „lichtbringende Experimente“ gar nicht erst scheitern konnten:

„Doch wird es nur dann guten Grund zur Hoffnung auf weiteren Fortschritt des Wissens geben, wenn in die Naturgeschichte eine Vielfalt von Experimenten aufgenommen und gesammelt werden, die für sich genommen keinen Nutzen bringen, sondern einfach dazu dienen, Ursachen und Axiome zu entdecken; diese nenne ich „*Experimenta lucifera*,“ lichtbringende Experimente, um sie zu unterscheiden von den „*fructifera*,“ fruchttragenden Experimenten. Nun haben Experimenten der ersteren Sorte eine vorzügliche Eigenschaft und Bedingung; sie misslingen oder scheitern nie. Denn sind sie einmal angewandt, nicht um einen bestimmten Effekt hervorzubringen, sondern nur um die natürliche Ursache eines Effekts zu entdecken, entsprechen sie dem Ziel gleich gut, wie auch immer sie ausgehen; weil sie die Frage beantworten.“<sup>349</sup>

#### **4.6. Variation des Experiments im Aufbau und in der Durchführung**

Boyles schier unendliche Variationen seiner Experimente bringen mich ebenso zum Staunen wie seine zuvor ausgearbeiteten Konzepte. Manche Änderungen stellte Boyle 1. nach seinem im Vorhinein ausgedachten Plan an, um seine Fragestellungen ausführlich zu untersuchen und seine vorläufigen Ergebnisse zu überprüfen. Nur wenige Jahre nach der Publikation der *New Experiments Physico-Mechanical* übertrug Boyle seine Experimente mit Luftdruck in dem Buch *Hydrostatical Paradoxes* in eine Untersuchung des Wasserdrucks. Michael Hunter stellt anhand dessen Boyles Fähigkeit fest, sein Wissen und seine Forschungsfragen „müheles“ („effortlessly“) in einem thematisches Nachbargelände umzusetzen.<sup>350</sup>

<sup>348</sup> Robert Boyle: *The Second Essay, Of Unsuccessful Experiments*. Aus *Certain Physiological Essays*, In *The Works*, Band I, S. 353: („And sure the prosperous success of many succeeding attempts is well able to make amends for the fruitless pains employed on those few, that succeed not; especially since in experiments it not frequently happens, that even when we find not what we seek, we find something as well worth seeking as what we missed. [...] so in philosophical trials, those unexpected accidents, that defeat our endeavours, do sometimes cast us upon new discoveries of much greater advantage, than the wonted and expected success of the attempted experiment would have proved to us.”)

<sup>349</sup> Francis Bacon, *Novum Organum*, I. Buch, Aphorismus XCIX, S. 95: („But then only will there be good ground of hope for the further advance of knowledge, when there shall be received and gathered together into natural history a variety of experiments, which are of no use in themselves, but simply serve to discover causes and axioms; which I call *Experimenta lucifera*,“ experiments of *light*, to distinguish them from those which I call „*fructifera*,“ experiments of *fruit*. Now experiments of this kind have one admirable property and condition; they never miss or fail. For since they are applied, not for the purpose of producing any particular effect, but only of discovering the natural cause of some effect, they answer the end equally well whichever way they turn out; for they settle the question.”)

<sup>350</sup> Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 147.

Andere Variationen erarbeitete Boyle 2. als gedanklich meist ebenso mühelos wirkende und verspielte Gegendarstellung zu den Antworten seines Kollegen Thomas Hobbes<sup>351</sup> auf seine *New Experiments Physico-Mechanical*.

1. In einer Passage aus Boyles *First Essay, Concerning the Unsuccessfulness of Experiments*, unternahm er mit seinem Team eine nicht zu fassende Zahl von Änderungen an der Zusammensetzung der verwendeten Materialien, so lange, bis er das gewünschte Ergebnis erhielt und die korrekte Mischung auch überprüfen konnte.<sup>352</sup> Boyle arbeitete in vielen kleinen Schritten, die er aus seiner jahrelangen Erfahrung mit chemischen Experimenten und der intensiven Rezeption alchemischer Literatur ableiten konnte. Sein Einfallsreichtum und die Einordnung einzelner Experimente in einen größeren Plan, sein hier vermutetes Experimentalprogramm, machte dann Boyle zu einem besonderen Forscher seiner Zeit. Boyle illustrierte anhand der Prüfung einer Goldmünze auf ihre Echtheit, warum auch die Variation von Experimenten eine Notwendigkeit war:

„Ich habe oft beobachtet, wie es [den Naturphilosophen, Anmerk. d. Verf.] geschieht, [...] in unseren Theorien, die wir auf zu offensichtlichen oder zu wenigen Experimenten aufgestellt haben, wie es auch den Münzfälschern geschieht; denn wie auch gefälschte Geldstücke eine Probe in mancher Zahl überstehen werden, manche den Prüfstein, manche eine andere, wie Scheidewasser, manche eine dritte, wie den Hammer oder die Waage, doch wird keines von ihnen alle Proben überstehen;“<sup>353</sup>

Ebenso verhielt es sich mit übereilt aufgestellten Theorien, die ohne ausreichende experimentelle Basis ausgedacht worden wären. Auch sie würden einmal in Widerspruch zu Experimenten und damit in Verruf geraten.<sup>354</sup>

Was Boyle als Ausgangsfragestellung und was er als Hypothese zu bestimmten Experimenten aufstellte, ist gerade wegen seines langatmig beschreibenden Stils nicht immer klar, weil, so vermute ich, es ihm selbst nicht immer ganz klar war. In den *New Experiments Physico-Mechanical* untersuchte Boyle den allgemeinen Zusammenhang zwischen Luft und Atmung. Boyle fragte sich bei Experiment XL<sup>355</sup>, ob eine luftleere Umgebung Insekten am Fliegen hindern würde. Doch musste Boyle feststellen, dass diese, genauere Fragestellung zweideutig war, denn zugleich über die Atmung und über die Flugfähigkeit unabhängig von der Atmung konnte Boyle dieses Experiment nicht befragen. Er musste erkennen, dass er keine eindeutige Aussage treffen konnte, wenn er nicht über die Physiologie von Insekten besser Bescheid wüsste. Deswegen testete er als nächstes, ob Vögel und auch Mäuse in seiner abgesaugten Vakuumpumpe überleben könnten, mit dem Ergebnis

<sup>351</sup> Vgl. Thomas Hobbes: *Dialogus Physicus de Natura Aëris*. auf Englisch übersetzt als *Physical Dialogue* von Simon Schaffer in Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton, 1985. S. 345–391.

<sup>352</sup> Vgl. Robert Boyle: *The First Essay, Concerning the Unsuccessfulness of Experiments*. Aus *Certain Physiological Essays*, in *The Works*, Band I, S. 329–333.

<sup>353</sup> Ders.: *Proëmial Essay*. Aus: *Certain Physiological Essays*, in: *The Works*, Band I, S. 308: (“For I have found it happen, as well to many others (that have published their opinions) as to me (who have been more private in my guesses) in our theories built on either too obvious or too few experiments, what is wont to happen to the falsifiers of coin; for as counterfeit pieces of money will endure some of them one proof, as the touch-stone, others another, as aqua fortis, some a third, as the hammer or the scales, but none of them will endure all proofs;”)

<sup>354</sup> Vgl. ebd. 308.

<sup>355</sup> Vgl. ders.: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XL, S. 97.

von toten Tieren.<sup>356</sup> Den Tod von Vögeln und Mäusen konnte er auch eindeutig feststellen, ohne dass diese flogen. Boyle musste das Experiment somit erst anpassen, um daraus Antworten zu erhalten. Wiewohl diese Anpassung offenbar mühelos vonstattenging und in diesem Fall, so vermute ich aufgrund der von Boyle für gewöhnlich gezeigten Akribie, bestimmt auch schon im Voraus geplant war.

Boyles Variationen waren oft genau so simpel wie einfallsreich: Sie konnten auch schlicht bedeuten, die körperliche Leistungsfähigkeit seiner Assistenten noch mehr auf die Probe zu stellen, etwa in Experiment XXV. In diesen Versuchen mit Luftblasen in geschlossenen Behältern im mit Wasser gefüllten Glaskolben konnte Boyles Team sichtbare Effekte erst nach längerer Zeit des Pumpens erzielen, als sie es gewohnt waren.<sup>357</sup> Boyle protokollierte den Vorgang detailliert und offenbarte erst am Ende dieses (für seine Assistenten) aufreibenden Experiments XXV, welcher Frage erst mit diesem Versuchsaufbau nachzugehen trachtete.<sup>358</sup> Er wollte die aristotelische Ansicht widerlegen, dass sich Luft ausdehnen konnte, ohne neue Materie anzunehmen, und fand sich in seiner, aus heutiger naturwissenschaftlicher Sicht fragwürdiger, Gegenansicht bekräftigt.<sup>359</sup>

Im wahrsten Sinne schwergewichtige und doch simple Variationen seiner anfänglichen Experimente, die sich nur mit der Arbeitsweise der Maschine selbst befassten, führte Boyle mit den Experimenten XXXII und XXXIII durch.<sup>360</sup> Diese sollten offenbar die Kraft der Luft, also ihres Gewichts und ihrer Federkraft, als ursächliche Kraft demonstrieren, und damit gleichzeitig die aristotelische Vorstellung vom „horror vacui“ widerlegen.

Im nur kurz ausgeführten Experiment XXXII trennte Boyle den Glaskolben von der Pumpe und verschloss die Verbindung zwischen den beiden mit einem Ventil am Glaskolben. Der Druck aus der Umgebungsluft war so stark, dass Boyles Assistenten „verschiedene Gewichte, eins nach dem anderen“ („divers weights one after another“)<sup>361</sup> an das Ventil anhängen konnten, bevor dieser Verschluss durch die Schwerkraft in den Gewichten abgezogen wurde und Luft in den Glaskolben strömen konnte. In Experiment XXXIII stellte Boyle wiederum die enorme Gewalt des Luftdrucks zur Schau, indem er die allerersten Experimente der *New Experiments Physical-Mechanical* nur ein wenig anpasste: Im genauen Spiegelbild zum vorigen Experiment war diesmal nur die eigentliche Pumpe im Einsatz, das heißt, der Messingzylinder mit dem durch eine Kurbel angetriebenen Kolben aus Leder. Boyle hängte am Kolben Gewichte an, wobei das Ventil offen blieb. Damit wurde der Kolben hinabgezogen.

Nun begann das eigentliche Experiment, das die Erwartungen an die Kraft des Luftdrucks auf die Probe stellen sollte: Boyle brachte den Kolben wieder ganz nach oben und versperrte danach das Ventil des Messingzylinders. Nun zog zwar die Schwerkraft die wieder angehängten Gewichte nach unten, jedoch wirkte aus dem Messingzylinder heraus kein Luftdruck, der wiederum dem Luftdruck entgegenwirkte, der von der anderen Seite des Kolbens auf diesen von unten drückte. Das Ergebnis war, dass es viel mehr zusätzliches Gewicht brauchte, um den Kolben Richtung Erdboden

<sup>356</sup> Vgl. ebd. Experiment XL und XLI, S. 97–99.

<sup>357</sup> Vgl. ebd. Experiment XXV, S. 59–61.

<sup>358</sup> Vgl. ebd. Experiment XXV, S. 59–60.

<sup>359</sup> Vgl. ebd. S. 60–61.

<sup>360</sup> Vgl. ebd. Experiment XXXII, S. 70–71, insbesondere S. 71; Experiment XXXIII, S. 71–77, insbesondere S. 74.

<sup>361</sup> Ebd. Experiment XXXII, S. 70.

zu ziehen. Boyle nannte die Masse der benötigten Gewichte in diesem Fall ganz genau, gab aber gleichzeitig zu bedenken, dass dies zur Bestimmung der Stärke des Luftdrucks nicht ausreichte, weil auch andere Faktoren mitspielten, wie etwa die Schwer- oder Leichtgängigkeit des Lagers, auf dem sich der Kolben bewegte, oder kleine Unebenheiten zwischen dem Kolben und der Wand des Messingzylinders.

Von den Varianten dieser Versuche erhofften sich Boyle wie auch eine explizit genannte Besuchergruppe offenbar eine besondere Beweiskraft für die Eigenschaften der Luft. In der Konzeption als auch in der Ausführung stellten die Variationen dabei gar keine Herausforderung dar, wie Boyles nächste Variante dieses Experiments zeigte. Bei geschlossenem Ventil wurde in Experiment XX-XIII<sup>362</sup> der Kolben mitsamt an ihm hängenden Gewichten nach unten gekurbelt. Nun herrschte im Messingzylinder ein viel geringerer Luftdruck als außen. Als die Kurbel los gelassen wurde, zog es den Kolben mitsamt den Gewichten prompt nach oben, zum Erstaunen der Zuschauer über die immense Wirkung des Luftdrucks.<sup>363</sup>

Diese ebenso kleinen wie für die Augenzeugen spektakulären Änderungen ermöglichten es Boyle, aus diesem und den vorhergegangenen Experimenten Schlussfolgerungen gegen manche gängige Vorstellung von Vakuum zu ziehen. In den gerade geschilderten Versuchen hätte, nach aristotelischer Auffassung, die Saugwirkung des Vakuums desto weiter sinken müssen, je höher der Kolben mit den Gewichten gestiegen wäre. Denn die Kraft des Vakuums hätte ja abnehmen müssen. Boyle schloss jedoch richtig, dass es die Außenluft war, die den Kolben nach oben drückte und damit ein für die Zuschauer faszinierendes Schauspiel bot.<sup>364</sup> Ein Vakuum, das es nach Ansichten der „Ple-nisten“ („plenists“)<sup>365</sup>, die an eine stets vollgefüllte Atmosphäre glaubten, ja gar nicht gebe, könne auch nicht selbst handeln. Ebenso widersinnig wäre es, der Natur eine „Angst vor der Leere“ (Lateinisch „horror vacui“) zu unterstellen. Das würde voraussetzen, dass selbst die unbelebte Natur „Hass oder Gräuel, welche Leidenschaft[en] der Seele [sind]“ („hatred or aversion, which is a passion of the soul“)<sup>366</sup>, kannte, und auf Zweckursachen („final causes“)<sup>367</sup> ausgerichtet war, was Boyle immer wieder zurückwies.<sup>368</sup>

Boyles Neugier über die Phänomene der Luft und ihre Ursachen motivierten ihn zu immer neuen Experimentserien, ebenso wie seine Gegnerschaft zur aristotelischen Behauptung des „horror vacui“. Trotz seiner zahlreichen Experimente über die Luft und den Luftdruck blieb Boyle vage und unentschieden, ob es ein absolutes Vakuum geben könnte. Doch folgte er, aus heutiger Perspektive richtig, aus seinen Experimenten mit Druckunterschieden, dass die Vorstellung eines immer gleich gefüllten Plenums der Atmosphäre auf jeden Fall widerlegt wäre. In seinem Hauptexperiment XVII mit dem Torricellianischen Barometer hatte Boyle in einer einfachen Umkehrung der Versuchsrei-

<sup>362</sup> Vgl. ebd. Experiment XXXIII, S. 71–77.

<sup>363</sup> Vgl. ebd. Experiment XXXIII, S. 72

<sup>364</sup> Vgl. ebd. Experiment XXXIII, S. 74.

<sup>365</sup> Ebd.

<sup>366</sup> Ebd. S. 75.

<sup>367</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*, S. 13–15.

<sup>368</sup> Vgl. Robert Boyle: *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. In: *The Works*, Band I, S. 118–185, S. 143.

he auch mit Überdruck im Glaskolben gearbeitet.<sup>369</sup> Prompt stellte sich als Ergebnis ein, dass die Quecksilbersäule über ihr normales, atmosphärisches Niveau hinaus anstieg.

Damit stellte er seine Fähigkeit zur kreativen Verwertung gegebener Umstände und deren Möglichkeiten unter Beweis. Er zeigte dabei deutlich, dass er die „Federkraft der Luft“ oder „das Phänomen der Luft/des Luftdrucks“ nicht als starres Konzept von einem entweder immer gleichen oder gar nicht vorhandenen Druck behandelte, sondern als eine stetig wandelbare Kraft. Luft würde sich jedem Druckunterschied anpassen und dorthin weichen, wo sie den geringsten Widerstand vorfand – eine von Galileo stammende ganz generelle Vorstellung von Naturvorgängen.<sup>370</sup>

Nach Boyles allgemeinem Verständnis von Naturvorgängen hatte Gott die unbelebte Natur weder mit Seelen und damit einhergehenden Leidenschaften noch mit in sich waltenden finalen Ursachen ausgestattet. Im Gegensatz dazu regelten von Gott aus seinem freien Willen geschaffene Naturgesetze das Dasein der unbelebten Natur.<sup>371</sup> Boyle betonte, dass die Natur keine großen, auf einen Zweck gerichteten Pläne kannte<sup>372</sup>, sondern in mühsamer, kleinteiliger und empirischer Arbeit zu erforschende Naturgesetze.<sup>373</sup> Hier lässt sich eine direkte Linie von Boyles Schöpfungsglauben und seinem Bild von der Natur auf seine Motivation dazu verfolgen, vielseitige variierte Experimente durchzuführen.

Eine weitere Variation der Versuche Boyles zeigt sich in der Verwendung von Messungen, zum Beispiel mit Gewichten. Boyle nahm nur selten Messungen vor, scheute die Darstellung seiner Ergebnisse in Form quantitativer Größen und vermied Schlussfolgerungen aus Zahlenwerten. Im Protokoll von Experiment XXXII drückte sich Boyle überhaupt nur in Formulierungen aus, die eine genaue Größenbestimmung ausließen, beispielsweise „verschiedene Gewichte“ („divers weights“)<sup>374</sup> oder „ein anderes Mal, als am Ventil nur ein wenig Gewicht hing“ („another time, when the valve had but little weight hanging at it“)<sup>375</sup>. Im Verlauf von Experiment XXXIII hängte Boyle zunächst ein Gewicht von 28 Pfund, dann zusätzlich noch eines von 112 Pfund an den Kolben an, um ihn einmal bei offenem, einmal wieder bei geschlossenem Ventil zu bewegen.<sup>376</sup>

Bezüglich eines Experiments mit einer sogenannte „Luftpistole“ beschrieb Boyle, dass sich Luft um das Achtfache zusammendrücken lasse, und verweis ausdrücklich darauf, dass dies seinen Leserinnen schon bekannt sein müsse.<sup>377</sup> Größenangaben in Form von Gewichten und Maßeinheiten dienten Boyle offenbar sowohl dazu, die überkommene, aristotelische Physik zu widerlegen, als auch der Visualisierung für das freie Auge. Denn dieses konnte Veränderungen während Versuche bei Fliegengewichten oder im Kommastellenbereich nicht wahrnehmen. Die hier demonstrierte Bewegung des Kolbens mitsamt den angehängten Gewichten wie von Geisterhand war spektakulär und für alle Zuschauer oder Zuschauerinnen deutlich, das genügte Boyle offenbar.

<sup>369</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XVII, S. 33–39, S. 36.

<sup>370</sup> Vgl. Charlotte Schönbeck: ‚Renaissance – Naturwissenschaften und Technik zwischen Tradition und Neubeginn‘, in: Armin Hermann, Charlotte Schönbeck (Hrsg.): *Technik und Wissenschaft*. (Technik und Kultur, Band 3) S. 240–268, S. 266.

<sup>371</sup> Vgl. ebd. Experiment XXXIII S. 75; Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 200–201.

<sup>372</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XXXIII, S. 76–77.

<sup>373</sup> Vgl. ebd. Experiment XXII, S. 55.

<sup>374</sup> Ebd. Experiment XXXII, S. 70.

<sup>375</sup> Ebd. Experiment XXXII, S. 71.

<sup>376</sup> Vgl. ebd. Experiment XXXIII, S. 72.

<sup>377</sup> Vgl. ebd. Experiment XXXIII, S. 76.

Wenn Boyle in seltenen Fällen mit quantitativen Größen arbeitete, dann meistens nicht in der Grundform seiner Experimente, sondern erst in ihrer zweiten, dritten oder vierten Variation. Das Prüfen von Zutaten für chemische Experimente und Medikamente auf der Waage nahm Boyle sehr genau, doch sehe ich auch das wieder vor allem als Vorbereitung für seine eigentlichen Experimente und nicht als Ausgangspunkt für quantitative Erhebungen und Schlussfolgerungen.<sup>378</sup>

Sein Hauptexperiment XVII über den Torricellianischen Barometer bildete insofern eine Ausnahme, dass Boyle das Glasröhrchen an mehreren Stellen mit Papier markierte. Das jedoch genau nicht, um einen Messwert für weitere Berechnungen zu erhalten, sondern zumindest anfangs nur dazu, um die Veränderungen in der Höhe der Quecksilbersäule für das menschliche Auge eindeutig feststellen zu können, sie als solche zu sichern.<sup>379</sup> Boyle erkannte an, dass genaue Zahlen nützliche Erkenntnisse über die Kräfteverhältnisse zwischen Luftdruck und Schwerkraft bringen könnten. Er listete auch Variablen auf, die für solch eine Berechnung mitbedacht werden mussten, wie etwa das Volumen des Messingzylinders. Doch selbst gab er diese Zahlen nicht an oder nur verstreut über den Bericht dieses Experiments. Er begründete dies mit seinen fehlenden mathematischen Kenntnissen und, wie es für ihn üblich war, wenn er einem Sachverhalt einmal nicht näher auf den Grund ging, einem Mangel an „Muße“ („leisure“).<sup>380</sup>

Gestärkt wird mein Eindruck darüber, dass Boyle quantitative Beobachtungen vordringlich zur Bestärkung seiner qualitativen Aussagen benützte, auch durch seine Herangehensweise an das sogenannte „Boyle'sche Gesetz“. Hierbei handelt es sich um Boyles Erkenntnis, dass die Veränderungen des Volumens der eingeschlossenen Luft und ihres Drucks hier genau invers proportional zueinander waren. Laut Boyles eigener Darstellung zweifelte Franciscus Linus nicht an der Existenz des Gewichts und der Federkraft der Luft, sondern an ihrer Stärke und damit an ihrer Relevanz dafür, in der Natur beobachtbare Effekte hervorzurufen.<sup>381</sup> Boyles Antwort darauf in *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air* wurde später das „Boyle'sche Gesetz“ genannt. Nachdem Linus Zweifel an den Stärkeverhältnissen angemeldet hatte, war es für Boyle naheliegend, eine quantitative Entgegnung darauf zu verfassen. Exakte Zahlenverhältnisse interessierten Boyle jedoch nicht.

Boyle veränderte für seine Gegendarstellung seine Version des Torricellianischen Experiments, indem er in der abgesaugten Vakuumpumpe folgendes Experiment durchführte: Statt eines geraden Glasröhrchens füllte er das Quecksilber in ein Glasröhrchen in der Form des Großbuchstabens J. Dieses war am niedrigen Ende verschlossen. Dieser Verschluss am „Schweif“ des J und die Form des J selbst waren die entscheidenden Veränderungen.

Wenn Boyle am oberen, offenen Ende Quecksilber eingoss, drängte es die Luft am geschlossenen Ende zusammen und setzte sie damit unter höheren Druck. Boyle beobachtete zunächst, dass die Luft umso mehr an die Spitze des „Schweifs“ wich, je mehr Quecksilber er einfüllte. Umgekehrt wich das Quecksilber dann auf der Seite des „Schweifs“ zurück und damit weiter zum höheren, ge-

<sup>378</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 212.

<sup>379</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XVII, S. 33–39, hier S. 33–36.

<sup>380</sup> Ebd. Experiment XVII, S. 36.

<sup>381</sup> Vgl. ders.: *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. In: *The Works*, Band I, S. 118–185, S. 124.



öffneten Ende des Glasröhrchens, je mehr Boyle die Luft aus dem Glaskolben absaugte, in dem der ganze Versuchsaufbau stattfand. Denn im abgesaugten Versuchsaufbau zog es zwar das Quecksilber mit der unverändert gleichen Schwerkraft hinunter. Doch war nun der Luftdruck ein geringerer, der auf der offenen Seite das Quecksilber ebenfalls nach unten drückte. Auf der geschlossenen Seite hingegen drückte die eingeschlossene Luft immer noch mit dem gleichen Luftdruck gegen das Quecksilber. Daher wanderte das Quecksilber umso höher zur offenen Seite hinauf, je mehr Boyle die Pumpe betätigen ließ.

Ob nun das Verhältnis der Veränderungen von Druck und Volumen 1:1 oder ein anderes war, interessierte Boyle offensichtlich nicht. Denn die Feststellung Boyles, die später als sein „Gesetz“ bekannt wurde, war nicht mehr als eine sprichwörtliche Randbemerkung neben einer für Boyles Arbeiten aus dieser Zeit seltenen Tabelle über die aufgezeichneten Druck- und Volumenwerte.<sup>382</sup> Boyle wollte die Stärke der Kraft des Luftdrucks zeigen, es ging ihm offensichtlich um das Prinzip des Gewichts und der Federkraft der Luft.<sup>383</sup>

## 2. Adaptionen als Antwort auf Thomas Hobbes

Boyle nahm die Kritik von Franciscus Linus und Thomas Hobbes an seinen *New Experiments Physico-Mechanical* zum Anlass, ihre Argumente Stück für Stück mit einer Vielzahl von kleinen, im Einzelnen mühelos erscheinenden Varianten seiner Experimente zu widerlegen. Nicht immer blieb es bei kleinen Veränderungen, wie Shapins und Schaffers Schilderung von Boyles jahrzehntelangen Versuchen mit Marmorplatten zeigen. Hobbes hatte Boyles Darstellung der anfänglichen Versuche mit Marmorplatten, Experiment XXXI<sup>384</sup>, aus *New Experiments Physico-Mechanical* kritisiert, indem er dieses für seine eigene, plenistische Theorie einer gefüllten Welt in Beschlag nahm. Boyle investierte danach noch viele Jahre enormen Aufwand darin, Hobbes zu widerlegen und in seiner Vakuumpumpe zwei glatte Marmorscheiben nur durch das Absaugen der Luft aus dem Glaskolben voneinander zu trennen.<sup>385</sup> Zur Klärung seiner Fragen und Hypothesen war Boyle auch zu aufwendiger Veränderungen seiner Experimente bereit.

Thomas Hobbes behauptete, dass die Welt vollgefüllt und ein Vakuum unmöglich sei, wenn auch aus anderen Gründen als die in der aristotelischen Philosophie genannten. Dem zufolge schrieb Hobbes, dass auch die Vakuumpumpe, oder genauer gesagt der Messingzylinder mit dem Pumpkolben, immer voll sei, weil die Luft gar nicht anders könne, als zwischen dem Kolben und der Messingverkleidung einzudringen. Boyles Antwort darauf finde ich verblüffend, weil gleichermaßen einfach wie überzeugend und Boyle gewissermaßen „um die Ecke“ dachte: Nachdem er die Vakuumpumpe abgesaugt hatte, tauchte er die gesamte Apparatur unter Wasser. Falls Hobbes Recht hatte, stand der Messingzylinder immer noch voller Luft, daher müssten beim Öffnen des Ventils Luftblasen aufsteigen. Doch von solchen war nichts zu sehen, während Wasser durch das geöffnete Ventil strömte. Boyle folgerte, dass die Luft schon mit dem Absaugen fort war.<sup>386</sup>

---

<sup>382</sup> Vgl. ebd. S. 158.

<sup>383</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 135.

<sup>384</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XXXI, S. 69–70.

<sup>385</sup> Vgl. Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 185–201.

<sup>386</sup> Vgl. Robert Boyle: *An Examen of Mr. T. Hobbes's Dialogus Physicus*, in: *The Works*, Band I, S. 208–212.

#### **4.6.1 Zufälle und Umstände**

Werden die Experimente Boyles als Gesamtwerk gesehen, wie ich es mit dieser Arbeit für die früheren 1660er-Jahre tue, komme ich zum Schluss, dass es ein Scheitern der Experimente gar nicht gab, genauso, wie es Bacon für „lichtbringende“ Experimente behauptete. Auch misslungene Versuchsreihen brachten neue Erkenntnisse. Zunächst mag es widersprüchlich erscheinen, dass Boyles Experimente gerade wegen der genauen Planung, Wiederholung und Variation immer wieder ein von Ian Hacking so genanntes „Eigenleben der Experimentiertätigkeit“<sup>387</sup> entwickelten. Genauer ausgedrückt fasse ich es so: Die massive Anhäufung von genau beobachteten und kontrollierten Variablen und Umständen führte dazu, dass sich immer wieder auch neue Umstände und Veränderungen des Versuchsobjekts dazu gesellten, die unerwartete Phänomene hervorbrachten. Dieses Geflecht provozierte Zufälle und Boyle ließ diese zu. Zufälle verstehe ich als ungeplante Konsequenzen geplanter Handlungen. Im Kontext von Boyles Forschungen bedeutete das, dass er

1. Ergebnisse erhielt, die er mit seinen Hypothesen weder als Erfolg noch als Misslingen werten konnte, die
2. unabsichtlich geschahen und
3. (zumindest anfänglich) nicht zu reproduzieren waren.

Experiment XXXVII<sup>388</sup> bietet einen Einblick darin, wie Boyle mit einer solchen Situation umging:

„Unsere Maschine war erst seit Kurzem fertig gestellt, als wir, bei der ersten Gelegenheit, die wir von unseren Anlässen erhaschen konnten, die Luft aus dem Glaskolben absaugen ließen; und während ich damit beschäftigt war, einen gelehrten Freund zu unterhalten, der just dann gekommen war, mich zu besuchen, wovon er mir eilfertig Bescheid gegeben hatte, bemerkten mein Freund und ich zugleich das Folgende: Wenn der Kolben heruntergezogen war, erschien, genau dann, als der Hahnschlüssel umgedreht wurde, eine Art Licht im Glaskolben, fast wie ein schwacher Blitzstrahl bei Tageslicht, und ebenso plötzlich verschwand es, wie es erschienen war. Nachdem wir, nicht ohne einige Verwunderung, einige solche Lichterscheinungen wahrgenommen hatten, vermerkten wir: Der Tag war klar, es war ungefähr zehn Uhr Vormittag, das einzige Fenster im Raum zeigte nach Norden; und dazu, wenn wir einen Mantel, oder irgendeinen lichtundurchlässigen Körper zwischen den Glaskolben und das Fenster stellten, erschienen die Blitze nicht, obwohl der Rest des Raumes hell genug erleuchtet war, wenn der lichtundurchlässige Körper nicht entfernt wurde. Doch nachdem wir über alle diese Umstände keine feste Mutmaßung über die Ursache dieses überraschenden Phänomens anstellen konnten, verdunkelten wir den Raum völlig, als es Nacht wurde. Und indem wir der Pumpe zusetzen wie am Vormittag, konnten wir nicht einmal das kleinste Glimmern eines Licht ausfindig machen, wenn wir den Hahnschlüssel aufmachten, obwohl wir es oft versuchten.“<sup>389</sup>

<sup>387</sup> Ian Hacking: *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*. Stuttgart, 1996. S. 254.

<sup>388</sup> Vgl. Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XXXVII, S. 89–94.

<sup>389</sup> Ebd. S. 89–90: (“Our engine had not been long finished, when, at the first leisure we could steal from our occasions to make trial of it, we caused the air be pumped out of the receiver; and whilst I was busied in entertaining a learned friend that just then came to visit me, of which giving me hastily notice, my friend and I presently observed, that when the sucker was drawn down, immediately upon the turning of the key, there appeared a kind of light in the receiver, almost like a faint flash of lightning in the day-time, and almost as suddenly did it appear and vanish. Having, not without some amazement, observed divers of these apparitions of light, we took notice that the day was clear, the hour about ten in the morning, that the only window in the room faced the north; and also, that by interposing a cloke [sic!], or any opacous body between the receiver and the window, though the rest of the room were sufficiently enlightened, yet the flashes did not appear as before, unless the opacous body were removed. But

Neben Boyles blumiger Sprachkunst, die hier Stoff für eine Heldengeschichte eines wissenschaftlichen Genies bietet wie sonst kaum ein Bericht aus Boyles Felder, zeigt dieses Experiment, dass Boyle Zufälle als potenziell produktive Momente zu nutzen anstrebte. In der Schilderung dieses sonderbaren Lichtes fuhr Boyle damit fort, die Umstände des Experiments immer weiter zu verändern und die daraus folgenden Veränderungen penibel festzuhalten. Er konnte das Phänomen aber selbst nicht konsistent reproduzieren. Boyle verglich seine Beobachtungen der Lichtblitze im Glas Kolben mit alltäglichen Naturerfahrungen und versuchte damit, die ihm selbst nicht erklärliche Erscheinung nachvollziehbar zu machen.

Am Schluss hatte er keine andere Erklärung anzubieten, als die Vermutung von spontanen, das heißt, nicht reproduzierbaren Mutationen in der Luft. Den Schluss, den Boyle aufgrund der Probleme mit diesem Phänomen zog, lautete offensichtlich, dass die Umstände des Experiments umso genauer protokolliert werden müssen, desto weniger das Phänomen reproduziert werden konnte. Denn dann, lautete Boyles Hoffnung, könnten zumindest seine Leserinnen versuchen, das Phänomen zu erzeugen.<sup>390</sup>

Als Reaktion auf die Unbestimmtheit, der er dieses Experiment überlassen musste, zeichnete Boyle Umstände wie das Wetter, die Uhrzeit, die Temperatur, die Beschaffenheit des Raumes, der Lichtverhältnisse und der unternommenen Handlungen beim Manipulieren der Maschine besonders genau auf.

Auch bei Experiment XXXIII<sup>391</sup> hatte er besonders Acht darauf gegeben, zuerst den durchgeführten Versuch an sich und danach die damals herrschenden Umstände detailgetreu wiederzugeben, und zwar die Jahreszeit, die Temperatur, die Mondphase und den Breitengrad. Experiment XVIII<sup>392</sup> legte Boyle als Langzeitexperiment des vorher versuchten Torricellianischen Experiments an, indem er die Glasröhre und Glasschüssel mit dem darin befindlichen Quecksilber an sein Schlafzimmerfenster verfrachtete, wo er es jeden Tag beobachten konnte. Er schloss daraus nicht mehr und nicht weniger, als die geringfügigen Schwankungen der Höhe der Quecksilbersäule nicht mit seinen Erwartungen übereinstimmte, die er anhand der Wetteränderungen gehegt hatte.<sup>393</sup>

Seine genauen Beobachtungen der Umstände rechtfertigte er in Experiment XVII<sup>394</sup> mit der Information, dass die Höhe der Quecksilbersäule auch vom Land abhing, in dem das Experiment durchgeführt wurde.<sup>395</sup> Boyle unterließ es nicht, so kleine Veränderungen wie das Vorziehen der Vorhänge im Labor zu dokumentieren.<sup>396</sup> Kein Umstand war zu klein, um nicht untersucht zu werden. "Everything was foreground, nothing was background," schreiben Lorraine Daston und Katharine Park über diese aus ihrer Sicht für die damalige Naturphilosophie typische Liebe zum Detail.<sup>397</sup>

---

not being able on all these circumstances to ground any firm conjecture at the cause of this surprizing phaenomenon, as soon as night was come, we made the room very dark; and plying the pump, as in the morning, we could not, though we often tried, find, upon the turning of the key, so much as the least glimmering of light;")

<sup>390</sup> Vgl. ebd. S. 90–94.

<sup>391</sup> Vgl. ders.: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XXXIII, S. 71–77.

<sup>392</sup> Vgl. ebd. Experiment XVIII, S. 40–43.

<sup>393</sup> Vgl. ebd. S. 40.

<sup>394</sup> Vgl. ebd. Experiment XVII, S. 33–39.

<sup>395</sup> Vgl. ebd. S. 38.

<sup>396</sup> Vgl. ebd. Experiment XIV, S. 30–31, S. 31.

<sup>397</sup> Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. S. 316.

Wichtig hinsichtlich der These der vorliegenden Arbeit ist, dass Boyle solche Umstände genau aufzeichnete, sie bewusst veränderte, und seine Interpretationen ihrer Veränderungen als Mutmaßungen kennzeichnete, mit denen er die Neugier darauf wecken wollte: „Vielmehr sage ich, dass die Ursachen unseres Phänomens sein mögen, als ich sage, dass sie es sind.“ (“I rather say, that such alterations may be, than that they are the causes of our phaenomenon;”)<sup>398</sup> Die Natur wie auch Experimente könnten vielleicht manchmal kontingent erscheinen, schrieb Boyle.<sup>399</sup> Doch ein Experimentalphilosoph, der sich ohne Vorurteile aus vielen verschiedenen Quellen Wissen aneignete, der seine Experimente gründlich plante, sie selbst durchführte oder beaufsichtigte, wiederholte, variierte, protokollierte und nicht vorschnell für misslungen erklärte, der könnte im Verbund mit anderen Forschern zu wahrer Erkenntnis gelangen. Zur Erkenntnis der Regelmäßigkeit der Natur gehörte es auch, falsche Hypothesen zu widerlegen und den Einfluss von Menschen und Maschinen auf Experimente offenzulegen, wie es durch die Methode der Falsifizierung geschah.

#### **4.7. Falsifizierung**

Boyle ging mit Theorien vorsichtig um, das heißt, er formulierte sie als vorläufige Vermutungen, die stets experimenteller Überprüfungen bedurften. Gewissheit war nur bei Gott zu finden, nicht in der von Menschen betriebenen Naturphilosophie.<sup>400</sup> Boyles Einstellung zu wissenschaftlicher Arbeit wäre aber mit der Charakterisierung „Vorsicht“ nicht Genüge getan, ebenso schreibe ich ihm einen kreativen, verspielten, ja fröhlichen Umgang mit Experimenten zu.<sup>401</sup> Die These dieser Arbeit lautet, dass Boyles Besonderheit die Verknüpfung der beiden hier genannten Pole in seinem Forschen war. „Vorsicht“ kann dem zufolge synonym als „Theoriegebundenheit“ und „Planhaftigkeit“ einerseits, „Verspieltheit“ auch mit „Ergebnisoffenheit“ andererseits bezeichnet werden. Die Verbindung zwischen den beiden Extremen knüpfte Boyle unter anderem mit theoretischen Reflexionen, die einen Schatten voraus warfen auf den „Fallibilismus“ (“fallibilism”)<sup>402</sup> von Charles Sanders Peirce und die „Falsifizierung“ (“falsification”)<sup>403</sup> von Karl Popper. In seinem *Proëmial Essay* schrieb Boyle:

„Ich verbiete keinesfalls Schlussfolgerungen aus Experimenten oder den Versuch, so früh wie möglich die Verbindungen und Unterschiede und Neigungen der Dinge zu erkennen [...]. [...] [S]o ist es auch in der Physiologie [Physik, Anmerk. d. Verf.] manchmal der Entdeckung der Wahrheit förderlich, dem Verständnis zu erlauben, eine Hypothese zu bilden, um diese oder jene Schwierigkeit zu erklären, um zu untersuchen, inwiefern die Phänomene von dieser Hypothese aufgelöst werden können oder nicht. Somit kann das Verständnis unterrichtet werden, sogar durch seine eigenen Fehler [der Hypothese, Anmerk. d. Verf.]. Denn es wurde von einem großen Philosophen richtig beobachtet, dass die Wahrheit leichter dem Fehler entspringt als der Verwirrung.“<sup>404</sup>

<sup>398</sup> Ebd. Experiment XVIII, S. 43.

<sup>399</sup> Vgl. ders.: *Certain Physiological Essays. Two Essays, Concerning the Unsuccessfulness of Experiments*. In *The Works*, Band I, S. 318–354, insbesondere S. 341–342, S. 347.

<sup>400</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 148.

<sup>401</sup> Vgl. Frederic Holmes: ‘Do we understand historically how experimental knowledge is acquired?’, S. 133.

<sup>402</sup> Vgl. R. Heede: ‘Fallibilismus’, in: Joachim Ritter (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Band II, Basel, 1972. S. 894–895.

<sup>403</sup> Vgl. Karl Popper: *The Logic of Scientific Discovery*. London, 1959. S. 66–67.

<sup>404</sup> Robert Boyle: *Proëmial Essay*. Aus: *Certain Physiological Essays*, in: *The Works*, Band I, S. 303: (“Not that I at all disallow the use of reasoning upon experiments, or the endeavouring to discern as early as we can the confederations,

Je nach Komplexität der Behauptung, die mit einer Hypothese angestellt würde, müssten auch eine „beträchtliche Zahl an Experimenten“ (“a considerable number of experiments”)<sup>405</sup> angestellt werden. Die Hypothese sei als vorläufig zu werten.<sup>406</sup>

Mit der Anlehnung an einen „großen Philosophen“ (“great philosopher”), wie es Boyle hier schrieb, war vermutlich Francis Bacon gemeint.<sup>407</sup> Denn dieser hatte in *Novum Organum* sein eigenes wissenschaftsphilosophisches Prinzip der Induktion als Ausschluss von falschen Annahmen begründet:

„Im Aufstellen von Axiomen muss eine andere Form der Induktion erfunden werden, als sie bisher verwendet wurde; [...] Denn Induktion, die nur mit bloßen Aufzählungen vorgeht, ist kindisch; [...] Jene Induktion aber, die für die Entdeckung und Demonstration der Wissenschaften und Künste verfügbar sein soll, muss die Natur mit korrekten Zurückweisungen und Ausschlüssen analysieren. Und dann, nach einer ausreichenden Zahl an negativen, muss sie zu einer Schlussfolgerung der positiven Fälle gelangen [...].“<sup>408</sup>

Bacon ließ in diesem Aphorismus seinem Ärger über die aristotelische Philosophie freien Lauf, indem er ihr nicht nur unterstellte, kindisch zu sein. Er äußerte auch den Vorwurf, die bisherige, scholastische Naturphilosophie sei mit ihrer Fixierung auf die aristotelische Methode des Syllogismus faul gewesen, und dass von nun an viel mehr Arbeit nötig wäre.<sup>409</sup> Auch Galileo hatte in seinen Schriften heftig gegen die aristotelisch inspirierte Scholastik gewütet.<sup>410</sup> Bacon und Galileo wehrten sich gegen diese Weltanschauung und ihre Weiterentwicklungen, die zu ihren eigenen Lebzeiten Zeit immer noch großen Einfluss ausübten, besonders auf den Universitäten.<sup>411</sup> Genauso wie Galileo und Bacon am Beispiel der Falsifizierung sehe ich auch Boyle in den Kontext seiner Zeitgenossen eingebettet, in dem er gegen ihm falsch erscheinende Theorien ankämpfte.

Thomas Hobbes verharrte auf seinem Standpunkt über ein Plenum, eine vollgefüllte Welt, trotz Boyles zahlreicher, fundierter Versuchsergebnisse zum Phänomen von Luft, Atmung und Vakuum.<sup>412</sup> Boyle nahm diese Auseinandersetzung mit Hobbes zum Anlass, Hobbes Ausführungen nicht allein im Einzelnen mit Experimenten zu widerlegen<sup>413</sup>, sondern dazu auch einen Leitsatz über Falsifizierung als Methode zu formulieren:

and differences, and tendencies of things [...]. [...] [S]o in physiology it is sometimes conducive to the discovery of truth, to permit the understanding to make an hypothesis, in order to the explication of this or that difficulty, that by examining how far the phaenomena are, or are not, capable of being solved by that hypothesis, the understanding may, even by its own errors, be instructed. For it has been truly observed by a great philosopher, that truth does more easily emerge out of error than confusion.”)

<sup>405</sup> Ebd.

<sup>406</sup> Vgl. ebd.

<sup>407</sup> Vgl. Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature 1150–1750*. S. 223.

<sup>408</sup> Francis Bacon, *Novum Organum*, I. Buch, Aphorismus CV, S. 97: (“In establishing axioms, another form of induction must be devised than has hitherto been employed; [...] For the induction which proceeds by simple enumeration is childish; [...] But the induction which is to be available for the discovery and demonstration of sciences and arts, must analyse nature by proper rejections and exclusions; and then, after a sufficient number of negatives, come to a conclusion on the affirmative instances [...].”)

<sup>409</sup> Vgl. ebd. Aphorismus CV, S. 98.

<sup>410</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*, S. 68–69.

<sup>411</sup> Vgl. Charlotte Schönbeck: ‚Renaissance – Naturwissenschaften und Technik zwischen Tradition und Neubeginn‘, in: Armin Hermann, Charlotte Schönbeck (Hrsg.): *Technik und Wissenschaft*. (Technik und Kultur, Band 3) S. 240–268, S. 259–260.

<sup>412</sup> Vgl. Thomas Hobbes: *Dialogus Physicus*. S. 354–355, S. 365, S. 378, S. 388–389.

<sup>413</sup> Boyle gab sich sichtlich Mühe, Thomas Hobbes wortgetreu aus dessen Werk *De Corpore* zu zitieren. Vgl. Robert Boyle: *An Examen of Mr. T. Hobbes's Dialogus Physicus*, in: *The Works*, Band I, S. 191–192.

„Denn eintausend Experimente besitzen nicht die Kraft, universell zu beweisen, dass eine Sache nicht bewirkt werden kann, wie jenes eine [Experiment, Anmerk. d. Verf.], das die Kraft besitzt, zu zeigen, dass es möglich ist, das Gegenteil zu beweisen.“<sup>414</sup>

Boyles Experimente erwecken nicht den Anschein, als hätte er sie bewusst auf eine Falsifizierung seiner Vermutung hin ausgerichtet. Ich glaube aber, dass er verneinende Gegenproben provozierte. Sein Experimentalprogramm bestand unter anderem daraus, Experimente sorgfältig zu planen, mehrmals zu wiederholen und sie immer wieder zu verändern, ob im Voraus geplant oder im Zuge der fortschreitenden Arbeit. Weil Boyle auch mit erstaunlicher Offenheit in Bezug auf die Ergebnisse an seine Versuche herantrat und Hypothesen vorsichtig und als vorläufig verstanden behandelte, war er für Falsifizierung nicht nur offen, sondern forderte sie heraus. Deswegen bezeichne ich das obige Zitat Boyles als einen Leitsatz seines Experimentalprogramms.

---

<sup>414</sup>Ders.: *An Examen of Mr. T. Hobbes's Dialogus Physicus*, in: *The Works*, Band I, S. 193: (“For a thousand experiments are not of that force, to prove universally, that a thing cannot be effected, as one, that shews it may be, is to prove the contrary.”)

## **Kapitel 5: Boyles Interpretationen von Experimenten und ihre Verschriftlichung**

Boyles genaue Kontrolle des experimentellen Prozederes verstehe ich nicht nur als methodische Vorgabe für richtiges Experimentieren. Darüber hinaus sollte das vorsichtige, peinlich genaue Vorgehen, ihm als Beobachter, ein ebenso minutiöses wie auch überprüfbares neues Wissen eröffnen. Boyles Streben nach fehlerfreiem, von ihm selbst und Dritten in Wiederholungen und Abwandlungen der Experimente überprüfbarem Wissen erscheint dabei nicht im Widerspruch zu ergebnisoffenem Wissen. Boyles Motivation dazu, bestimmte Experimente zu unternehmen, ihre Wiederholung zu schildern oder auch nicht, sie zu variieren oder aber nicht, scheint aus heutiger Sicht abseits der Hauptexperimente oft nicht mehr nachvollziehbar.

Das heißt, dass ihre Einbindung in Boyles Theorien und ihre Einbettung in eine übergeordnete, systematische Vorgangsweise des Experimentierens nicht klar wird. Es sei denn, sie werden als Versuche angesehen, neue Phänomene und neue Zusammenhänge dazwischen zu entdecken, also neues Wissen zu finden. Im untersuchten Zeitraum war die Arbeitsweise in Boyles Labor chaotisch, eine Methode des experimentellen Forschens befand sich mitten in ihrer Entwicklung.<sup>415</sup>

Als Nächstes ist daher zu fragen, wie Boyle zu diesem neuen Wissen kam und was er damit anfang, das heißt, welche wiederkehrenden Muster der Interpretation er im Prozess seines hier vermuteten Experimentalprogramms an seine Experimente anlegte. Eine Analyse von Boyles Interpretation aller einzelnen Schritte seiner handwerklichen Arbeit wäre müßig, weil Interpretation zwangsläufig die Brücke bildete, über die Boyle von jedem einzelnen Schritt zum nächsten ging, und die Interpretation nicht erst bei der Niederschrift der publizierten Werke begann. Im Nachhinein greifbar wird die Interpretation aber erst dort, in den Protokollen, Publikationen und anderen schriftlichen Quellen, die von und über Boyle hinterlassen wurden. Zur Vermutung eines heuristischen Experimentalprogramms gehören aber sich wiederholende Muster der Interpretation, die Boyle

1. aus Experimenten wie auch
2. anderen Wissensquellen zog, und deren Anwendung durch Boyle sich zuletzt in den,
3. schriftlichen, publizierten und unpublizierten Werken niederschlugen, die der heutigen Geschichtswissenschaft als Quellenmaterial zur Verfügung stehen. In den meisten Fällen ist anhand der Beschäftigung mit seinen naturwissenschaftlichen Werken nicht lückenlos zu erkennen, warum Boyle die Natur so interpretierte, wie er es zu Papier brachte. Nicht jede Erwägung über seine Erkenntnisse schrieb er nieder, sodass nicht die interpretatorische Arbeit jedes seiner Gedankengänge sichtbar wird<sup>416</sup> Hingegen glaube ich im Sinne dieser Arbeit, dass Boyle zu neuem Wissen in einer regelhaften Weise gelangte und weiterverarbeitete, also interpretierte, dass auch hier von einem Experimentalprogramm gesprochen werden kann.

---

<sup>415</sup> Vgl. Frederic Holmes: 'Do we understand historically how experimental knowledge is acquired?', S. 126–127.

<sup>416</sup> Vgl. ebd.

## **5.1 Die Interpretation von Experimenten:**

Die Erläuterungen seiner Experimente versah Boyle mit vielfachen Einschränkungen und Vorbehalten. Dieser Eigenheit seiner Sprache und Schwierigkeit für seine Leserinnen war sich Boyle bereits am Anfang seiner naturwissenschaftlichen Publikationstätigkeit 1661 bewusst. Was er selbst eine „Zögerlichkeit“ oder „Zaghaftigkeit“ („diffidence“)<sup>417</sup> nannte, war keine bloße Stilfrage:

„Vielleicht wirst Du Dich darüber verwundern, *Pyrophilus* [der Adressat des Werkes, ein Neffe Boyles, Anmerk. d. Verf.], dass ich in fast jedem der folgenden Aufsätze so zweifelnd sprechen mag, und so oft *vielleicht, es scheint, es ist nicht unwahrscheinlich*, und andere Ausdrücke verwenden mag, wie um eine Zaghaftigkeit betreffend die Wahrheit der Meinungen, zu denen ich neige, vorzutragen. Und [ebenso magst Du Dich darüber verwundern, Anmerk. d. Verf.], dass ich so davor zurückschrecke, Prinzipien darzulegen, und Erklärungen anzustellen. Doch muss ich Dir frei gestehen, *Pyrophilus*, ich bin so vielen Dingen begegnet, denen ich nicht nur eine einzige sichere Ursache zuschreiben kann. Ebenso bin ich vielen Dingen begegnet, denen mehrere so sehr voneinander abweichende Ursachen zugeschrieben werden können, dass sie in nichts übereinstimmen, außer darin, dass sie allesamt ausreichend wahrscheinlich sein mögen; ich habe oft solche Schwierigkeiten damit gehabt, die Ursache und die Art und Weise der Dinge zu suchen, und ich bin mir meines eigenen Unvermögens überaus bewusst, diese Schwierigkeiten zu überwinden, sodass ich mit Zuversicht und bestimmt nur von wenigen Dingen zu sprechen wage, außer von Tatsachen. Und wenn ich es unternehme, irgendetwas als meine Meinung zu präsentieren, sollte ich, wäre es nicht aus Scham, noch zögerlicher sprechen, als ich es zu tun gewohnt bin.“<sup>418</sup>

Michael Hunter schreibt, dass Boyle immer wieder unter Zweifeln an seinem Glauben, an Unentschlossenheit und „»Skrupel« in fast krankhaftem Ausmaß“ litt („scruples’ to an almost pathological extent“, die Anführungszeichen sind Hunters eigene Akzentuierung, Anmerk. d. Verf.)<sup>419</sup>. Boyle ist sich der Tatsache seiner „zögerlichen“ Urteile bewusst und zeigt damit eine Fähigkeit zur kritischen Selbstreflexion. Der reflektierte Umgang mit seinem eigenen Charakter erlaubte es Boyles meines Erachtens, aus seiner überaus vorsichtigen Arbeitsweise produktiven Nutzen zu ziehen. Wird seine „Zaghaftigkeit“ als „Offenheit“ und „kritische Reflexion“ verstanden, kann sie als eine für das Experimentieren produktive Begabung bewertet werden. Sie zeigt sich in den Experimenten, mit denen er sich intensiv und teilweise jahrelang auseinandersetze und sollte als wichtige Komponente seines gesamten Experimentalprogramms betrachtet werden.

Boyle forderte, dass Hypothesen nur auf der Grundlage experimenteller Ergebnisse aufgestellt werden sollten. Experimente könnten zwar umgekehrt auch der Bestätigung von Theorien dienen.<sup>420</sup>

<sup>417</sup> Robert Boyle: *Proëmial Essay*. Aus: *Certain Physiological Essays*, in: *The Works*, Band I, S. 307.

<sup>418</sup> Ebd.: („Perhaps you will wonder, *Pyrophilus*, that in almost every one of the following essays I should speak so doubtfully, and use so often, *perhaps, it seems, it is not improbable*, and such other expressions, as argue a diffidence of the truth of the opinions I incline to, and that should be so shy of laying down principles, and sometimes of so much as venturing at explications. But I must freely confess to you, *Pyrophilus*, that having met with many things, of I would give myself no one probable [im heutigen Sprachgebrauch wäre hier statt „wahrscheinlich“ („probable“) wohl „sicher“ („certain“) gemeint, Anmerk. d. Verf.] cause, and some things, of which several causes may be assigned so differing, as not to agree in any thing, unless in their being all of them probable enough; I have often found such difficulties in searching onto the cause and manner of things, and I am so sensible of my own disability to surmount those difficulties, that I dare speak confidently and positively of very few things, except of matters of fact. And when I venture to deliver any thing, by way of opinion, I should, if it were not for mere shame, speak yet more diffidently than I have been wont to do.”)

<sup>419</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 207–208.

<sup>420</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*, S. 121.



Darin lag aber ein Missbrauchspotential: Francis Bacon hatte davor gewarnt, dass Experimente dermaßen an eine bestimmte Theorie angepasst werden konnten, dass die Ergebnisse nicht mehr anders konnten, als die Theorie zu bestätigen.<sup>421</sup> Boyles Lösung für dieses Dilemma lautete offenbar, sich vorsichtig auszudrücken, möglichst alle Umstände zu beachten, Experimente zu wiederholen und zu verändern, und dabei aufmerksam auf eine mögliche Falsifizierung seiner Annahmen zu achten.

In den aufeinander folgenden Experimenten XXXIV<sup>422</sup> und XXXV<sup>423</sup> löste Boyle seinen zum Thema der Falsifizierung beschriebenen Anspruch ein, Hypothesen nur auf der Basis experimenteller Arbeit zu formulieren. Hier experimentierte er mit Gewichten und einem Siphon im abgesaugten Glaskolben. Die beiden Experimente hatten gemeinsam, dass Boyle die Untersuchungsergebnisse dermaßen unverständlich waren, dass er sich nicht einmal getraute, seine Vermutungen über die Ursachen schriftlich auch nur zu nennen. Experiment XXXIV beschloss er ohne irgendwelche Deutungen der Ergebnisse:

„Und weil es schwierig, sie zu vermeiden [Verluste von Gewicht an den Versuchsobjekten, „casualties“, Anmerk. d. Verf.], scheint es nicht leicht zu sein, ihre Ursachen zu entdecken. Unsere Vermutung über die Gründe dafür zu erwähnen wollen wir deswegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt unterlassen.“<sup>424</sup>

Über den Siphon in Experiment XXXV schrieb er:

„Die Ursache des Anstiegs des Wassers erschien allen, die anwesend waren, so schwierig, dass ich nicht dabei verweilen darf, die verschiedenen Vermutungen aufzuzählen, die darüber angestellt wurden. Noch weniger vermag ich sie zu untersuchen; insbesondere, weil ich nichts als bloße Vermutungen habe, um sie an die Stelle derjenigen [Vermutungen, Anmerk. d. Verf.] zu setzen, denen ich nicht zustimme.“<sup>425</sup>

Je mehr Details der Boyle'schen Forschung untersucht werden und sich nach und nach zu einem heuristischen Experimentalprogramm zusammenfügen, desto klarer treten sich wiederholende Eigenschaften seiner Arbeit auch als Charakterzüge Boyles hervor. Ein Charakter, der akribisch seine Ziele verfolgte, und bereit war, die Grenzen seines eigenen Wissens zu akzeptieren. Eine Persönlichkeit, die einerseits planvoll und theoriegebunden vorging, andererseits aber eine Offenheit der Ergebnisse vertrat. Boyles Vorsicht im Urteilen auf die Experimente XXXIV und XXXV fügt sich ebenso in die Eigenschaften Boyles ein, wie seine Feststellung, er hätte keine „Muße“ („leisure“)<sup>426</sup> gehabt, die Angelegenheit weiterzuverfolgen; dann aber dennoch eine ausführliche Beschreibung der vielen Handgriffe und Beobachtungen der Umstände das Experiment betreffend lieferte. Boyle wollte damit ausdrücklich dem Adressaten des Werkes, einem seiner Neffen, oder einer anderen

<sup>421</sup> Vgl. John Henry: ‚Empirismus‘, in: Friedrich Jaeger (Hrsg.): *Enzyklopädie der Neuzeit*, Band 3, S. 271–276, S. 271.

<sup>422</sup> Vgl. Robert Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XXXIV, S. 77–79.

<sup>423</sup> Vgl. ebd. Experiment XXXV, S. 79–81.

<sup>424</sup> Ebd. Experiment XXXIV, S. 79: („And as it is difficult to prevent them, so it seems not very easy to discover the causes of them, whereof we shall therefore at present forbear mentioning, our conjectures.”)

<sup>425</sup> Ebd. Experiment XXXV, S. 81: („The cause of this ascension of the water appeared to all that were present so difficult, that I must not stay to enumerate the various conjectures that were made at it, much less to examine them; especially having nothing but bare conjectures to substitute in the room of those I do not approve.”)

<sup>426</sup> Ebd.

Leserin, die Möglichkeit geben, dieses für ihn unbefriedigende Experiment weiter zu erforschen. Boyle äußerte das Ziel, dass Experimente von anderen Forschern nicht unnötig wiederholt werden sollten, wenn das den Fortschritt des Forscherkollektivs insgesamt behinderte, das er aus Bacons Werken vor Augen hatte. In der Royal Society befand sich diese Idee wohl zumindest teilweise im Werden. Gleichzeitig schließe ich aus Boyles Werken aus dieser Zeit eindeutig, dass er aristotelisch geprägte und nicht experimentell arbeitende Forschung als immer noch so weit verbreitet gesehen haben musste, dass er jegliche Fortführung wie auch Imitation seiner Experimente als fruchtbare Arbeit betrachtete.<sup>427</sup>

Dieses Ziel brachte er in der *Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air* auf den Punkt. Seinen Worten nach lag ihm mehr daran, Experimente, und nicht Theorien zu präsentieren. Abgesehen von der Art des Wissens, die er hervorzubringen suchte, erklärte er auch sein Ziel das von ihm ins Auge gefasste Forscherkollektiv betreffend:

„Ich trug meine Gedanken [in *New Experiments Physico-Mechanical*, Anmerk. Verf.] bloß als Vermutungen vor, zu jenem Zweck (zwar nicht nur, doch aber hauptsächlich), die Neugier der Genialen [genialen Forscherkollegen, Anmerk. d. Verf.] zu wecken, und einige Hinweise und Hilfe für die Untersuchung[en] der Spekulativen [spekulativen Geister unter den Forscherkollegen ist hier offenbar gemeint, Anmerk. d. Verf.].“<sup>428</sup>

Angesichts dieser bescheidenen Zielsetzung und der Vorsicht, mit der Boyle für gewöhnlich seine Experimentierte interpretierte, wirkt Boyles Rede von einer Versuchsreihe mit Quecksilber als „Schlüsselexperiment“ außergewöhnlich. Linus behandelte das in Frankreich durchgeführte Experiment mit einem Quecksilberbarometer auf einem Berg, indem er es selbst auf einem, wenn auch niedrigeren Hügel wiederholte. Er beobachtete dabei keine nennenswerten Schwankungen der Quecksilbersäule.<sup>429</sup> Boyle lobte Linus für die eigene Durchführung des Experiments. Doch wägte er sich ausnahmsweise in großer Sicherheit, hier mit zu Gunsten seiner eigenen Theorie mit Francis Bacons Begriff<sup>430</sup> von einem „*Schlüsselexperiment* (um mit unserem erlauchten *Verulam* zu sprechen)“ [“*experimentum crucis* (to speak with our illustrious *Verulam*)”]<sup>431</sup> sprechen zu können.<sup>432</sup> Damit ist nicht das Gleiche wie „Hauptexperimente“ gemeint. In dieser Arbeit bezeichnen „Hauptexperimente“ bestimmte Experimente, ohne dass der Begriff eine erkenntnistheoretische Bedeutung hat.

Den erkenntnistheoretischen Begriff „Schlüsselexperiment“ wiederum nutzte Boyle, wie auch Bacon, um seiner Meinung nach eindeutig zwischen konkurrierenden Erklärungen für das Phänomen der sinkenden Quecksilbersäule entscheiden zu können. Als Schlüsselexperiment zeigte es laut

<sup>427</sup> Ders.: *Proëmial Essay*. Aus: *Certain Physiological Essays*, in: *The Works*, Band I, S. 305–306.

<sup>428</sup> Ders.: *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. In: *The Works*, Band I, S. 118–185, S. 121: (“I proposed my thoughts but as conjectures designed (though not only, yet chiefly) to excite the curiosity of the ingenious, and afford some hints and assistance to the disquisitions of the speculative.”)

<sup>429</sup> Vgl. Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 160.

<sup>430</sup> Dieser nannte eine solche Art des Experiments „Wegweiser“ (“fingerposts”), und lieferte auch Beispiele dazu. Vgl. Francis Bacon, *Novum Organum*, II. Buch, Aphorismus XXXVI, S. 180–190.

<sup>431</sup> Robert Boyle: *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. In: *The Works*, Band I, S. 118–185, S. 151. Boyles eigene Akzentuierung.

<sup>432</sup> Vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 352–353, 380–348, 521–523.

Boyle eindeutig, dass Linus' Theorie, mit der dieser die schwankende Höhe der Quecksilber erklärte, falsch war. Interessanterweise führte Boyle nicht aus, was genau dies nun für die Federkraft und das Gewicht der Luft bedeutete, ob diese damit nur weitere, temporäre Gültigkeit besaßen oder gesichert als richtig gelten durften. Es ging Boyle offenbar nur um die Unterscheidung zwischen den beiden Erklärungsansätzen.

Boyle verließ sich dabei nicht darauf, ein von Dritten durchgeführtes und mit Kontrollversuchen geprüftes Experiment einerseits und die Versuche von Linus andererseits einander gegenüber stehen zu lassen. Er führte auch die ihm seine eigenen Varianten dieses Experiments ins Treffen. Boyle hatte auf einem Kirchturm beobachtet, dass sich Veränderungen im Barometer bei Beachtung der Umgebungstemperatur selbst mit nur kleinen Höhenunterschieden und mit Wasser als Versuchsmaterial zeigen ließen.<sup>433</sup> Boyle beschrieb, wie für ihn üblich, seine Wiederholungen und Variationen dieser Experimente detailgetreu. Er gab sich offenbar Mühe, nur auf der Basis vieler, eigener und fremder Beobachtungen diese Versuche mit dem Barometer als „Schlüsselexperiment“ zu klassifizieren. Auch Bacon hatte geschrieben, dass diese Unterscheidung nur bei „häufigen und gewöhnlichen Zusammentreffen“ (“frequent and ordinary concurrence”)<sup>434</sup> von Naturphänomenen vorzunehmen sei.

Isaac Newton hatte sich damit begnügt, für sein eigenes „Schlüsselexperiment“ (“*Experimentum crucis*”)<sup>435</sup> nur kurze Beschreibungen seiner Versuche mit Licht zu vermitteln, das er durch zwei Prismen brechen ließen. Die Kürze der Schilderung begründete Newton damit, dass er seine Leser nicht ermüden oder verwirren wollte, weil das Experiment eine ohnehin eindeutige und sichere Aussage liefere.<sup>436</sup> Später rechtfertigte er sich dafür damit, dass nicht die Zahl der Experimente, sondern ihre Qualität entscheidend sei.<sup>437</sup>

Die unterschiedliche Behandlung von „Schlüsselexperimenten“ bei Boyle und Newton können meines Erachtens als beispielhaft für die Unterschiede in der erkenntnistheoretischen Positionierung der beiden aufgefasst werden. Newton postulierte mit der Gravitationskraft ein im ganzen Universum gültiges Gesetz, auch wenn er die Ursache dafür nicht nennen konnte.<sup>438</sup> Boyle hingegen zeigte sich äußerst zurückhaltend darin, größere Zusammenhänge zu behaupten. Seine Interpretationen fußte er auf der Basis vieler Beobachtungen und Experimente. Wenn auch er seine Korpuskularphilosophie nicht beweisen konnte, sah er seine Experimente als Vorgriff auf einen Beweis, der erst in Zukunft möglich sein würde.<sup>439</sup>

Bei aller Entschiedenheit und Klarheit, mit der Boyle dieses Experiment mit einem Barometer auf einem Berg als „Schlüsselexperiment“ klassifizierte, muss dieser Fall als Ausnahmeerscheinung innerhalb der hier untersuchten Quellen bewertet werden. Laut Peter Anstey blieb dieses Experiment

---

<sup>433</sup> Vgl. ebd. S. 151–155.

<sup>434</sup> Francis Bacon, *Novum Organum*, II. Buch, Aphorismus XXXVI, S. 180.

<sup>435</sup> Isaac Newton: ‘A Letter of Mr. Isaac Newton; Containing His New Theory about Light and Colors’, in *Philosophical Transactions* 6 (1671), S. 3075–3087, S. 3078.

<sup>436</sup> Vgl. ebd. S. 3081, 3085, 3087; Vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 383–384.

<sup>437</sup> Vgl. Steven Shapin: ‘Woher stammt das Wissen in der wissenschaftlichen Revolution?’ In: Michael Hagner (Hrsg.): *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*. S. 97.

<sup>438</sup> Vgl. Isaac Newton: *Mathematische Grundlagen der Naturphilosophie*. Hamburg, 1988. Übersetzt und herausgegeben von Ed Dellian. S. 225–230.

<sup>439</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 55, 171, 182, 238.

denn auch später das einzige Experiment, das Boyle ein „Schlüsselexperiment“ nannte.<sup>440</sup> Als kennzeichnend für sein Verfahren der Interpretation dürfen Zaghaftheit im sprachlichen Ausdruck und Zögerlichkeit in der Bewertung von Zusammenhängen erachtet werden. Diese Ansicht spiegelt sich auch im Prolog und Epilog zu seinen *New Experiments Physico-Mechanical* wieder. Die einleitenden Worte sind von Vorsicht geprägt und formulieren, Boyles kritischer Einstellung zum Aristotelismus zum Trotz, eine wissenschaftsethische Identifikation mit Aristoteles:

„[...] weswegen ich meine Praxis [meine Art zu schreiben, Anmerk. d. Verf.] nur mit der Beobachtung von Aristoteles verteidigen möchte, der irgendwo bemerkt, dass so zu erscheinen, als wüsste man alle Dinge mit Sicherheit, und bestimmt von ihnen zu sprechen, eine List von kühnen und jungen Burschen ist; jedoch jene tatsächlich intelligent und besonnen sind, die es gewohnt sind, behutsamere oder zögerlichere Ausdrücke zu gebrauchen, oder (wie er spricht [Aristoteles, Anmerk. d. Verf.]) *vielleicht ist es sicher so*.“<sup>441</sup>

Den Schluss der *New Experiments Physico-Mechanical* markierte Boyle wiederum damit, dass er seinem Adressaten „freimütig die Unvollkommenheit des vorangegangenen Werkes bekannte“ (“free to acknowledge the imperfections of the foregoing letter”)<sup>442</sup>. Er schloss mit der kleinmütig ausgedrückten Hoffnung, sein Neffe möge die Unzulänglichkeiten dieses „unpolierten Briefes“ (“unpolished letter”)<sup>443</sup> entschuldigen, und mit vielen Gruß- und Ergebnheitsformeln.<sup>444</sup> Solche Formulierungen müssen im Kontext der verschnörkelten Sprache des Barock gelesen werden. Sie treten bei Boyle jedoch außerordentlich häufig auf. Vielmehr noch reflektierte Boyle darüber und stellte selbst fest, dass seine „Zögerlichkeit“ Teil seines Charakters und seiner wissenschaftlichen Überzeugungen gewesen seien.<sup>445</sup> Seiner Meinung nach urteilten viele Zeitgenossen zu schnell, das heißt ohne genügend experimentelle Grundlagenarbeit, und zogen daher falsche und unverständliche Schlussfolgerungen.<sup>446</sup> Boyle befand sich auch hier ganz offensichtlich in einem Widerstreit mit manchen seiner Zeitgenossen.

## **5.2 Vergleichen und Vorwissen, Austausch mit Zeugen der Experimente und Forschern, Handwerkern, Reisenden und anderen Fachleuten**

Neben Boyle selbst ermöglichten viele weitere Personen die Planung und Durchführung seiner Experimente. Boyle arbeitete ganz entgegen der Vorstellung eines genialen Eremiten immer in einem Team. So verhielt es sich auch bei der Interpretation und Publikation der Ergebnisse. Hierzu gehörten neben Boyles Assistenten seine vielen wissenschaftlichen Kollegen, interessierte Zeugen sei-

<sup>440</sup> Vgl. Peter Anstey: ‘Philosophy of Experiment in Early Modern England: The Case of Bacon, Boyle and Hooke’, in *Early Science and Medicine* 19, Nr. 2 (2014), 103–132, S. 115.

<sup>441</sup> Robert Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, S. 2: (“wherefore I shall now defend my practice but by the observation of *Aristotle*, who somewhere notes, that to seem to know all things certainly, and to speak positively of them, is a trick of bold and young fellows; whereas those, that are indeed intelligent and considerate, are wont to employ more wary or diffident expressions, or (as he speaks) προσιδέασιν αἰεὶ τὸ ἴσως χί τὸ τάχα.”) Die Akzentuierung der Übersetzung aus dem Griechischen ist meine eigene. Ich danke Mixalis Dimakis für seine Hilfe mit der Übersetzung aus dem Griechischen. (Anmerk. d. Verf.)

<sup>442</sup> Ebd. Schlussteil, S. 117.

<sup>443</sup> Ebd. 117.

<sup>444</sup> Vgl. ebd. 117.

<sup>445</sup> Vgl. ders.: *Proëmial Essay*. Aus: *Certain Physiological Essays*, in: *The Works*, Band I, S. 307.

<sup>446</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 73.

ner Experimente und die Kaufleute und Handwerker, durch welche sich Boyle über ihre beruflichen Kenntnisse und über fremde Länder und deren Bewohner unterrichten ließ. Boyles Kontakte zu letzterer Gruppe waren für einen forschenden Adligen zu dieser Zeit zwar nicht mehr völlig undenkbar<sup>447</sup>, in dieser Ausprägung aber dennoch außergewöhnlich intensiv und wertschätzend.<sup>448</sup> Steven Shapin betont, dass nicht-Adeligen wie Kaufleuten und Handwerkern glaubwürdige wissenschaftliche Aussagen vonseiten der adeligen Elite nicht zugetraut wurden.<sup>449</sup> Umgekehrt lege ich selbst Wert darauf, dass sich Boyle offensichtlich ganz entschieden bewusst war, dass auch er als gebildeter Adliger Naturphilosophie nicht allein betreiben konnte. Im Gegenteil, er suchte den Austausch mit jenen, auf die er für seine Experimente angewiesen war, nicht allein mit Fachkollegen, Kaufleuten und Handwerkern, sondern auch seinen nicht-adeligen Assistenten, und in intensivem Briefwechsel und Gesprächen mit seiner Schwester Katherine, Lady Ranelagh.<sup>450</sup> Er blieb offen für neue Wissensquellen, die er in seinen Schriften auch oft würdigte.

Obwohl Boyle stets aus vielen verschiedene Quellen schöpfte, schrieb er im *Proëmial Essay*, er wäre ganz zufrieden damit gewesen, hätten andere Leute von ihm gedacht, er hätte kein einziges Buch als das der Natur gelesen, hätte er sein Wissen allein aus eigener Naturbeobachtung geschöpft.<sup>451</sup> Ebenso schrieb er bei der Erläuterung seiner eigenen, als pragmatisch gekennzeichneten korpuskularen Philosophie, er hätte sich mit Details der cartesischen und der epikureischen Philosophie „absichtlich“ („purposely“)<sup>452</sup> nicht auseinander gesetzt. Die Lektüre von *New Experiments Physico-Mechanical* und der beiden dazugehörigen Verteidigungsschriften offenbart aber, dass Boyle die zeitgenössische naturphilosophische Forschungsliteratur nicht nur bestens kannte, sondern im eigenen Werk kontinuierlich einbezog.

In der Beschreibung seiner Experimente verknüpfte er seine Interpretationen mit den Namen von Galileo, Harvey, Descartes und Bacon, und in geringerem Umfang auch mit jenen von José de Acosta, Nicolaus Cabeus, René Descartes, Otto Guericke, Athanasius Kircher, Marin Mersenne, Blaise Pascal, Plinius der Ältere, Giovanni Battista Riccioli, Gilles Personne de Roberval, Kaspar Schott, Evangelista Torricelli, Christopher Wren und Niccolò Zucchi, um nur einige davon zu nennen, in alphabetischer Ordnung.<sup>453</sup> Boyle würdigte Informationen aus dritter Hand nicht auf systematische Weise, wie das Beispiel von Gilles de Roberval zeigt. Dieser hatte schon vor Boyle das „Torricellianische Experiment“ modifiziert, indem er Versuche darüber anstellte, wie sich Objekte verhielten, die im von Quecksilber und – augenscheinlich – auch von Luft freien Raum oberhalb

<sup>447</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*, S. 52.

<sup>448</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 148–151.

<sup>449</sup> Vgl. Steven Shapin: 'The House of Experiment in Seventeenth-Century England', in *Isis* 79, Heft 3 (1988). S. 373–404, S. 399.

<sup>450</sup> Vgl. ebd. S. 383–384; Ders.: *A Social History of Truth*. Chicago, 1994. S. 370–372.

<sup>451</sup> Vgl. Robert Boyle: *Proëmial Essay*. Aus: *Certain Physiological Essays*, in: *The Works*, Band I, S. 317.

<sup>452</sup> Ders.: *Some Specimens of An Attempt to make Chymical Experiments useful to illustrate the notion of the Corpuscular Philosophy*. Aus: *Certain Physiological Essays*. In *The Works*, Band I, S. 354–359, S. 355.

<sup>453</sup> Vgl. Robert Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I: José de Acosta S. 50, 94; Nicolaus Cabeus S. 85, 95; René Descartes S. 41; Otto Guericke S. 6; Athanasius Kircher S. 41, 52; Marin Mersenne S. 87; Blaise Pascal S. 13–15; Plinius der Ältere S. 6; Giovanni Battista Riccioli S. 89; Gilles Personne de Roberval S. 18; Kaspar Schott S. 50; Evangelista Torricelli S. 5; Christopher Wren S. 41; Niccolò Zucchi, S. 70.

der Quecksilbersäule platziert wurden. Diese Experimente würdigte Boyle ausdrücklich, nicht aber erwähnte er, dass das Konzept der Federkraft der Luft teilweise von Roberval stammte.<sup>454</sup>

Es scheint ein Widerspruch zu sein, dass Boyle diesen für ihn wichtigen Namen nannte, seine Leserin jedoch im Unklaren darüber ließ, wie er sich auf dessen Arbeit bezog. Ein ausgereiftes Zitationssystem gab es in der Wissenschaft des mittleren 17. Jahrhunderts nicht, weder in der formalen Notationsweise noch in einem Konsens, welche Quellen und Inspirationen ausdrücklich zu nennen waren. Als Grund dafür gibt der Historiker David Wootton an, dass „scientific communities“, das heißt Netzwerke in Form von Korrespondenzen oder informellen Treffen, oder formalisierte Institutionen wie die Royal Society gerade erst im Entstehen waren, und ihre Gepflogenheiten mit ihnen. Bis dahin hätten Wissenschaftler meist im sozialen Kontext von ihnen persönlich bekannten anderen Wissenschaftlern publiziert, und zwar in der Form von handgeschriebenen Manuskripten in kleiner Auflage. Das wissenschaftliche Kollektiv, das sich Boyle für die Zukunft vorstellte, und dessen „Hilfsarbeiter“ er sein wollte, sollte jedoch naturgeschichtliche und naturphilosophische Forschung in viel größerem Umfang aufnehmen, wofür Kommunikationsregeln nötig waren, die weniger von einzelnen Persönlichkeiten und ihren von Hand zu Hand gereichten Manuskripten abhängen.<sup>455</sup>

Boyles Experimente sorgten sowohl in England als auch am Kontinent für großes Interesse, weswegen Boyle in seinem Labor in Oxford oder später in London fast jeden Tag mit Besuchern rechnen konnte. Diese kamen, um eine abwechslungsreiche Unterhaltung geboten zu bekommen oder, um sich als selbst Forschende in ihrer Tätigkeit weiterzubilden und mit Boyle über neueste Erkenntnisse zu diskutieren.

Häufig schrieb Boyle davon, dass er seine Experimente in der Gegenwart von „genialen“ („ingenious“)<sup>456</sup> Zeugen durchführte, womit er selbst wissenschaftlich tätige Männer meinte, die seine Interpretation gewähren konnten. Die Verweise auf anwesende Zeugen seiner Versuche finden sich bei Boyle häufig, aber weitgehend unregelmäßig. Allein so viel kann ich vermuten, dass Boyle denjenigen Experimenten eine besondere Bedeutung zumaß, deren Zeugen er ausführlich oder gar namentlich nannte. Das schließe ich auch daraus, dass Boyle in seinen Werken laut Steven Shapin nie mehr als drei Zeugen eines Experiments gleichzeitig bei ihren Namen nannte.<sup>457</sup> Von Boyle im Zusammenhang mit einem seiner Experimente namentlich als Zeuge genannt zu werden, war vermutlich ein Zeichen der besonderen Wertschätzung, wissenschaftlicher wie auch kollegialer. Wenn Boyle die Experimente für entscheidend hielt oder sie einen spektakulären Eindruck versprachen und dies im Vorhinein mündlich bekannt gab, konnte er wohl mit Besuchern rechnen. Im Fall des Hauptexperiments XVII mit dem Torricellianischen Barometer hatte Boyle seine ersten Ergebnisse in seinem naturphilosophisch interessierten Kollegenkreis in Oxford verkündet und schrieb:

„Dieses Experiment wurde einige Tage später wiederholt, in der Gegenwart jener ausgezeichneten und verdienstvoller berühmten Mathematikprofessoren Dr. *Wallis*, Dr.

<sup>454</sup> Vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 336–337.

<sup>455</sup> Vgl. ebd. S. 339–341, 346.

<sup>456</sup> Ebd. S. 1, 15, 83, 90.

<sup>457</sup> Vgl. Steven Shapin: 'The House of Experiment in Seventeenth-Century England', in *Isis* 79, Heft 3 (1988). S. 373–404, S. 394.

Ward<sup>458</sup>, und Mr. Wren, welche erfreut waren, es mit ihrer Anwesenheit zu ehren; und welche ich namentlich nenne, weil ich es zu einer aufrichtigen Ehre zähle, ihnen bekannt zu sein, und weil ich froh bin, so verständige und erlauchte Zeugen unseres Experiments zu haben, [...].“<sup>459</sup>

Von den Tierversuchen konnte das Publikum eine dramatische Aufführung erwarten, wie es auch das ein Jahrhundert später gemalte Bild *An Experiment on a Bird in the Air Pump* von Joseph Wright vermittelt.<sup>460</sup> Deswegen ist es nicht verwunderlich, dass Boyle neben den zwei mitleidsvollen Damen bei den Experimenten mit den Vögeln andere Zeugen erwähnte. Denn diese Experimente sollten für Boyle entscheidenden Anteil daran haben, die von ihm ursprünglich gestellte Frage über die Zusammenhänge zwischen Luft und Atmung zu beantworten.

Hier legte Boyle Wert auf die Feststellung, dass die Zeugen unterschiedlicher „Qualitäten, Berufe und unterschiedlichen Geschlechts“ (“qualities, professions and sexes”)<sup>461</sup> waren. Einmal erwähnte Boyle, dass seine Zuschauer sich über die Wirkung eines Experiments sehr verwunderten.<sup>462</sup> Immer wieder fielen ihm die vielen neugierigen Besucher und Besucherinnen zur Last, wiewohl es zu seinen adeligen Pflichten gehörte, Gäste in seinem Haus und Labor zu empfangen.<sup>463</sup> Doch immer wieder integrierte Boyle seine Gäste als Zeugen in seine Schilderungen von Experimenten. Im Fall von Experiment XXXVI<sup>464</sup> rief Boyle Zeugen herbei, weil er sich unsicher über seine Beobachtungen war.<sup>465</sup> Bei Experiment XXXVII<sup>466</sup>, in welchem merkwürdige Lichterscheinungen im Glaskolben Boyle Rätsel aufgaben, nannte Boyle namentlich Dr. Wallis als Zeugen.

Shapin und Schaffer schreiben, dass Boyle seinen Experimenten durch die Anwesenheit von anderen Adelligen einen solchen Kreisen akzeptablen Status verleihen wollte.<sup>467</sup> Das mag zwar nicht völlig falsch sein. Im Einklang mit Sargent<sup>468</sup> meine ich aber, dass diese Sichtweise den Blick auf die wissenschaftliche Neugier verstellt, die Boyle und seine Kollegen antrieb. Boyle setzte sich offenbar mit seinen gelehrten Zeugen im Gespräch besonders über jene Experimente auseinander, die seiner Meinung nach hohe Aussagekraft besäßen oder über deren Interpretation er sich besonders

<sup>458</sup> John Wallis und Seth Ward hatten sich zu diesem Zeitpunkt schon jahrelang mit Thomas Hobbes regelrecht beföhdet. Die beiden waren Gründungsmitglieder der Royal Society, ebenso wie Christopher Wren. Hobbes mag ihre namentliche Erwähnung durch Boyle vielleicht nicht begeistert haben. Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 275; Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 80–82, 110–112, 118–120, 144–145.

<sup>459</sup> Robert Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XVII, S. 34: (“This experiment was a few days after repeated, in the presence of those excellent and deservedly famous Mathematic Professors, Dr. Wallis, Dr. Ward, and Mr. Wren, who were pleased to honour it with their presence; and whom I name, both as justly counting it an honour to be known to them, and as being glad of such judicious and illustrious witnesses of our experiment, [...].”)

<sup>460</sup> Joseph Wright: *An Experiment on a Bird in the Air Pump*. Online zu finden unter: [http://www.wga.hu/art/w/wright/air\\_pump.jpg](http://www.wga.hu/art/w/wright/air_pump.jpg). Abgerufen am 15.7.2017.

<sup>461</sup> Robert Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, *A Digression containing some Doubts touching Respiration*, S. 106.

<sup>462</sup> Vgl. ebd. Experiment XXXIII, S. 72.

<sup>463</sup> Steven Shapin: ‘The House of Experiment in Seventeenth-Century England’, in *Isis* 79, Heft 3 (1988). S. 373–404, S. 387.

<sup>464</sup> Vgl. Robert Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XXXVI, S. 81–89.

<sup>465</sup> Vgl. ebd. Experiment XXXVI, S. 83.

<sup>466</sup> Vgl. ebd. Experiment XXXVI, S. 89–94.

<sup>467</sup> Vgl. Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 55–60.

<sup>468</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 156–157.

unsicher war. Boyle konnte sich teure Instrumente wie die Vakuumpumpe leisten, die ab dem Zeitpunkt ihrer Konstruktion ungefähr zwei Jahre lang in ganz Europa völlig einzigartig blieb.<sup>469</sup>

Mit seinem Geschick dafür, spektakuläre Experimente zu konzipieren, verschaffte sich Boyle Aufmerksamkeit für seine Arbeit zu einem der von den Forschern seiner Zeit am intensivsten diskutierten naturphilosophischen Themenkomplexe von Luft, Atmung und Vakuum. Deswegen kann auch bezüglich des Austausches mit Zeitgenossen Boyles Eigenschaft der „Zaghaftheit“ in der Interpretation im Sinne einer „Ergebnisoffenheit“ als produktive Eigenschaft betrachtet werden.

Indem er interessierte Naturphilosophen dazu einlud, Experimente mit ihm gemeinsam zu bezeugen oder in brieflicher Korrespondenz zu besprechen, zum Beispiel über das weitverzweigte Netzwerk von Henry Oldenburg, trug Boyle zum Entstehen eines von ihm erhofften Forscherkollektivs bei.

Deutlich wird diese Beurteilung Boyles im Vergleich zu Thomas Hobbes, der sich durch seinen Dogmatismus in naturphilosophischen Fragen selbst isolierte und den Austausch mit Mitgliedern der Royal Society zumeist in der Form persönlicher Angriffe pflegte. Um zur Entstehung eines wissenschaftlichen Kollektivs beizutragen, wie es Boyle wünschte, nützte ihm seine erkenntnistheoretische „Zwischenposition“ eines heuristischen Experimentalprogramms. Mit diesem positionierte er sich zwischen dogmatischem Verharren auf Theorien und völlig beliebigem Experimentieren ohne Konzentration auf zu erreichende Ziele.

### **5.3 Protokollieren & Publizieren als Bestandteil des Experimentalprogramms**

Robert Boyle wurde schnell zu einem der meistgelesenen Naturphilosophen Europas, auf dem Kontinent tatsächlich zum meistgelesenen unter den englischen, bis ihm Isaac Newton diesen Rang ablief.<sup>470</sup> Die schnelle Folge von Publikationen aufwendiger Experimentalarbeit in den frühen und mittleren 1660er-Jahren<sup>471</sup> baute zu einem großen Teil auf lange Vorarbeit in den späten 1640er- und den 1650er-Jahren auf. In dieser Zeit eignete sich Boyle die notwendigen Fähigkeiten zur Organisation seines Laborbetriebs an.

Mehrere seiner Werke schrieb er schon Jahre vor dem Erscheinen nieder, zunächst ohne sie drucken zu lassen.<sup>472</sup> Für die anfängliche, jahrelange Verzögerung zwischen der ursprünglichen Niederschrift und der gedruckten Publikation mehrerer Werke verwendet Hunter den gleichen Begriff der „Zögerlichkeit“ („diffidence“)<sup>473</sup>, wie ihn auch Sargent zur Beschreibung seines Charakters im Titel ihrer Studie<sup>474</sup> und Boyle selbst für seinen Schreibstil wählte. Den Auftakt zu Boyles Publikationsprogramm, das ich als notwendigen Teil dessen ansehe, was ich sein Experimentalprogramm nenne, bildete 1659 kein naturphilosophisches, sondern ein religiöses Buch.<sup>475</sup> Boyle arbeitete Zeit

<sup>469</sup> Vgl. Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 227–231.

<sup>470</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle Studies. Aspects of the Life and Thought of Robert Boyle (1627–1691)*. Farnham, 2015. S. 1; Ders.: *Boyle God Science*. S. 1.

<sup>471</sup> Vgl. die Übersicht über die neue, von Michael Hunter und Edward B. Davis herausgegebene Edition der Werke Boyles: [http://www.bbk.ac.uk/boyle/researchers/works/boyle\\_works.html](http://www.bbk.ac.uk/boyle/researchers/works/boyle_works.html), in der die ursprünglichen Erscheinungsjahre angegeben werden. Abgerufen am 20.8.2017.

<sup>472</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 104.

<sup>473</sup> Ebd. S. 142.

<sup>474</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*.

<sup>475</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 121. Auch Hunter nennt Boyles Publikationstätigkeit der 1660er-Jahre ein „Publikationsprogramm“ („publication programme“), ebd. S. 276.



seines Lebens an moralischen und theologischen Schriften, allerdings folgten dieser ersten religiösen Publikation in der Mehrzahl naturphilosophische Werke, die seine Experimentalserien einem größeren Publikum und Kollegenkreis zugänglich machten.<sup>476</sup> In den 1650er-Jahren entwickelte Boyle laut Michael Hunter seinen Stil weiter, der sich von belletristischen und moralisierenden Anfängen weg entwickelte:

“Instead, Boyle seems to have been primarily concerned to do justice to the full complexity of the matters with which he was dealing, and this led to a quite different method of writing, involving the use of long, often digressive sentences, in which facts and arguments were piled up to present all facets of a complicated argument. This was the style which, for better or worse, Boyle was to deploy for the rest of his career;”<sup>477</sup>

Hunter verschweigt nicht die Schwierigkeiten bei der Lektüre von Boyle. Laut J. J. MacIntosh und Peter Anstey war es schon unter Boyles Zeitgenossen ein Gemeinplatz, dass Boyle kein begnadeter Schriftsteller war.<sup>478</sup>

Die *New Experiments Physico-Mechanical* erfuhren jedenfalls von Beginn an große Resonanz<sup>479</sup>, ob lobende oder angriffigere, wie von Linus und Hobbes, und später von dem Philosophen und Theologen Henry More.<sup>480</sup> Es war laut Hunter auch dieses große Interesse an seinem naturphilosophischen Erstlingsdruckwerk, das Boyle dazu veranlasste, alte Manuskripte für die Drucklegung zu überarbeiten und neue Werke rasch unter seine Leserschaft zu bringen.<sup>481</sup> Boyle beeilte sich dabei, für sein kontinentales Publikum die meisten seiner Bücher in lateinischer Übersetzung zu veröffentlichen.<sup>482</sup>

Zunächst waren die gedruckten Fassungen dieser Publikationen nicht nur das Ergebnis der experimentellen Arbeit, sondern ebenso der mühselig genauen Protokollierung der Experimente. Ohne genaue Aufzeichnung und genauso ohne Publikation, ob in der Form handschriftlicher Manuskripte oder gedruckter Bücher, wäre die Bezeichnung eines Experimentalprogramms obsolet. Denn ohne umfangreiche und genaue Verschriftlichung wäre aus Boyles langfristigem Projekt einer Kombination von Naturgeschichte und Naturphilosophie bloß ein unübersichtlicher Berg von für sich genommen nutzlosen Informationen geworden. Ohne die Auswahl- und Überarbeitungsprozesse, die zur Drucklegung gehörten, wäre dem rastlos und zuweilen an vielen Experimenten gleichzeitig arbeitenden Boyle eine Systematisierung seiner eigenen Ergebnisse nicht einmal ansatzweise gelungen. Deswegen gehört Boyles Publikationsprogramm als zentraler Bestandteil zu seinem heuristischen Experimentalprogramm.

---

<sup>476</sup> Vgl. ebd. S. 121.

<sup>477</sup> Ebd. S. 82.

<sup>478</sup> Vgl. J.J. MacIntosh, Peter Anstey: Robert Boyle. In: Stanford Encyclopedia of Philosophy, <https://plato.stanford.edu/entries/boyle>, Kapitel 4, Laws of Nature. Abgerufen am 24.10.2017.

<sup>479</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 142.

<sup>480</sup> Vgl. Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air Pump*. S. 207–212; Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 172–173.

<sup>481</sup> Vgl. ebd. S. 138.

<sup>482</sup> Vgl. ebd. S. 136, 139–142; Zu den lateinischen Übersetzungen vgl. auch das Kapitel “Latin Translations of Boyle’s Works” in Michael Hunter, Edward B. Davis (Hrsg.): *The Works of Robert Boyle*. Band I. London, 1999. S. lx—lxxiv.

Das Protokollieren von Boyles Arbeit stellte ich mir als mühsame Kombination von aus tausenden Teilen bestehenden Vorhaben vor, das heißt, aus unzähligen Experimenten, Beobachtungen, schriftlichen und mündlichen Quellen von Dritten, sowie den verstreut dazu vorliegenden Vorarbeiten. Denn schon in der vorliegenden Form gerieten seine oft nur auf lose Zettel verfassten Niederschriften immer wieder durcheinander.<sup>483</sup>

Die Historiker Harriet Knight und Michael Hunter kommen zu dem Schluss, das Boyle nicht nur Hypothesen als vorläufig zu verstehendes Wissen betrachtete, sondern ein ganz ähnliches Verständnis seinen eigenen Druckwerken gegenüber an den Tag legte. Gewiss verwendete er seine gedruckten Werke dazu, viele Leser auf einmal zu erreichen<sup>484</sup>, um diese zu eigener, weiterer Arbeit anzuregen<sup>485</sup>, und auch, um neue Entdeckungen als die seinen zu markieren.<sup>486</sup> Doch entgegen einer allgemeinen Vorstellung von gedruckten Werken als endgültig fixierten Ansichten ihrer Autoren und Autorinnen meinen Knight und Hunter:

“Rather, [...] he [Robert Boyle, Anmerk. d. Verf.] saw print not as a goal in itself but as a medium appropriate for the dissemination of work in progress and for recording unmethodized results which required supplementation and rearrangement – as likely in manuscript as in print – for their significance to be realized.”<sup>487</sup>

Auf ähnliche Weise betonte Sargent schon früher als Knight und Hunter, dass für Boyle das Schreiben zum Lernprozess dazugehörte. Damit meinte sie Boyles Vermittlung von nicht nur abgeschlossenen, sondern auch misslungenen Experimenten und vorläufigen Hypothesen, sowie seine Einladung, mit ebenso großer Neugier wie er selbst Experimente zu verfolgen und mit ihm über die Ergebnisse in Dialog zu treten.<sup>488</sup>

Angesichts der schieren Menge an Material, das lange Zeit nur unvollständig geordnet blieb, interpretiere ich die gedruckten Veröffentlichungen Boyles zudem als Versuch, Herr seines eigenen schriftlichen Ausstoßes zu werden. Die *New Experiments Physico-Mechanical* fanden ihre Fortsetzung in der 1669 erschienenen *Continuation, The First Part*<sup>489</sup> und 1682 *Continuation, The Second Part*<sup>490</sup>, und mehreren weiteren kurzen wie längeren Werken.<sup>491</sup>

Zur Mitte der 1660er-Jahre vermerkt Hunter zwei parallele Entwicklungen, die er als „reziproken Austausch“ (“reciprocal exchange”)<sup>492</sup> zwischen Boyle und der Royal Society betrachtet:

Boyle hatte sich ganz zu Anfang der Gründung der Royal Society stark bei dieser engagiert, sich dann aber so gut wie gar nicht mehr um diese gekümmert, auch nicht, als deren Aktivitäten völlig

<sup>483</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*, S. 175; Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 71.

<sup>484</sup> Vgl. Robert Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, *To the Reader*, S. 1.

<sup>485</sup> Vgl. ebd. S. 1–2; Ders.: *Proëmial Essay*. Aus: *Certain Physiological Essays*, in: *The Works*, Band I, S. 305–306.

<sup>486</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 156–157.

<sup>487</sup> Harriet Knight, Michael Hunter: ‘Robert Boyle’s Memoirs for the Natural History of Human Blood (1684). Print, Manuscript and the Impact of Baconianism in Seventeenth-Century Medical Science’, in *Medical History* 51, Heft 2 (2007), S. 145–164, S. 163.

<sup>488</sup> Vgl. Rose-Mary Sargent: *The Diffident Naturalist*. S. 181–186.

<sup>489</sup> Vgl. Robert Boyle: *A Continuation of New Experiments, Physico-Mechanical, touching the Spring and Weight of the Air, and their Effects. The First Part*. In *The Works*, Band III, S. 175–277.

<sup>490</sup> Vgl. ders.: *A Continuation of New Experiments, Physico-Mechanical, touching the Spring and Weight of the Air, and their Effects. The Second Part*. In *The Works*, Band IV, S. 505–593.

<sup>491</sup> Vgl. das Inhaltsverzeichnis der gesammelten Werke Robert Boyles: *The Works*, Band I, S. ccxxv–ccxxxviii;

<sup>492</sup> Vgl. Michael Hunter: ‘Reciprocal Exchange in the Making of Baconian Science’, S. 19–22.

zu versenden drohten. Das wandelte sich jedoch in den Jahren 1664, 1665 und 1666, als er sehr häufig an ihren Treffen in London teilnahm, obwohl er noch nicht dauerhaft in der Hauptstadt wohnte.<sup>493</sup> Er pflegte zusätzlich intensiven Briefverkehr mit dem Sekretär der Royal Society, Henry Oldenburg, der für ihn außerdem nicht nur als internationale Korrespondenzstelle für Kontakte mit Forschern vom Kontinent diente, sondern Boyles zahlreiche Einsendungen kürzerer wissenschaftlicher Traktate in seine *Philosophical Transactions* aufnahm und abdruckte.<sup>494</sup>

Gleichzeitig mit dieser Hinwendung auf die Royal Society und auf kürzere und damit auch schneller hergestellte Beiträge wandelte sich auch die schriftliche Organisation seiner längeren Bücher, angefangen bei *An Experimental History of Cold begun* aus dem Jahr 1665 und *Hydrostatical Paradoxes* aus dem Jahr 1666. Er organisierte diese Bücher viel mehr anhand von den von Francis Bacon vorgeschlagenen „Bestimmten Themen oder Artikeln der Untersuchung“ („Particular Topics or Articles of Inquiry“)<sup>495</sup>.

Boyle setzte viel aussagekräftigere Überschriften, die er „Titel“ („Title“) oder „Köpfe“ („Heads“) nannte, und erleichterte damit dem Leser die inhaltliche Orientierung im Text. Aussagekräftiger als seine bisherige Struktur waren die neuen „Titel“, weil sie im Unterschied zu *New Experiments Physico-Mechanical* nicht bloß nummeriert waren, sondern auch eine Vorschau auf die Fragestellung oder Hypothese boten, die darin behandelt wurde, zum Beispiel: „Titel V. Experimente über die Tendenz von Kälte, aufwärts oder abwärts zu wandern.“ („Title V. Experiments touching the tendency of cold upwards or downwards.“)<sup>496</sup>

Boyle bemühte sich offensichtlich auch um mehr für die Leserin deutlichere Angaben über Informationen, die er aus dritter Hand bezog, das heißt zu den Quellen mündlicher Berichte und der Bücher, die er verwendete. Am Anfang seines Publikationsprogramms, in den *New Experiments Physico-Mechanical*, war sein Umgang mit Informationen aus dritter Hand noch chaotischer gewesen. Einmal nannte er seine Quellen ganz genau, an anderer Stelle gar nicht, und nicht in durchgängiger Zitierweise.

Hunter bemerkt diese „reziproke“ Verbindung zwischen der Entwicklung von Boyles wissenschaftlicher Arbeit und seinem Engagement in der Royal Society, fasst daraus aber nicht die meines Erachtens offensichtliche, in die Gegenwart reichende Schlussfolgerung: Diese Veränderung innerhalb weniger Jahre bezeugt, dass Boyle an der Entwicklung wissenschaftlicher Standards im Umgang mit Quellen beteiligt war, die auch heute noch Gültigkeit besitzen.

1660 hatte Boyle am Anfang der *New Experiments Physico-Mechanical* noch geschrieben, dass er den „historischen Teil“ („historical part“), der die Experimente beschrieb, von den „Reflexionen“ („reflexions“)<sup>497</sup> darüber trennen werde, um den jeweils für das eine oder das andere interessierten Leserinnen entgegen zu kommen. Boyle setzt diese inhaltliche Trennung jedoch nicht um, zumindest nicht in angekündigter Klarheit. Drei Jahre später, 1663, setzte Boyle diese Ankündigung in *The Origin of Forms and Qualities, according to the Corpuscular Philosophy* in die Tat um, indem

<sup>493</sup> Vgl. ders.: *Boyle God Science*. S. 144–145.

<sup>494</sup> Ebd. S. 152–154.

<sup>495</sup> Ebd. S. 146.

<sup>496</sup> Robert Boyle: *An Experimental History of Cold begun*. In *The Works*, Band II, S. 462–734, S. 524.

<sup>497</sup> Ders.: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, *To the Reader*, S. 2.

er klar zwischen einem theoretischen und einem experimentellen Teil sowie einer Diskussion der aristotelischen Lehrmeinung zum Thema trennte.<sup>498</sup>

Im Vergleich zu *New Experiments Physico-Mechanical* ist die Organisationsform von *An Experimental History of Cold begun* und das nach „Paradoxa“ strukturierte und mit ungewöhnlichen vielen Bildern illustrierte *Hydrostatical Paradoxes* leichter zu verstehen, weil es die Leserin nicht mit einer Flut an Informationen überfordert, deren Ausgangs- und Endpunkte schwer auffindbar sind. Die aussagekräftigeren Titel erleichtern daher die Einordnung in größere Zusammenhänge, das heißt, in die Hypothesen, die Boyle darzulegen versuchte. Boyle entwickelte die Struktur seiner Bücher im Lauf der Jahre weiter und war darum bemüht, sein Wissen verständlich zu vermitteln.

Den Mangel an Bildern in allen anderen hier untersuchten Werken Boyles finde ich aus heutiger Sicht auffällig und schwer nachvollziehbar. Kupferstiche und ihre Vervielfältigungen waren damals für viele Autoren unerschwinglich teuer.<sup>499</sup> Doch Robert Hooke's reich illustriertes, der Royal Society gewidmetes Buch *Micrographia*<sup>500</sup> zeigt, dass es nicht prinzipiell unmöglich war, ein naturwissenschaftliches Buch reich zu bebildern. Boyle jedenfalls hatte dafür genug Geld. Boyles Stil, in langen, unendlich verworrenen Sätzen zu schreiben, lässt mich auf bildliche, nicht nur bildhafte Erklärungen seiner Experimente immer wieder hoffen wie ein Wüstenwanderer auf Regen. Boyle rechtfertigte seinen Schreibstil auch damit, dass sich seine Leserinnen die Experimente zumindest möglichst gut vorstellen können sollten, falls es ihnen nicht möglich war, sie selbst durchzuführen.<sup>501</sup>

Ich meine, dass dies zwar tatsächlich möglich ist, jedoch ungemein mühevoll. Umso schwerer verständlich finde ich es rückblickend, dass Boyle im Untersuchungszeitraum kaum jemals vom Format des rein narrativen Fließtextes abwich. Vielleicht, und das bleibt nicht mehr als bloße Spekulation, waren für Boyle Abbildungen schlicht nicht so wichtig, weil er selbst beinahe sein ganzes Erwachsenenleben an einer Schwäche des Augenlichts litt. Er war darauf angewiesen, dass ihm seine Gehilfen Bücher und Briefe vorlasen oder exzerpierten, und seine Diktate aufschrieben.<sup>502</sup> Detailreiche Kupferstiche mögen ihm wenig bedeutet haben, weil er sie nicht entschlüsseln konnte. Dass Boyle grafische Medien nicht für wichtig hielt, heißt jedoch nicht, dass er keinen Wert auf bildliche Wahrnehmung der hier analysierten Experimente legte.

Der Historiker Alexander Wragge-Morley schreibt, dass Naturphilosophen im Umfeld Royal Society wie Robert Hooke und John Ray die bildliche Beschreibung der Natur mithilfe von Worten ausführlich diskutierten.<sup>503</sup> Von Boyle ist keine Beteiligung an solchen Diskussionen bekannt. Doch ist zu vermuten, dass Boyle solche Überlegungen nicht unbekannt waren. Dies legt seine Hoffnung nahe, seine Leserin möge sich seine Versuche anhand der sie beschreibenden Worte vorstellen

<sup>498</sup> Vgl. ders.: *The Origin of Forms and Qualities, according to the Corpuscular Philosophy*. In *The Works*, Band III, S. 1–137, S. 14, 37, 60.

<sup>499</sup> Vgl. Alexander Wragge-Morley: 'The Work of Verbal Picturing for John Ray and some of his Contemporaries', in *Intellectual History Review* 20, Nr. 1 (2010), 165–179, S. 174.

<sup>500</sup> Robert Hooke: *Micrographia. Or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses*. London, 1667.

<sup>501</sup> Vgl. Robert Boyle: *Proëmial Essay*. Aus: *Certain Physiological Essays*, in: *The Works*, Band I, S. 305–306.

<sup>502</sup> Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 91–92.

<sup>503</sup> Alexander Wragge-Morley: 'The Work of Verbal Picturing for John Ray and some of his Contemporaries'. S. 168–171, 174–179. Für seine Hinweise zu den unabgeschlossenen Fragen nach der Bildmedienverwendung Robert Boyles danke ich Michael Hunter. (Anmerk. d. Verf.)

können. Die Herausforderung, die Welt fast ohne die eigenen Augen zu erkunden, fügt sich wunderbar in seinen Wunsch, dem freien Auge nicht erkenntliche Phänomene wie den Luftdruck zu erforschen. Zumindest in der historischen Rückschau.

## **Kapitel 6: Schlussfolgerungen: Boyles Synthese von Theorie und Experimenten als erkenntnistheoretisch heuristische Zwischenposition**

Boyles naturwissenschaftliches Frühwerk ergibt in der Zusammenschau aller Faktoren seiner Weltanschauung, seiner praktischen experimentellen Arbeit und deren Niederschrift ein übergreifendes Gesamtwerk, das ich ein heuristisches Experimentalprogramm nenne. Auf der Grundlage seines Glaubens an Gott entwickelte Boyle ein heuristisches Programm, das ihm die Schöpfung mithilfe von Experimenten zu verstehen und erkennen ermöglichen sollte. Als Zusammenfassung des Boyleschen Experimentalprogramms lassen sich vier Hauptpunkte erkennen, die Boyles theoretische Grundlagen und seine experimentelle sowie interpretatorische Praxis auf chronologisch nichtlineare Weise in sich vereinen. Diese vier Punkte bezeichne ich folgendermaßen:

1. Staunen
2. Übersetzen
3. Zirkulieren und Schuften
4. Indizien sammeln

1. Boyles Staunen, sein Interesse für das Unbekannte, bezeichnet seine Motivation dafür, fast sein gesamtes Erwachsenenleben naturwissenschaftlich zu forschen, und dabei besonders gründlich vorzugehen. Als bibelfester Mensch kannte er die Verse aus dem Buch Hiob:

„<sup>7</sup>Doch frage nur die Tiere, sie lehren es dich, / die Vögel des Himmels, sie künden es dir.

<sup>8</sup>Rede zur Erde, sie wird dich lehren, / die Fische des Meeres erzählen es dir.

<sup>9</sup>Wer wüßte [sic!] nicht bei alledem, / daß [sic!] die Hand des Herrn dies gemacht hat?<sup>504</sup>

Boyles Einstellung zur Naturwissenschaft lässt sich als intellektuelle Entdeckungslust und begeistertes Staunen charakterisieren, in religiöser Formulierung als Liebe zur Schöpfung Gottes, ob es die Atmung eines winzigen Insekts oder das Klima, die Flora und Fauna und die Sitten und Gebräuche in einem fremden Land waren. Boyles pragmatische, das heißt undogmatische Einstellung zur Wissenschaft und seine Akzeptanz der Vielfalt der Welt ermöglichte es ihm, seine Aufmerksamkeit für Ungewohntes zu schärfen, unentwegt Fragen zu stellen, Regelmäßigkeiten zu erkennen und Zufälle in den experimentell erzeugten Phänomenen produktiv zu nutzen.

2. Boyles heuristisches Experimentalprogramm vermittelt den Eindruck einer einheitlichen Systematik, weil es Boyle gelang, zwischen den verschiedenen Stadien seiner Untersuchungen zu übersetzen. Sein neugieriges Staunen über Naturphänomene übersetzte er in konkrete Fragestellungen an Experimentalphänomene, die sowohl am einzelnen Versuchsobjekt nachvollziehbar waren, als auch im größeren naturphilosophischen Kontext seiner Zeit verfolgt wurden. Seine Fragen übertrug er in sein Labor, wo er mit wissenschaftlichen Instrumenten und seinen Assistenten eine Organisationsstruktur plante, die eine Überprüfung seiner Fragen unter kontrollierten Umständen ermöglichte. Was ihm ausschließlich sein außergewöhnlicher Reichtum materiell erlaubte, setzte

<sup>504</sup>Hiob 12,7–9. Einheitsübersetzung der Heiligen Schrift. Die Bibel. Klosterneuburg, 1996. S. 593.

Boyle mit Konzepten für Experimente und der Organisation eines kontinuierlich arbeitenden Teams von mehreren Leuten um.

3. Boyles Beständigkeit im intensiven, Tag für Tag und fast lebenslang verfolgten Experimentieren setzte Durchhaltevermögen voraus, das heißt, Willensstärke und physische Ausdauer, richtiges Schuffen. Seinem ersten Auftritt als Naturphilosoph vor einem internationalen Publikum mittels eines gedruckten Werkes 1660 ging eine lange Vorbereitungszeit voraus. Mehr als ein Jahrzehnt lang übte er in im eigenen Labor experimentelle Naturerforschung ein, mit oft wiederholten und selbstkritisch beurteilten Versuchen, die einen enormen körperlichen Aufwand bedeuteten. Den schwersten Teil der körperlichen Arbeit übertrug er auf seine Mitarbeiter.

Boyles schriftliche Werke zeugen gerade in der Frühzeit seines Experimentalprogramms von einer ständigen geistigen Unruhe und kreativer Verspieltheit, die aber mit perfektionistischen Ansprüchen an die von ihm definierten Ziele der Naturphilosophie zusammentreffen. Boyle gab offen zu, dass er allein die großen Fragen der Naturphilosophie nicht lösen konnte.

Diese Ausgangslage nützte er, indem er die Zusammenarbeit mit anderen Naturphilosophen suchte. Doch fiel es ihm meines Erachtens und auch im Urteil seiner Zeitgenossen schwer, seine Ergebnisse schlüssig und strukturiert zu vermitteln. Boyle zirkulierte seine Forschungsfragen, indem er die Experimente zunächst wiederholte und im Anschluss an eine vorläufig abgeschlossene Untersuchung wie in einem Kreislauf stets eine neue Frage stellte. Er passte die Untersuchung bei vorläufigen Fehlschlägen und unerwarteten Resultaten an. Er kommunizierte sein Wissen in den entstehenden „scientific communities“ und beschäftigte sich interessiert mit allen Reaktionen auf seine Aussagen, ob seine Kollegen ihn lobpreisten oder seine Ergebnisse verwarfen.

4. Boyle entwarf sein heuristisches Experimentalprogramm wie ein vorsichtiger „Indiziensammler“, wie ich ihn mit einem Ausdruck des Historikers Carlo Ginzburg nenne.<sup>505</sup> Ähnlich der Arbeit in einem Kriminalfall, fügte Boyle in langwieriger, mühseliger und bedachter Weise Stück für Stück seines Experimentalprogramms zusammen. Er betonte, dass er mit diesen Stücken noch nicht am Ziel war und ihre richtige Anordnung noch nicht finden konnte, die Teile sich aber eines Tages zur Lösung seines „Falls“ zusammenfügen ließen. Boyle begriff sich als „Hilfsarbeiter“, der der Wissenschaft zukünftiger Generationen vorbauen wollte, mit Skepsis vor systematischen Erklärungen und mit für ihn angebrachter Vorsicht. Für diese Rolle, die für ihn mit dem Ziel zusammenfiel, eines fernen Tages die Korpuskularphilosophie beweisen zu können, eignete sich Boyle als kreativer, verschrobener Individualist. Weniger aus philosophischen Spekulationen bezog Boyle sein Wissen, sondern aus der handgreiflichen „Konkretheit der Erfahrung“<sup>506</sup>, das heißt aus seinen Experimenten, und übertrug es auf andere „Fälle“, andere Experimente. Zu verallgemeinern, fiel Boyle offensichtlich schwer. Zu seiner laut Eigenaussage „zögerlichen“ Arbeitsweise gehörte es dazu, die Grün-

---

<sup>505</sup> Carlo Ginzburg: ‚Der Jäger entziffert die Fährte, Sherlock Holmes nimmt die Lupe, Freud liest Morelli – die Wissenschaft auf der Suche nach sich selbst‘, in: ders. (Hrsg.): *Spurensicherung. Die Wissenschaft auf der Suche nach sich selbst*. Berlin, 2002. S. 7–57. S. 18–21, 36–38.

<sup>506</sup> Ebd. S. 35.

de für seine Schlussfolgerungen zu nennen, warum etwas als gesichert oder aber nicht gesichert angenommen werden konnte.

Um zu verdeutlichen, wie sich die vier Punkte in Boyles Experimentalprogramm manifestierten, werden sie exemplarisch an einer Versuchsreihe dargestellt, Boyles Hauptexperiment mit dem „Torricellianischen Barometer“:

| <b>Vier zusammenfassende Punkte von Boyles heuristischem Experimentalprogramm</b> | <b>Die Manifestation dieser Punkte in Boyles Hauptexperiment mit dem „Torricellianischen Barometer“</b>   |
|---|---|
| 1. Staunen  | <p>Der Himmel, Sitz Gottes, bringt Boyle zur Erforschung der Umwelt. Im Großen: „Was ist die Atmosphäre? Welche Kraft übt sie aus, und warum? Welche Bedingungen herrschen außerhalb der Atmosphäre?“ „Gibt es ein Vakuum?“ – wie im Kleinen: „Warum atmen Lebewesen, und wie?“.</p>  |
| 2. Übersetzen   | <p>Boyle befasste sich mit von Torricelli, Pascal und anderen zeitgenössischen Naturphilosophen diskutierten großen Fragen („Gibt es Vakuum?“) wie auch handfesten Fragen von Ingenieuren („Warum kann eine Wasserpumpe nicht höher als ungefähr 10 Meter pumpen?“). Torricelli hatte diese Frage von einem großen Maßstab (mehr als zehn Meter große Apparaturen) in einen handlichen Maßstab übertragen (weil Quecksilber circa 13-mal so dicht ist wie Wasser.)</p> <p>Boyle übertrug die Fortführung von Torricellis Experiment in veränderlichem Luftdruck ebenfalls in neue Maßstäbe:</p> <p>Er versetzte die Atmosphäre in eine neue Umgebung (die der abgesaugten Vakuumpumpe) und verpflanzte damit das untersuchte Phänomen, „als könnten wir das Experiment jenseits der Atmosphäre anstellen“.<sup>507</sup></p> <p>Im Auftrag von Pascal ging Florin Périer zum Berg. Boyle imitierte die montane Umgebung, Périers Berg in Südfrankreich, in seinem eigenen Labor. Er stellte im Glaskolben seiner Vakuumpumpe Bedingungen her, die bisher nur Périer an einem Quecksilberbarometer erprobt hatte. Damit übersetzte Boyle ein Naturphänomen in ein Experimentalphänomen, bei sonstiger Gleichheit der Phänomene.</p> <p>Mit diesem Experiment testete er die Vakuumpumpe. Andere Natur-</p> |

<sup>507</sup>Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in The Works, Band I, Experiment XVII, S. 33: (“[...] as if we were allowed to try the experiment beyond the atmosphere.”)



|                             |  |
|-----------------------------|--|
|                             | <p>philosophen kannten dieses Experiment, es war ihnen geläufig, hier konnte seine Leserin einsteigen.</p>   |
| 3. Zirkulieren und Schuften | <p>Boyle stand auf der Höhe der Naturphilosophie seiner Zeit und las neueste Bucherscheinungen aus England und vom Kontinent, auch über das Torricellianische Experiment.</p> <p>Die Aufklärung über die Atmung würde dem Menschen nutzen, wie sie auch die Naturphilosophen zu neuen, gegenwärtig noch gar nicht bekannten Fragen anregen würde.</p> <p>Boyle schätzte: unabhängig zu arbeiten, Experimente selbst zu sehen, diese selbst durchzuführen, das heißt, sie zu beaufsichtigen, sie unter Aufbietung aller körperlichen Kräfte (der Assistenten) zu wiederholen und zu variieren. Wesentlich war ihm aber, die Ergebnisse zu teilen und zu diskutieren. Mit anderen die Forschung darüber zu weiterzuführen. Konkret hieß dies:</p> <p>Beibehaltung des Prinzips der atmosphärischen Wirkung auf die Quecksilbersäule bei Umkehr der Veränderung des Luftdrucks. Périer auf dem Berg und Pascal auf einem Turm hatten einen Abfall des Luftdrucks registriert. Dies konnte Boyle nachahmen und damit besser sichtbar machen. Erst seine Vakuumpumpe jedoch erlaubte eine Veränderung des Luftdrucks in die andere Richtung, einen erhöhten Luftdruck, und damit ein Steigen der Quecksilbersäule.</p> <p>Variation des Experiments mit Messskalen oder Luftdruck-Messgefäßen, um die Stärke der Federkraft zu unterstreichen.</p> <p>Langzeitversuche und Ortsveränderung, um ursächlich wirkende Umstände zu ermitteln, z. B. das Wetter.</p> <p>Besucher werden genannt, namentliche Nennung von als besonders kompetent eingeschätzten Zeugen des Experiments XVII. Diskussion der Ergebnisse mit diesen.</p> |
| 4. Indizien sammeln         | <p>Von einer wilden, diskursiven, narrativen Gliederung der Verschriftlichung zu thematischer Struktur im Verlauf der 1660er-Jahre. (Von römisch bezifferten Experimenten zu “Heads” und “Articles of Inquiry”.)</p> <p>Protokollieren und publizieren als Ordnung schaffen, dabei nur temporäre Ordnung.</p> <p>Explizite Nennung der Gründe, warum etwas als experimenteller Nachweis oder aber als unschlüssige Untersuchung angenommen werden kann. Ausdrücklichkeit und Stückhaftigkeit: Wiederholungen, Misserfolg, Abwandlungen und Unerwartetes werden festgehalten.</p>   |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>Messende Veranschaulichungen der Wirkung der Federkraft auf die Luft verfolgt Boyle nicht, um mathematische Ausdrücke oder gar Gesetze dafür zu finden, sondern, um die Wirkung der Phänomene an sich zu demonstrieren.</p> <p>Zurückhaltung beim Zusammensetzen der vielen Indizien.</p> <p>Konkret hieß dies:</p> <p>Zaghaftigkeit bei der Identifikation von kausal wirksamen Indizien.</p> <p>Aufgrund von Pascals, Périers sowie der eigenen Versuche ausnahmsweise Klassifikation der Versuche mit dem Quecksilberbarometer als „Schlüsselexperiment“ zur Widerlegung konkurrierender Theorien.</p> <p>Keine eigenen, positiven Schlussfolgerungen aus dieser Klassifikation – insofern der Gewohnheit Boyles entsprechend.</p> |
|--|--|

Tabelle 1: Vier Punkte des Boyleschen Experimentalprogramms, dargestellt an seinem Hauptexperiment mit dem Quecksilberbarometer

Der Eindruck eines für Neues offenen, aber in der Planung systematischen Experimentalprogramms, bestätigt sich bei der Zusammenfassung der vielfältigen Beschäftigung Boyles mit dem „Torricellianischen Experiment“, dem Quecksilberbarometer. Ein wesentlich unschärferes Bild zeigt die Rückschau auf seine unzähligen anderen Experimente.

Während die Planung und Durchführung der Experimente eine Systematik aufweist, ergeben sich bei ihrer Interpretation viele Unklarheiten. Oft ist unklar, was die Ausgangssituation für Boyle war, ein bestimmtes Experiment aufzugreifen, das heißt, an welchen Vorarbeiten er sich orientierte, und was er damit im Speziellen herausfinden wollte.

Weitere Fragen stellen sich hinsichtlich der Schlussfolgerungen aus seinen Experimenten, und der Einordnung dieser in größere Themenkomplexe, wie etwa die Korpuskularphilosophie. Allzu oft bleiben diese Fragen unbeantwortet, was ich einerseits auf Boyles undogmatische Offenheit in der Interpretation, andererseits aber auf die bisweilen chaotische und schwer zu verstehende Organisation seiner verschriftlichten Untersuchungsergebnisse zurückführe. Boyle erweckt immer wieder den Eindruck eines zerstreuten Erfinders, als wäre er von seiner rastlosen experimentellen Arbeit und seiner Begeisterung darüber so ergriffen, dass es ihm schwerfiel, diese auch klar und deutlich zu vermitteln. Es wäre daher eine interessante Frage für künftige Forschungsarbeiten, welche Systematik Boyles Experimentalprogramm und sein dazugehöriges Publikationsprogramm bei Ausweitung des Untersuchungszeitraums zeigten.

Gewisse Vermutungen darüber lassen sich allerdings auch angesichts der Ergebnisse dieser Arbeit anstellen. Denn wichtiger als die Unschärfe der Präsentation seiner Ergebnisse, ist meines Erachtens die Pionierrolle, die Boyle in den 1660er-Jahren für die naturwissenschaftliche Forschung einnahm. Wo sein Experimentalprogramm seinerzeit noch Stückwerk blieb, demonstrierte Boyle Willen, es systematisch zu gestalten, und seines enormen publizistischen Ausstoßes Herr zu werden. In der Mitte der 1660er-Jahre begann Boyle damit, seine Schriften nachvollziehbarer den einzel-

nen Untersuchungsgegenständen entsprechend zu ordnen, und eine Trennung der beschreibenden Durchführung der Experimente einerseits, und ihrer interpretatorischen Einordnung andererseits, zu verdeutlichen.

Als selbstreflexiver Denker verstand Boyle offenbar, dass er an der Präsentation seiner Ergebnisse feilen musste, wenn er auch im Urteil seiner Zeitgenossen kein begnadeter Stilist mehr werden sollte. Auch dieses Teilurteil über sein Publikationsprogramm fügt sich in das Gesamtbild eines unvollkommenen, aber auf Systematik zielenden, heuristischen Experimentalprogramms von Robert Boyle ein. Als Pionier der Naturphilosophie beteiligte sich Boyle an der Entwicklung von wissenschaftlichen Standards, die einzuhalten auch heute noch wichtige Gepflogenheiten im Forschungsbetrieb darstellen. Diese sind zusammengefasst:

- Die eigenen Quellen und Anknüpfungspunkte nennen.
- Hypothesen auf Experimenten fußen.
- Wiederholungen, Variationen und das Misslingen von Experimenten in die Schlussfolgerungen einbeziehen. In heutiger Wissenschaftssprache hieße das, die Umstände und Variablen von Experimenten kenntlich zu machen.
- Die Wirkung der eingesetzten Instrumente unabhängig vom Versuchsobjekt erproben und als weiteren Umstand des Experiments betrachten.
- Informationen aus tertiären Quellen hinzuziehen, in Boyles Fall von Handwerkern und Reisenden.

Es wäre müßig für diese Untersuchung, Boyles Mitwirkung zu jedem dieser Punkte und den Weg ihrer weiteren Entwicklung zu heutigen Normen exakt zu bestimmen. Festzuhalten ist, dass Boyles Beitrag als Vorreiter der Naturerforschung die Unklarheiten und Schwierigkeiten dieses von den Protagonisten der „Neuen Naturphilosophie“ so empfundenen Aufbruchs im Urteil über sein Experimentalprogramm überwiegt.

Meine eigene Verortung von Boyles Experimentalprogramm als heuristische Mittelposition zwischen Theorie und Offenheit ist nur möglich, weil es in Boyles Werk ein Spannungsfeld zwischen den beiden Extremen gibt, das Michael Hunter, Rose-Mary Sargent und Peter Anstey in der modernen Historiographie als widersprüchlich auffassen. Aus dieser Mehrdeutigkeit wurde bisher keine Synthese geschlossen.

Mit der These eines heuristischen Experimentalprogramms ziehe ich meine eigene Synthese. Was Boyle nicht hinderte, muss auch heute als nicht unauflösbar angesehen werden. Er war bestrebt, den Widerspruch aufzulösen, der zwischen den Vorgaben, die Theorien notwendigerweise aufdrängen, und dem ergebnisoffenen Experimentieren besteht. Erst wenn Boyles eindeutig zu erfassendes Bestreben analysiert wird, diese Bipolarität zu überwinden, kann seine Forschungsarbeit als sinnvolle wissenschaftliche Betätigung beurteilt werden. Denn ohne ein System, das ihn anleitete, konnte er erst gar keine, in ihrer Interpretation offenen, Ergebnisse erzielen. Das erkenntnistheoretische Urteil über sein heuristisches Experimentalprogramm muss anhand dieser Ergebnisse ebenfalls zwischen mehreren Polen stehen und bleibt damit ambivalent.

Boyle entzieht sich einer eindeutigen erkenntnistheoretischen Festlegung als Dogmatiker, Skeptiker, Millenarist, Rationalist oder Empiriker. Stattdessen ist es angebracht, nicht nur sein heuristisches Experimentalprogramm, sondern auch seine erkenntnistheoretische Position als nuancierten Standpunkt zwischen den genannten Extremen zu verorten.

Boyle blieb während seiner gesamten naturphilosophischen Karriere davon überzeugt, dass die mechanistische Naturphilosophie die richtige Theorie zur Erklärung der Welt sei. Er versuchte auch, Phänomene damit zu erklären, die aus heutiger Sicht augenscheinlich mit der konkurrierenden Wellentheorie seines Zeitgenossen Christiaan Huygens<sup>508</sup> zu erklären gewesen wären, etwa seine Experimente über Magnetismus und Licht.<sup>509</sup> Gegen eine damit angedeutete Klassifizierung als Dogmatiker spricht aber, dass Boyle eindeutig stets dem ergebnisoffenen experimentellen Arbeiten die meiste Aufmerksamkeit widmete. Seine Anhänglichkeit an die Korpuskularphilosophie behinderte Boyle deswegen nicht, weil es ihm nicht hauptsächlich darum ging, diese zur vorherrschenden Theorie zu entwickeln. Vielmehr wollte er experimentelle Pionierarbeit leisten. Daher folge ich nicht der Ansicht Peter Ansteys, dass der Fall von Boyles Korpuskularphilosophie zeige, wie „schlechte Theorien gute Resultate hervorbringen können“.<sup>510</sup>

Umgekehrt ist ein Perspektivenwechsel notwendig: Nicht aus dem Blickwinkel der Korpuskularphilosophie, sondern aus dem Blickwinkel der Experimente selbst, sollte Boyles Arbeit beurteilt werden. Diese Perspektive führt zum Ergebnis, dass Boyle sich von seinen Theorien und seinem Glauben nicht behindern ließ, sondern seine Experimente auch einer heutigen Wissenschaftlerin verständlich und sinnvoll erscheinen können, ohne dazu die Korpuskularphilosophie und Boyles vermuteten Glauben an eine endzeitliche Offenbarung des Wissens über die Natur zu benötigen. Aus diesem Grund kann er auch nicht als Millenarist bezeichnet werden.

Diese Ausführungen machen offensichtlich, dass Boyles Position dem Empirismus nahe war, er sich diesem jedoch nicht völlig verpflichtete. Von einem reinen Empirismus trennte ihn zudem seine Skepsis vor der Fehlbarkeit des Menschen. Doch war Boyle der grundsätzlichen Überzeugung, dass die Naturphilosophie eines Tages eine „unbezweifelte Wahrheit“ („undoubted truth“)<sup>511</sup> erreichen könnte. Boyle vertiefte sich gelegentlich offenbar so sehr in seine Experimente, dass er selbst nicht mehr wusste, wie er zu einem bestimmten Versuch gelangt war, und was er daraus schließen sollte.

Gegenüber einem solchen „Eigenleben“ seines Experimentalprogramms verfolgte er dennoch einen meist schriftlich gefassten Plan, der die Arbeit seines Laborteams organisierte. Das positioniert Boyle zwischen Empirismus und Rationalismus, doch nicht eindeutig auf einer dieser Positionen allein. Wer sich Boyles Erkenntnistheorie vorstellen will, kann angesichts dieses vielfältigen Ergebnisses an ein Fünfeck denken, dessen Ecken die fünf genannten Positionen Dogmatismus, Millenarismus, Skeptizismus, Empirismus und Rationalismus verkörpern. Boyle steht in der Mitte dieses

<sup>508</sup> Vgl. Peter Dear: *Revolutionizing the Sciences*. S. 153–154.

<sup>509</sup> Robert Boyle: *New Experiments Physico-Mechanical*, in *The Works*, Band I, Experiment XVII, S. 33–39, hier S. 37.

<sup>510</sup> Peter Anstey: ‘Robert Boyle and the heuristic value of mechanism’, S. 173: (“What we have in Boyle’s science is another example of how bad theories can yield good results, [...]”) (Aus dem Kontext wird deutlich, dass Anstey mit “bad theories” solche historischen Theorien meint, die aus heutiger Sicht eindeutig widerlegt sind, Anmerk. d. Verf.)

<sup>511</sup> Robert Boyle: *The Sceptical Chymist. Or Chymico-Physical Doubts and Paradoxes*. In: *The Works*, Band I, S.458–661, S. 591.

Fünfecks und nimmt zu jeder der Ecken eine unterschiedliche Nähe ein. Diese Nähe ist nicht auf einer numerisch exakten Skala liegend gedacht. Das ergibt seinen erkenntnistheoretischen Standpunkt in Form einer ziemlich unregelmäßigen, fünfeckigen Fläche.

### Boyles erkenntnistheoretischer Standpunkt

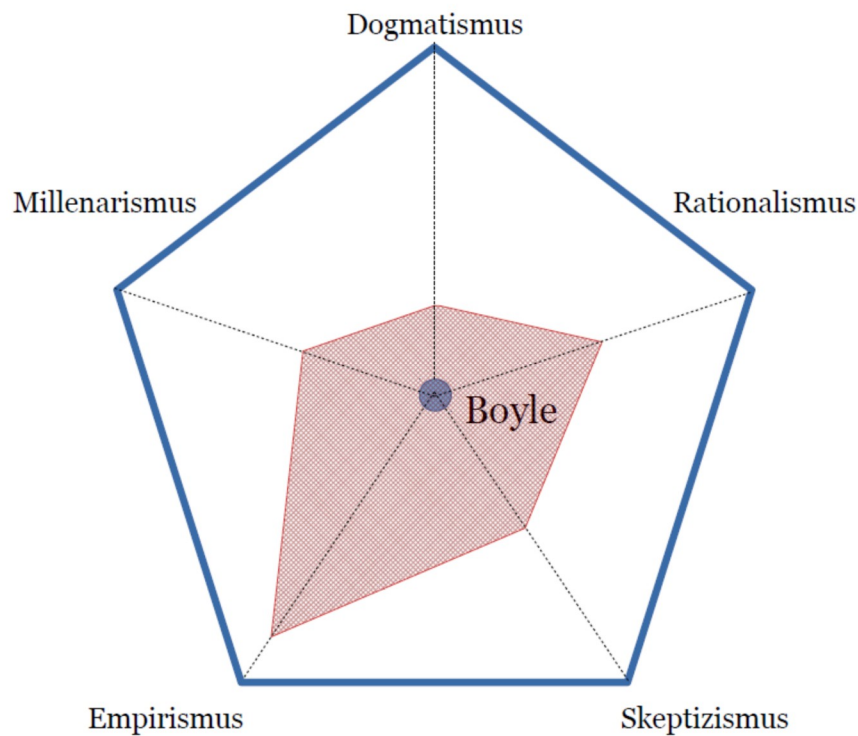


Abbildung 1

Boyles Ruhm als einer der berühmtesten Naturphilosophen seiner Zeit verging zu einem Großteil innerhalb weniger Jahrzehnte nach seinem Tod. Laut Michael Hunter verlor Boyle in jenem Maß seine Bedeutung als herausragender Naturphilosoph im Bewusstsein seiner Nachwelt, in dem seine Methoden als Norm angesehen wurden. Experimentieren als Auszeichnung der naturwissenschaftlichen Methode nahm in der Selbstdefinition der Naturphilosophie einen wichtigen und immer weniger umstrittenen Platz ein. Die Würdigung Isaac Newtons zu Lebzeiten und nach seinem Ableben in den 1720er-Jahren machte Boyle innerhalb weniger Jahre den Platz als bekanntester und am meisten geschätzter Wissenschaftlers Englands streitig. In der Wissenschaftsgeschichtsschreibung des 19. Jahrhunderts schließlich blieb Boyle eine wenig beachtete Randfigur.<sup>512</sup>

Peter Anstey führt das Sinken von Boyles Stern in den Augen seiner Nachwelt auch auf geänderte wissenschaftliche Interessen zurück. In Boyles Werk verblieb der Zusammenhang zwischen Theorie und Experiment unbestritten vage, und Boyle selbst war sich dessen bewusst, ihn nicht vollständig erklären zu können. Indessen wurde die mechanistische Philosophie nicht entscheidend weiterentwickelt. Sowohl die mechanistische Philosophie, wie sie Boyle als Korpuskularphilosophie vertrat, als auch die Betonung von naturgeschichtlichem, das heißt empirischem Forschen im Sinne Bacons und Boyles, verblieben für sich stärker isoliert, als es Boyle angestrebt hatte. Isaac Newton wiederum folgte Boyle in der Wertschätzung empirischer Arbeit, doch formulierte er daraus ma-

<sup>512</sup>Vgl. Michael Hunter: *Boyle God Science*. S. 251–252.

thematisch beschriebene Naturgesetze.<sup>513</sup> Diese besaßen allgemeingültige Aussagekraft und konnten selbst wiederum mathematisch überprüft werden, was die Strahlkraft von Newtons Ideen teilweise erklärt. Bei diesen Ausführungen unterstreicht Anstey jedoch, dass die Dominanz des so genannten „Newtonianismus“ keine unausweichliche Entwicklung war, sondern eine Prioritätenverschiebung der damals handelnden Naturforscher.<sup>514</sup>

Zu Hunters und Ansteys Darstellung ist noch einmal ausdrücklich auf die Bedeutung von Boyle Pionierarbeit als zukunftsweisend für kommende Generationen hinzuweisen. Diese war eine Rolle, die Boyle auch explizit für sich beanspruchte, und auf deren Ergebnisse Newton aufbaute. Isaac Newton selbst hatte sich bescheiden ausgedrückt, indem er die Leistung seiner naturphilosophischen Vorgänger für seine Entdeckungen betonte.<sup>515</sup> Wird Boyles bescheidene Selbstbeschreibung als „Hilfsarbeiter“ ernst genommen, ist die Ablöse von Boyle durch Newton in der „monumentalistischen“ Glorifizierung eines einzelnen Forschers kein Verlust, sondern Ausdruck eines für das 18. und 19. Jahrhundert gesondert zu betrachtenden Personenkultes.

Die starke Betonung der experimentellen Methode gilt heute als naturwissenschaftlicher Standard. Unter diesem Gesichtspunkt könnte Boyles Basisarbeit für die spätere Forschung als wenig kontrovers aufgefasst werden, da er ja als Sieger aus der Geschichte hervorgegangen wäre. Schließlich fristet zum Beispiel Thomas Hobbes' Naturphilosophie nur ein Schattendasein neben seiner heute noch in universitären Lehrplänen enthaltenen politischen Philosophie.

In diesem Sinne könnte Boyles erkenntnistheoretisch heuristische Zwischenposition als Ergebnis dieser Arbeit, aus heutiger Sicht, unstrittig wirken, weil sich kaum eine Wissenschaftlerin einem der beiden Extreme von Theorie oder ergebnisoffener, empirischer Arbeit vollkommen und ausschließlich verschreiben wird.

Diese Untersuchung verdeutlicht aber, dass diese Selbstverständlichkeit für Boyle und seine Zeitgenossen nicht galt. Boyle und einige seiner naturphilosophischen Weggefährten leisteten zur Mitte des 17. Jahrhunderts einen Beitrag zur Entwicklung dieser erkenntnistheoretischen Position, und professionalisierten experimentelles naturwissenschaftliches Forschen. Die einzelne Hypothese oder das einzelne Experiment stand selten im Vordergrund. Hypothesen waren temporär, Experimente waren temporär, selbst Druckwerke waren temporär für Boyle, dessen wissenschaftlicher Horizont weit über sein eigenes Labor und über seine eigene Lebenszeit hinausging. Deswegen komme ich zu dem Schluss, dass Boyle, mithilfe der Entwicklung seines heuristischen Experimentalprogramms, auf der Suche nach neuem, temporärem Wissen war, und damit neue Maßstäbe für die Naturwissenschaft mitentwickelte. Wissen ist dazu da, neues Wissen zu schaffen.

---

<sup>513</sup> Mit den Jahre nach Boyles Tod geschriebenen, berühmten Worten „hypotheses non fingo“ legte Newton Wert darauf, dass Hypothesen sowohl empirisch erarbeitet als auch eindeutig überprüfbar sein sollten. Vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 389–390.

<sup>514</sup> Vgl. Peter Anstey: 'Philosophy of Experiment in Early Modern England: The Case of Bacon, Boyle and Hooke', in *Early Science and Medicine* 19, Nr. 2 (2014), 103–132, S. 123.

<sup>515</sup> Vgl. David Wootton: *The Invention of Science*. S. 341.

## Verzeichnis der Quellen, Literatur, Tabellen und Abbildungen

### Primärquellen

Boyles Nachlass im Archiv der Royal Society, London: *The Boyle Papers*. Referenznummer RB/1. Magazin. GB 117 The Royal Society. Teilweise online zugänglich unter: [http://www.bbk.ac.uk/boyle/boyle\\_papers/boylepapers\\_index.htm](http://www.bbk.ac.uk/boyle/boyle_papers/boylepapers_index.htm) und <http://www.livesandletters.ac.uk/wd/index.html>. Herausgeber ist in beiden Fällen Michael Hunter. Abgerufen am 11.11.2017.

### Quelleneditionen von Robert Boyle

Robert Boyle: *The Works of the Honourable Robert Boyle*. 6 Bände. Hrsg. v. Thomas Birch. London (Faksimile Hildesheim), 1772 (Faksimile 1965). Ausgabe von 1772 online verfügbar unter: <http://data.onb.ac.at/ABO/%2BZ174848005>. Abgerufen am 11.11.2017.

Robert Boyle: *The Works of Robert Boyle*. 14 Bände. Hrsg. v. Michael Hunter, Edward B. Davis. London, 1999–2000. Eine Inhaltsübersicht der Bände findet sich online unter: [http://www.bbk.ac.uk/boyle/researchers/works/boyle\\_works.html](http://www.bbk.ac.uk/boyle/researchers/works/boyle_works.html). abgerufen am 20.8.2017.

Verwendete Werke von Robert Boyle aus der von Thomas Birch herausgegebenen Quellenedition (1772 und seitengleicher Nachdruck 1965):

- *A Continuation of New Experiments, Physico-Mechanical, touching the Spring and Weight of the Air, and their Effects. The First Part*. Bd. III. (Erstveröffentlichung 1669) S. 175–277.
- *A Continuation of New Experiments, Physico-Mechanical, touching the Spring and Weight of the Air, and their Effects. The Second Part*. Bd. IV. (Erstveröffentlichung 1682) S. 505–593.
- *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and Weight of the Air against the Objections of Franciscus Linus*. Bd. I. (Erstveröffentlichung 1662) S. 118–185.
- *An Account of Philaretus [i.e., Mr. R. Boyle,] during his Minority*. Bd. I. (Erstveröffentlichung 1646) S. xii–xxx.
- *An Examen of Mr. T. Hobbes's Dialogus Physicus de Natura Aëris. As far as it concerns Mr. Boyle's Book of New Experiments touching the Spring of the Air, etc.* Bd. I. (Erstveröffentlichung 1662) S. 186–242.
- *An Experimental History of Cold begun*. Bd. II. (Erstveröffentlichung 1665) S. 432–734.
- *Certain Physiological Essays, and other Tracts*. Bd. I. (Erstveröffentlichung 1661) S. 298–457.
- *Hydrostatical Paradoxes. Made out by New Experiments*. Bd. II. (Erstveröffentlichung 1666) S. 738–797.

- *New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of the Air, and its Effects*. Bd. I. (Erstveröffentlichung 1660) S. 1–117.
- *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy*. Bd. II. (Erstveröffentlichung 1663) S. 1–246.
- *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy. The Second Tome*. Bd. III. (Erstveröffentlichung 1671) S. 392–425
- *The Excellency of Theology. Compared with Natural Philosophy*. Bd. IV. (Erstveröffentlichung 1674) S. 1–66.
- *The Origin of Forms and Qualities. According to the Corpuscular Philosophy*. Bd. III. (Erstveröffentlichung 1666) S. 1–137.
- *The Sceptical Chymist. Or Chymico-Physical Doubts and Paradoxes, Touching the Experiments*. Bd. I. (Erstveröffentlichung 1661) S. 458–661.

### **Sekundärliteratur**

- Joseph Agassi: *The Very Idea of Modern Science. Francis Bacon and Robert Boyle*. Dordrecht, 2015.
- Peter Anstey: 'Experimental versus Speculative Natural Philosophy'. In: Peter R. Anstey, John Schuster (Hrsg.): *The science of nature in the seventeenth century. Patterns of change in early modern natural philosophy* (Studies in history and philosophy of science). Dordrecht, 2005. S. 215–242.
- Peter Anstey, John Schuster: 'Introduction'. In: Peter R. Anstey, John Schuster (Hrsg.): *The science of nature in the seventeenth century. Patterns of change in early modern natural philosophy* (Studies in history and philosophy of science). Dordrecht, 2005. S. 1–7.
- Peter R. Anstey: 'Robert Boyle and the heuristic value of mechanism', in *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 33, Heft 1 (2002). S. 161–174.
- Peter R. Anstey: 'Philosophy of Experiment in Early Modern England: The Case of Bacon, Boyle and Hooke', in *Early Science and Medicine* 19, Heft 2 (2014). S. 103–132.
- Peter R. Anstey, John Schuster (Hrsg.): *The science of nature in the seventeenth century. Patterns of change in early modern natural philosophy* (Studies in history and philosophy of science). Dordrecht, 2005.
- Jordan Avramov, Michael Hunter: 'Reading by Proxy: The Case of Robert Boyle (1627–91)', in *Intellectual History Review* 25, Heft 1 (2015). S. 37–57.
- Francis Bacon: *New Atlantis*. London, University Tutorial Press. Ohne Jahr. (Ursprünglich 1627 posthum erschienen, Anmerk. d. Verf.)



- Francis Bacon: *Novum Organum*, in: Francis Bacon: *The Works of Francis Bacon*, Bd. 4. (Erstveröffentlichung 1620) Hrsg. v. James Spedding. S. 5–248.
- Francis Bacon: *The Advancement of Learning. The First Book*, in: Francis Bacon: *The Works of Francis Bacon*. Bd. 3. (Erstveröffentlichung 1605) Hrsg. v. James Spedding. S. 253–319.
- Francis Bacon: *The Works of Francis Bacon*. 14 Bände. Hrsg. v. James Spedding. Stuttgart-Bad Cannstatt [Original London], 1963 (Faksimile der Original-Ausgabe von 1858).
- Marc Bloch: *Apologie der Geschichtswissenschaft oder der Beruf des Historikers*. Stuttgart, 2002.
- Marie Boas Hall: *Robert Boyle on Natural Philosophy. An Essay with Selections from his Writings*. Bloomington, 1965.
- Alan Chalmers: 'Robert Boyle (1627-1691)'. In: Andrea I. Woody, Robin Findlay Hendry, Paul Needham (Hrsg.): *Philosophy of chemistry* (Handbook of the philosophy of science, 6). Amsterdam, 2012. S. 47–53.
- H. Floris Cohen: 'A Second Look. Leviathan and the Air-Pump: Editor's Introduction', in *Isis* 108, Heft 1 (2017). S. 107. Die anderen Rezensionen in dieser Ausgabe sind online verfügbar unter: <http://www.journals.uchicago.edu/toc/isis/2017/108/1>, abgerufen am 18.5.2017.
- Lorraine Daston, Katharine Park: *Wonders and the Order of Nature, 1150–1750*. New York, 1998.
- Peter Dear: *Revolutionizing the sciences. European Knowledge and its Ambition, 1500-1700*. Basingstoke, 2001.
- René Descartes: *Discours de la Méthode. Französisch - Deutsch*. Hamburg, 1964.
- John Evelyn: *March 30th 1696 Letter to William Wotton*, in: John Evelyn: *Diary of John Evelyn, to which are added a selection from his familiar letters*. Bd. 3. Hrsg. v. William Bray. London, 1879. S. 479–487.
- Lucien Febvre: 'Der Historiker prüft sein Gewissen. Antrittsvorlesung am Collège de France 1933'. In: Lucien Febvre, Ulrich Raulff (Hrsg.): *Das Gewissen des Historikers*. Berlin, 1988. S. 9–22.
- Lucien Febvre, Ulrich Raulff (Hrsg.): *Das Gewissen des Historikers*. Berlin, 1988.
- Rivka Feldhay: 'Religion'. In: Katharine Park, Lorraine Daston (Hrsg.): *Early modern science* (The Cambridge History of Science, 3). Cambridge, 2006. S. 727–755.

- Galileo Galilei: *Il Saggiatore*, in: Galileo Galilei: *De Tribus Cometis Anni 1618 Disputatio Astronomica*. (Erstveröffentlichung 1623) Hrsg. v. Lotharius Sarsius. Le Opere. Prima Edizione Completa Condotta Sugli Autentici Manoscritti Palatini, Bd. 4. S. 145–369.
- Galileo Galilei: *Sternenbotschaft*, in: Galileo Galilei: *Briefe, Dokumente. Schriften, Briefe, Dokumente*. Bd. 1. (Erstveröffentlichung 1610) Hrsg. v. Anna Mudry. S. 94–144.
- Galileo Galilei: *Discorsi. Unterredungen und mathematische Beweisführungen zu zwei neuen Wissensgebieten* Berlin, 2014. (Erstveröffentlichung 1638) Hrsg. und übers. v. Ed Dellian.
- Carlo Ginzburg: *Spurensicherung. Der Jäger entziffert die Fährte, Sherlock Holmes nimmt die Lupe, Freud liest Morelli – die Wissenschaft auf der Suche nach sich selbst*, in: Carlo Ginzburg: *Spurensicherung. Die Wissenschaft auf der Suche nach sich selbst*. S. 7–57.
- Carlo Ginzburg: *Spurensicherung. Die Wissenschaft auf der Suche nach sich selbst*. Berlin, 2002.
- Ian Hacking: *Representing and intervening. Introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge, 1983.
- Michael Hagner (Hrsg.): *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte* (/Fischer-Taschenbücher], 15261). Frankfurt am Main, 2001.
- R. Heede: ‚Fallibilismus‘. In: Joachim Ritter (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, 2 (1972). 13 Bände. Basel. S. 894–895.
- John Henry: ‚Empirismus‘. In: Friedrich Jaeger (Hrsg.): *Enzyklopädie der Neuzeit*, Bd. 3. Stuttgart. S. 271–276.
- John Henry: ‚Voluntarist Theology at the Origins of Modern Science. A Response to Peter Harrison‘, in *History of Science* 47, Heft 1 (2009). S. 79–113.
- Armin Hermann, Charlotte Schönbeck (Hrsg.): *Technik und Wissenschaft* (Technik und Kultur, 3). Düsseldorf, 1991.
- Arne Hessenbruch (Hrsg.): *Reader's Guide to the History of Science*. London, 2000.
- Thomas Hobbes: *Dialogus Physicus de Natura Aëris*. Herausgegeben als englische Übersetzung von Simon Schaffer in Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air-Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton, 1985. S. 345–391.
- Robert Hooke: *Micrographia. Or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses*. London, 1667.
- Frederic L. Holmes: ‚Do we understand Historically how Experimental Knowledge is acquired?‘, in *History of Science* 30, Heft 2 (1992). S. 119–136.

- Michael Hunter: 'Boyle, Robert'. In: Arne Hessenbruch (Hrsg.): *Reader's Guide to the History of Science*. London, 2000. S. 101–103.
- Michael Hunter: 'Robert Boyle and the early Royal Society. A reciprocal exchange in the making of Baconian science', in *British Journal for the History of Science* 40, Heft 1 (2007). S. 1–23.
- Michael Hunter: *Boyle. Between God and Science*. New Haven, 2009.
- Michael Hunter: *Boyle studies. Aspects of the Life and Thought of Robert Boyle (1627–91)*. Farnham, 2015.
- Edmund Husserl: *Cartesianische Meditationen und Pariser Vorträge*. (Husserliana. Gesammelte Werke, I). Den Haag, 1973.
- Edmund Husserl: *Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie. Erstes Buch: Allgemeine Einführung in die reine Phänomenologie*. (Husserliana. Gesammelte Werke, 3/1). Den Haag, 1976.
- Friedrich Jaeger (Hrsg.): *Enzyklopädie der Neuzeit*. Bd. 3. Stuttgart, 2006.
- Matthew Josephson: *Edison. A Biography*. London, 1959.
- Andreas Kleinert: 'Technik und Naturwissenschaften im 17. und 18. Jahrhundert'. In: Armin Hermann, Charlotte Schönbeck (Hrsg.): *Technik und Wissenschaft* (Technik und Kultur, 3). Düsseldorf, 1991. S. 269–295.
- Harriet Knight, Michael Hunter: 'Robert Boyle's Memoirs for the Natural History of Human Blood (1684). Print, Manuscript and the Impact of Baconianism in Seventeenth-Century Medical Science', in *Medical History* 51, Heft 2 (2007). S. 145–164.
- Gottfried Wilhelm Leibniz: *Brief an Christiaan Huygens, 29. Dezember 1691 (8. Januar 1692)*, in: Gottfried Wilhelm Leibniz: *Mathematischer, Naturwissenschaftlicher und Technischer Briefwechsel 1691–1693*. Hrsg. v. Heinz-Jürgen Hess (Mathematischer, Naturwissenschaftlicher und Technischer Briefwechsel, Bd. 5).
- R. E. W. Maddison: *The Life of the honourable Robert Boyle F. R. S.* London, 1969.
- Douglas McKie: *Introduction*, in: Robert Boyle: *The Works of the Honourable Robert Boyle*. Bd. 1. Hrsg. v. Thomas Birch. S. V–XX. (Einführung zum Nachdruck 1965, Anmerk. d. Verf.)
- Isaac Newton: 'A Letter of Mr. Isaac Newton. Containing His New Theory about Light and Colors', in *Philosophical Transactions* 6 (1671). 3075–3087.
- Isaac Newton: *Mathematische Grundlagen der Naturphilosophie*. Hamburg, 1988.
- Friedrich Nietzsche: *Vom Nutzen und Nachteil der Historie für das Leben*. Stuttgart, 2005.

- Österreichisches Katholisches Bibelwerk (Hrsg.): *Einheitsübersetzung der Heiligen Schrift. Die Bibel*. Klosterneuburg, 1996.
- Karl R. Popper: *The Logic of Scientific Discovery*. London, 1959.
- Theda Rehbock: ‚Phänomen‘. In: Joachim Ritter (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, 7 (1989). 13 Bände. Basel. S. 471–483.
- Joachim Ritter (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. 13 Bände. Basel,
- Paolo Rossi: *Die Geburt der modernen Wissenschaft in Europa* (Europa bauen). München, 1997.
- Rose-Mary Sargent: *The diffident naturalist. Robert Boyle and the philosophy of experiment* (Science and its conceptual foundations). Chicago, 1995.
- H. Schepers: ‚Heuristik, heuristisch‘. In: Joachim Ritter (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, 3 (1974). 13 Bände. Basel. S. 1115–1120.
- Friedrich Schleiermacher: *Dialektik*. Berlin, 1903.
- Charlotte Schönbeck: ‚Renaissance – Naturwissenschaften und Technik zwischen Tradition und Neubeginn‘. In: Armin Hermann, Charlotte Schönbeck (Hrsg.): *Technik und Wissenschaft* (Technik und Kultur, 3). Düsseldorf, 1991. S. 240–268.
- Steven Shapin: *A social history of truth. Civility and science in seventeenth-century England*. Chicago, 1994.
- Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air-Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton, 1985.
- Steven Shapin, Simon Schaffer: *Leviathan and the Air-Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. With a new introduction by the authors. Princeton, 2011.
- Steven Shapin: ‚Pump and Circumstance. Robert Boyle's Literary Technology‘, in *Social Studies of Science* 14, Heft 4 (1984). S. 481–520.
- Steven Shapin: ‚The House of Experiment in Seventeenth-Century England‘, in *Isis* 79, Heft 3 (1988). S. 373–404.
- Steven Shapin: ‚Woher stammte das Wissen in der wissenschaftlichen Revolution?‘. In: Michael Hagner (Hrsg.): *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*. Frankfurt am Main, 2001. S. 43–103.
- Frank Sherwood Taylor (Hrsg.): ‚An Early Satirical Poem on the Royal Society‘, in *Notes and Records of the Royal Society* 5, Heft 1 (1947), S. 37–46, S. 39. Der ursprüngliche Autor und das Erscheinungsjahr des Gedichts ist nicht mit Sicherheit bekannt, vgl. ebd. S. 37. (Anmerk. d. Verf.)

- Alexander Wragge-Morley: 'The Work of Verbal Picturing for John Ray and Some of his Contemporaries', in *Intellectual History Review* 20, Heft 1 (2010). S. 165–179.
- Jan W. Wojcik: 'The Works of Robert Boyle (Review)', in *Journal of History of Philosophy* 40, Heft 4 (2002). S. 543–545.
- Andrea I. Woody, Robin Findlay Hendry, Paul Needham (Hrsg.): *Philosophy of chemistry* (Handbook of the philosophy of science, 6). Amsterdam, 2012.
- David Wootton: *The invention of science. A new history of the scientific revolution*. New York, 2015.

### **Internetdokumente**

- Teile von Boyles Nachlass im Archiv der Royal Society sind in edierter Fassung online zugänglich unter: [http://www.bbk.ac.uk/boyle/boyle\\_papers/boylepapers\\_index.htm](http://www.bbk.ac.uk/boyle/boyle_papers/boylepapers_index.htm) und <http://www.livesandletters.ac.uk/wd/index.html>. Herausgeber ist in beiden Fällen Michael Hunter. Abgerufen am 11.11.2017.
- J. J. MacIntosh, Peter Anstey: 'Robert Boyle'. In: Stanford Encyclopedia of Philosophy. Hrsg. v. Edward N. Zalta. (2014). Online verfügbar unter: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2014/entries/boyle/>, abgerufen am 24.10.2017.
- Joseph Wright: *An Experiment on a Bird in the Air Pump*. Ölgemälde, circa 1768. Kopien sind online zu finden unter: [http://www.wga.hu/art/w/wright/air\\_pump.jpg](http://www.wga.hu/art/w/wright/air_pump.jpg). Abgerufen am 15.7.2017.

### **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Vier Punkte des Boyleschen Experimentalprogramms, dargestellt an seinem Hauptexperiment mit dem Quecksilberbarometer. Kapitel 6 „Schlussfolgerungen“.

### **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Boyles erkenntnistheoretischer Standpunkt. Eigenes Werk. Kapitel 6 „Schlussfolgerungen“.