

Meiner

Philosophische Bibliothek

Pierre Duhem

Ziel und Struktur  
der physikalischen  
Theorien





PIERRE DUHEM

Ziel und Struktur  
der physikalischen Theorien

Autorisierte Übersetzung von  
FRIEDRICH ADLER

Mit einem Vorwort von  
ERNST MACH

Mit einer Einleitung  
und Bibliographie  
herausgegeben von  
LOTHAR SCHÄFER

FELIX MEINER VERLAG  
HAMBURG

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet abrufbar über <http://portal.dnb.de>.

ISBN: 978-3-7873-1457-7

ISBN eBook: 978-3-7873-3214-4

© Felix Meiner Verlag GmbH, Hamburg 1998.

Alle Rechte vorbehalten. Dies gilt auch für Vervielfältigungen, Übertragungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen, soweit es nicht §§ 53 und 54 UrhG ausdrücklich gestatten.

*[www.meiner.de](http://www.meiner.de)*

## Inhalt

|                                                                                                              |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Einleitung: Duhems Bedeutung für die Entwicklung der Wissenschafts-<br>theorie. Von Lothar Schäfer . . . . . | IX*   |
| Bibliographie . . . . .                                                                                      | XXXV* |

### Pierre Duhem Ziel und Struktur der physikalischen Theorien

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| Vorwort zur deutschen Ausgabe von 1908. Von Ernst Mach . . . . . | III |
| Vorbemerkung des Übersetzers. Von Friedrich Adler . . . . .      | V   |
| Vorwort zur französischen Ausgabe. Von Pierre Duhem . . . . .    | VII |

#### Erster Teil.

#### Das Ziel der physikalischen Theorien.

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Erstes Kapitel.</b> – Physikalische Theorie und metaphysische<br>Erklärung . . . . .                                                              | 3  |
| § 1. Die Auffassung der physikalischen Theorie als Erklärung . . . . .                                                                               | 3  |
| § 2. Auf Grund der vorstehenden Ansicht sind die physikalischen<br>Theorien der Metaphysik untergeordnet . . . . .                                   | 6  |
| § 3. Auf Grund der vorstehenden Ansicht hängt der Wert einer<br>physikalischen Theorie vom metaphysischen System, das man<br>anerkennt, ab . . . . . | 8  |
| § 4. Der Streit über die verborgenen Ursachen . . . . .                                                                                              | 13 |
| § 5. Kein metaphysisches System reicht für den Aufbau einer<br>physikalischen Theorie aus . . . . .                                                  | 16 |
| <b>Zweites Kapitel.</b> – Physikalische Theorie und naturgemäße<br>Klassifikation . . . . .                                                          | 20 |
| § 1. Die wahre Natur der physikalischen Theorie und die Oper-<br>ationen, durch die sie zustande kommt . . . . .                                     | 20 |
| § 2. Welchen Nutzen hat eine physikalische Theorie? Die Theorie<br>als Ökonomie des Denkens . . . . .                                                | 23 |
| § 3. Die Auffassung der Theorie als Klassifikation . . . . .                                                                                         | 25 |
| § 4. Die Theorie hat die Tendenz sich in eine naturgemäße Klassi-<br>fikation umzuformen . . . . .                                                   | 27 |
| § 5. Die der Erfahrung vorangehende Theorie . . . . .                                                                                                | 31 |

|                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Drittes Kapitel.</b> – Die beschreibenden Theorien und die Geschichte der Physik . . . . .                                 | 35  |
| § 1. Die Rolle der naturgemäßen Klassifikation und der Erklärungen in der Entwicklung der physikalischen Theorien . . . . .   | 35  |
| § 2. Die Meinungen der Physiker über das Wesen der physikalischen Theorien . . . . .                                          | 47  |
| <b>Viertes Kapitel.</b> – Die abstrakten Theorien und die mechanischen Modelle . . . . .                                      | 67  |
| § 1. Zwei Arten Denker: Umfassende Denker und tiefe Denker . . . . .                                                          | 67  |
| § 2. Ein Beispiel umfassenden Geistes. Der Geist Napoleons . . . . .                                                          | 70  |
| § 3. Das umfassende, das scharfe und das geometrische Denken . . . . .                                                        | 75  |
| § 4. Der umfassende und der englische Geist . . . . .                                                                         | 79  |
| § 5. Die englische Physik und die mechanischen Modelle . . . . .                                                              | 86  |
| § 6. Die englische Schule und die mathematische Physik . . . . .                                                              | 95  |
| § 7. Die englische Schule und der logische Aufbau einer Theorie . . . . .                                                     | 101 |
| § 8. Die Weiterverbreitung der englischen Methode . . . . .                                                                   | 111 |
| § 9. Trägt die Anwendung mechanischer Modelle bei Entdeckungen Früchte? . . . . .                                             | 121 |
| § 10. Soll der Gebrauch mechanischer Modelle die Forschung nach abstrakten und logisch geordneten Theorien hindern? . . . . . | 128 |

## Zweiter Teil.

### Die Struktur der physikalischen Theorien.

|                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Fünftes Kapitel.</b> – Quantität und Qualität . . . . .                                                           | 139 |
| § 1. Theoretische Physik ist mathematische Physik . . . . .                                                          | 139 |
| § 2. Quantität und Maß . . . . .                                                                                     | 140 |
| § 3. Quantität und Qualität . . . . .                                                                                | 144 |
| § 4. Die rein quantitative Physik . . . . .                                                                          | 147 |
| § 5. Die verschiedenen Intensitäten derselben Qualität sind durch Zahlen ausdrückbar . . . . .                       | 150 |
| <b>Sechstes Kapitel.</b> – Die primären Qualitäten . . . . .                                                         | 157 |
| § 1. Über die übermäßige Vermehrung der primären Qualitäten . . . . .                                                | 157 |
| § 2. Eine primäre Qualität ist eine in der Tat, aber nicht von rechtswegen irreduzierbare Qualität . . . . .         | 161 |
| § 3. Eine primäre Qualität ist stets nur in provisorischem Sinne primär . . . . .                                    | 167 |
| <b>Siebentes Kapitel.</b> – Mathematische Deduktion und physikalische Theorie . . . . .                              | 172 |
| § 1. Physikalische Annäherung und mathematische Präzision . . . . .                                                  | 172 |
| § 2. Mathematische Deduktionen, die physikalisch verwendbar und solche, die physikalisch unverwendbar sind . . . . . | 176 |

|                                                                                                                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| § 3. Beispiel einer mathematischen Deduktion, die niemals verwendbar werden kann . . . . .                                                                              | 180        |
| § 4. Die Annäherungsmathematik . . . . .                                                                                                                                | 185        |
| <b>Achtes Kapitel. – Das physikalische Experiment . . . . .</b>                                                                                                         | <b>188</b> |
| § 1. Ein physikalisches Experiment ist nicht einfach die Beobachtung einer Erscheinung, es ist außerdem die theoretische Interpretation derselben . . . . .             | 188        |
| § 2. Das Resultat eines physikalischen Experimentes ist ein abstraktes und symbolisches Urteil . . . . .                                                                | 192        |
| § 3. Nur die theoretische Interpretation der Erscheinungen ermöglicht den Gebrauch der Instrumente . . . . .                                                            | 201        |
| § 4. Über die Kritik physikalischer Experimente und den Unterschied der zwischen ihr und der Prüfung gewöhnlicher Aussagen besteht . . . . .                            | 209        |
| § 5. Das physikalische Experiment ist weniger sicher, aber genauer und detaillierter, als die nichtwissenschaftliche Konstatierung einer Tatsache . . . . .             | 215        |
| <b>Neuntes Kapitel. – Das physikalische Gesetz . . . . .</b>                                                                                                            | <b>217</b> |
| § 1. Die physikalischen Gesetze sind symbolische Beziehungen . . . . .                                                                                                  | 217        |
| § 2. Ein physikalisches Gesetz ist genau gesprochen, weder richtig noch falsch, sondern angenähert . . . . .                                                            | 222        |
| § 3. Jedes physikalische Gesetz ist provisorisch und relativ, weil es angenähert ist . . . . .                                                                          | 227        |
| § 4. Jedes physikalische Gesetz ist provisorisch, weil es symbolisch ist . . . . .                                                                                      | 230        |
| § 5. Die physikalischen Gesetze sind detaillierter als jene des gewöhnlichen Verstandes . . . . .                                                                       | 236        |
| <b>Zehntes Kapitel. – Die physikalische Theorie und das Experiment . . . . .</b>                                                                                        | <b>238</b> |
| § 1. Die experimentelle Kontrolle einer Theorie besitzt in der Physik nicht die gleiche logische Einfachheit wie in der Physiologie . . . . .                           | 238        |
| § 2. Ein physikalisches Experiment kann niemals zur Verwerfung einer isolierten Hypothese, sondern immer nur zu der einer ganzen theoretischen Gruppe, führen . . . . . | 243        |
| § 3. Das experimentum crucis ist in der Physik unmöglich . . . . .                                                                                                      | 249        |
| § 4. Kritik der Newtonschen Methode. – Erstes Beispiel: Die Mechanik des Himmels . . . . .                                                                              | 253        |
| § 5. Kritik der Newtonschen Methode (Fortsetzung). – Zweites Beispiel: Die Elektrodynamik . . . . .                                                                     | 260        |
| § 6. Konsequenzen in bezug auf den physikalischen Unterricht . . . . .                                                                                                  | 267        |

|                                                                                                                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| § 7. Konsequenzen in bezug auf die mathematische Entwicklung der physikalischen Theorie . . . . .                                                                                | 274        |
| § 8. Gibt es gewisse Postulate der physikalischen Theorie, die durch das Experiment nicht widerlegt werden können? . .                                                           | 279        |
| § 9. Hypothesen, deren Wortlaut keine experimentelle Deutung zuläßt . . . . .                                                                                                    | 285        |
| § 10. Der gesunde Menschenverstand hat zu beurteilen, welche Hypothesen aufgegeben werden müssen . . . . .                                                                       | 290        |
| <b>Elftes Kapitel. – Die Wahl der Hypothesen . . . . .</b>                                                                                                                       | <b>293</b> |
| § 1. Worauf sich die von der Logik bei der Wahl der Hypothesen gestellten Bedingungen reduzieren . . . . .                                                                       | 293        |
| § 2. Die Hypothesen sind nicht das Produkt einer plötzlichen Schöpfung, sondern das Ergebnis einer fortschreitenden Entwicklung. – Die allgemeine Gravitation als Beispiel . . . | 296        |
| § 3. Der Physiker wählt nicht die Hypothesen, auf die er eine Theorie stützt, sie entstehen in ihm ohne sein Zutun . . .                                                         | 342        |
| § 4. Über die Darlegung der Hypothesen im physikalischen Unterricht . . . . .                                                                                                    | 348        |
| § 5. Die Hypothesen können nicht aus Axiomen des gewöhnlichen Wissens abgeleitet werden . . . . .                                                                                | 352        |
| § 6. Die Wichtigkeit der historischen Methode in der Physik . .                                                                                                                  | 364        |
| Namenregister . . . . .                                                                                                                                                          | 369        |

# **Einleitung: Duhems Bedeutung für die Entwicklung der Wissenschaftstheorie**

Von Lothar Schäfer

Die vorliegende Ausgabe bringt die Übersetzung von F. Adler ohne Korrekturen und neue Anmerkungen. Duhem selbst hatte seinerzeit die Übersetzung durchgesehen und autorisiert. – Die bei der Neuausgabe 1978 vorgenommene Einschätzung der Bedeutung Duhems gilt nach wie vor, so daß ich an der Einleitung nur geringfügig zu ändern hatte und mich auf eine Anpassung in den Literaturbezügen beschränken konnte. Die Bibliographie enthält im Nachtrag die seitdem erschienene Literatur, ohne Vollständigkeit zu beanspruchen. – Dem Verlag ist zu danken für die symbolträchtige Entscheidung, dieses klassische Werk der Wissenschaftstheorie in die Reihe der Klassiker der Philosophie zu übernehmen, womit es seinen angemessenen Ort findet.

## **1. Duhems Leben und Werk**

Pierre Duhem (1861–1916) erhielt seine Universitätsausbildung als Physiker an der Eliteschule Frankreichs, der École Normale Supérieure. In Paris war er geboren und aufgewachsen. Seine Begabung, Originalität und Eigenwilligkeit zeigten sich schon in seiner Dissertation, die er bereits vor seiner „Licence“ einreichte. Der Dreiundzwanzigjährige griff darin ein hochaktuelles Thema auf, nämlich die Anwendung thermodynamischer Begriffe auf Chemie und Elektrizitätslehre. Duhem, der als einer der Begründer der Physikalischen Chemie später Anerkennung finden sollte, hatte jedoch mit seiner Dissertation zunächst keinen Erfolg. Denn er griff in ihr Thesen an, an denen Berthelot – damals allmächtiger Sekretär der Französischen Akademie und Mitglied der Prüfungskommission – jahrelang gearbeitet hatte. Berthelot brachte nicht nur die Dissertation zu Fall, sondern benutzte seine ganze Macht, um sich für die Kränkung seiner Eitelkeit zu entschädigen, indem er erklärte: „Dieser junge Mann soll nie in Paris lehren“.

Zwar reichte Duhem bereits zwei Jahre später eine neue Dissertation über den Magnetismus ein und wurde als Bester seines Jahrgangs promoviert, er erhielt jedoch keine Stelle in Paris. Nach Zwischenstationen in Lille und Rennes erhielt er 1895 einen Lehrstuhl für theoretische Physik an der Universität in Bordeaux, den er bis zu seinem Tod im Jahre 1916 innehatte.

Zum Zeitpunkt seines Todes hatte Duhem allerdings eine internationale Reputation als Physiker, Wissenschaftstheoretiker und Wissenschaftshistoriker gefunden, die nur wenige Pariser Kollegen aufweisen konnten. Den Ruf auf den neu eingerichteten Lehrstuhl für Geschichte der Naturwissenschaften am Collège de France lehnte er ab und zog es vor, in der Provinz zu bleiben, da er sich primär als theoretischer Physiker verstand.

Als ein solcher war Duhem ebenso originell wie produktiv. Mit Vehemenz wandte er sich gegen die Vorrangstellung der Mechanik in der Physik und suchte alle Gebiete unter seiner verallgemeinerten Thermodynamik neu zu entwickeln. Damit war er in sachlicher Nachbarschaft zu den Ideen von Ostwald und Mach. Duhem gehörte zu jenen Physikern, die im ausgehenden 19. Jhdt. an der Umbildung der Physik in großem Stil arbeiteten, d. h. die den durch die Dominanz der klassischen Mechanik etablierten Denkwang brachen und damit an der Vorbereitung jener wissenschaftlichen Revolution beteiligt waren, die durch Planck und Einstein herbeigeführt wurde.

Ähnlich wie Mach opponierte er gegen die Einführung atomistischer Ideen in die Physik. Obwohl also weder die Atomtheorie noch die Relativitätstheorie Eingang in seine Auffassung von Physik fanden, ist sein Beitrag zur Physik hoch einzuschätzen; L. de Broglie spricht in seinem Vorwort zur englischen Ausgabe von Duhem als einem theoretischen Physiker von unzweifelhaftem Rang.<sup>1</sup>

Es kann vielleicht als das beste Gütezeichen des Physikers Duhem angesehen werden, daß seine grundlegende Arbeit zur Hy-

1 „The value of his strictly scientific researches, the profundity of his thought, and the incredible extent of his erudition make him one of the most remarkable figures of French science at the end of the nineteenth and beginning of the twentieth centuries.“

drodynamik und Strömungslehre noch im Jahre 1961 eine Neuauflage erlebte: denn bei der primär auf Grundlagenforschung orientierten Einstellung Duhems muß es nicht nur Wunder nehmen, eine derart anwendungsbezogene Schrift unter seinem Oeuvre zu treffen, sondern insbesondere sie noch nach 60 Jahren für aktuell und hilfreich erachtet zu finden.

Die Motivation zur wissenschaftshistorischen Forschung ergab sich für Duhem zwangsläufig aus seinem Interesse an einer Umstrukturierung der Physik, verselbständigte sich dann jedoch zunehmend. So widmete er sich zunächst Untersuchungen zur Geschichte der Mechanik, aus denen zwei Veröffentlichungen hervorgehen: „L'évolution de la mécanique“ (1903) und „Les origines de la statique“ (1905–6). Duhem gab sich dabei nicht mit dem Rückgang auf Galilei und die übrigen Begründer der neuzeitlichen Physik im 17. Jhdt. zufrieden. Als erster kämpfte er sich durch die vergessenen mittelalterlichen Manuskripte der Nationalbibliothek in Paris. Dieser Vorstoß allein ist eine Pionierleistung erster Ordnung, da schon die Erwartung, im Mittelalter Aufschlüsse über die Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft erhalten zu können, der durch die Aufklärung etablierten, herrschenden Ansicht entgegenstand: nach dem Niedergang des griechischen Denkens habe erst die Renaissance die Befreiung aus der geistigen Knechtschaft des Mittelalters gebracht und damit zugleich die spontane Geburt der neuzeitlichen Wissenschaft. Dieses Klischee hat Duhem gleichsam im Alleingang zerstört. Nachdem er in den Jahren 1906–1913 die Quellen des 16. Jhdts., vornehmlich Leonardo da Vinci und dessen Vorläufer, aufgearbeitet und in einem dreibändigen Werk vorgelegt hatte, „Etudes sur Léonard de Vinci“, ging er zur Erschließung der Quellen des 14. Jhdts. über. Dort fand er in den Arbeiten des Nikolaus von Oresme, des Albert von Sachsen und vor allem des Johannes Buridan, Rektor der Sorbonne um 1327, in deren Impetus-Theorie unmittelbare Vorläufer der Physiker des 17. Jhdts. Durch diese Quellenererschließung hat Duhem der Wissenschaftsgeschichte ganz neue Impulse gegeben. Beginnend 1913 läßt er sein monumentales „Système du monde“ erscheinen, worin er die Geschichte der Astronomie von den Vorsokratikern bis zur Geburt der klassischen

Physik darstellen will. Fünf Bände erscheinen noch zu seinen Lebzeiten. Wie intensiv Duhem gearbeitet haben muß, mag man daran sehen, daß die Materialien, die er in vier Jahren aufarbeitete, die Grundlage für die spätere zehnbändige Ausgabe dieses Werkes erbrachten<sup>2</sup>.

Die hier als Nachdruck vorgelegte Arbeit enthält Duhems wissenschaftstheoretische Untersuchungen, die kapitelweise in der „Revue de Philosophie“, 1904 und 1905 veröffentlicht waren, und 1906 als selbständige Schrift unter dem Titel „La Théorie Physique, son Objet et sa Structure“ erschienen. 1914 erscheint eine zweite Auflage, die zwei weitere Abhandlungen in den Anhang aufnimmt<sup>3</sup>.

In dieser Arbeit analysiert Duhem mit einer nur durch lange Forschungspraxis erreichbaren Kompetenz die komplexe Verfassung der physikalischen Wissenschaft: der mathematisch-formalen Seite der Theorie wird das empirische Prüfverfahren gegenübergestellt. Hierin erweist sich Duhem als Sproß des französischen Rationalismus, wie er vor allem in Descartes und Pascal manifest wurde. Pascals gemäßigte Skepsis der wissenschaftlichen Vernunft und die empiristische Tendenz der Methodologie einerseits und Descartes' rigoroses Insistieren auf der axiomatisch-deduktiven Struktur der Wissenschaft andererseits prägten gleichermaßen die Grundeinstellung Duhems. Der Erklärungsanspruch der Cartesischen deduktiven Einheitswissenschaft steht freilich in Widerspruch zum Pascalschen Methodenbewußtsein autonomer Erfahrungswissenschaft. Die Autonomie der Physik verlangt die Preisgabe des Erklärungsanspruches. Eine instrumentalistische Auffassung von der physikalischen Theorie ist die Konsequenz.

2 Eine Zusammenfassung der Hauptlinien, die unter dem gewaltigen Material schier zu verschwinden drohen, liefert er in der kleinen, noch immer lesenswerten Studie: *Sozein ta Phainomena: Essai sur la notion de theorie physique de Platon a Galilee* (1908), die in einer englischen Ausgabe greifbar ist: *To Save the Phenomena*, Chicago 1969. Dem dieser Ausgabe beigegebenen Einleitungssay von S. Jaki kann man weitere Information zu Duhems Leben und Lehre entnehmen.

3 „Physique de Croyant“ aus den „Annales de Philosophie Chretienne“ (1905) und „La Valeur de la Theorie Physique“ aus der „Revue generale des Sciences pures et appliquees“ (1908).

Als Ziel der physikalischen Theoriebildung kann nicht die Erkenntnis der Wirklichkeit festgehalten werden, weil man sich damit in einem metaphysischen Begriffsfeld bewegen würde, sondern der Entwurf eines formalen Systems, das optimale Ordnungseigenschaften für die Erscheinungswelt hat. Die Struktur der Wissenschaft ist insbesondere ein ganzheitlicher Zusammenhang, keine Zusammenstellung einzelner Sätze, deren Wahrheitswerte in Isolierung gegeneinander ausgemacht werden könnten. Nur das Ganze der Wissenschaft kann einer Gesamtheit von Sachverhalten gegenübergestellt und auf seine Angemessenheit oder Unangemessenheit hin bewertet werden.

Jede experimentelle Prüfung muß in diesem „holistischen“ Rahmen gesehen werden. Als einer der ersten vertritt er die These, daß Theorien notwendig sind, um überhaupt experimentieren zu können; daß also nicht die Theorie vor dem Labor zu bleiben habe, um gute Experimente machen zu können, sondern daß die Theorie in jedem Fall die Führung behalten muß. Er vertritt auch bereits die These von der Theoriebeladenheit der sog. „Beobachtungen“, die in der Wissenschaftstheorie der 60er Jahre als „neue Einsicht“ gewonnen wurde.

Theorien sind nach Duhem nicht induktiv gewonnene Erfahrungserkenntnisse, sondern *Entwürfe* des menschlichen Geistes, Übereinkünfte formaler Art, deren empirische Brauchbarkeit sich immer erst unter den Anwendungsversuchen herausstellen kann. Man kann daher bei ihm von einer konventionalistischen Wissenschaftsauffassung sprechen. Dennoch hebt sich Duhem von Poincaré ab. Es ist nicht der definitiorische Status der Grundgesetze, der sie ein für allemal der Revision durch die Erfahrung entzieht. Vielmehr hängt es an der Art, wie wir die Theorie gebrauchen und welche Erfahrungen wir damit machen. Revisionen, auch der Grundgesetze, können nötig und sinnvoll werden, sie können nur nicht experimentell erzwungen werden. Obwohl sich hier also von Konventionalismus reden läßt, herrscht doch keine Beliebigkeit. Der geschichtliche Kontext, in dem die Entscheidungen der Forschung gefällt werden, wird den Entscheidungsspielraum situationsbezogen einengen und geradezu determinieren. Welche Ideen gleichsam in der Luft liegen und sich für die Lösung anbieten,

steuern die Entscheidungen und entziehen sie dem subjektiven Belieben. Die Beispiele für gleichzeitige und unabhängige Entdeckungen sind Anzeige der historischen Dimension der Wissenschaft, in der allein sie sich entwickeln und verbessern kann. Zugleich gehört die Wissenschaftsgeschichte für Duhem schon deshalb in die Ausbildung eines jeden, um ihn vor falscher Selbsteinschätzung zu bewahren und um ein Arsenal von alternativen Denkmöglichkeiten anzubieten.

Hat Duhem in diesen Hinsichten durchaus Aktuelles zu bieten, so ist sein Werk doch nicht frei von zeitbedingten Merkwürdigkeiten und von Idiosynkrasien. Duhem war eine ebenso eigenwillige wie polemische Natur und sein Zug aufs Grundsätzliche führte ihn oft zu Übertreibungen. Sein wissenschaftstheoretischer „Positivismus“, seine Bereitschaft, überkommene Ansichten der Wissenschaftler seiner Zeit in Frage zu stellen und zu neuen Arealen vorzudringen, stehen in merkwürdigem Gegensatz zu seiner exponiert konservativen Einstellung in Politik und Religion. Sein Chauvinismus will wenig passen zu seinem universalen Vernunftbegriff, und die Weite seines Wissens hat ihn nie gehindert, vehementer Parteigänger zu sein. Es ist überraschend, daß er bei so radikalen Parteinahmen, an denen er ein Leben lang kämpferisch festhielt, ein Oeuvre hat erstellen können, das nicht nur uneingeschränkte Bewunderung von Anhängern und Gegnern erheischt, sondern tatsächlich die Standards objektiver Forschung in hohem Maße erfüllt.

## 2. Duhems Wirkung und Rezeption

Duhems schier unglaubliche Arbeit umfaßte kreative Forschung zur theoretischen Physik, die Aufarbeitung bis dahin unbekannten Quellenmaterials zur Geschichte der Astronomie und Physik, eine neue Wissenschaftstheorie und philosophische Studien. Dabei gingen diese Arbeiten nicht nebeneinander her, sondern ihre Durchdringung kennzeichnete seinen Denkstil. Duhems Wirkung zeigt sich nicht unmittelbar als Fortführung seines integralen Ansatzes; vielmehr hat die Vielschichtigkeit seines Denkens

zunächst ganz separate Anknüpfungen gefunden; die Rezeption erfolgt in jenem spezialisierten Schema, das für die Wissenschaftssituation unserer Zeit typisch ist, und in dem Duhem selbst eine Ausnahme darstellte.

Es lassen sich drei Rezeptionsstränge unterscheiden (dabei wird von der Fortwirkung seiner Arbeiten zur theoretischen Physik abgesehen):

(1) Duhem wird zunächst in Frankreich primär als Wissenschaftstheoretiker aufgefaßt und diskutiert. Neben Poincaré steht vor allem er im Zentrum des Interesses. Beider Abhandlungen machen die „Revue de Metaphysique et de Morale“ zur interessantesten und wichtigsten epistemologischen Zeitschrift um die Jahrhundertwende. Abel Rey, Eduard le Roy, Gaston Milhaud setzen sich mit seinem Theorieverständnis auseinander.

Bedeutender muß aber die Wirkung eingeschätzt werden, die Duhem in Wien hatte; denn dort hat er auf die Entwicklung des logischen Empirismus einen nachhaltigen Einfluß ausgeübt. Ernst Mach fand sich in wissenschaftstheoretischer Hinsicht an der Seite Duhems, obwohl sie als „Metaphysiker“ ganz abweichende Ansichten vertraten. Die Deutsche Übersetzung des Hauptwerks „Ziel und Struktur Physikalischer Theorien“, Leipzig 1908, wurde von Mach im Vorwort hoch begrüßt. Mach versäumte auch nicht, in den späteren Auflagen seiner weitverbreiteten „Mechanik“ auf Duhems Leistungen hinzuweisen<sup>4</sup>.

Diese Vermittlung durch Mach mag es gewesen sein, die Duhem eine nicht zu überschätzende Rolle für die Entwicklung des logischen Empirismus gab. Philipp Frank, einer der Gründer des „Wiener Kreises“ und selbst theoretischer Physiker, berichtet, daß die Lektüre und Diskussion von Duhems Wissenschaftstheorie Hauptgegenstand der Treffen zwischen ihm, Neurath, Hahn u. a. war<sup>5</sup>. Ph. Frank besorgte auch eine Übersetzung von Duhems

<sup>4</sup> Mach ist in Verbindung mit der Übersetzung seiner „Mechanik“ ins Französische (1904) auf Duhem gestoßen.

<sup>5</sup> Ph. Frank, *Modern Science and its Philosophy*, Cambridge 1949 p. 15. Aus der Perspektive von Frank stellt sich die Gewichtung sogar so dar, „daß die Philosophie von Mach in den ‚Neo-Positivismus‘ von Henri Poincaré, Abel Rey und Pierre Duhem integriert werden konnte“ (a. a. O., p. 14).

„L'évolution de la mécanique“ ins Deutsche. Vermutlich ist Popper ebenfalls über dieselbe Quelle mit Duhems Gedanken in Berührung gekommen, deren Einfluß in der „Logik der Forschung“ vielfach zu greifen ist<sup>6</sup>.

Mit der Auflösung des „Wiener Kreises“, mit der Emigration und Zerstreuung der Mitglieder bricht die Präsenz Duhemscher Gedanken im deutschen Sprachraum ab. — Erst Ende der sechziger Jahre setzt — beginnend mit K. Hübner — die Beschäftigung mit dem Duhemschen Konventionalismus wieder ein.

Vermutlich veranlaßten aber die Studie von Ph. Frank, die erst 1949 unter dem Titel „Modern Science and its Philosophy“ in den USA erschien, und dessen Vorlesungen in Harvard über Wissenschaftstheorie (seit 1940) auch unmittelbar die Duhem-Rezeption im englischen Sprachraum<sup>7</sup>. Ph. P. Wiener fertigt eine englische Übersetzung an, die 1954 mit einem Vorwort von Louis de Broglie erscheint. Vor allem seit Quine's berühmter Abhandlung „Two Dogmas of Empiricism“ wird Duhems These von der Unmöglichkeit des *experimentum crucis* in der Physik unter dem Titel der Duhem-Quine-These lebhaft diskutiert.

(2) Der Wissenschaftshistoriker Duhem wird bei der ersten Rezeptionslinie fast völlig ausgeklammert. Erst die Arbeiten von Anneliese Maier, Ernest Moody, Alexandre Koyré, Marshall Claggett und E. J. Dijksterhuis knüpfen bei der Erforschung der Vorbereitung der neuzeitlichen Naturwissenschaft an seinen Forschungen an. Hier allerdings weithin in kritischer Auseinander-

6 Was die „Präsenz“ in Wien angeht, halte ich Ph. Frank für den authentischen Beleg. V. Kraft erwähnt in seiner Studie über den „Wiener Kreis“ Duhem überhaupt nicht. Aber Kraft, der 40 Jahre nach Frank schreibt, steht unter dem Eindruck der Dominanz von Carnap und Wittgenstein. Der Beitrag des französischen Konventionalismus entgeht ihm deshalb.

7 Zwar kennen und schätzen die amerikanischen Pragmatisten schon früh Duhem. So nennt ihn W. James, *Pragmatism* (1907) (Deutsche Übersetzung unter „Der Pragmatismus“ mit einer Einleitung von Klaus Oehler, Philosophische Bibliothek Band 297, Felix Meiner Verlag, Hamburg 1977, <sup>2</sup>1994) an wichtigen Stellen. Dieses Interesse scheint sich aber nicht direkt fortgesetzt zu haben.

setzung. Die Materialien, die er erstmalig erschlossen, bilden zwar immer noch die Grundlage und seine Kontinuitätsthese bestimmt die Fragerichtung und Konzentration auf das 14. Jhdt.<sup>8</sup>, aber seine Interpretation und seine weitreichenden Schlüsse werden zurückgewiesen.

(3) Erst seit den siebziger Jahren beginnt man in Duhem einen Autor zu sehen, der ganz besonders die Verbindung von Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte angestrebt hat. I. Lakatos, P. Feyerabend, J. Agassi, die über Popper mit Duhems Werk vertraut wurden, kommen in ihrer Wendung gegen eine ahistorische Wissenschaftstheorie in größere Nähe zu Duhems Konzeption, als es für die vorangegangenen Rezeptionsphasen der Fall war.

Die an T. S. Kuhn anknüpfende Diskussion über das Verhältnis von Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte mag am ehesten unterstreichen, wie aktuell das von Duhem entwickelte Wissenschaftsverständnis ist<sup>9</sup>.

### 3. Das Abgrenzungsproblem von Metaphysik und Physik

Die Abgrenzung von Metaphysik und Physik scheint eine Frage der Gebietsbereinigung zu sein und damit vergleichsweise uninteressant. Seit Poppers „Logik der Forschung“ (1934) sehen wir im Abgrenzungsproblem den Definitionsversuch für empirische Wissenschaft. Das Demarkationskriterium der „Falsifizierbarkeit“ gibt nach Popper die Auszeichnung der empirisch-wissenschaftlichen Sätze in Abhebung von den metaphysischen, die eine Widerlegung durch Beobachtungen nicht zulassen.

8 „Owing to the work of Duhem and Miss Maier . . . a keen interest is now universally evinced in medieval science in general, and that of the fourteenth century in particular.“ E. J. Dijksterhuis, „The Origins of Classical Mechanics“ in: M. Clagett (ed.), *Critical Problems in the History of Science*, Madison-Milwaukee-London 1969, p. 171.

9 Lakatos u. Musgrave (eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge 1970. Dtsch. Erkenntniskritik und Erkenntnisfortschritt, Braunschweig 1974.

Bei Duhem hängt am Abgrenzungsproblem vor allem die Frage nach der Autonomie der Physik. Er geht diese Frage an, indem er die Zielvorstellung der Physik reflektiert. Was wird mit physikalischer Theorienbildung intendiert? Welche Probleme soll eine physikalische Theorie lösen? In unserer heutigen wissenschaftstheoretischen Sprechweise antworten wir: eine physikalische Theorie soll Phänomene d. i. beobachtbare Sachverhalte *erklären*. Das Problem der Erklärung, die Logik der Erklärung ist deshalb ein zentraler Topos der Wissenschaftstheorie. Eine Erklärung besteht in einer logischen Ableitung von Aussagen, die ein beobachtbares Phänomen beschreiben, aus allgemeinen Gesetzesaussagen (und Anfangsbedingungen). Eine physikalische Erklärung besteht demnach in einer logischen Folgerungsbeziehung zwischen Sätzen unterschiedlichen Typs. Duhem ist der Meinung, daß die eigentümliche Leistung physikalischer Theorien bzw. Gesetze durch die *logische Verknüpfung* mit überprüfbaren Aussagen gekennzeichnet werden kann. Im Gegensatz zum heute üblichen Sprachgebrauch benutzt er dafür den Terminus „Beschreibung“; „Erklärung“ reserviert er für die Erkenntnisansprüche der Metaphysiker. Den Erklärungsanspruch der Metaphysiker kann man dadurch kennzeichnen, daß sie phänomenale Gegebenheiten auf Wesensbestimmungen reduzieren; d. h. die in den Ableitungen benutzten Prämissen müssen ontologisch ausgezeichnet werden, sie müssen die „Dinge an sich“ betreffen. Beobachtbare Eigenschaften werden so „erklärt“, indem sie auf Eigenschaften von Dingen, die einer anderen Realitätsschicht angehören, zurückgeführt werden: die Lichtausbreitung auf einen „Äther“, die Wärmeeigenschaften auf Bewegungszustände von „Atomen“ usw. Das ist der Cartesische Erklärungsbegriff, an dem Duhem also festhält, den er aber nicht der Physik glaubt zubilligen zu können. Hierin sieht er aber keinen Nachteil, sondern die Befreiung von einem Hemmschuh. Der Zuwachs an Erkenntnis in der Physik stammt nach ihm nicht aus der konsequenten Anwendung ontologischer Prinzipien, sondern verdankt sich allein ihrem *hypothetisch-deduktiven Prüfverfahren*. Die Metaphysik als „erklärender“ Teil der Wissenschaft, ranke sich „wie eine Schmarotzerpflanze“ um den eigentlich physikalischen, den deskriptiven Teil, herum. Ähnlich wie bei Mach

erhält die Metaphysik bei ihm keinen Platz im Rahmen physikalischer Forschung. Seine Physikkonzeption ist antimetaphysisch, ist positivistisch<sup>10</sup>. Im Unterschied zu Mach hält er jedoch die Metaphysik nicht für sinnlos. Wirklichkeitserkenntnis bleibt ihre Aufgabe, der sie nach Duhem nur im Rahmen der aristotelischen Begrifflichkeit gerecht werden kann<sup>11</sup>.

Wenn Duhem der Physik nur das „Beschreiben“ der Wirklichkeit, nicht aber ihre „Erklärung“ zubilligt, dann darf darunter nicht ein theoriefreies Protokollieren von Sachverhalten verstanden werden. Den physikalischen Theorien fällt vielmehr bereits beim „Beschreiben“ eine unverzichtbare Rolle zu. Es handelt sich nur um eine terminologische Differenz zu dem auf Popper, Hempel u. a. zurückgehenden heutigen Sprachgebrauch.

Kriterium für eine gute Theorie ist ihre Leistungsfähigkeit für die Ordnung der Phänomene. Eine möglichst große Klasse von Naturvorgängen soll unter eine einheitliche Darstellung gebracht werden. Duhem gibt so eine *instrumentalistische Deutung* physikalischer Theorien, die enge Berührung mit Machs „Oekonomieprinzip“ hat. So wie bei Mach der Einfachheitsgesichtspunkt die Entwicklung der Wissenschaft steuert, ist bei Duhem die Idee einer „naturgemäßen Klassifikation der Erscheinungen“ Zielvorstellung der Theorienbildung.

Unter den Motiven für Duhems Abgrenzung von Metaphysik und Einzelwissenschaft wird man eine apologetische Einstellung nicht ausschließen können. Jedoch scheint es überzogen, diesen Aspekt zur Grundlage des Abgrenzungsprogrammes zu erklären<sup>12</sup>.

10 Vgl. „Physique de Croyant“, a. a. O.

11 Man hat hierin ein Indiz seines konservativen Katholizismus gesehen und die Treue zu Leo XIII. Enzyklika „Aeterni patris“ (1879), in der gegenüber den „Modernisten“ bekräftigt wird, daß die aristotelisch-thomistische Philosophie die Grundlage der Theologie zu bleiben habe. Man kann sachlich aber auch anerkennen, daß die aristotelischen Kategorien an unserem alltäglichen Dingverständnis orientiert waren und damit dem common sense und seiner Erfahrungsweise zugehören, der für Duhem eine wichtige Rolle in der Wissenschaftsentwicklung übernehmen muß.

12 W. W. Bartley, „Theories of Demarcation between Science and Metaphysics“ in: Lakatos u. Musgrave (eds.), *Problems in the Philosophy of Science*, Amsterdam 1968, p. 40–64.

Duhems radikale Verneinung der Leistungsfähigkeit metaphysischer Vorstellungen und Begriffe in Verbindung mit physikalischer Forschung wird heute nicht mehr geteilt. Ähnlich wie bei Mach scheint die metaphysikfeindliche Einstellung sich aus der Idee der Vollendung der klassischen Physik zu nahren. Durch die revolutionären Erneuerungen in der Physik unseres Jahrhunderts, Relativitätstheorie und Quantenmechanik, hat sich eine andere Einstellung etabliert. Gerade weil Einstein, Bohr, Heisenberg u. a. tiefgehende Neubestimmungen unserer Vorstellungen von Raum und Zeit, Kausalität und Objektivität in ihren Theorien vornahmen oder veranlaßten, wird aus physikalischer Perspektive eine Beteiligung metaphysischer Vorstellungen am Zustandekommen neuartiger physikalischer Theorien nicht mehr generell bestritten<sup>13</sup>. Duhems strikte Trennung von Erklären und Beschreiben, resp. ihre strikte Zuweisung an die separaten Disziplinen Metaphysik und Physik, verliert damit ihre eigentliche Empfehlung. Machs und Duhems Einsprüchen zum Trotz haben die atomistischen Erklärungsversuche sich nicht durch ihren „metaphysischen“ Charakter diskreditieren lassen, woraus sich die moderne Physik entwickelt hat. Der Ausgriff auf unbeobachtbare, und damit im technischen Wortsinn metaphysische Entitäten macht die spezifische Differenz der Metaphysik noch nicht aus. Erst die Verwendung im Kontext empirischer Prüfung kann zeigen, ob es sich um genuin physikalische oder metaphysische Erkenntnisweise handelt. Die Abgrenzungsproblematik hat zwar auf wichtige Unterscheidungen geführt; es scheint aber, daß erst durch die Beziehung der so Unterschiedenen aufeinander die Frage nach Ziel und Struktur physikalischer Theorien beantwortbar werden könnte.

Damit hat das Abgrenzungsproblem, sowohl in der Form, wie es bei Duhem gestellt und beantwortet war, wie auch bei Popper,

13 Vor allem in der von Popper entwickelten Methodologie erhalten metaphysische Vorstellungen eine unverzichtbare Bedeutung für die Wissenschaftsentwicklung. Dieser Aspekt ist insbesondere von Agassi, Feyerabend, Lakatos weiter entwickelt worden, und ebenso kennzeichnend für den Wissenschaftsbegriff von T. S. Kuhn. Für Literatur verweise ich auf meine Arbeit: Erfahrung und Konvention. Stuttgart 1974.

eine entscheidende Umformung erfahren, die gerade aus der Auseinandersetzung mit ihnen hervorgegangen ist.

#### 4. Die mathematische Struktur physikalischer Theorien

Aus der Abtrennung der Metaphysik von der Physik ergibt sich bei Duhem das instrumentalistische Verständnis der Theorien zwangsläufig. Am prägnantesten ist diese Theorienkonzeption im mathematischen Formalismus, den eine Theorie verwendet, zu greifen. Dabei ist schon diese Ausdrucksweise verfälschend; nicht wird ein mathematischer Formalismus in einer Theorie benutzt, sondern *eine Theorie besteht aus einem Formalismus, der eine empirische Interpretation erhält*. Die Leistungsfähigkeit der Physik, ihre Exaktheit, Präzision und Generalität verdankt sich dieser mathematischen Struktur. Das Verhältnis der Gesetzesaussagen zur Gegebenheit, zu den Naturphänomenen, ist damit aus der von den Empiristen angenommenen Unmittelbarkeit herausgelöst und als freies Entwerfen von Hypothesen verstanden. Die Verbindung mit der Erfahrung ergibt sich nach Duhem nur noch lokal und zwar an zwei Punkten: bei der Eingabe von Meßdaten in die Kalkulationen und bei der empirischen Überprüfung der errechneten Werte.

Das Arbeiten des Physikers, d. h. der Gebrauch einer Theorie, läßt sich demnach in vier Schritte zerlegen:

(1) *Definition und Messung der physikalischen Größen*. Nicht nur den einfachen Grundgrößen wie Weg, Zeit, Masse ist eine Zuordnung zu möglichen Meßwerten zu geben, sondern auch den kombinierten Ausdrücken wie Impuls, kinetische Energie usw. D. h. die Symbole der Theorie erhalten eine physikalische Bedeutung nur in dem Maße, in dem Meßverfahren für diese Größen angegeben werden.

(2) *Formulierung von Hypothesen*. In den Hypothesen, Gesetzen, werden die Größen der Physik miteinander verknüpft. Es wird z. B. ein bestimmtes Verhältnis für Fallzeit und Geschwindigkeitszuwüchse beim freien Fall angenommen und in mathematischer Form dargestellt. Solche Hypothesen können nicht un-

mittelbar der Erfahrung entnommen werden, da es sich um genuine Vermutungen handelt. Es ist nur zu beachten, daß Widerspruch zwischen verschiedenen Hypothesen bzw. der Verwendung von Ausdrücken in ihnen, zu vermeiden ist.

(3) *Die mathematische Entwicklung der Theorie.* Der Physiker muß sich bemühen, Folgerungen aus seinen Hypothesen zu gewinnen, die möglicherweise empirisch überprüfbar sind. So läßt sich aus dem Fallgesetz ein Zusammenhang zwischen Weg und Zeit herleiten, der an der verlangsamten Fallbewegung auf einer schiefen Ebene überprüfbar wird. Bei diesem Schritt hat allein der Logiker und Mathematiker Zuständigkeit. Man kann hier nur verlangen, „daß die Schlüsse korrekt und die Rechnungen richtig seien“.

(4) *Überprüfung der Theorie mit dem Experiment.* Erst in diesem Schritt steht die Theorie als eine Beschreibung von Gegebenheiten zur Debatte. Die empirische Interpretation theoretischer Folgerungen *erlaubt* eine Überprüfung der Ableitungen an den experimentellen Daten. Ob die im (3.) Schritt errechneten Werte tatsächlich mit dem Bewegungsverlauf auf der Fallrinne übereinstimmen, kann nur durch die experimentelle Prüfung ermittelt werden. Ist die Übereinstimmung (im Rahmen der Meßgenauigkeit) gut, wird die Theorie für gut erklärt, andernfalls muß sie korrigiert werden oder ganz verworfen werden. Für Duhem ist also „die Übereinstimmung mit der Erfahrung das einzige Kriterium der Wahrheit für eine physikalische Theorie“.

Duhem gibt in diesem Vier-Schritt die Grundzüge jenes Testverfahrens, das dann von Popper zu seiner bekannten Falsifikationsmethode weiterentwickelt wurde.

Von dem konsequenten mathematischen Theorieverständnis her, war Cassirer in seiner Philosophie der Symbolischen Formen beeinflusst<sup>14</sup>. Damit hat Duhem bereits einen Aspekt erfaßt, der erst in der neueren Entwicklung der Wissenschaftstheorie in den Arbeiten von J. Sneed<sup>15</sup> wieder voll zur Geltung kommt.

14 E. Cassirer, Philosophie der Symbolischen Formen. 3. Teil. 1923, bes. S. 25 f. u. 478 ff.

Dieses formale Theorienverständnis hat freilich Duhem benutzt, um gegen bestimmte Tendenzen in der Physik, insbesondere in England, zu polemisieren. Vor allem bei Lord Kelvins mechanistischem Ansatz schien ihm ein der Physik unangemessenes Theorienverständnis vorzuliegen, sofern dort „mechanische Modelle“ eine grundlegende Rolle spielen. Bekannt ist Kelvins Diktum: Habe ich ein mechanisches Modell für einen physikalischen Vorgang, verstehe ich, habe ich keines, verstehe ich nicht. Duhem konnte den heuristischen und auch theoretischen Wert von Modellvorstellungen nicht erfassen, hielt diese Versuche vielmehr für reine Zugeständnisse an Anschauungsbedürfnisse. Pascals Unterscheidung von *esprit géométrique* und *esprit de finesse* benutzt er, um eine grundsätzliche Differenz zwischen französischem und englischem Geist zu behaupten, wobei aus letzterem keine mathematische Physik hervorgehen könne. In diesem Zusammenhang wird seine Zeitbedingtheit und Grenze wohl am deutlichsten. Wenn wir heute in der Wissenschaftstheorie dem Modell eine größere Rolle zumessen, dann allerdings auch, weil dieser Begriff aus der mechanistischen Verengung, die für das 19. Jh. typisch war, herausgelöst wurde und in der mathematischen Theorie der Gruppen und in der Mengentheorie eine Formalisierung erfuhr, gegen die Duhem sich kaum hätte wehren müssen<sup>16</sup>.

## 5. Die Stellung des Experimentes

Seitdem F. Bacon die experimentelle Gewinnung von Fakten geradezu vergöttlicht hatte, indem er meinte, daß das Abstreifen der überlieferten Vorurteile zusammen mit der Ersetzung unmittelbarer Sinneswahrnehmung durch apparative Datengewin-

15 J. Sneed, *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Dordrecht 1971. Vgl. auch W. Stegmüller, *Theorienstrukturen und Theoriendynamik*, Berlin-Heidelberg-New York 1973 (= *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie*, Bd. II, 2. Halbband.)

16 H. Freudenthal, (ed.), *The Concept and Role of the Model in Mathematics and Natural and Social Sciences*. Dordrecht 1961. R.N. Giere (ed.), *Cognitive Models of Science*, Minneapolis 1992.

nung schon quasi automatisch zur richtigen Naturerkenntnis führe, lag hier die Gefahr einer Überschätzung nahe und damit einer Verkennung. Zwar hatten schon Galilei und Kant die Auffassung vertreten, daß nur im Kontext von Fragestellungen, in die notwendigerweise theoretische Annahmen Eingang finden, der Gebrauch der experimentellen Methode möglich sei. Aber mit der Deutlichkeit und Konsequenz, die bei Duhem zu finden ist, war das bis dahin noch nicht entwickelt worden.

Läßt sich etwa die Tätigkeit des Experimentators auf das Ablesen von Instrumenten reduzieren? Keineswegs. Der Experimentator benutzt vielmehr die Meßinstrumente, um physikalische Größen zu messen. Also benötigt er bereits zweierlei:

(1) Eine Theorie über diesen Bereich, in dem Messungen vorgenommen werden sollen, damit überhaupt gesagt werden kann, *was* gemessen werden soll, und (2) eine Theorie der benutzten Meßinstrumente, die die Zuordnung von bestimmten Zeigerstellungen zu physikalischen Größen erlaubt. Damit jedoch nicht genug. Denn der Experimentator weiß, daß in jedem Gerät gewisse „systematische Fehler“ stecken, für die er an seinen Werten Korrekturen anbringen muß. Duhem geht so weit zu sagen, daß der Experimentator beständig mit zwei Geräten arbeitet, dem konkreten Meßapparat und einem idealen Gebilde, für das die physikalischen Gesetze „genau“ gelten und von dem her er die Fehlerrechnung ansetzen muß. Zwischen den beim Experimentieren faktisch festgestellten Erscheinungen und dem vom Physiker formulierten Resultat des Experimentes liegt ein sehr komplizierter Übersetzungsvorgang, der nicht ohne theoretische Arbeit geleistet werden kann. Die Tatsachen, die der Experimentator feststellt, sind bereits „theoretische Tatsachen“. Nicht nur muß der Experimentalphysiker für seine Arbeit immer schon Theorien benutzen; seine Resultate sind auch für einen anderen Physiker nur dann brauchbar, wenn bekannt ist, welche Theorien benutzt wurden; andernfalls sind sie ohne physikalische Signifikanz. Denn man muß wissen, ob und in welchem Maße bereits an den Meßwerten Korrekturen angebracht wurden.

Die mit dem Experiment verbundene Fehlerrechnung hat aber die ganze Unsicherheit, die den verwendeten Theorien zukommt.

Insbesondere kann nie ausgemacht werden, ob sich in den „zufälligen Fehlern“, die in einer gewissen Streuung der Meßwerte sich zeigen, nicht weitere „systematische Fehler“ stecken, die erst durch eine bessere Theorie als solche kalkulierbar würden.

Physikalische Tatsachen sind immer und notwendig theoretisch imprägniert! Damit hat der Tatsachenbegriff seine Selbständigkeit verloren und gerät unter die Dominanz der Theorie. Geht damit nicht zugleich die empirische Fundierung der Physik verloren? Wird die Physik nicht damit zu einer apriorischen Wissenschaft bzw. zu einer rein hypothetischen? — Daß die Möglichkeiten eines induktiven Theoriebegriffes hier für Duhem nicht mehr offen stehen, dürfte klar sein. Tatsächlich hat er den Induktivismus an prominenter Stelle kritisiert. Vor allem hat er die entsprechenden Äußerungen von Newton und Ampère kritisch analysiert und als Lippenbekenntnis an einen herrschenden Wissenschaftsbegriff aufgewiesen, das zu den benutzten Methoden der beiden Forscher keine Beziehung hat.

Duhem sucht zwischen Induktivismus und Apriorismus wie zwischen Skylla und Charybdis hindurchzusteuern. Als Steuer dient ihm dabei der Begriff des Experimental-Gesetzes. Duhem macht einen Unterschied zwischen Theorien und experimentellen Gesetzen. Er gewinnt damit eine Sphäre größerer Eigenständigkeit gegenüber den Theorien. Aber es läßt sich hier nur ein Komparativ verwenden. Die Grundthese von der Theoriebeladenheit aller physikalischer Ausdrücke bleibt bestehen. Was die Experimental-gesetze auszeichnet, ist ihr „Tatsachengehalt“. Sie können zwar nicht ohne Beziehung von Theorien formuliert und geprüft werden, aber es läßt sich ihnen auf Grund der Nähe zu den Tatsachen ein Wahrheitswert zuordnen. Symbole können weder wahr noch falsch genannt werden, sondern allenfalls angemessen, brauchbar u. ä. bzw. unangemessen, unbrauchbar usw., und das gilt auch für die Theorien als rein symbolische Darstellungen. Den Experimental-Gesetzen spricht Duhem jedoch einen empirischen Gehalt zu, den reine theoretische Gesetze nicht beanspruchen können. Wenn hier nicht ein Selbstwiderspruch entstehen soll, kann nur eine pragmatische Kennzeichnung gemeint sein, denn mit dem Abstreifen der Metaphysik, mit der Preisgabe des Erklärungsanspruchs ist

auch der Wahrheitsbegriff eliminiert, der von der Vorstellung einer objektiven Realität Gebrauch macht. Daß es sich um pragmatische Festlegungen handelt, wird an Duhems Ablehnung des *experimentum crucis* deutlich.

## 6. Die Duhem-Quine-These

Duhems Präsenz in der gegenwärtigen Wissenschaftstheorie ist wohl nirgends so gut zu belegen wie unter diesem Titel. Seitdem Quine 1951 in Orientierung an Duhem diese These als eine Attacke gegen eines der Hauptdogmen des logischen Empirismus vortrug<sup>17</sup>, hat sich eine überaus lebhafte Diskussion an sie angeschlossen, die bis heute nicht verebbt ist<sup>18</sup>. Aus Duhems Analyse des Verhältnisses von Experiment, Gesetz und Theorie ergibt sich zwangsläufig eine „holistische“ Auffassung der Wissenschaft. Das will folgendes besagen: Die experimentelle Überprüfung einer bestimmten Hypothese ist nur dadurch möglich, daß von einer ganzen Gruppe weiterer Gesetze – letztlich der gesamten Theorie – Gebrauch gemacht wird. Sollte das Experiment negativ ausfallen, richtet sich mithin der Widerspruch nicht gegen diese einzelne Hypothese, sondern gegen das gesamte theoretische Gefüge, das bei der Überprüfung in Anspruch genommen werden mußte. Allenfalls das Ganze einer physikalischen Theorie muß falsch genannt werden. Kein Experiment kann jedoch zeigen, an welcher Stelle des Systems der Fehler steckt. Also ist die an das *experimentum crucis* seit Bacons Tagen gebundene Hoffnung, auf diese Weise alternative Hypothesen eliminieren zu können, preiszu-

17 „Two Dogmas of Empiricism“ aufgenommen in: W. V. Quine, *From a Logical Point of View*, 1953, <sup>2</sup>1961.

18 Vgl. vor allem die Arbeiten von A. Grünbaum im Literaturverzeichnis. Für einen Überblick vgl. S. G. Harding (ed.), *Can Theories be Refuted? Essays on the Duhem-Quine-Thesis*, Dordrecht 1976. J. Worrall, „Falsification, Rationality, and The Duhem Problem“, in: J. Earman (ed.), *Problems of the Internal and External Worlds*, Pittsburgh 1993.

geben: ein Entscheidungsexperiment zwischen konkurrierenden Hypothesen ist unmöglich.

Duhem analysiert den als *experimentum crucis* angesehenen Versuch, mit dem Foucault zwischen der Newtonschen Emissionstheorie des Lichtes und der Huygensschen Undulationstheorie eine Entscheidung herbeigeführt hatte. Nach Newton besteht das Licht aus Korpuskularstrahlen, die im dichteren Medium eine größere Geschwindigkeit annehmen müssen im Unterschied zu Huygens, der aus seiner Wellentheorie die gegenteilige Folgerung herleitet. Foucault konnte in einem Experiment nachweisen, daß das Licht tatsächlich im Wasser sich langsamer ausbreitet als in Luft; womit Newton streng durch ein *cruciales experiment* widerlegt scheint. — Aber Duhem kann zeigen, daß dieser Schluß nicht stichhaltig ist. Der Fehler könnte in einer für unproblematisch gehaltenen Nebenhypothese stecken, so daß bei entsprechender Abänderung dieser Nebenhypothese die Emissionstheorie Newtons trotz des Foucaultschen Resultats gerettet werden könnte. — Duhem geht sogar so weit zu behaupten, daß die Physiker diese Korrektur gefunden haben würden, hätte man einen hinreichend lukrativen Preis dafür ausgesetzt. L. de Broglie merkt dazu an, daß im Jahre 1905, als Duhem diese Analyse gab, tatsächlich Einstein durch seine Photonentheorie wiederum eine korpuskulare Theorie des Lichtes lieferte und damit höchst eindrucksvoll die Duhemsche Auffassung des *experimentum crucis* bestätigte.

Wenngleich Duhem zeigt, daß kein Experiment dazu zwingt, bestimmte Hypothesen preiszugeben, möchte er damit keine Empfehlung aussprechen, die die Beibehaltung der Hypothese unter allen Umständen fordert. Er will nur sagen, daß es für den Physiker in diesem Fall eine ganze Reihe von alternativen Reaktionsmöglichkeiten gibt und daß weder Logik noch Experiment ihn zu dem einen oder anderen Schritt zwingen<sup>19</sup>.

19 W. Diederich möchte deshalb bei Duhem nicht von einem schlichten Konventionalismus sprechen, sondern von einem Standpunkt der „verschiedene konventionalistische Strategien eröffnet“. W. Diederich, Konventionalität in der Physik. Berlin 1974.

In einer konkreten Wissenschaftssituation wird allerdings der betreffende Wissenschaftler durch seine „Erfahrung“, d. h. seinen „gesunden Menschenverstand“ eher die eine als die andere Hypothese zu verwerfen geneigt sein. Ob man einen Satz als „wahr“ festhält oder als „falsch“ verwirft, ist damit zu einer pragmatischen Frage geworden. So weit jedoch der Logiker das Wort hat, wird man mit Quine sagen müssen, daß jeder Satz als wahr verteidigt werden kann, wenn man im System an anderer Stelle hinreichend drastische Revisionen anbringt. Eine stärkere Behauptung läge zweifellos dann vor, wollte man diese revidierte Alternativhypothese in jedem Fall auch liefern können.

Quine hat die Duhem-These gegen die Unterscheidbarkeit von analytischen und synthetischen Urteilen gerichtet und damit einen Grundpfeiler des logischen Empirismus untergraben. Wie immer es um die Entscheidung dieser Grundsatzfrage ausgehen mag, in der Auseinandersetzung mit Duhem wurden wichtige Analysen zur geometrischen Struktur des Universums und ihrer empirischen Testbarkeit (vor allem von Grünbaum) geliefert. Und obwohl Popper ein Verfechter von crucialen Experimenten war, ist gerade aus seiner Schule die größte Annäherung an Duhem zu beobachten, vor allem bei Agassi und Lakatos. Duhems holistischer Wissenschaftsbegriff schließlich wird in den Ansätzen von Feyerabend, Kuhn, Sneed eher noch verstärkt als zurückgenommen.

## 7. Geschichte und Hypothesenwahl

Die Behauptung, physikalische Gesetze seien nicht der Erfahrung induktiv abgewonnen, sondern müßten als freie Hypothesen, als Vermutungen angesehen werden, scheint wenig mit dem Gang der Wissenschaft zusammenzustimmen; denn dieser bietet sich ja nicht als eine Folge unvermittelter Vermutungen dar, sondern zeigt über längere Strecken hinweg eine kohärente Entwicklung. Deshalb sehen sich die Verfechter des hypothetischen, sogar konventionalistischen Theorienkonzeptes genötigt, weitere Faktoren aufzuzeigen, die die Kohärenz der Entwicklung verstehbar machen.

Duhem bietet hier die konkrete geschichtliche Situation, in der eine wissenschaftliche Frage zur Entscheidung ansteht, als eine determinierende Instanz an. Während die Redeweise von Entscheidung und Hypothesenwahl einen Raum uneingeschränkter Freiheit suggeriert, will Duhem doch zeigen, daß die geschichtliche Situation die Entscheidungsspielräume einengt, ja fast verschwinden läßt. Die Traditionen, in denen ein Forscher steht, die empirischen Daten, die ihm zur Verfügung stehen, die formalen Hilfsmittel, die zu seiner Zeit praktiziert werden, die Analogien, die sich ihm anbieten, kurz: die denkerischen Präferenzen und Tabus determinieren seine Situation so stark, daß von freier Wahl kaum noch die Rede sein kann. Neue Ideen kommen nicht unvorbereitet, sie scheinen „an der Zeit“ zu sein, liegen gleichsam in der Luft. Duhem kann auf das Phänomen simultaner Entdeckungen verweisen: nach Phasen längerer Stagnation kann es eintreten, daß ganz unabhängig voneinander verschiedene Forscher mit nahezu gleichen Entdeckungen aufwarten können, wobei annähernd gleiche Denkschritte registrierbar sind.

Die rein logisch aufweisbaren Alternativen sind nicht gleichwertig, sondern erscheinen gegeneinander gewichtet. Würde ein Forscher solche Gewichtungen ignorieren, dann müßte man, wie Duhem sagt, an seinem „gesunden Menschenverstand“ zweifeln. Die Phase der Unentschiedenheit zwischen konkurrierenden Hypothesen dauert nur eine zeitlang und gesunder Menschenverstand erklärt sich alsbald zugunsten einer Seite. Duhem kann das an der sich über Jahrhunderte hinziehenden Entwicklung der Newtonschen Gravitationstheorie zeigen, die eine bemerkenswerte Kontinuität zeigt.

So überzeugend Duhem für die „Geschichtlichkeit“ der Physik argumentiert, so legt er diese Komponente wohl doch zu stark im Sinne einer Kontinuitätsthese aus. Die Möglichkeit, ja Notwendigkeit, aus den Trends und historischen Determinationen ausubrechen und alternative Vorstellungen zu entwickeln, muß in der Rekonstruktion der Wissenschaftsentwicklung eingeräumt werden, wenn es so etwas wie wissenschaftliche Revolutionen soll geben können, die zwar für die auf Duhem unmittelbar folgende Zeit so charakteristisch sind, die es aber auch schon im 17. Jhdt.

zu registrieren gibt. Duhem, der die Vorläufer Galileis, Torricellis, Descartes' usw. im 14. Jhdt. entdeckt hatte, war geneigt, die Kontinuität der Entwicklung überzubetonen.

Was Duhems Thematisierung der Wissenschaftsgeschichte auszeichnet, ist die damit verbundene systematische Intention, die er als aktiver Physiker auch unmittelbar glaubhaft machen konnte. Die im Lauf der geschichtlichen Entwicklung verworfenen Alternativen können ein ganz neues heuristisches Potential für eine spätere Epoche darstellen, ebenso wie aus Nachbarbereichen Analogieschlüsse plötzlich naheliegend scheinen, die in früheren Phasen tabuisiert waren. So hat die Wissenschaft einer jeden Epoche „aus den Systemen vergangener Jahrhunderte Nahrung gezogen, durch die sie die Physik der Zukunft in sich trägt“. Deshalb gehört die Geschichte einer Disziplin für ihn zur Ausbildung jedes Wissenschaftlers.

Ebenso unerlässlich ist die Historiographie für die rationale Rekonstruktion der physikalischen Theorien. Nicht nur, weil sie in reichem Maße Material für Fallstudien liefert und damit den gegenwärtigen Zustand der Physik vergleichbar macht, als Hilfe gegen einen falschen Wissenschaftsdogmatismus also; vor allem, weil die Struktur der physikalischen Theorie nicht erfaßt werden kann ohne Bezug auf die Zielvorstellung, das „System der naturgemäßen Klassifikation“, zu nehmen. Dieses Ziel kann aber nur in geschichtlicher Entwicklung besser und besser approximiert werden, ohne doch je erreicht zu werden. Ganz im Sinne der im Buchtitel angesprochenen Bezeichnung von ‚Ziel und Struktur‘ physikalischer Theorien kann er also sagen: „Die Darlegung der Geschichte eines physikalischen Prinzips bedeutet gleichzeitig die logische Analyse desselben“.

Daß er den Bereich der Geschichte überhaupt für die Rekonstruktion der Physik heranzog, daß er in ihr den Raum kreativer Möglichkeiten für die Wissenschaftsentwicklung fand, erweist seine Position als höchst aktuell.

Denn nachdem eine ahistorische Wissenschaftskonzeption für die erste Hälfte unseres Jahrhunderts herrschend war, hat sich erst wieder im Gefolge von Popper, Feyerabend, Lakatos, T. S. Kuhn, Toulmin u. a. ein Wissenschaftsbegriff durchgesetzt, der wesent-