

6 „Wir gehen so tief wie man nur gehen kann“: Chiralität in Quantenchemie und Wissenschaftsphilosophie

Der analytische Blick auf die Zugriffe auf chirale Phänomene in der Quantenchemie und deren Rezeption in der Wissenschaftsphilosophie offenbart einen blinden Fleck in der bestehenden Theorie wissenschaftlicher Grenzarbeit. In den laufend fortschreitenden Aushandlungsprozessen von Beziehungen und Grenzen zwischen wissenschaftlichen Disziplinen erweisen sich Narrative von Autonomie und Reduzierbarkeit als omnipräsent. Mit Autonomie ist dabei nicht die Verteidigung des Wissenschaftsbetriebes vor außerwissenschaftlicher Einflussnahme in der Demarkation von *science* und *non-science* gemeint (Gieryn, 1983, S. 789), sondern bezieht sich auf eine Konfliktlinie zwischen wissenschaftlichen (Sub-)Disziplinen selbst. Vielmehr steht die Aneignung, Sedimentierung und Verteidigung eigener, disziplinspezifischer Gegenstände, Theorien und Zugriffe auf die Welt, die unabhängig von fachfremden Ontologien, Methoden und Semantiken sind, im Mittelpunkt (Janich, 1998, S. 8). Das Gegenteil zu dieser Form der disziplinären Autonomie stellt in diesem Sinne die Reduzierbarkeit in der Beschreibung von interdisziplinären Verhältnissen dar. Diese zeigt sich etwa in der Annahme, dass die Quantenphysik die Grundlage der gesamten Chemie sei oder der Prämisse einer Arbeitsteilung und Abhängigkeit im Zugang zu disziplinspezifischem Wissen, wenn biologische Prozesse erst durch chemische Methoden zugänglich werden (ebd., S. 9). Dies ist unmittelbar mit den Präideen einer in Wirklichkeitsschichten klassifizierten Natur, einer Einheit sowie Hierarchie der Naturwissenschaften verknüpft.

Auch wenn diese Konzepte in der gegenwärtigen Wissenschaftsforschung als Anachronismen gelten, leben sie in den fachspezifischen *styles of reasoning* als Präideen fort und sind mit Konflikten verbunden, die insbesondere im gegenwärtigen Zeitalter der Hybridisierung wissenschaftlicher Disziplinen zum Tragen kommen (Stengers, 2011b, S. 212). In den Feldern der Chemie zeigt sich ein ambivalenter und konfliktgeladener Umgang mit Fragen der Reduzierbarkeit molekularer Gegenstände auf quantenphysikalische *Erste Prinzipien*. Diese Aushandlungen

um die Autonomie bzw. Reduzierbarkeit chemischen Wissens offenbaren zudem, dass ein Graben zwischen den Fachkulturen der theoretischen Chemie und den experimentellen Feldern in Organik und Anorganik entstanden ist. Die Abgrenzung erfolgt dabei auf den Ebenen der jeweiligen fachkulturellen Habituation sowie den philosophischen Beiträgen aus den beiden idealtypischen Bereichen, die die empirische Materialgrundlage der vorliegenden Analyse darstellen. Die Geister scheiden sich in diesem Bereich insbesondere an der Interpretation des Verhältnisses von chemischer Struktur und Quantenphysik. Während die Reduzierbarkeit auf die Gesetze der Quantenmechanik in weiten Bereichen der chemischen Felder als latente und unbehagliche Bedrohung gilt, die die Erkenntnisleistung der Chemie abzuwerten scheint, erkennen Vertreter/innen der Quantenchemie ein Emanzipationspotential für die Chemie in eben diesem Reduktionismus: Ein *tiefes* physikalisches Fundament verspricht demnach ein höheres Maß an wissenschaftlicher *Härte* und Positivität, als es die *alltagspraktischen* Anwendungen der organischen Synthesechemie jemals zu leisten vermögen. In diesem Kontext stellt insbesondere die molekulare Chiralität ein häufig rezipiertes Fallbeispiel dar, anhand dessen sich die Kontroversen um eine (Nicht-)Reduzierbarkeit der Chemie entfalten. Als Grenzobjekt dient die Chiralität den beiden Diskurspositionen gleichermaßen als rares Beispiel, anhand dessen sich ihre antagonistischen Prämissen bewahrheiten.

In diesem Kapitel werden in der Folge drei zentrale Befunde zur Grenzarbeit der chemischen Felder an ihrer *fundamentalsten* Stelle abgehandelt und zueinander in Beziehung gesetzt:

- Die erste Beobachtung besteht darin, dass sich mit der Etablierung der Quantenmechanik ein hybrider Grenzbereich zwischen Physik und Chemie herausgebildet hat, der sich mit den *fundamentalsten* Aspekten chemischer Theorie beschäftigt. Dieses Feld hat sich bezüglich Methoden und Kulturen des Erkenntnisgewinns immer stärker der Physik angenähert und zugleich von den laborbezogenen Feldern der Chemie entfernt, wodurch ein Graben zwischen chemischer Theorie und Empirie entstanden ist.
- Es zeigt sich zweitens, dass im theoretischen Zugriff auf das Molekulare zunehmend physikalische Konzeptionen dominant werden. Dies bezieht sich allerdings nicht auf die Annahme des Reduktionismus selbst, sondern vielmehr auf die aus der Physik stammenden Semantiken von Wirklichkeitsebenen, Einheitswissenschaft, Emergenz und Tiefe wissenschaftlicher Betrachtung. Diese Begriffe waren bis vor wenigen Jahren in der Chemie eher unbekannt und zogen erst über die jüngsten chemiephilosophischen Debatten sowie Förder- und Innovationsdispositive der chemischen Industrie in die Fachkulturen der Chemie ein (Simões und Gavroglou, 2001, S. 52). Es wird

argumentiert, dass der quantenphysikalische Reduktionismus viel grundlegendere Präideen in die Chemie transportierte: Die Dominanz physikalischer Fragestellungen in der Wissenschaftsphilosophie infolge der Erschließung der Quantenwelt habe zu einer Omnipräsenz von Emergenz- und Reduktionsfragen in den Fachdebatten geführt. Die Chemie schied infolge dessen gänzlich aus dem Dialog mit den Geisteswissenschaften aus und wurde erst im Zuge der Vertrauenskrise der Chemie in den 1990er Jahren wiederbelebt.

- Dies zeugt drittens davon, dass geisteswissenschaftliche Anbindungen sowie theoretische Praktiken in Wissensproduktion und Grenzarbeit der naturwissenschaftlichen Felder eine deutlich größere Rolle spielen als bislang angenommen und in Analysen der Wissenschaftsforschung berücksichtigt werden sollten.

6.1 Ist Chemie auf (Quanten-)Physik reduzierbar?

Mit dem Aufkommen der Quantenmechanik und der Feststellung, dass chemische Struktur und Bindung durch physikalische Gesetzmäßigkeiten erklärbar sind, setzte sich in den 1920er Jahren zunehmend die These durch, dass die gesamten Gegenstände der Chemie seien auf die Physik reduzierbar seien (Bensaude-Vincent und Simon, 2012e). In der Folge wird zunächst hergeleitet, welche Konsequenzen sich daraufhin für die Dynamiken und Grenzen der chemischen Felder ergaben. Es entstand in diesem Zusammenhang ein hybrider, *fundamentaler* Grenzbereich zwischen Chemie und Physik, der sich auf einer theoretisch-abstrakten Ebene der mathematischen Gleichungen und computer-gestützten Modellierungen diesen Grenzphänomenen widmete (Nye, 2018). Auf diese Weise löste sich die theoretische Chemie aus dem breiteren Kontext der chemischen Felder heraus und etablierte sich als eigenständige chemische Teildisziplin mit großen Schnittmengen in Physik, Mathematik und *Computer Sciences* (Gavroglou und Simões, 2012).

Dieses Feld grenzte sich in der Folge immer stärker von der organischen Synthesechemie und anderen experimentalpraktischen Forschungsbereichen der Chemie ab und übernahm in der Ressourcengenerierung ähnliche Strategien, wie sie sich bereits in der Teilchen- bzw. Hochenergiephysik als erfolgreich erweisen hatten: Die Unterscheidung zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung¹ setzte die Quantenchemie in eine antagonistische Position

1 Bei den Begriffen der Grundlagenforschung und angewandten Forschung gilt stets zu reflektieren, dass es sich um forschungspolitische Unterscheidungen handelt, die historisch kontingent im Kontext verschiedener Innovationsmodelle des 20. Jahrhunderts entstanden sind und daher nicht unreflektiert in der Wissenschaftsforschung reproduziert werden soll-

zur organischen Synthesechemie (Frenking, 1998). Narrative der Fundamentalität, der *Tiefe* wissenschaftlicher Erkenntnis und auch der Einheit und Hierarchie der Wissenschaften verhalten dem jungen Fach dazu, für die Chemie eher ungewöhnliche Quellen der Forschungsförderung zu erschließen und sich im akademischen Bereich zu etablieren und neben den industrienahen Bereichen der Chemie zu behaupten. Die ständige Abgrenzung der theoretischen von den anwendungsorientierten Bereichen der Chemie hat allerdings längerfristig zu einer Spaltung der beiden Bereiche geführt, wie es sich in den gegenwärtigen Fach- und Wissenskulturen sowie Beiträgen von Chemiephilosoph/innen manifestiert (ebd.).

Was ist eigentlich Chemie und was macht einen genuin chemischen Gegenstand aus? Sind es der auf seine Zusammensetzung hin analysierte Stoff und seine Transformationen, der die Identität des Feldes sichern? (Soentgen, 2008) Erlauben am ehesten die ausgefeilten, historisch gewachsenen Praktiken, materiellen Kulturen und Objekte eine analytische Annäherung an die Chemie? (Klein und Reinhardt, 2014) Oder sind es die Elemente, nachdem die Suche nach diesen einige Jahrzehnte lang das Fortschrittsstreben der Chemie dominiert hatte? (Hendry et al., 2012) Auch die molekulare Struktur (Buchler, 2004), Bindung (Van Brakel, 2012), Reinheit (Bensaude-Vincent und Simon, 2012d) und Synthese (Dolino, 2018) sind basale Konzepte, auf die die Chemie häufig zurückgeworfen wird. Die mentalen Modelle der Chemie und ihre ikonografische Repräsentation sind überwiegend durch die epistemischen Praktiken der organischen Synthesechemie geprägt und an die entsprechende Modelle der molekularen Welt gebunden, die im 19. Jahrhundert in diesem Fachbereich hervorgebracht wurden, wie in Kapitel 2 nachgewiesen wurde. Dies zeigt sich nicht nur in dieser Auswahl chemiephilosophischer Publikationen, sondern auch im Feld² selbst:

Im Rahmen meiner teilnehmenden Beobachtungen im Labor der anorganischen Chemie führte ich eine sozialwissenschaftliche Methode ein, bei der ich einen Doktoranden der Chemie bat, mit einer Fotokamera seinen Arbeitsplatz zu fotografieren. Anschließend würde ich ihn zu seinen Aufnahmen interviewen. Herr Rolla findet direkt Gefallen an der Aufgabe und verlässt den durch eine Glaswand vom Labor abgetrennten Bürobereich, legt die Sicherheitsausrüstung an und betritt den Laborraum seiner Forschungsgruppe. Im Uhrzeigersinn fotografiert er zunächst jeweils in Nahaufnahme eine der elektrischen Waagen, das Ultraschallgerät, den Rotationsverdampfer sowie ein Gerät zur Größenbestimmung von Nanopartikeln. Es folgen Panoramaaufnahmen der freistehenden

ten (Schauz, 2014b). Dieses Kapitel setzt sich intensiv mit den Folgen dieser Programmatik in den Feldern der Chemie auseinander.

- 2 Analysen zum Selbstverständnis von Chemiker/innen, die zu einem ähnlichen Ergebnis bezüglich der Hegemonie der organischen Synthesechemie kommen, finden sich u.a. bei (Groh, 2004; Laszlo, 2007).

lab bench im Zentrum des Raumes, der Kapelle³ und des Chemikalienregals. Er nimmt in seiner Erzählung Anteil an der Szenerie, insbesondere der sog. *Z-Sizer*, das Messgerät zur Größenbestimmung von Nanopartikeln nimmt darin viel Raum ein, denn Herr Rolla ist der offizielle Verantwortliche für die Instandhaltung des Gerätes. Auch die hochsensible Waage wird wortreich umschrieben: „*For me, the balance is the symbol of chemistry itself, the balance stands for our thrive for exact work and measurement and achieving a maximum purity of substances*“. Nachdem auch die „*random chemicals*“ im Chemikalienregal oberhalb des Labortischs beschrieben sind, fällt mir auf, dass der Promovend ein Gerät weder abgebildet noch erwähnt hat: seinen PC. Die statistische Bereinigung, Auswertung und Interpretation von Experimentaldaten, die direkt von den Analysegeräten an das Gerät übertragen werden, nehmen neben Emailkorrespondenz den Großteil seiner täglichen Arbeitszeit in Anspruch. Dennoch empfindet er diese Tätigkeiten nicht als „*typical chemical work*“. Herr Rolla hat die Aufgabenstellung so umgesetzt, dass er darum bemüht war, die Arbeit in einem für die Chemie möglichst repräsentativen Setting wiederzugeben.

Dieser Fall steht dafür, welche Praktiken, Wissensformen und Zugriffe auf die empirische Realität implizit als chemische gelten und welche diesen gegenüber sekundär gesetzt und als von der Norm abweichend nachgeordnet sind. Auch Herrn Rollas Vorstellung von der Chemie ist vom ikonografischen Erbe der organischen Chemie und deren mentalen Modellen geprägt. Es besteht dabei eine Diskrepanz zwischen Idealbild chemischer Wissensproduktion und gelebter Praxis: Die organische Synthesechemie, die sich molekularen Phänomenen widmet, gilt nach wie vor als die normale Chemie, während alle anderen sekundär gesetzt werden. Selbst der Einsatz von Computern wird dabei ausgeklammert, selbst wenn chemisches Forschen ohne diesen gar nicht mehr möglich wäre. Die theoretische Chemie führt vor diesem Hintergrund ein Dasein, das sich implizit an diesen Idealen messen lassen muss, obwohl sie am stärksten von den epistemischen Welten der *klassischen* chemischen Praxis abweicht – denn computergestützte Modellierungen stellen das Hauptwerkzeug der theoretischen Chemiker/innen dar, während man sie im Labor i.d.R. nicht antrifft. Das epistemische Übergewicht der organischen Chemie drückt sich bei Vertreter/innen der theoretischen Chemie in der Positionierung des eigenen Faches im Dualismus von Grundlagenforschung und Anwendung aus. Insbesondere im Bereich der Quantenchemie wird eine epistemische Nähe zu den *fundamentalsten* Bereichen der Physik betont und sich von angewandten, alltagsnahen Bereichen der Chemie

3 Als Kapelle wird umgangssprachlich eine Sicherheitswerkbank bezeichnet, die sich hinter einer beweglichen Glasscheibe und festen Sicherheitswänden befindet und mit einem Abzug für Dämpfe und Gase ausgestattet ist. Im Feld gilt die Kapelle als feststehender Begriff und es findet sich kein angemessenes Synonym.

abgegrenzt.⁴ Die Reduzierbarkeit chemischer Phänomene auf die physikalischen Grundkräfte und -gesetze stellt in diesem Bereich keine Bedrohung für das chemische Selbstbewusstsein dar, sondern wird gar als Strategie im Ressourcen- und Repräsentationskonflikt gegen die industrienäheren Subdisziplinen der Chemie eingesetzt. Es folgt ein Überblick über diese Strategien vor dem Hintergrund der Entstehung der Quantenchemie und ihrer gegenwärtigen Fachkultur.

Für die Chemie bedeutete die Entwicklung der Quantenmechanik den zeitweisen Verlust einer eigenständigen chemischen Theorie der Materie, des Moleküls, dessen Struktur sowie der molekularen Bindung. Daraus ergab sich die wachsende Trennung zwischen theoretischer und praktischer Chemie, die durch die Dispositive der Forschungsförderung der folgenden Jahre noch verstärkt wurde, wie in der Folge erörtert wird: In wissenschaftshistorischer Sicht nahm die Erschließung der Quantenwelt ihren Anfang zu Beginn des 20. Jahrhunderts als Chemiker/innen wie Physiker/innen auf experimentellem und theoretischem Wege in zunehmend mikroskopische Bereiche der Materie vorstießen (Gavroglou und Simões, 2012, S. 3f.) und diverse naturwissenschaftliche Einzeltheorien – etwa des Lichts, der Thermodynamik, elektromagnetischer Felder oder der Gaskinetik – zu umfassenderen naturwissenschaftlichen Theoriegebäuden zu vereinigen versuchten (Sieroka, 2014, S. 47f.). An den Grenzbereichen von Chemie, Physik und Mathematik bildete sich ein hybrides Feld verschiedener theoretisch orientierter Naturwissenschaften heraus, deren Ziel bis heute darin besteht, den fundamentalsten Naturgesetzen und Dynamiken der Materie auf den Grund zu gehen (Simões und Gavroglou, 2001). Hybride Subdisziplinen wie Quantenchemie, theoretische Chemie, physikalische Chemie, chemische Physik, Quantenchemie oder molekulare Physik formierten sich in der Auseinandersetzung mit der aufkommenden Theorie der Quantenmechanik (Gavroglou und Simões, 2012, S. 23f.), die aus historischer Sicht einen interessanten Sonderfall chemischer Grenzarbeit darstellten. Da das Selbstverständnis gleichermaßen am Status einer Subdisziplin von Mathematik, Physik und Chemie orientiert war (und ist), erfolgt(e) die Abgrenzung in erster Linie von Feldern wie der experimentell orientierten organischen Chemie, die sich auch in den zeitgenössischen Felder noch immer widerspiegelt:

The tension between tradition and modernity expressed itself not only in laboratory practice, but also in the conceptualization of chemical entities, such as key intermediates in chemical reactions. The 1960s saw the flare-up of the

4 Die Abgrenzung erfolgt aufgrund der geschilderten Repräsentationskonflikten insbesondere von der angewandten organischen Chemie, experimentellen Bereiche der Anorganik wie etwa der Materialforschung sowie chemischen Feldern mit Umwelt- und Medizinbezug finden sich aber ebenso häufig.

'classical-nonclassical ion' controversy, [...] [which] helped to form up a dividing line between, roughly speaking, two groups A and B. Group A was that of the traditionalists and conservatives, led by synthetic organic chemists who draw their power from the labor market, trained people for the employment by the pharmaceutical industry, and gave primacy to observation and experiment opposed to theory and calculations. Group B was that of the modernists, led by physical and quantum chemists to whom the Schrödinger equation was the Rosetta Stone, who gave primacy to deducing conclusions from first principles and to numerical calculations, and who saw themselves as pioneers (Laszlo, 2007, S. 345f.).

Zentrale Aspekte der physikalischen Fachkultur wie die Präideen einer holistischen, fundamentalen, nach *Tiefe* strebenden Wissensproduktion (Erlemann, 2004) sowie einer hierarchischen Ordnung der Natur und der zuständigen Wissenschaften (Hossenfelder, 2018, S. 65) zogen auf diesem Wege in die Chemie ein (Bensaude-Vincent und Simon, 2012e): Die Klassifizierung der Wirklichkeit in sog. Auflösungsebenen etwa war dem Denkstil der Chemiker/innen ebenso fremd wie die in diesem Zusammenhang stehende Idee der Reduzierbarkeit chemischer auf physikalische Eigenschaften (Gavroglou und Simões, 2012, S. 257). Wie in diesem Abschnitt argumentiert wird, zeigt sich die wachsende Dominanz physikalischer Zugriffe auf die molekulare Welt nicht in der (postulierten) Reduzierbarkeit chemischer – molekularer – Phänomene auf physikalische, sondern darin, dass in der Physik entstandene Präideen wie die Tiefe wissenschaftlicher Betrachtung, Universalität von Naturphänomenen, Einheitswissenschaft, Reduktionismus und Emergentismus in den Fachkulturen der Chemie aufgenommen wurden und gegenwärtig in forschungs- und wissenschaftspolitischen Kontexten reproduziert werden.

Wie in Abschnitt 2.3 dargelegt wurde, spielten bei der Entdeckung der Quantenmechanik die Radioaktivität sowie das elektromagnetische Spektrum eine entscheidende Rolle, da mit der Formulierung einer Theorie des Atomkernes und des Kernzerfalls die inner-atomaren Dynamiken in den Fokus rückten⁵ und eine Reformulierung der bestehenden Atomtheorien durch Niels Bohr zur Folge hatte (Bohr, 1913). Demnach besteht ein Atom aus einem positiv geladenen Atomkern

5 Eine detaillierte Rekonstruktion der historischen Entwicklungslinien zwischen der Theoriebildung zur Radioaktivität und Entstehung der Teilchenphysik siehe bei (Bleck-Neuhaus, 2013, Kapitel 2). Darüber hinaus finden sich im Kanon der Chemiegeschichte einige Arbeiten, die insbesondere die Verwobenheit der Quantenmechanik mit chemischer Erkenntnisproduktion betonen (Barkan, 1992; Bleck-Neuhaus, 2013; Brändas und Kryachko, 2004; Gavroglou und Simões, 2012; Laszlo, 2007; Nye, 1993; Nye, 2016; Nye, 2018; Nye et al., 1992; Psarros, 2001; Reinhardt, 2001a; Reinhardt, 2004; Reinhardt, 2006; Steinhauser, 2014; Strom und Wilson, 2013; Simões, 2002; Simões und Gavroglou, 2001; Van Tiggelen, 2001).

(bestehend aus einer elementspezifischen Anzahl Protonen und Neutronen), der von einer bestimmten Anzahl negativ geladener Elektronen in bestimmten Abständen umkreist wird. Diese Umlaufbahnen der Elektronen werden dabei als Orbitale bezeichnet und bewegen sich je nach Anzahl der Elektronen in einer bestimmten Anzahl von Schalen, die die sog. Atomhülle bilden (Psarros, 2008, S. 302ff.). Mit diesem Atommodell lag eine Kategorie vor, mit der sich die Zuständigkeitsbereiche von physikalischen und chemischen Wissenschaften auf einer neuen epistemischen Ebene klar unterscheiden und zuordnen lassen: Da chemische Reaktionen ausschließlich auf dem Austausch von Elektronen zwischen Verbindungen in der Atomhülle basieren, die Atomkerne jedoch nicht in molekulare Reaktionen und Bindungsverhalten involviert sind, bildete sich an dieser Stelle eine ungeschriebene Arbeitsteilung zwischen Chemie und Physik heraus (ebd.), die sich in der späteren quantenmechanischen Formulierung des Atomaufbaus, der beteiligten Teilcheninteraktionen bis hin zur chemischen Bindung, molekularen Struktur und Chiralität fortpflanzt (Ruedenberg und Schwarz, 2013, S.13;16).

Zudem erhielt die neue Atomtheorie eine umfassende quantenmechanische und später eine quantenfeldtheoretische Formulierung. Elektronen und ihre Schalen werden im Sinne der Quantenmechanik nicht als Objekte mit einer konkreten räumlichen Position verstanden, sondern als Kräftefelder mit bestimmten Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von gebündelter Energie (ebd.). Es handelt sich bei Elektronen und anderen Elementarteilchen um abstrakte, mathematisch formulierte Gegenstände, deren materielle Existenz nach dem klassischen physikalischen Weltbild nur schwer intelligibel ist, denn Elementarteilchen besitzen die Eigenschaften von Wellen und Teilchen gleichermaßen, obwohl es sich dabei weder um Teilchen noch um Wellen handelt (Bleck-Neuhaus, 2013, S. 17). Auf der inner-atomaren Ebene der Elementarteilchen ist die Materie somit unscharf und unbestimmt, die Elektronendynamik der Teilchen erfolgt über den Austausch von gequantelten Energie-Bündeln, die zwischen Atomen aufgenommen bzw. abgegeben werden. Auf dieser Feststellung beruht Max Plancks Bezeichnung des Wirkungsquantums $\hbar$, die sich später stellvertretend für denjenigen physikalischen Bereich etablierte, dessen Observablen nicht der klassischen Mechanik unterliegen (ebd.).⁶ Im Laufe der Zeit wurden verschiedene Eigenschaften der Materie festgestellt, die ausschließlich in Quantensystemen beobachtbar sind,

6 Die Dynamiken von Wellen, Teilchen wie Photonen und atomspektroskopischen Phänomenen werden dadurch erklärt, dass Elektronen sich auf bestimmten Bahnen um einen Kern bewegen, deren Energie ein ganzzahliges Vielfaches einer elementspezifischen Grundenergie betragen. Jedes Orbital ist durch die Hauptquantenzahl n und den Bahn- sowie Eigendrehimpuls charakterisiert. Elektronen bilden demnach im elektrischen Feld eines Atoms eine stehende Welle (Bleck-Neuhaus, 2013, S. 17).

so etwa Spin, Drehimpuls und Parität. Bei diesen sog. Observablen handelt es sich um mathematische Objekte, die wiederum in sog. Eigenzuständen auftreten können (ebd., S. 106).

Mit dem *zoom* in das Atom und seine Bestandteile hinein wurde deutlich, dass die Elementarteilchen völlig anderen physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgen als makroskopische Objekte. Dies lag darin begründet, dass die im 19. Jahrhundert entwickelte mechanische Lehre – heute als klassische Mechanik bezeichnet – sich an Körpern und Objekten orientierte, die als physische Objekte in Raum und Zeit diskret lokalisierbar sind (ebd.). Demnach können sich zwei Körper nicht zur gleichen Zeit räumlich exakt an der gleichen Stelle aufhalten, denn eine essentielle Eigenschaft der klassisch observierbaren Materie ist es, Raum zu verdrängen. Bei Elementarteilchen wie Elektronen trifft dies hingegen nicht zu: Auch wenn Elektronen im Modell häufig in der grafischen Darstellung als Kügelchen eine objektnahe, symbolische Gestalt erhalten, verfügen sie kaum über eine Masse (ebd., S. 58). Entsprechend des um 1925 entstandenen Atommodells der Quantenphysik verfügen Teilchen wie Elektronen über die Eigenschaften von Wellen, d.h. sie bewegen sich mit einer bestimmten Masse und Geschwindigkeit im Raum, wobei sie aber nie eine klare Position einnehmen, sondern immer nur eine relative Aufenthaltswahrscheinlichkeit (eine zeitlich bedingte Ausdehnung im Raum) zwischen zwei möglichen Minimal- bzw. Maximalpunkten (ebd.). Es finden dabei Überlagerungen (sog. Interferenzen) von Teilchen im Raum statt. Sie sind somit nicht fix im Raum lokalisierbar, ihr Aufenthaltsort wird stattdessen als Wahrscheinlichkeitsfunktion (z.B. einer Elektronenaufenthaltswahrscheinlichkeit) wiedergegeben. Nach Erwin Schrödingers quantenmechanischem Formalismus lässt sich die Ausbreitung von Teilchen im Raume bzw. die Wahrscheinlichkeit, dass sie sich in einem räumlichen Gebilde aufhalten, als Wellenfunktion Ψ für alle entsprechenden Teilchen eines Systems darstellen (Psarros, 2008, S. 303):

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(x, t) = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x) \right) \Psi(x, t)$$

Mit dem Zugriff einer Energiegleichung auf die Dynamiken von Elementarteilchen lag eine Beschreibung für den inneren Atomaufbau vor und sollte sich auch bald beim Nachvollziehen des molekularen Strukturaufbaus und der chemischen Bindung als hilfreich erweisen (Ruedenberg und Schwarz, 2013, S. 27f.). Diese wurden, wie in Abschnitt 2.3 dargelegt, in enger Auseinandersetzung mit der molekularen Spiegelasymmetrie entwickelt, wobei insbesondere Friedrich Hund und Robert Mullikan mit der quantenmechanischen Ausformulierung des Orbitalmodells einen wichtigen Beitrag in der Geschichte der theoretischen Chemie leisteten (Quack, 2014, S. 66). Auch Linus Pauling, Walter Heitler und Fritz London sind mit der Entwicklung ihrer Valenzstrukturtheorie zur molekularen Bindung in den 1920er Jahren in der Geschichtsschreibung des Faches repräsen-

tiert (Nye, 1993, S. 245). Die Bestimmung einer Lokalisation von Teilchen bzw. Atomen im Raume und die Beschreibung ihres Bindungsverhaltens zu Atomen und Molekülen erfolgt bis heute über die Berechnung des stationären Zustandes eines quantenmechanischen Systems⁷ unter Berücksichtigung der Position ihrer Elektronen e und Nuklei k , einem Eigenzustand E des sog. Hamiltonoperator $\hat{H}$, nachdem die (zeitunabhängige) Schrödingergleichung aufgelöst wird (Atmanspacher, 2016b, S. 532):

$$\hat{H} \cdot \Psi(x_e, x_k) = E \cdot \Psi(x_e, x_k)$$

Nachdem endgültig der Beweis für die Existenz von Atomen in der Physik durchgedrungen war⁸ und im Zuge dessen auch die sub-atomare bzw. inner-atomare Welt der Materie erschlossen war (Bleck-Neuhaus, 2013, S. 16), präsentierte sich die Natur Ende der 1920er Jahre in ihren *kleinsten* Dimensionen als Zusammenspiel von Teilchen, Kräften und Ladungen, deren Dynamiken sich zwar berechnen ließen, sich aber jeglicher Anschaulichkeit entzogen. Stattdessen wurden völlig neue – rein quantenmechanisch formulierbare – Größen und Phänomene wie Spin, Drehimpuls und voraussetzungsreiche, ebenfalls mathematisch formulierte Erhaltungsgrößen und -Sätze in der Theorie der Materie relevant (ebd., S. 249ff.). Die Chemie erhielt in der Folge eine physikalische Fundamentaltheorie der molekularen Struktur sowie der chemischen Bindung und Reaktion, die sich rasch durchsetzte. Aus diesem Sachverhalt wurde in der Folge die These der Reduzierbarkeit der Chemie auf physikalische Gesetze abgeleitet, die die Grenzarbeit der chemischen Felder bis heute nach innen wie außen durchzieht (Bensaude-Vincent und Stengers, 1996, S. 236ff.). Der Physiker Paul Dirac brachte

-
- 7 Die Bezeichnung des Systems für einen zu untersuchenden Phänomenbereich entspricht der Terminologie der Quantenphysik und war in den chemischen Wissenschaften bis Mitte des 20. Jahrhunderts abwesend. Analog zu einem Quantensystem wird in Abgrenzung hierzu von einem molekularen System bzw. einem Zell-System gesprochen. Diese semantische Unterscheidung macht deutlich, in welchem Maße die hierarchisierende Klassifizierung in Auflösungs- bzw. Betrachtungsebenen in die epistemische Kultur der physikalischen Wissenschaften eingeschrieben ist und in andere wissenschaftliche Felder einfließt.
- 8 Die Existenz der Atome stellt in der historischen Grenzarbeit zwischen Chemie und Physik einen Knotenpunkt dar. Wie in 2.1 bereits ausgeführt wurde, arbeiteten Chemiker/innen bereits im 19. Jahrhundert mit einer Heuristik des Atoms und bauten ihre Theorie wie Praxis der molekularen Struktur darauf auf. Diese pragmatische Herangehensweise, die trotz erheblicher Ungewissheiten eine chemische Wissensproduktion ermöglichte, lehnten Physiker/innen hingegen weitestgehend ab. Der Atomismus, der Annahme der Existenz von Atomen, war eine der umstrittensten Annahmen in der Geschichte der Chemie und wurde gar zur Diskreditation des gesamten Faches ins Feld geführt. Erst mit Jean-Baptiste Perrins endgültigem Beweis im Jahre 1913 erkannten auch die letzten Physiker/innen die Atome als Bestandteile der Materie an. In der Folge wurde das Atom in der Grenzarbeit zwischen den Disziplinen von der Physik angeeignet (Stengers, 2011a).

diese Schlussfolgerung in seiner zusammenfassenden Formulierung der zeitgenössischen Quantentheorie folgendermaßen auf den Punkt:

The underlying physical laws necessary for the mathematical theory of a large part of physics and the whole of chemistry are thus completely known, and the difficulty is only that the exact application of these laws leads to equations much too complicated to be soluble (Dirac, 1929, S. 714).

Auch wenn die Schrödingergleichung sich anfangs nur für Atome von relativ geringer Komplexität wie Wasserstoff und Helium exakt auflösen ließ, implizierte Dirac dennoch, dass sich mit einer erhöhten Rechenleistung die gesamte Chemie prinzipiell in der Verteilung von Elektronen ausdrücken lässt (Bensaude-Vincent und Simon, 2012b, S. 166f.). Die Idee der Reduzierbarkeit chemischer Phänomene auf physikalische und mathematische Gesetze war jedoch zum gegebenen Zeitpunkt nicht neu, sondern zeichnete sich bereits seit der Entstehung der Physik als moderne Naturwissenschaft im physikalischen sowie mathematischen Denken und Wissenschaftsverständnis ab (Bensaude-Vincent und Simon, 2012e). Unter Chemiker/innen hingegen war diese wissenschaftshierarchisierende Strategie im Umgang mit der materiellen Natur hingegen im 18. und 19. Jahrhundert eher schwach ausgeprägt, selbst als sich im Zeitalter der Biochemie im Grunde auch biologische Prozesse auf chemische zurückführen ließen (Simões und Gavroglou, 2001). *Dirac's claim*⁹ wurde in den Folgejahren unter forschungspraktisch orientierten Chemiker/innen jedoch kaum rezipiert. In der organischen Strukturchemie, die nach wie vor das Leitparadigma der Chemie bildete, wurde kaum auf die vermeintliche Reduzierbarkeit und die quantenmechanische Theorie der Chemie reagiert und man empfand sie zudem nicht als existenzbedrohend (Simões, 2002). Dennoch trat mit dem Aufstieg der Quantenmechanik, wie in 2.3 bereits ausführlich diskutiert wurde, ein forschungspraktischer Wandel in den Feldern der Chemie ein, der sich insbesondere in vier Ausprägungen zeigte:

Erstens wurde der Wandel in Form der sog. Instrumentellen Revolution (Chamizo, 2019) spürbar, die eine fundamentale Umstrukturierung des standardisierten Chemielabors mit sich führte. Physikalischen Apparaturen wie NMR-Spektroskope ersetzten sukzessive die aufwendigen Präparations- und Analysemethoden der Nass-Chemie, bei der das NMR-Proberöhrchen eine der ikonischen Insignien der Chemie ablöste, nämlich das Reagenzglas (Laszlo, 2007, S. 338). Zweitens wandelte sich die akademische Chemie zu einer kostenintensiven *Big Science* mit hochpreisigen Geräten, was zu völlig neuen Strategien in der akademischen Einwerbung von Ressourcen und Karrieren von Forscher/innen sowie einer grundsätzlichen Verschiebung der Zentren chemischer Gelehrsamkeit

9 Diese Bezeichnung ist dem Titel des Artikels (Simões, 2002) entlehnt.

aus Europa in die USA und China zur Folge hatte (Griesar, 2004a). Drittens geriet die Chemie mit diesen Veränderungen in einen völlig neuen Fokus der Forschungsförderung, was diese ab den 1950er Jahren den Innovationsdispositiven des Kalten Krieges¹⁰ unterwarf (Kragh, 2001). Viertens entwickelte sich aus dem Problem, dass sich nur eine begrenzte Anzahl an molekularen (und anderer Phänomenen auf *höheren* Wirklichkeitsebenen direkt auf die ersten Prinzipien der Quantenmechanik zurückführen ließen, ein Narrativ, das sich insbesondere für die Geschichte der *Data Sciences* als bedeutend erweisen sollte.

Demnach etablierte sich ein Narrativ, das von einer komplexen Wirklichkeit als mehrstufiges System ausgeht, hinter dem allerdings ein ordnendes, kybernetisches Schema steht, das es zu entschlüsseln gilt (Mainzer, 1998, S. 36). Als Analogien zu den ersten Prinzipien der Quantenphysik werden durch datengestützte Modellierungen entsprechende Modelle konstruiert, entsprechend derer sich auch bei komplexen, makroskopischen Systemen Muster erzeugen lassen. In diesem Kontext steht die Entwicklung von Hochleistungsrechnern, die sich auch in der theoretischen Chemie durchsetzten (Primas, 1985, S. 112). All diese Entwicklungen trugen dazu bei, dass sich theorie- und laborbezogene Felder der Chemie zunehmend von einander entfernten, zumal dieser Prozess durch die Reduktionssemantik der Innovationsdispositive von Grundlagenforschung und anwendungsorientierter Forschung forciert wurde.

Die Reduzierbarkeitsthese chemischer auf physikalische Eigenschaften wurde strategisch so genutzt, dass die Wissenschaft von den Molekülen, Stoffen und Elementen sich in ein lineares Innovationsmodell der Einheitswissenschaft eingliedern ließ. Dies trieb die Spaltung von organischer Synthesechemie und den theoretischen Feldern der Chemie noch weiter voran und sedimentierte sie zunehmend in der jeweiligen Fachidentität. Die Chemie konnte mit einer quantenmechanisch-physikalischen Fundamentaltheorie in militär- und industrienahen Großprojekten erstmals Ressourcen mobilisieren, die zuvor nicht verfügbar gewesen wären (Reinhardt, 2001b) und so traten etliche an der Theorie ausgerichteten Chemiker/innen als Anhänger/innen der Quantenmechanik auf (Laszlo, 2007, S. 340). Dem unrühmliche Erbe der Alchemie, das in der allgemeinen Vorstellung des Faches noch nicht gänzlich abgestreift gewesen war, konnte eine *harte*, mathematisch formalisierte, vollwertige Naturwissenschaft entgegengestellt werden, die sich an den epistemischen Kriterien der Physik messen lassen konnte (und diese im Laufe der Zeit gar in Bezug auf die Höhe von Fördermitteln übertraf) (Steinhauser, 2014, S. 45). Die flächendeckende Anwendung der NMR-Spektroskopie in der chemischen Laboranalytik ermöglichte

10 Eine Analyse der Verkettungen zwischen der Erfolgsgeschichte der Quantenmechanik und den Innovationsdispositiven einer repressiven, technokratischen Wissenschaftskultur des Kalten Krieges liegt mit (Barad, 2007) vor.

wiederum eine Vielzahl statistisch relevanter Bestätigungen der Prämissen der Quantentheorie. Reduktionismus und Physikalismus haben so keinesfalls zu einer Obsoleszenz der Chemie als Wissenschaft geführt, sondern im Gegenteil: „die Chemie wurde in neuen, prestigereichen physikalischen Begriffen interpretiert, damit sie im Kern bleiben konnte wie sie war“ (ebd.).

Dass die Reduzierbarkeit der Chemie auf die Physik intelligibel wurde, wurde durch Jahrzehnte intensiver experimenteller wie theoretischer Arbeit aktiv hervorgebracht und immer wieder aktualisiert und aufrechterhalten (Stengers, 2010b, S. 16). Erst eine ausreichende Menge statistischer Auswertungen mit Datensätzen aus den verschiedensten physikalischen, biologischen und chemischen Systemen brachte der Quantenmechanik (und Quantenfeldtheorie) ein erhebliches Maß an Evidenz ein (Bell, 1992). Dass eine Aussage wie „das, was dem gesunden Menschenverstand so unerklärlich und rätselhaft erscheint, hat seine Existenz inzwischen millionenfach in der Praxis bewiesen“ (Röthlein, 2010, S. 49) mit epistemischen wie infrastrukturellen Machtfragen verbunden ist, bekam die (Teilchen-)Physik selbst rasch zu spüren und profitierte in erheblichem Maße von immensen öffentlichen Fördermitteln und der Einrichtung von Großanlagen wie dem CERN. Die Suche nach immer neuen Teilchen der subatomaren Welt war ressourcenintensiv und immer wieder rechtfertigungsbedürftig (Stengers, 2010a). Als erfolgreiche Strategie erwies sich dabei stets der implizite Verweis auf die Annahme einer Hierarchie der Wissenschaften und das lineare Innovationsmodell der Wissenschaften (Galison, 1996, S. 7) und die Fundamentalität der quantenphysikalischen Erkenntnis, die alleine schon um ihrer selbst Willen erstrebenswert sei (Stengers, 2011c, S. 222). Die gegenwärtigen Diskurse um die Chiralität der Teilchen und der fundamentalen Asymmetrien bedienen ebenfalls diese Rhetorik, wenn von einem der letzten Geheimnisse der Natur die Rede ist und die Bedeutung der Lösung dieses Rätsels an keinerlei Anwendungszwang geknüpft ist.¹¹ Die Fundamentalität, die auf der Präidee einer Hierarchie der Wissenschaften basiert, wurde zur mächtigsten Ressource der Teilchenphysik, derer sich in der Folge auch Quantenchemie und theoretische Chemie bedienten und bis heute nutzen (ebd.).

11 An dieser Stelle sind vorweg die grundlegenden Unterschiede in der Erkenntnisgewinnung zwischen organischer und theoretischer Chemie anzuführen. Die Hypothesenprüfung erfolgt in der Chemie seit ihrer Vernaturwissenschaftlichung i.d.R. über das Experiment bzw. das erfolgreiche Einwirken auf die Struktur von Stoffen im Sinne einer Synthese. Die theoretische Chemie hebelte dieses Prinzip aus und hatte zu Beginn deswegen Schwierigkeiten den etablierten Gütekriterien chemischer Forschung in der Ressourcenakquirierung zu entsprechen (Frenking, 1998, S. 103). Darüber hinaus zeigen historische Lehrbuchanalysen, dass sich mathematische Methoden nur sehr zögerlich in die Gedankengebäude der theoretischen Chemie integrieren ließen und es zu heftigen Kontroversen in diesem Fachbereich kam, ob die Operatorenschreibweise überhaupt praktikabel sei (Simões und Gavroglou, 2001, S. 52).

Die in Abschnitt 2.3 erwähnten, kostspieligen physikalischen Mess- und Analysegeräte dienen ebenso der Evidenzgenerierung wie hochsensible Laserspektrometer, Teilchenbeschleuniger und Hochleistungscomputer, was die quantenchemischen Forschungsbereiche den *Big Science*-Forschungssettings der Teilchen- bzw. Hochenergiephysik annäherte. Die Abgrenzung von anwendungsorientierten bzw. praktischen Bereichen der Chemie in Organik wie Anorganik transportiert das Bild von zwar epistemisch völlig getrennten Bereichen, die allerdings für eine umfassende Generierung chemischen Wissens – und damit industrieller Anwendungen – gleichermaßen berücksichtigt und gefördert werden müssen (Quack, 2015). Legitimation verschaffen sich diese kostenintensiven Projekte auch in der Chemie durch die in der Wissenschaft außergewöhnliche Erfolgsgeschichte der Quantenmechanik sowie durch den Verweis auf die strikte semantische Trennung von Grundlagenforschung und anwendungsorientierter Forschung in der Forschungsförderung (Frenking, 1998, S. 107). Als Grundlage der Chemie weist die Quantenchemie im technischen Anwendungsbereich industriell gefertigter und erfolgreicher technologischer Produkte auf ihre quantenmechanische Grundlage¹² (ebd.). Es ist kein Zufall, dass sämtliche Interview-Partner/innen, die als Vertreter/innen der theoretischen Chemie gelten, lange Jahre in angewandten Bereichen wie der datenbasierten Modellierung in der Risiko-, Energie- oder Arzneimittelforschung beschäftigt waren, ehe sie sich gegen Ende der Karriere den tiefen Fragen der Natur zugewandt haben.¹³ Das Versprechen einer Übersetzung fundamentaler Kenntnisse über die Dynamiken der Materie lässt sich erfolgreich in derzeit aufstrebende ingenieurwissenschaftliche Bereiche wie Materialwissenschaften, Robotik, *Data Science* oder *Machine Learning* einbetten.

Gegenwärtig bestehen die Felder der theoretischen Chemie bzw. der Quantenchemie aus relativ kleinen, lokalen Kollektiven und Forschungsgruppen, deren Mitglieder kaum in Laboratorien anzutreffen sind, denn sie beschäftigen sich in

12 In diesem Zusammenhang werden insbesondere Technologien im Bereich der Computertechnologie wie *Quantum Computing* oder *Quantum Cryptography* zur Datenverschlüsselung genannt. Es hat sich mittlerweile ein gewisser Kanon an Anwendungen etabliert, die auf die Quantenmechanik zurückgeführt werden. Dazu zählen neben Kernwaffen und Kernspinresonanz vor allem Diode und Transistor, die die Grundelemente der zeitgenössischen Elektronik darstellen (Feynman, 2013). Es fällt auf, dass die meisten Anwendungen im Bereich militärnaher Forschung entstanden sind (Barad, 2007, S. 253).

13 Ein emeritierter Professor der anorganischen Chemie drückt diesen thematischen Wechsel von angewandten zu intellektuell reizvollen theoretischen Problemen der Chemie (wie der Chiralität) gegen Ende der akademischen Laufbahn folgendermaßen aus: „*Genau, Materialien haben wir gemacht, Wirkstoffstrukturen. Die letzten zehn Jahre dann fast nur noch Batterieforschung. Und das was ich die letzten fünfunddreißig Jahre gemacht hab, das geht nur mit zwanzig Leuten und tollen Labors. Im Moment, ja also wenn man das alles schon erreicht hat, dann kann auch mal mutig sein und sagen: Jetzt schauen wir mal die GANZE Welt an.*“

erster Linie mit computergestützten Simulationen, die die Vorhersage chemischer Prozesse leisten (Psarros, 2001, S. 47). Die forschungspraktischen Grundlagen bilden dabei die Lösungen komplexer Gleichungssysteme, die auf den physikalischen und chemischen Erkenntnissen der Quantenmechanik beruhen und die molekulare Welt der Strukturen, Bindungen und Reaktionen als direkte Verlängerung der fundamentalsten Dynamiken der Materie und ihrer Bausteine verstehen. Auch in diesem Bereich lassen sich die im mathematischen Modell prognostizierten, abstrakten Naturphänomene nur durch erheblichen technischen Aufwand experimentell erfahrbar machen (Gavroglou und Simões, 2012, S. 24). Die Grenzen zwischen Chemie und Physik (sowie Mathematik und *Computer Sciences*) werden in diesen abstrakten, durch strenge mathematische Formalismen bestimmten Bereichen bewusst verwischt und als der Wissensproduktion hinderlich infrage gestellt. Es wird ein postdisziplinäres Wissenschaftsmodell einer vereinigten Fundamentalwissenschaft vertreten und häufig auch gelebt, etwa in der Gestaltung universitärer Lehre und Betreuungsverhältnissen, aber auch in intensiven philosophischen Auseinandersetzungen, wie die empirische Analyse des Feldes zeigt.

In Chemie wie Physik gleichermaßen haben die Jahrzehnte überspannende Grenzarbeit zwischen Grundlagen- und Anwendungsforschung auch zu getrennten Fachkulturen zwischen experimentell orientierten und einem sich als Fundamentalwissenschaft verstehenden Feld geführt. Die Abgrenzung der Quantenchemie von der organischen Synthesechemie (und analog der Experimentalphysik) erfolgt auf einer epistemischen wie praktischen Ebene, denn die praxisbezogene, handwerkliche und an der molekularen Struktur bzw. physikalischen Makrowelt orientierte Forschungsarbeit erscheint in den herausgearbeiteten Narrativen als weniger intellektuell reizvoll bzw. weniger *tief* bezüglich des leitenden Erkenntnisinteresses. Den Kolleg/innen im Labor wird eine experimentalpraktische Pedanterie unterstellt, die als Kontrastfolie der eigenen Fachidentität herangezogen wird.¹⁴ Analog zum Leitmodell einer pyramidenförmigen Hierarchie der Wissenschaften wird die Beschäftigung der Quantenmechanik mit den fundamentalsten Teilchen und deren Wechselwirkungen zum tiefsten Punkt in dieser Hierarchie, und alles andere scheint darauf aufzubauen bzw. zu Anwendungsbereichen der

14 Im Interview mit einem Experimentalchemiker wird deutlich, dass bereits im Grundstudium der Dualismus von theorieorientierten und experimentellen physikalischen Subdisziplinen in die Sozialisation eingeschrieben wird: „Also ich hab mich einfach lieber mit irgendwelchen mathematischen Formalismen rumgequält-rumgeschlagen und nicht damit, irgendwelche Apparaturen zu polieren oder an irgendwelchen Stellschrauben wieder das System einzujustieren. Ja, ist halt so 'ne VORLIEBE, nicht? Und halt so'n bisschen dieser ideologische Aspekt, dass ich von Anfang an mit den Theoretikern größere Sympathien gehabt habe und die haben teilweise auch so eine antiexperimentelle Ideologie verbreitet, nicht? So 'ne SCHMUTZIGE Welt und eben die Theorie – das ist noch so der schöne der HIMMEL, da funktioniert noch alles ganz GLATT“ [lacht].

Quantenmechanik zu werden. In den Semantiken von Tiefe und Fundamentalität, die sie ihren fachspezifischen Fragestellungen und Arbeitsweisen zuschreiben, grenzen sich Vertreter/innen der Quantenchemie gegen eine dem „Kochen“ verschriebene, laborgebundene, synthetische Organik ab und betonen die epistemische Nähe zur theoretischen bzw. Quantenphysik. Die Begründung einer physikalischen Theorie der Chemie stellt dabei den Ursprungsmythos der eigenen Disziplin dar und die Erweiterung dieser zählt zu den Zielen des Faches.

Lang: Und wie haben Sie sich sonst Wissen über Chiralität angeeignet?

Prof. Wolf-Ferrari: Wir hatten an [unserer] Universität einen Professor, er war ein GLANZvoller Vertreter der Geschichte der Chiralität IN der organischen Chemie und er hat eben auch forschungsmäßig seine Synthesen bearbeitet. Irgendwelche prochiralen (1) Methylgruppen, mit denen man dann nach einem Baukastenprinzip chirale Mittel AUFbauen kann, nicht? [...] Und das hab ich zur Kenntnis genommen. Organische Chemie war damals schon nicht mehr etwas was mich sehr INTERESSIERT hat aber man hat das halt so aufgenommen, nicht? (.) Ein wesentlicher Punkt wurde dann, dass man dann in meiner Zeit in der theoretischen Chemie – DA wurde man dann konfrontiert mit Versuchen der ERKLÄRUNG! (.) Woher kommt [die Chiralität]? (.) Und da ist das also VIEL, VIEL tiefer gewesen! Da ist man eigentlich so weit gegangen wie man überhaupt GEHEN kann heute.

Die Relationskategorie tieferer und höherer wissenschaftlicher Fragen, Betrachtungsweisen und Phänomene impliziert und reproduziert verschiedene Präideen, die aus der Physik in die Chemie gewandert sind und sich dort im Laufe der Zeit sedimentierten. Die historisch gewachsene Beziehung zwischen Quantenchemie und den fundamentalen, physikalischen Wissenschaften im Rahmen der Formulierung der Quantenmechanik hat nicht nur zu einer physikalischen Theorie des Molekularen und einer Revolution des chemischen Labors geführt. Die wachsende Dominanz physikalischer Zugriffe auf die etablierten Gegenstände der Chemie zeigt sich darüber hinaus auf der Ebene der semantischen Feinheiten, die sich darin offenbaren, *wie* über die molekulare Welt gesprochen wird und *wie* chemische und physikalische Wissensproduktion zueinander ins Verhältnis gesetzt werden. So etwa in der Rhetorik von Emergenztheorien, welche aus einem physikalischen *style of reasoning* entsprang und sich allmählich auch in der Chemie durchsetzt, indem sie auch in diesem Bereich über bestimmte Innovationsdispositive vermehrt Anwendung fand und in der Philosophie der Chemie Debatten anstieß.

Die molekulare Welt wird im Sinne einer Betrachtungsebene behandelt, die in ein hierarchisches Pyramidenmodell aufeinander aufbauender *Seinsschichten*, *Komplexitätslevels*, *Wirklichkeitsebenen*, *Körnigkeiten* oder *Auflösungsstufen* integriert wird. Diese Semantiken waren dem chemischen Denken bis vor wenigen Jahren

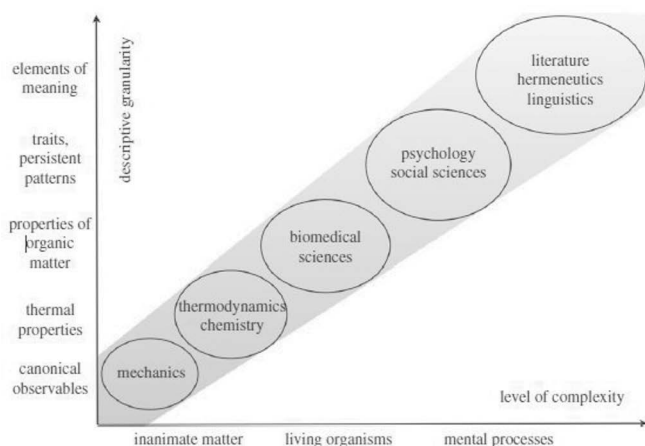
eher fremd und wurden entsprechend zeigt sich in der gesteigerten Verwendung der Einfluss physikalischer Semantiken in der Chemie (Simões und Gavroglou, 2001, S. 52). Die sukzessive Übernahme dieses Grundverständnisses von Natur, Wirklichkeit und Wissenschaft wanderte einerseits über die theoretische Chemie in die chemischen Felder ein, die im Zuge der Entstehung der Quantenmechanik verstärkt von diesen physikalischen Konzeptionen geprägt wurden. Zudem bestand eine enge Wechselbeziehung zwischen den theoretischen Feldern der Physik und Chemie mit der Wissenschaftsphilosophie und -politik sowie deren zugrundeliegenden Innovationsdispositiven. Von der Übernahme physikalischer Weltbilder in den hybriden Grenzbereichen der Chemie zeugt eine Reihe von Präideen und Narrativen, die sich in der Interviewstudie zur Chiralität herausarbeiten ließen und im folgenden Abschnitt 6.2 ausführlich behandelt werden.

6.2 „Chirality as a unifying concept“

Die zentralen Befunde dieses Kapitels – dass zwischen den Fachkulturen der theoretischen und laborbasierten Feldern der Chemie ein Graben entstanden ist und im Zuge dessen physikalische Konzeptionen des Molekularen zunehmend dominant werden – werden in diesem Abschnitt in Bezug auf ihre Wechselbeziehungen mit der Wissenschaftsphilosophie erörtert. Die Wissenschaftsphilosophie des 20. Jahrhunderts war erheblich durch physikalische Weltbilder, Fallbeispiele, Fragestellungen und Modelle der Materie geprägt, was sich in der Folge in den Semantiken der Wissenschaftspolitik und den Dispositiven der Forschungsförderung niederschlug (Schummer, 2006). In der Folge wurden diese physikalischen Konzeptionen auch in der Chemie präsent, was sich in der Aneignung und Umdeutung etablierter chemischer Konzepte und Phänomene – wie der Chiralität – nachweisen lässt. Wie in der Folge erörtert wird, reproduzieren insbesondere jüngere Emergenz- und Systemtheorien die ursprünglich aus der Physik stammenden Narrative der Einheit und Hierarchie der Wissenschaften. Dies zeigt sich in paradigmatischer Weise in der Rezeption der Erkenntnisse der Quantenchemie zur Chiralität, seit es Quantenchemiker/innen gelungen ist, einen empirischen Zusammenhang zwischen molekularer und subatomarer Spiegelasymmetrie zu bestimmen. In der Wissenschaftsphilosophie – und insbesondere unter durch die Quantenchemie geprägten Chemiephilosoph/innen – finden Emergenztheorien eine starke Rezeption, die sich in drei miteinander verwobenen Diskurssträngen niederschlägt:

Erstens bietet sich die Chiralität als eines der wenigen Beispiele an, bei dem sich ein chemisches Phänomen (strukturelle Asymmetrie des Moleküls) tatsächlich auf ein physikalisches Phänomen (schwache Wechselwirkungen und fundamentale Asymmetrien der Materie) reduzieren lassen könnte. Dieser Sachverhalt hat

zweitens wissenschaftsphilosophische Debatten befruchtet, die einer holistischen Betrachtung der Entstehung des Lebens und *emergence of the mind* gewidmet sind (Atmanspacher, 2016a). Der zugrundeliegende Denkstil zeigt sich drittens in der Behandlung der Chiralität als Universalismus der Natur, der sich auf sämtlichen Ebenen der Wirklichkeit zeigt und die (physikalischen) Präideen von Einheit und Hierarchie der Wissenschaften in der Chemie mitträgt. Damit zeige ich auf, dass die Wissenschaftsphilosophie in der Grenzarbeit der Wissenschaft nicht wegzudenken ist und die Verwobenheit von Natur- und Geisteswissenschaften in der Analyse wissenschaftlicher Felder und ihrer Dynamiken berücksichtigt werden sollte. Doch zunächst seien die Konzeptionen der Einheitswissenschaft in ihren wissenschaftsphilosophischen Dimensionen auseinandergesetzt, bevor auf die Chiralität und ihre Rezeptionskontexte und Projektionen eingegangen wird.



Modell zum Zusammenhang zwischen emergenten Beschreibungsebenen und wissenschaftlichen Feldern/Disziplinen. Übernommen aus (Atmanspacher et al., 2014).

Die Prädee der Einheitswissenschaft richtet sich nach einer Vorstellung von der Natur als teleologisch und positiv aufeinander aufbauendes System und einer Wissenschaft, die in der Erforschung der Natur durch eine gemeinsam geteilte Sprache, Methodologie und Gesetzmäßigkeiten vereint ist (Mittelstraß, 1998, S. 49f.). Das zugrundeliegende Naturverständnis gliedert diese Aspekte in hierarchisch klassifizierte Phänomenbereiche wie etwa Elementarteilchen, unbelebter Materie, belebter Materie bis hin zu Organismen und den mentalen und sozialen Funktionen des Menschen. Die (Natur-)Wissenschaften, die diese Phänomene erforschen, siedeln sich in diesem Wissenschaftsverständnis parallel zu dieser Hierarchie der Natur in ihrer Betrachtungsebene des Atomaren, Submolekularen, Molekularen und Organischen an. Dieser Annahme nach *bauen* auch die Diszi-

plinen von Mathematik, Physik, Chemie, Biologie bis hin zu Psychologie und Sozialwissenschaften in dieser Reihenfolge *aufeinander auf* und dem Ideal nach fließt das Wissen zwischen den Disziplinen von *unten* nach *oben* (Findlay und Thagard, 2012). So gelangt das Wissen *später* in anwendungsorientierte Bereiche wie Medizin oder Ingenieurwissenschaften und sorgt für Wissenszuwachs und Fortschritt, was ein lineares Fortschrittsmodell als Innovationsdispositiv impliziert. Die historisch normativ besetzten Begrifflichkeiten von Grundlagenforschung und anwendungsorientierter Forschung und ihre Verwendung spiegeln diese Annahmen ebenso wieder (Schauz, 2014a, S. 275) wie metawissenschaftliche Fragen nach Reproduzierbarkeit (Atmanspacher et al., 2014) und Interdisziplinarität (Fischer, 2011, S. 38f.).

Der Chemie wird in diesem Modell eine mittige Position zwischen Physik und den Lebenswissenschaften zugedacht (Balaban und Klein, 2006), die sich in der Zuschreibung der *Central Science* im Laufe des 20. Jahrhunderts materialisierte (Roth, 2015; Bertozzi, 2015) und sich mittlerweile im Selbstverständnis der Disziplin sedimentiert hat (Reinhardt, 2001b, S. 1). Diesem Verständnis von der Rolle der Chemie im Konzert der Wissenschaften liegt die Annahme zugrunde, dass die Mehrzahl ihrer Phänomene auf physikalische Phänomene zurückzuführen sei und dass die Chemie zugleich durch die biochemischen Übergänge die Grundlage des Lebens darstelle (Hendry, 2012). Die Natur präsentiert sich in diesem logisch-empiristischen Zugang als mehr oder weniger geschlossenes System aus fundamentalen Wechselwirkungen und Kräften, die sich in anorganischen molekularen Strukturen niederschlagen und diese sich wiederum in der Welt des Lebendigen äußern: nämlich als ein perfektes Zusammenspiel, das in der kodifizierten Sprache der Mathematik im Buch der Natur festgehalten ist und von objektiven Wissenschaftler/innen entschlüsselt werden muss. Dieses positivistisch-holistische Verständnis von Natur und Wissenschaft ist weit verbreitet im Wissenschaftsverständnis von Naturwissenschaftler/innen, wenn nicht konstitutiv für ihre Beziehungen im wissenschaftlichen Feld (Koppman et al., 2015, S. 41f.).

Die Einheitswissenschaft bzw. die Einheit der Wissenschaften auf phänomenologischer, nomologischer, methodologischer und semantischer Ebene wird in diesem Zusammenhang als Präidee verstanden, die im Paradigma des Wiener Kreises entstanden ist und sich trotz dessen Niedergangs im Wissenschaftsverständnis zahlreicher wissenschaftlicher Felder und deren epistemischen Kulturen bis heute erhalten hat (Mittelstraß, 1998, S. 56f.). Von den frühen Enzyklopädien der Aufklärung über die Wissenssoziologie Auguste Comtes (Comte, 1974) und dem Paradigma des Logischen Empirismus hin zu zeitgenössischen Ansätzen im Zeitalter von *Big Data*, *Quantum Computing*, Modellierung und künstlicher Intelligenz besteht unter vielen Wissenschaftler/innen und Wissenschaftsphilosoph/innen das Bedürfnis, die wissenschaftlichen Aufgabenbereiche und Diszi-

plinen in ein geordnetes Schema zu überführen und zueinander ins Verhältnis zu setzen (Beggs et al., 2012). Ob als Baum, als Skala, als Quilt, als Pyramide oder als Netzwerk – die Darstellung der Hierarchie der Wissenschaften basierend auf verschiedenen Klassifikationsschemata ist bis heute in aller Munde und als mächtige Prädiee wirksam, auch wenn sie in der Wissenschaftsphilosophie nicht erst seit der konstruktivistischen Wende lange umstritten ist und als überholt gilt (Galison, 1996).

Die Vorstellung der Einheitswissenschaft findet sich zwar bereits in früheren Zeiten, dennoch wird dieses Konstrukt am ehesten mit dem Wiener Kreis in Verbindung gebracht (ebd., S. 50ff.). Dieses Kollektiv, bestehend aus Vertreter/innen des Logischen Empirismus, erlebte seine Blütezeit in den 1920er und 1930er Jahren. Diese stand eng mit der Erfolgsgeschichte der Quantenmechanik und den Hoffnungen in Verbindung, die an Revolution der physikalischen Theorie gebunden waren. Die Vorstellung einer „*theory of everything*“, einer mathematisch-physikalischen Weltformel, sollte nach Paul Oppenheim und Hilary Putnam dabei vor allem durch die Reduktion chemischer, biologischer und sozialwissenschaftlicher Theorien auf die Theoriegebilde der (Quanten-)Physik geleistet werden (Oppenheim und Putnam, 1958). In dieser Arbeit zeigt sich besonders prägnant der Gedanke einer Einteilung der Wirklichkeit in sechs höhere bzw. tiefere *Levels*¹⁵, denen eine gemeinsame Grundfunktion zugrunde liegen müsse, so die Hypothese (ebd.). Dieser sog. starke Reduktionismus, wie ihn auch Paul Dirac implizit vertrat, geht von einer nomologischen Beziehung von Wirklichkeitsstrukturen bzw. Phänomenen aus, ist ebenfalls auf eine holistische Theorie einer Weltformel angelegt (Primas, 1985, S. 109) und fand in der Folge zahlreiche Anhänger/innen, denn diese Prämissen waren an die Hoffnungen technischen Fortschritts in der Physik und entsprechende *Big Science*-Projekte geknüpft. Die positiven Erwartungen, die dem Reduktionismus zunächst entgegengebracht wurde, wurde in der Folge allerdings relativiert: Längst nicht alle Naturphänomene (weder der Chemie, noch anderer Naturwissenschaften) gehorchen unmittelbar den Gesetzen der Quantenmechanik – trotz allen Fortschritts in Form von Teilchenbeschleunigern und Hochleistungscomputern – und reduktionistische Annahmen wurden mit der Zeit zunehmend entkräftet:

The dream of the logical-positivism at the beginning of the 20th century was the unity of sciences, according to which all scientific disciplines could be explained by means of the laws of fundamental physics. In this reductionist context, physics was at the top in the hierarchy of natural sciences due to its fundamental character whereas chemistry was relegated to an inferior position to

15 Putnam und Oppenheim unterschieden zwischen 6. *social groups*, 5. (*multicellular*) *living things*, 4. *cells*, 3. *molecules*, 2. *atoms* und 1. *elementary particles*. (ebd., S. 9).

the extent that it was supposedly derived from quantum physics. However, at the beginning of this century it is possible to stress that chemistry is neither a reduced science nor a branch of physics (Labarca und Lombardi, 2008, S. 438).

Der Logische Positivismus büßte als wissenschaftsphilosophische Strömung in der Mitte den 20. Jahrhunderts allmählich an Bedeutung ein. An seine Stelle traten im Zuge der konstruktivistischen bzw. linguistischen Wende Paradigmata, die sich eher mit einer Phänomenologie der Wissenschaften und deren sozialer Verfasstheit beschäftigten. Mit der Annahme beobachter/innen-abhängiger, multipler Realitäten, in denen auch die Annahme einer wahren Erkenntnis in ihrer Standortgebundenheit bzw. als Produkt sozialer Aushandlungsprozesse zu verstehen ist, erübrigte sich auch die Idee einer Hierarchie der Wissenschaften und der Natur (Galison, 1996). Die Dekonstruktion von Objektivität als historisch kontingente Idee ging auch mit der Entthronung der Naturwissenschaften und insbesondere der Physik als Leitdisziplin der Objektivität und Wahrheit einher. Insbesondere die Idee der *unity of science* wurde intensiv kritisiert (ebd.). Die Prädee der Einheitswissenschaft ist allerdings nicht mit der Tradition des Logischen Empirismus untergegangen. Folgt man dieser Prädee durch die wissenschaftsphilosophischen Beiträge und Narrative von Fachwissenschaftler/innen im Feld, fällt auf, dass die Wissenschaftsphilosophie tief gespalten ist (Janich, 1998). Insbesondere poststrukturalistische und konstruktivistische geistes- und sozialwissenschaftliche Theorien zur naturwissenschaftlichen Praxis und Erkenntnis werden in diesen Feldern kaum rezipiert oder stoßen tendenziell auf Ablehnung¹⁶ (Humphreys, 2016). Um das Verhältnis zwischen Disziplinen zu verstehen, bedienen sich philosophische Beiträge vieler Naturwissenschaftler/innen daher seit den 1980er Jahren vermehrt Emergenztheorien (Janich, 1998, S. 8), die in der Folge näher auseinandergesetzt werden.

Theorien der Emergenz verfügen ebenso wie die Reduktionstheorien über eine längere Tradition und es hat sich gezeigt, dass unter diesem Begriff völlig unterschiedliche Ansätze vereint werden, die auf divergierenden Prämissen, Argumenten und Bezugnahmen beruhen (Heintz, 2004). Sieht man von dieser erheblichen Diversität ab, bleiben zwei gemeinsame Kernideen erhalten: erstens, dass sich die Emergenz als Gegenteil der Reduktion versteht und zweitens, dass emergente Eigenschaften stets ein mehr ergeben als die Summe ihrer Teile (Manafu,

16 In diesem Kontext sind insbesondere die Polemiken der *Science Wars* der 1990er Jahre zu nennen, bei denen insbesondere Vertreter/innen der Quantenphysik erhebliche Kritik an poststrukturalistischen Beiträgen zur Wissenschaftsforschung äußerten. Sie empfanden die analytischen Zugriffe auf naturwissenschaftliche Gegenstände als Angriff auf ihr Fach und platzierten gar Nonsense-Artikel in angesehenen geisteswissenschaftlichen Fachzeitschriften um aufzuzeigen, wie wissenschaftlich unvertretbar diese Beiträge seien (Sokal und Bricmont, 1998).

2013). Auch Emergenztheorien operieren dabei mit der Klassifizierung von Hierarchieebenen der Natur und folgen der Annahme, dass sich gleichartige Teile wie Atome zu einem komplexeren System wie einem Molekül zusammenschließen. Die Abgrenzung zu den verschiedenen Spielarten der Reduktion erfolgt dadurch, dass höhere Systeme wie ein Molekül nicht mit den einzeln betrachteten Atomen gleichgesetzt werden, aus denen sie sich zusammensetzen. Moleküle verfügen über emergente (nicht reduzierbare) Eigenschaften, die sich in den unteren Auflösungsebenen der atomaren Ebene nicht wiederfinden. Auf der analytischen Ebene findet somit eher eine Induktion statt einer Deduktion statt. Demnach verfügt jede Hierarchieebene über eigene Theorien und Phänomene, sie sind nur in Ausnahmefällen direkt durch tieferliegende Theorien erklärbar (Luisi, 2002, S. 117). Emergenztheorien finden gegenwärtig in der Philosophie der Chemie Anklang, denn ihnen wird ein weniger reduktionistisches und hierarchisches Bild vom Verhältnis zwischen Chemie und Physik zugeschrieben (Bishop und Atmanspacher, 2006).

Doch auch wenn Reduktions- und Emergenztheorie(n) einen analytischen Gegensatz bilden, basieren beide Ansätze auf ähnlichen Prämissen, nämlich dem Bezug auf Beziehungen zwischen Teilen und dem Ganzen innerhalb eines mehrschichtigen Systems. Was darin implizit gleichermaßen verhandelt wird, ist der Versuch einer Reduktion der Komplexität der Natur, die rasante Vermehrung wissenschaftlichen Wissens und die Ausdifferenzierung der wissenschaftlichen Disziplinen im 20. Jahrhundert (Primas, 1985, S. 109). Die Klassifikationsterminologie sog. Seinsschichten, Auflösungsebenen, Körnigkeit oder Komplexitätsniveaus ist mit der Idee der Einheitswissenschaft sowie einer funktional differenzierten Erkenntnisarbeit wissenschaftlicher Disziplinen geknüpft. Diese Arbeitsteilung ist darüber hinaus an asymmetrische Machtverhältnisse gebunden, die in der Wissenschaftsphilosophie eher implizit auf einer erkenntnistheoretischen Ebene umkämpft sind. Fragen der Autonomie einer Wissenschaft sind direkt mit der Grenzarbeit wissenschaftlicher Felder verbunden. Auch wenn es nicht näher expliziert wird, büßt eine Disziplin direkt an Prestige ein, sobald ihre Gegenstände auf etwas Fremdem aufbauen bzw. auf dessen Prinzipien zurückzuführen sind (Stichweh, 1984, S. 489ff.). Aussagen wie „Chemie ist nur angewandte Physik“ oder „die Chemie ist eine Hilfswissenschaft der Biologie“ gelten als Schmähungen und sind in der Philosophie und Geschichte der Chemie immer wieder Ausgangspunkt von wissenschaftstheoretischen Interventionen gewesen (Hendry et al., 2012, S. 5). Fundamentalität und Unabhängigkeit gelten als erstrebenswerte epistemische und ontologische Ressourcen im Feld der Wissenschaften (Galison, 1996).

Dass die Prädiee der Einheitswissenschaft aus den physikalischen in die chemischen Felder eingezogen ist und dort zu einer Aneignung und Re-Interpretation etablierter chemischer Konzepte geführt hat, zeigt sich am Fallbeispiel der Chiralität. Im Bereich der Quantenchemie wird versucht, ei-

nen Zusammenhang zwischen makromolekularen, molekularen, atomaren und subatomaren Phänomenen der Händigkeit theoretisch wie experimentell herzustellen. Von besonderem Interesse ist dabei, ob sich die spiegelasymmetrische Struktur chiraler Moleküle auf die fundamentalen Wechselwirkungen der Materie und die dort vorherrschenden Asymmetrieverhältnisse zurückführen lässt. Sollte dies abschließend gelingen, läge mit dem Fall der Chiralität eines der raren Beispiele vor, mit dem ein chemisches auf ein physikalisches Phänomen reduzierbar wäre. Dies wird in der wissenschaftsphilosophischen Rezeption dieser Forschung im Sinne des „*dreams of unity*“¹⁷ in der Wissenschaft verhandelt und entsprechende Hoffnungen darauf projiziert. Die Verhandlung der Chiralität in der theoretischen Chemie zeigt darüber hinaus, wie sehr sich die dort angewandten Praktiken und *styles of reasoning* von den bereits laborbezogenen Fachkulturen der organischen und anorganischen Chemie, aber auch pharmazeutischer Produktentwicklung, Oberflächenforschung und Kristallografie unterscheiden. Die Grenze zwischen einem quantenphysikalischen und -chemischen Zugriff auf das Molekül ist an dieser fundamentalsten Stelle gänzlich verwischt, während sich entsprechende Forscher/innen von den Strukturkonzeptionen der organischen Chemie abgrenzen. Sie verweisen auf die Fundamentalität ihrer Forschung und reproduzieren mit der Semantik der Ebenen und deren Hierarchien physikalische Denkstile, wie sich in der Folge zeigt.

Die Chiralität spielt in den Theoriegebäuden und Experimentalpraktiken von Quantenmechanik und Quantenfeldtheorie eine entscheidende Rolle und wird zu den fundamentalen Phänomenen der subatomaren Welt gezählt. Als Eigenschaft von Quantensystemen bezieht sich diese Form der Chiralität auf die Verletzungen von fundamentalen Symmetrien bezüglich Ladung, Zeit und Parität der Materie unter Einfluss der schwachen Wechselwirkung beim radioaktivem Betazerfall, die durch ein Ungleichgewicht von händigen Austauschteilchen erzeugt wird (Latal, 1991). Quantenphysikalische und -mechanische Zugriffe auf die Chiralität beschäftigen sich demnach nicht direkt mit makroskopischen Strukturen oder Objekten wie Kristallen oder Schneckenhäusern, deren Chiralität sich mit einer räumlich wahrnehm- oder darstellbaren Spiegelbildlichkeit beschreiben lässt, sondern mit abstrakten, mathematischen Beschreibungen von fundamentalen Symmetrieverhältnissen zwischen Materie und physikalischen Grundkräften, die in algebraisch formulierten Formeln und Gleichungen wiedergegeben werden (Sieroka, 2014, S. 102). Diese Betrachtungsweise versteht sich als die Suche nach den Ersten Prinzipien der Quantenmechanik und wird tendenziell dem epistemischen Zuständigkeitsbereich der Teilchenphysik bzw. theoretischen Physik zugerechnet. Dennoch sind die Grenzen zwischen physikalischen und chemischen Systemen in der

17 Diese Formulierung, die sich zudem in der Überschrift dieses Abschnitts wiederfindet, geht auf den Titel des Artikels (Labarca und Lombardi, 2008) zurück.

Quantenmechanik fließend, insbesondere in ihrem jeweiligen Zugriff auf submolekulare, atomare wie subatomare Phänomene wie der Chiralität. Es hat sich ein hybrider Grenzbereich zwischen theoretischer bzw. mathematischer Chemie und Physik herausgebildet, wobei in den letzten Jahren insbesondere Chemiker/innen gewichtige Beiträge zur Theoriebildung leisten (Quack, 2011) und sich zudem an verschiedenen wissenschaftsphilosophischen Projekten beteiligen (Mainzer, 1996).

Dr. Hoffmann: Was ich unter Chiralität verstehe? Wenn mir jemand „Chiralität“ sagt, dann denk ich in erster Linie mal an einen wissenschaftlichen Begriff. Und ICH denke – weil ich in dem Bereich meine Ausbildung bekommen hab – natürlich in erster Linie an Molekülstrukturen. [...] Und wir haben einerseits in den fundamentalen Wechselwirkungen der Physik die sehr interessante TATSACHE, dass die grundlegenden Gesetze in der Physik eigentlich ANDERS als ursprünglich mal vermutet nicht symmetrisch wirklich links- und rechtshändig sind, sondern ASYMMETRISCH. Das hat man in den fünfziger Jahren experimentell nachweisen können beim Betazerfall. Zusätzlich weiß man in der CHEMIE schon länger, dass bestimmte Stoffe, die in einer links- oder rechtshändigen Form vorkommen, [...] ganz andere chemische Eigenschaften haben. (1) Was man noch nicht GANZ verstanden hat, ist wie die zwei Sachen zusammenhängen. Also es gibt da mehrere Hypothesen dazu. Aber auf jeden Fall finde ich, das ist ein sehr interessantes Feld, weil der Begriff der Chiralität eigentlich eine Case Study [...] der Frage ist, wie denn unsere sehr abstrakten fundamentalen Theorien mit den ein bisschen greifbareren – makroskopisch wäre jetzt übertrieben – aber zumindest chemisch und molekularrelevanten Sachen, die ich im Labor kenne oder die ich aus der Pharmazie kenne, wie das zusammenhängen könnte. Das find ich persönlich am Begriff der Chiralität am spannendsten.

Die Überschneidung physikalischer und chemischer Felder von der tiefsten bzw. fundamentalsten Betrachtungswarte der Materie aus ist durchzogen von der Grenzarbeit zwischen chemischen und physikalischen Konzeptionen der materiellen Welt im Allgemeinen und der Chiralität im Speziellen. Wie bei diesem Vertreter der theoretischen Chemie deutlich wird, lässt sich epistemisch zwischen physikalischen, chemischen und biowissenschaftlichen Konzeptionen der Chiralität unterscheiden, er betont zugleich aber auch die unmittelbaren Zusammenhänge im Sinne von aufeinander aufbauenden Betrachtungsebenen. Wie in der Prädiee einer horizontalen Arbeitsteilung zwischen Disziplinen entlang definierter Betrachtungsebenen der Natur liegt es in diesen Diskursen besonders nahe, ontologische und theoretische Beziehungen zwischen verschiedenen Ebenen herzustellen und etwa strukturelle Phänomene auf fundamentale Prinzipien der Quantenmechanik zurückzuführen (Müller-Herold, 2016, S. 24 f.). Phänomene molekularer Strukturasymmetrie gelten zwar als klassische Observablen und sind somit nicht direkt den Formalismen der Quantenmechanik zugänglich (Amann et al., 1988), dennoch zählt es mitunter zu den

zentralen wissenschaftlichen Betätigungsfeldern der Quantenchemie, in diesem Bereich Zusammenhänge zwischen molekularen und quantenmechanischen Systemen computergestützt zu simulieren bzw. theoretisch zu approximieren (Müller-Herold, 2016, S. 26f.). In diesem Zusammenhang werfen Phänomene der Symmetrieverletzung nach wie vor ungeklärte Fragen auf, etwa nach dem Ursprung der Homochiralität des Lebens (Luisi, 2016, S. 69ff.), nach dem Ursprung der molekularen Chiralität sowie einer Begründung für symmetriebezogene Ungleichverteilungen der Materie gegenüber der Antimaterie (Quack, 2014, S. 77). In der Folge seien nun zunächst die wesentlichen Prinzipien und Aspekte der Quantenmechanik in Hinblick auf die Chiralität angeführt.

Die Chiralität tritt in der relativistischen Quantenfeldtheorie auf drei Ebenen auf, die auf verschiedenem Wege miteinander verwoben sind: bei Atomen, Elementarteilchen und bezüglich (der Verletzung) der Parität in quantenmechanischen Systemen. Die Parität¹⁸ zählt neben Zeit und Ladung zu den fundamentalen Eigenschaften eines physikalischen Systems (ob klassisch oder quantenmechanisch) und bezieht sich auf dessen Symmetrieverhältnisse im Raume, die sich ändern können wenn das System (i.d.R. an einem Punkt) gespiegelt wird (Bleck-Neuhaus, 2013, S. 448f.). Die Parität kann entweder erhalten oder verletzt werden, wobei sich quantenmechanische und klassische Observablen in ihrem Verhalten unterscheiden. Wird ein makroskopisches Objekt wie eine Spirale gespiegelt, zeigt sich, dass sich deren Symmetrieverhältnisse grundsätzlich nicht ändern, genauso wenig wie sich die Gestalt eines Systems ändert, wenn die Zeit rückwärts liefe (Gardner, 1991, S. 81f.). Das Spiegelbild der Spirale kann zwar von einer rechtshändigen (positiven) auf eine linkshändige (negative) Parität (Windungsrichtung) wechseln, verliert aber *per se* seine chirale Eigenschaft nicht, indem das Gewinde etwa verschwände. Gleiches gilt für achirale und andere symmetrische Objekte, die durch Spiegelung grundsätzlich nicht asymmetrisch werden können (aus einer Kugel wird trotz Spiegelung kein händiges Objekt). Bei dieser ausbleibenden Veränderung von Symmetrieverhältnissen spricht man von Paritätserhaltung, die bei allen klassischen Systemen zutrifft.

Bei quantenmechanischen Systemen kann es bei der Spiegelung jedoch zu Verletzungen dieser Parität kommen, wie 1956 durch Wu Chien-Shiung erstmals

18 Der Begriff der Parität stammt ursprünglich aus der Mathematik und bezieht sich auf gerade bzw. ungerade Zahlen und deren (un)gleichmäßige Verteilung bei verschiedenen Settings von Zufallsexperimenten (Gardner, 1991, S. 82ff.). In Bezug auf (a)symmetrische Systeme bezieht sich der Paritätsbegriff jedoch nicht auf eine (Un-)Gleichverteilung, sondern lediglich auf den Fakt, dass ein System potentiell rechts oder links ausgerichtet sein kann (ebd., S. 87). In diesem Zusammenhang wird oftmals auf Immanuel Kant verwiesen (Gardner, 1991), der bereits 1768 auf den Rechts-Links-Unterschied in der Natur (im Sinne der Händigkeit) verwies und diesen Unterschied in eine Theorie des Raumes und der Raumwahrnehmung integrierte (Kant, 1920).

experimentell nachgewiesen wurde (Wu, 1957). Demnach führt die Kernkraft der schwachen Wechselwirkung beim radioaktiven Betazerfall von Atomkernen zu einer alternierten Symmetrie in submolekularen Systemen. Dies wird wiederum dadurch begründet, dass beim Betazerfall¹⁹ Elementarteilchen beteiligt sind, deren Verhalten durch ihre chirale Eigenschaft bedingt wird. Eine Reihe von Elementarteilchen verfügt – vom Prinzip ähnlich wie die bereits bekannten Aminosäuren – über eine enantiodiskriminierende Chiralität als intrinsische Eigenschaft, sodass sie ausschließlich entweder in links- oder rechtshändiger Form vorkommen. Demnach kommen beispielsweise μ - und τ -Neutrinos ausschließlich in linkshändiger Form und Antineutrinos in rechtshändiger Form vor. Auch die Wechselwirkungen und Beziehungen zwischen Elementarteilchen folgen dabei ebenfalls enantioselektiven Kopplungsprozessen, wie etwa die W-Bosonen. Die Austauscheteilchen folgen dabei ebenfalls händigen Prinzipien. Die Paritätsverletzung zeigt sich beim radioaktiven Kernzerfall dadurch, dass es zu einem Überschuss linkshändiger Neutrinos kommt, sprich: die Parität – das anteilige Gleichgewicht zwischen rechts- und linkshändigen Teilchen – zugunsten linkshändiger Teilchen aufgehoben wird.

Die Paritätsverletzung beim Betazerfall wird ursächlich auf die Kernkraft der schwachen Wechselwirkung zurückgeführt. Bei der schwachen Wechselwirkung handelt es sich um eine der vier Grundkräfte²⁰ der Physik, die jedoch ausschließlich auf der Ebene quantenmechanischer Systeme wirkt. Als eine der beiden Kernkräfte wirkt sie im Atomkern, wo sie auf Leptonen (siehe Abb. 6.1) und Quarks einwirkt, die daraufhin ihre Identität sowie bestimmte Eigenschaften verändern. Die schwache Wechselwirkung wurde 1956 erstmals im sog. Theta-Tau Puzzle in

19 Der radioaktive Betazerfall wurde bereits um 1900 phänomenologisch von Alpha- und Gammastrahlung unterschieden (Bleck-Neuhaus, 2013, S. 435). Als Entdecker der Betastrahlung gilt Enrico Fermi (Fermi, 1934).

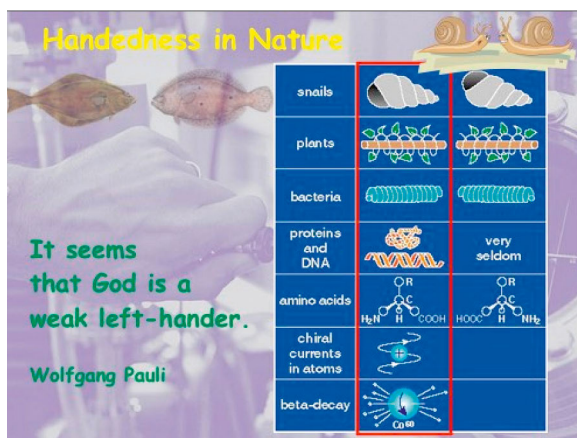
20 Zu den vier physikalischen Grundkräften zählen schwache Wechselwirkung, starke Wechselwirkung, elektromagnetische Kraft und Gravitation. Die Gravitation, auch Schwerkraft oder Erdanziehungskraft genannt, bezieht sich auf makroskopische Objekte und wird daher als rein klassisch verstanden, da sie in quantenmechanischen Systemen kaum messbar ist (Philipsen, 2018, S. 4). Die Kraft der elektromagnetischen Wechselwirkung ermöglicht in ihrer quantenfeldtheoretischen Formulierung weitreichende Erklärungsmodelle makroskopischer Phänomene wie chemische Bindung und Reaktion, Elektrizität, Licht und Magnetismus. Die starke Wechselwirkung hängt mit der gegenseitigen Anziehung von Quarks und Hadronen zusammen, was dazu führt, dass die Protonen und Neutronen im Atomkern (nicht-radioaktiver Elemente) aufgrund der Ladungsverhältnisse nicht voneinander abgestoßen werden und auseinanderfliegen. Diese Kernkraft beschreibt somit die Naturgesetze des Atomaufbaus und seiner Stabilität, während die schwache Wechselwirkung die Instabilität erklärt, zu der es etwa beim Radioaktiven Betazerfall kommt, sobald die Schwache gegenüber der starken Wechselwirkung überwiegt und Elektronen aus dem Nukleus herausgeschossen werden (ebd.).

Zusammenhang mit der Paritätsverletzung gebracht (Lee und Yang, 1956a). Lee Tsung-Dao und Yang Chen-Ning postulierten, dass beim Betazerfall ein mysteriöses Teilchen namens K-Meson in zwei verschiedene Teilchen zerfällt, nämlich in ein θ -Meson mit gerader Paritätszahl und ein τ -Meson mit einer ungeraden Paritätszahl. Im sog. Wu-Experiment wurde dies experimentell bestätigt: Beim extremen Herunterkühlen von ^{60}Co (hochradioaktive Cobalt-Isotope) auf eine Temperatur nahe dem absoluten Nullpunkt zeigte sich, dass die Elektronen nicht in zufällig verteilter Richtung aus dem Kern herausschießen, sondern entweder in *nördliche* oder *südliche* Richtung. Dabei trat auch noch eine ungleiche Verteilung zugunsten von Elektronen auf, die in *südliche* Richtung deuteten. Der Nachweis der schwachen Wechselwirkung wurde in der Physik heterogen aufgefasst. Die Natur, die sich *bis dato* selbst in ihrer inner-atomaren, quantenmechanischen Formulierung als tendenziell harmonisch und symmetrisch präsentiert hatte, gewann eine Größe hinzu, die diese Ordnung erheblich zu stören schien. Unter Physiker/innen wie Richard Feynman, dem Begründer der Quantenelektrodynamik, regte sich Widerstand dagegen, die Existenz dieser neuen Kraft und ihren de-harmonisierenden Einfluss auf die Materie anzuerkennen und Wolfgang Pauli kommentierte diese bahnbrechende Entdeckung folgendermaßen: „I do not believe that the Lord is a weak left-hander“ (zit. n.: Gardner, 1991, S. 93).

Die schwache Wechselwirkung und ihre Effekte auf molekulare Strukturen fand in der Folge nicht nur in der physikalischen Betrachtung der Chiralität Niederschlag, sondern auch in den Diskursen der theoretischen Chemie bzw. der Quantenchemie. Die Feststellung des Einflusses der Paritätsverletzung auf molekulare Strukturen gelang Martin Quack und Jürgen Stohner mittels spektroskopischer Messung eines winzigen energetischen Unterschiedes zwischen den Enantiomeren einfacher molekularer Verbindungen wie dem CHBrClF (Bromochlorofluoromethan) im Femto- bzw. Picojoule-Bereich (Quack und Stohner, 2000; Quack und Stohner, 2001). Diesen Befunden wird zudem das Potential zugeschrieben, in einem erweiterten experimentellen Setting die Wirkung der Paritätsverletzung auf molekulare Systeme nachzuweisen und so eine Erklärung für den Ursprung der Homochiralität des Lebens sowie des Überschusses der Materie gegenüber der Antimaterie zu formulieren (Luisi, 2016, S. 69). Darüber hinaus verblüffte auch die Tatsache, dass die schwache Wechselwirkung als einzige Kernkraft sich zu Materie und Antimaterie unterschiedlich verhält: Sie wirkt ausschließlich auf Materieteilchen, die im Uhrzeigersinn und auf Antimaterieteilchen, die gegen den Uhrzeigersinn rotieren (ebd.).

Diese Beziehungen zwischen chiralen Phänomenen auf den Ebenen von Molekülen, Atomen und Elementarteilchen werden seither unterschiedlich interpretiert und erlauben verschiedene Projektionen auf mögliche Beweise der Reduzierbarkeit *höherer* Chiralitätsphänomene auf die Ersten Prinzipien der Quantenmechanik, denen dabei die Präidee der Einheitswissenschaft innewohnt. Die

Chiralität wird in diesem Zusammenhang als Universalismus der Natur verhandelt, der auf sämtlichen Ebenen der Natur vorkommt, was ein gefestigtes Narrativ bildet. Die Chiralität dient in diesem Narrativ als *unifyer*, von dem man sich die Herstellung von einer Einheit der Wissenschaften erhofft. Die Rezeption der quantenchemischen Forschung zur Chiralität und der Reduzierbarkeit molekularer Händigkeit auf die fundamentalen Wechselwirkungen findet vornehmlich in wissenschaftsphilosophischen Kollektiven statt, die in der Folge näher ausgeführt werden. Dazu zählen erstens die populärwissenschaftlichen Beiträge der Chemie, in denen die Chiralität (gerade aufgrund des Universalismus) einen der wenigen anschaulichen Gegenstände darstellt, mit denen die Chemie ein öffentliches Laienpublikum erreicht. Zweitens wird die Chiralität in den Beiträgen zur Chemiephilosophie rezipiert, wobei durch die Quantenchemie informierte Denker/innen die Reduzierbarkeitsthese der Chiralität als Instrument der Emanzipation von einer durch die organische Synthesechemie dominierte Chemiephilosophie ins Feld führen. Drittens erfahren Emergenztheorien in der gegenwärtigen Wissenschaftsphilosophie generell eine Renaissance (Stengers, 2011c) und die Chiralität dient als beliebtes Beispiel für eines der raren universellen bzw. emergenten oder reduzierbaren Phänomene. Im Kontext von *Big Data* und verschiedenen Innovationsdispositiven der Inter- und Transdisziplinarität sind die Fragen nach Wissensübersetzung omnipräsent. Diese drei Rezeptionskontexte seien nun näher ausgeführt:



Diese Vorlesungsfolie wurde freundlicherweise durch einen der interviewten Chemieprofessoren zur Verfügung gestellt. Die grafische Aufbereitung bedient das Narrativ der Universalität chiraler Phänomene auf sämtlichen Betrachtungsebenen der Natur.

These are wonderfully deep questions, which will take us into many and varied aspects of social life and anthropology, and into the workings of the brain and the subtleties of human language. They will require us to look at our asymmetric bodies, with their asymmetric heart, liver, stomach, kidneys and even testicles; down into the amino acids and sugars, the building blocks of our body, which are also asymmetric; and, finally, into the asymmetries of physics itself, and hence of the universe (McManus, 2002, S. xv).

Folgt man der Chiralität durch die Diskurse der Populärwissenschaft, Wissenschaftskommunikation und Wissenschaftsphilosophie fällt auf, dass sie in diesen i.d.R. als ein chemisches Phänomen geschildert wird, das sich im Sinne eines Universalismus auf sämtliche Phänomenbereiche von Natur und Kultur erweitern und übertragen lässt. Wie in diesem Zitat deutlich wird, wird die Rechts-Links-Asymmetrie in einer Skalierung geschildert, die auf Universalität, Hierarchie und eine deduktive Kausalität ausgerichtet ist. Demnach sind chirale Phänomene ebenso in den Produkten menschlicher Kultur nachweisbar wie in Phänotyp und Genotyp von Organismen bis *hinunter* in den molekularen Aufbau des Lebens und die atomare und subatomare Welt der fundamentalen Asymmetrien. Dieses Narrativ zeigt sich häufig in populärwissenschaftlichen Auseinandersetzungen mit der Chiralität, etwa in Studium Generale-Vorlesungen zum Thema Symmetrie (Schurig, 2002), TV-Dokumentationen, Wissenschaftsmuseen, Buchbänden²¹ und Veranstaltungen mit emanzipativer Absicht wie sog. Linkshändertagen.²² In diesen Kontexten befinden sich häufig Chemiker/innen unter den Referent/innen, arbeiten bei der Ausstellungskuration mit und fungieren als Autor/innen, so auch einige Gesprächspartner/innen im Laufe des Projektes (vgl. 6.3). In der Wissenschaftspopulation und -kommunikation der Chemie handelt es sich bei der Chiralität um eines der Schlüsselkonzepte, die an öffentliches Interesse anschlussfähig ist²³, vor allem aufgrund der zahlreichen alltagsnahen Beispiele, die abstrakte molekulare und submolekulare Aspekte der Natur mit Beispielen aus

-
- 21 Siehe beispielsweise: (Birch, 2016; Brunner, 1999; Rein, 1993; Gardner, 1982; McManus, 2002; McManus et al., 2010).
 - 22 Linkshänder/innen und ihre identitätspolitische Interessensvertretung waren deutlich in die Popularisierung von chiralitätsbezogenen Universalismen von Links-Rechts-Gegensätzen involviert (McManus, 2002, S. 205). Zur Geschichte der Linkshänder/innen siehe (Jutzi, 2014).
 - 23 Der Stand der Wissenschaftspopularisierung und -kommunikation chemischen Wissens wurde im Vergleich zu physikalischem, biologischem oder psychologischem Wissen als besonders mangelhaft bewertet (Fischer, 2004). Die Chemie ist im Alltagswissen der Öffentlichkeit wenig präsent, als Schulfach unbeliebt und scheint auf wichtige weltbildstiftende Fragen zur Entstehung des Universum oder der Evolution der Menschen keine Antworten zu liefern (Winter et al., 2017, S. 78). In jüngster Zeit zeichnet sich aber ein Wandel in der Landschaft der Populärwissenschaft ab und auch chemische Perspektiven finden dort allmählich Anklang (Nguyen-Kim, 2019).

Kunst, Literatur, dem menschlichen Körper und der Gestalt von Tieren verwenden (Brunner, 2001). Das Universalitäts-Narrativ zur Chiralität zeugt davon, wie sich in den chemischen Feldern Präideen von Einheit und Hierarchie der Wissenschaften mittlerweile sedimentieren konnten – aber auch wie diese für die Repräsentation des Faches im Dialog mit der Öffentlichkeit nutzbar gemacht werden: Der Chemie gelingt es auf diese Art und Weise ihre Wissensbestände zu popularisieren und mit einem weiter gefassten Publikum zu teilen.

Die zur Veranschaulichung eingeführten Beispiele aus Alltag, Tier- und Pflanzenwelt werden so auch in Vorlesungen und Unterrichtsmaterialien der Chemie verwendet und sind in der feldspezifischen Sozialisation omnipräsent. Vorlesungsfolien wie Lehrbücher sind reich mit Bildern und mit als kurios inszenierten Exempeln aus Kunst, Architektur, Literatur, Tierreich und mechanischen Raffinessen illustriert (ebd.). Der Universalismus ist die zentrale narrative Strategie, die die Diskurse, Felder und Schauplätze der Chiralität miteinander verbindet und wissenschaftliches Wissen für das Alltagswissen anschlussfähig macht. Als eines der wenigen universellen Phänomene, das in der Natur omnipräsent erscheint, ist die Chiralität immer wieder Gegenstand inter- und transdisziplinärer Projekte (Quack und Hacker, 2016) bzw. dient als Ankerpunkt in der Überwindung fachkultureller Grenzen (ebd.). Zahlreiche Publikationen heben die Universalität der Chiralität hervor²⁴ und spannen einen Bogen von theoretischer Physik und Chemie bis hin in die Gehirnforschung und die angewandte Biomedizin. Mit der impliziten wie expliziten Annahme, dass die Chiralität der Materie mit derjenigen der Moleküle, Makromoleküle, Kristalle, Organismen und der menschlichen Händigkeit verknüpft sein muss, werden wissenschaftliche Präideen von Einheitswissenschaft und einer Hierarchie der Wissenschaften reproduziert (vgl. Abb. 6.2).

Zu den zentralen chiralitätsbezogenen Forschungsdesiderata der Quantenchemie zählt die Formulierung einer Quantentheorie der molekularen Struktur, wobei die molekulare Spiegelasymmetrie latent im Mittelpunkt steht (Frenking, 1998, S. 106). Seit den 1960er Jahren wird an einer möglichen theoretischen Lösung dieses Problems geforscht und verschiedene mathematische und computergestützte Modelle wie die sog. Lorentz-Transformation oder die Born-Oppenheimer-Methode werden ins Feld geführt, um diese Reduktion zu ermöglichen (Primas, 1983). Zu den Praktiken zählen die Lösung verschiedener Gleichungssysteme und in letzter Zeit auch vermehrt das Mitwirken in philosophischen Debatten um Emergenz und Reduktion, während insbesondere auf das quantenmechanische Modell

24 Siehe als Auswahl: (Anderson, 1972; Hahn, 1989; Mainzer, 1996; Hargittai und Hargittai, 1996; Hargittai und Hargittai, 2009; Wagnière, 2007; Heilbronner und Dunitz, 1993; Janoschek, 1991; Kondepudi und Asakura, 2006; Lough und Wainer, 2002; Riehl, 2010; Van Cleve und Frederick, 1991; Wachtel und Jendrusch, 1993).

spontaner Symmetriebrechung verwiesen wird (Mainzer, 1998, S. 41). Die omnipräsenten Denkfiguren der hierarchisch klassifizierten Wirklichkeitsebenen und der Einheit der Wissenschaft sind dabei insbesondere im Zusammenhang mit den Ausdifferenzierungs- und Hybridisierungstendenzen der wissenschaftlichen Felder zu beobachten (Primas, 1983, S. 1). Die Reduzierbarkeit der Chemie auf die Physik wird in den Feldern der Quantenchemie und in ihren wissenschaftsphilosophischen Anbindungen begrüßt und steht ganz im Sinne des Projektes der Wiedervereinigung der Naturwissenschaften. Darüber hinaus wird auf eine abschließende, quantenmechanische Theorie der molekularen Struktur und deren Asymmetrien die Hoffnung einer möglichen Revolution projiziert, die die Chemie *endlich* in eine positive Wissenschaft überführen könnte:

However, the emphasis on experimental methods – until 1927 out of necessity, after that out of ignorance – lead to the development that chemistry became a discipline of engineering rather than science. As a science, chemistry has not yet really developed, because quantum chemical research of the many chemical phenomena is still in an infant stage (Frenking, 1998, S. 107).

Dies drückt wiederum die Abgrenzung der „mit Bleistift und Papier“ (bzw. Computermodellen) operierenden Vertreter/innen der Quantenchemie von der organischen Synthesechemie aus. Insbesondere im jüngeren akademischen Feld der Philosophie der Chemie beobachten Quantenchemiker/innen eine Dominanz organisch-chemischer Perspektiven, die sich aus der Beschäftigung mit Laborpraktiken, Synthesen, Objekten und der gesellschaftlichen Einbettung der Chemie ergeben. Die Praktiken der theoretischen Chemie, die sich gänzlich der Anschaulichkeit entziehen, hohe Überschneidungen mit der Physik aufweisen und sich primär in Computersimulationen abspielen, finden in diesen Diskursen kaum eine Rezeption (Mainzer, 1998). Dies wird etwa auch in der Kritik daran deutlich, wie sich die mentalen Modelle der organischen Chemie chemische Konzepte wie die Chiralität angeeignet haben und sämtliche Zugriffe auf die Chiralität jenseits der molekularen Struktur als sekundär setzen (Frenking, 1998, S. 104). Wie im folgenden Abschnitt 6.3 erläutert wird, bildet insbesondere die Reduktionsthese der Chemie auf die Physik einen Knotenpunkt des Konfliktes zwischen diesen beiden idealtypischen Positionen. Während Quantenchemiker/innen in einer Reduktion chemischer Phänomene auf physikalische Gesetze die Chance sehen, die Chemie vom Status einer technikdominierten Ingenieurswissenschaft zu befreien und ihr endlich die nötige Tiefe zu verleihen, die für den Status einer harten Wissenschaft erforderlich ist (ebd., S. 106), die sich mit der Physik messen lassen kann, gilt auf der Gegenseite der Reduktionismus als Bedrohungsszenario für die Chemie, die durch eine Reduzierbarkeit auf die Physik ihre Fachautonomie einbüßen würde. Diese Konflikte werden auf das *Boundary Object* der Chiralität

projiziert: während Chemiephilosoph/innen wie Eric Scerri in der Chiralität eine absolut irreduzible Eigenschaft erkannten (Scerri und McIntyre, 1997), gilt die Reduzierbarkeit der molekularen Chiralität auf die fundamentalen Gesetze der Materie in der Quantenchemie als unmittelbar vor dem Durchbruch stehend.

Das Primat der Wiedervereinigung der Naturwissenschaften, das auf die Reduzierbarkeit molekularer Chiralität auf quantenmechanische Theorien projiziert wird, blieb jedoch nicht auf die Diskurse der Chemie und ihrer Philosophie beschränkt, sondern ist in weitere Kontexte der Wissenschaftsphilosophie und Innovationsdispositive der Forschungsförderung gewandert. Auf die *Big Science*-Projekte des 20. Jahrhunderts im Bereich der Teilchen- und Hochenergiephysik und der Humanwissenschaften wie das *Human Genome Project* sind im 21. Jahrhundert neue gefolgt.²⁵ Neue hybride – und vor allem großdatenbankbasierte – Großforschungsbereiche der synthetischen Biologie, des *Genetic Engineering* und die Fortsetzung des *Human Brain Project* im Sinne neuronaler Netzwerke und *computer assisted molecular design* (er-)fordern einen inter- bzw. transdisziplinären Zugriff auf die Natur. Diese Innovationsdispositive stehen im Kontrast zum monodisziplinären Narrativ vergangener Zeiten, der den Ansatz einer „rein biologischen“ Betrachtungsweise bzw. einem „*purely chemical approach*“ vertrat (Stengers, 2011b, S. 215). Mit Inter- und Transdisziplinarität wurde allerdings weniger eine aktive Zusammenarbeit zwischen Disziplinen realisiert, sondern erschienen in ihrer Umsetzung als reine Mikro-Makro-Reduktionismen, bei denen sich Biolog/innen einseitig sozialwissenschaftliche Felder aneigneten oder chemische Gegenstände in der Physik behandelt wurden. Damit erodierte das etablierte Disziplinengefüge, was zu erheblichen Konflikten führte (ebd., S. 212):

-
- 25 Als Treiber dieser Entwicklung wirkte insbesondere die pharmazeutische Industrie, deren Produktentwicklung viele Jahre umspannt und häufig an Übersetzungsebenen scheitert (Folkers, 2011, S. 208). So scheiden Wirkstoffkandidaten häufig dadurch aus, dass ihr toxikologisches Wirkungsspektrum *in vitro* zwar günstig ist, jedoch in Tiermodellen oder an Versuchspersonen nicht die erhofften Effekte zeigt. Die Arzneistoffentwicklung impliziert ein lineares Innovationsmodell, das aus laufenden Übersetzungen von Befunden in einem korporativen Kontext in einer strikt chronologischen und hierarchischen Arbeitsteilung zwischen Forschungsabteilungen besteht (Mitra, 2016c, S. 90f.). Von der ersten Idee über das *computer assisted drug design* hin zu ersten Synthesen und toxikologischen und klinischen Studien, sind sämtliche Forschungsschritte rational aufeinander abgestimmt (Atmanspacher et al., 2014). Die pharmazeutische Industrie war einer der ersten Bereiche, die Technologien der Künstlichen Intelligenz einsetzte, um diese Schritte zu optimieren. Dieses Innovationsmodell prägte sich zunehmend auch in andere Wissenschaftskulturen und der Wissenschaftspolitik ein. *Big Data* wurde in zahlreichen Wissenschaftsfeldern, etwa bei der Wetter- und Klimaforschung, Neuro-, Agrar-, oder Gesundheitswissenschaften zum Leitmotiv. Es handelt sich dabei vor allem um all jene Disziplinen, deren Forschungspraxis sich auf die statistische Erhebung und Verarbeitung großer, quantifizierter Datensätze verschob, bei denen jedoch eine zu große Komplexität nur zu eher gering formalisierbaren Theorien führt (Stengers, 2011c).

Scientists are surrounded by references to the unity of science. They can be found in tales about the historical development of science, and in the theories and practices of contemporary science. Long ago, biology was invaded by chemistry; chemistry was invaded by physics; and, long before, physics was conquered by mathematics. References can also be found in public policies about science – some sort of unity must be assumed to make sense of the ever fashionable desire for interdisciplinary and multidisciplinary research, for example. New subjects are born of old, such as computer science of mathematics, electronics, logic and linguistics. Computer science is trying to invade everything (Beggs et al., 2012, S. 54).

Diese disziplinären Spaltungen, Abgrenzungen und Konflikte im ausgehenden 20. Jahrhundert verschärften insbesondere nach den unversöhnlichen Polemiken der *Science Wars* wiederum die Sehnsucht nach einer Einheit der Wissenschaft, was in verschiedenen wissenschaftsphilosophischen Kollektiven zu einer Rückbesinnung auf sog. Emergenztheorien führte (Stengers, 2011b, S. 209). Diese waren auf zweierlei Ebenen um eine Schlichtung bemüht: Einerseits sollte ein allzu leichtfertiger Reduktionismus vermieden werden, indem die Einzigartigkeit jeder Betrachtungsebene im Sinne emergenter Eigenschaften betont wird und andererseits durch die Suche nach *Dingen*, welche das gesamte Spektrum der Realität abbilden, sprich: Universalismen der Natur (und Kultur). Projekte wie die *emergence of life* (Luisi, 2016), die in einer holistischen Theorie der Entstehung des Lebens um eine Integration physikalisch-geologischer, chemisch-präbiotischer und biologischer Evolution bemüht sind oder der *emergence of consciousness* (Atmanspacher, 2016a) bedienen sich dabei häufig des Fallbeispiels der Chiralität. Als Universalismus, der sich nahtlos auf sämtlichen Wirklichkeitsebenen präsentiert, von den tiefsten und fundamentalsten Wechselwirkungen bis hin zu lebendigen Organismen und kulturellen Ausdrucksformen gilt sie dabei als Vorbild in der Suche nach einer gegenstandsbezogenen Formel mittlerer Reichweite.

6.3 Chiralität als irreduzible Eigenschaft in der Philosophie der Chemie

Wie deutlich wird, beschäftigen sich diverse interdisziplinäre Kollektive in theoretischer Chemie und Physik sowie der Wissenschaftsphilosophie in ihrer Grenzarbeit mit dem ontologischen Verhältnis zwischen Quantenmechanik und molekularer Struktur. Insbesondere die Chiralität stellt dabei einen beliebten Ankerpunkt dar, da sie sich als einen der seltenen Universalismen der Natur behandeln lässt und die Prädiee der Einheitswissenschaft nährt. Mit der Expansion auf etliche nicht-molekulare Phänomenbereiche büßt die Chiralität in diesem Zusammen-

hang ihre Eigenschaft als exklusiv chemischer Gegenstand ein, über den die organische Chemie (wie in 2.1 deutlich wird) im Zuge der Erschaffung und Aneignung der molekularen Welt eine gewisse Hegemonie etablierte. Mit dem impliziten Verweis auf die aus der Physik stammenden Präideen einer Einheitswissenschaft und eines hierarchischen Klassifikationsmodells der Wirklichkeit wird die komplexe, auf der Chemie begründete molekulare Welt zu einer Betrachtungsebene unter vielen. Sie lässt sich nicht nur in mikro-reduktionistischen Operationen auf die Gesetze der Physik reduzieren, sondern wird auch für die Zugriffe *höherstehender* Disziplinen wie den *Life Sciences* durchlässig. Diesem Problem nehmen sich die Philosophie und Geschichte der Chemie an, die an der Grenzarbeit der chemischen Felder teilnehmen.

In der Folge seien nun insbesondere die Zusammenhänge von einer geisteswissenschaftlichen Auseinandersetzung mit den Naturwissenschaften geschildert, die einen essentiellen Teil der Grenzarbeit wissenschaftlicher Felder darstellen. Dieser Befund stützt sich auf die Feststellung, dass insbesondere Geschichte und Philosophie der Chemie zeitweise fast zum Erliegen gekommen sind, sodass wissenschaftstheoretisch ungeschulte Chemiker/innen der drohenden Auflösung der eigenen Disziplin und der wachsenden gesellschaftlichen Kritik in den 1990er und 2000er Jahren nichts entgegensetzen hatten. Im Vergleich etwa zu Physik und Biologie, die stets über Anbindungen an Wissenschaftsjournalismus, Fachdidaktik und Ethik verfügten und zudem die Wissenschaftsphilosophie dominierten, war die Chemie in diesen Diskursen über Jahrzehnte hinweg kaum präsent. Die Wiederbelebung der chemiebezogenen Wissenschaftsforschung in den 1990er Jahren entsprach einem Hilferuf und es war kein Zufall, dass sich die primären Forschungsbezüge mit der analytischen Erklärung der Autonomie der Chemie (von der Physik) und mit identitätspolitischen Fragen nach *boundary – identity – territory* der Chemie beschäftigten. Die Chiralität spielte in diesem Kontext wiederum eine zentrale Rolle. Ganz im Gegensatz zu denjenigen Chemiephilosoph/innen, die sich aus ihrer Identifikation mit der theoretischen Chemie heraus der Quantenphysik zuwandten und Hoffnungen auf eine Reduktion der molekularen Struktur auf fundamentale Wechselwirkungen hegten, waren diese neuen Stimmen im chemiephilosophischen Diskurs darum bemüht, die molekulare Chiralität zu einer irreduziblen Eigenschaft zu erklären.

“Is there a future for chemists?” All the areas [such as materials sciences, biotechnology or polymer sciences] began in chemistry in one way or another, but chemistry is in danger of being squeezed out of the picture as the fields of material science and biotechnology mature. Chemists have been adept at retaining a foot-hold in both fields by being flexible and emphasizing the advantages chemistry can bring to their development. Worldwide, chemical societies and chemistry faculties are scrambling to retain a viable position in bo-

th areas. This process involves a redefinition of chemistry that is both broad in scope but also sees it as a service discipline. Ultimately, chemistry may fracture along the fault-line between the solid state and the living state, and thus become part of two “mega-sciences”, materials science on the one hand and biomolecular sciences on the other (Morris, 2001b, S. 200).

Um die Jahrtausendwende befand sich die Chemie, wenn man dem zitierten Chemiehistoriker Peter J. T. Morris und seinen Kolleg/innen²⁶ folgt, in einer Krisensituation simultaner Omnipräsenz und Auflösung: Man stellte eine sukzessive Auflösung der Chemie in hybride Felder wie Materialwissenschaften oder *Molecular Life Sciences* fest, die sich an den Grenzen der etablierten monolithischen Naturwissenschaften herausgebildet haben. Aus den drei Großdisziplinen Physik, Chemie und Biologie scheinen zwei geworden zu sein: Materialwissenschaften und molekulare Lebenswissenschaften. Die Chemie, verstanden als eine Instanz zwischen den anderen beiden Nachbarinnen, hatte demnach ihre angestammten epistemischen Bereiche, Theorien und Gegenstände auf diese Bereiche ausgeweitet und wurde simultan durch diese absorbiert (ebd.). Dies hatte zum Ergebnis, dass die Chemie und ihre Gegenstände nun omnipräsent zu sein schienen und zugleich unsichtbar bzw. dem Aufgaben- und Kompetenzbereich anderer Disziplinen zugeschrieben wurden. Die Lage der Chemie stellte sich dementsprechend als paradoxe Situation der gleichzeitigen Expansion auf der epistemischen Ebene im Zuge der Molekularisierung verschiedener Nachbardisziplinen und Auflösung in mehrere hybride Subfelder dar. Dabei erwies sich insbesondere die molekulare Welt als umkämpft. Die chemischen Wissenschaften verfügten in diesem Sinne nicht mehr alleinig über ihr angestammtes Terrain des Molekularen und seit sie über ihre industriellen Anwendungen zunehmend in Kritik geraten waren, sahen sie sich mit neuen Herausforderungen konfrontiert, die insbesondere an den Schnittstellen von Gesellschaft, Wissenschaft und Politik angesiedelt waren. Hier sind vor allem der sog. Etikettenschwindel, die diagnostizierte Philosophieferne der Chemie und die öffentliche Chemophobie zu nennen, die in der Folge jeweils vorgestellt werden:

Historiker/innen und Philosoph/innen der Chemie beschäftigten sich insbesondere Mitte der 2000er Jahre mit einer Reihe fatalistischer Szenarien und erkannten den Anfang vom Ende der Chemie in einem schleichenden „Etikettenschwindel“ (Schummer, 2017c). Demnach scheinen sich Chemiker/innen in ihren fachlichen Positionierungen immer weiter von ihrer Zugehörigkeit zur Chemie zu distanzieren und lieber von molekularer Forschung, Materialwissenschaften oder *Polymer Sciences* zu sprechen und zu schreiben (end.). Bestehende Felder

26 Siehe auch: (Bensaude-Vincent und Stengers, 1996; Bertomeu-Sánchez et al., 2008b; Laszlo, 2007; Levere, 2001b; Morris, 2008; Reinhardt, 2001a; Schummer et al., 2007)

und etablierte epistemische Territorien der Chemie werden auf diesem Wege „schleichend umbenannt“ und in der Folge entstanden basierend auf diesen Entwicklungen neue wissenschaftliche Subdisziplinen, die dem Einflussbereich der Chemie entschwanden und ihr nach und nach Ressourcen und Forschungsgegenstände abgraben (ebd.). Chemiker/innen scheinen sich wenig darüber bewusst zu sein, wie sie dabei die drohende Absorption ihrer eigenen Disziplin in andere hybride Wissenschaftsfelder vorantreiben und naiv forschungspolitischen Trends folgen, die ihr eigenes Ende zur Folge haben könnten (Winter et al., 2017). Fachverbände wie die *Gesellschaft deutscher Chemiker*, die *Royal Society of Chemistry* oder die *American Society of Chemistry* mahnten diese Entwicklungen insbesondere zur Jahrtausendwende an, als die Verbände in ihren statistischen Erhebungen einen Mitgliederschwund verzeichneten und auch erhebliche Einbrüche von Studierendenzahlen, sodass deutlich wurde, dass der wissenschaftliche Nachwuchs zunehmend in andere Felder abwanderte (GDCh, 2017).

In der Kritik steht in diesem Kontext auch die diagnostizierte „Philosophieferne der Chemie“ (Mittelstraß, 1992, S. 10), die sich daraus ergibt, dass sich die Chemie wissenshistorisch am weitesten entfernt von den Geisteswissenschaften entwickelt hat und aufgrund dessen über wenig epistemologische, ethische und gesellschaftspolitische Selbstreflektion verfügt (ebd.). Im Gegensatz zu Fachbereichen wie Medizin und Biowissenschaften, in denen die Ethik fest implementiert ist, hat sich für die chemischen Wissenschaften erst in den letzten beiden Jahrzehnten eine solche zögerlich begründet. Auch der Dialog mit der Öffentlichkeit wurde im Vergleich zu anderen Disziplinen später und weniger intensiv betrieben (Markl, 1992). Dies scheint ihr nun zum Verhängnis geworden zu sein, denn durch diesen mangelnden Kontakt und ihre Absenz in den Diskursen der Populärwissenschaft (Fischer, 2004, S. 27f.) sieht sich die Chemie nicht nur mit Nachwuchsproblemen konfrontiert, sondern ist auch unter Legitimationsdruck geraten. Im populären Wissenschaftsverständnis ist die Chemie vergleichsweise wenig präsent und das Bild der Chemiker/innen ist mit negativen Klischeevorstellungen beladen (Weingart, 2007). Zudem liefert die Chemie im Gegensatz zu Physik und Biologie derzeit keine wesentlichen Welt- noch Menschenbilder, die im populären Wissenschafts- bzw. Naturverständnis verankert wären (Winter et al., 2017).

Als dritte dieser Herausforderungen sah sich die Chemie insbesondere in den 1980er und 1990er Jahren verstärkt mit Legitimationsschwierigkeiten im Sinne einer Vertrauenskrise konfrontiert, die sich aus einer Reihe an Unfällen in Chemiefabriken und daraus resultierenden Umweltkatastrophen und Schäden an Gesundheit und Menschenleben ergaben (Brand, 1993). Chemiker/innen in Akademie und Industrie stellten sich der öffentlichen Kritik damals nur unzureichend entgegen oder solidarisierten sich gar mit den Industriekonzernen, die diese Desaster zu verantworten hatten und relativierten die Folgen für Mensch und Umwelt

(Schummer, 2017a). Dies gipfelte zeitweise gar in einer beobachteten Chemophobie in der populären Wahrnehmung der Chemie. Die sog. Chemophobie (Gribble, 2013) zeichnet sich durch die kollektive Haltung aus, das Chemische bilde einen Antagonismus zum Natürlichen, was in einer kategorischen Ablehnung allen Synthetischen und *Künstlichen* gipfelt (Schummer, 2003). Die Chemie wird demnach als Instanz verstanden, die außerhalb der Natur steht, die Natur lediglich imitiert, manipuliert und ihr letztenendes schadet. Diese Tendenzen wurden etwa in den Diskursen der 1980er Jahre um die Öffnung des deutschen Biermarktes für ausländische Produkte, die dem Reinheitsgebot nicht entsprechen, deutlich. Auch wenn wohl primär finanzielle Interessen das bis 1990 gültige Importverbot aufrechterhielten, argumentierten seine Verfechter/innen mit ihrer Besorgnis um die Gesundheit der Bevölkerung, die durch den pauschal unterstellten Einsatz von Chemikalien im ausländischen Bier bedroht wäre. Das gefürchtete „Chemiebia“ wurde zur Fokussierungsmetapher dieses Diskurses, die in Abgrenzung zum *natürlichen*, einheimischen Produkt gehandelt wurde (Speckle, 1998). Ähnliche Tendenzen finden sich bis heute in der Etikettierung von Kosmetika („ohne chemische Zusätze“), industriell verarbeiteten Lebensmitteln („98 Prozent natürliche Inhaltsstoffe“), und (alternativen) Arzneistoffen. Dieses Alltagsverständnis vom Chemischen wird häufig von Chemiehistoriker/innen kritisiert, die diesem die Losung „alles ist Chemie“ entgegenstellen (Bösch, 2004). In diesem Sinne wird darauf hingewiesen, dass chemische Prozesse wie Gerben, Brauen, Verbrennen oder die Keramikerzeugung bereits vor etlichen Zehntausenden von Jahren die ersten Proto-Chemiker/innen hervorgebracht haben und chemische Technologien und Praktiken zu den Grundkonstanten der Menschwerdung zählen (Cobb und Goldwhite, 1995).

In diesem Kontext spielt die Neubegründung der Philosophie sowie der Geschichte der Chemie als akademische Felder und Subdisziplinen eine gewichtige Rolle. Neben intrinsisch motivierten Fragestellungen nach dem Wesen der Chemie und ihren genuin chemischen wissenschaftsphilosophischen Fragestellungen, Praktiken und Zugängen zur Natur wirkten sich auch die erwähnten extrinsischen Anreize aus. Die öffentliche Ablehnung der Chemie gegenüber, die mangelnde Fähigkeit des kritischen und reflektierten Denkens unter Chemiker/innen sowie die wachsende Aneignung chemischer Gegenstände und Zuständigkeitsbereiche durch hybride Zwischenfelder gelten als zentrale Ursachen für die Wiederbelebung dieser – beinahe – ausgestorbenen Forschungsbereiche (Schummer, 2006). Es wurden große Hoffnungen in Bezug auf die Behebung dieser drei Kerndilemmata projiziert: Die Verbände der chemischen Industrie oder auch die *Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V.* förderten durch ihre Fonds in den 1990er und 2000er Jahren insbesondere in Deutschland einige Symposien und Dialogprojekte zwischen Chemie und Geisteswissenschaften mit dem Ziel, das Verhältnis zwischen Öffentlichkeit und Chemie zu bestimmen und ggf. Strategien zu dessen Verbesserung

zu erarbeiten. Hierzu zählen etwa die philosophisch ausgerichteten *Erlenmeyer Kolloquien* der 1990er Jahre.²⁷ Vergleichbare Projekte und Veranstaltungen standen zunächst unter dem Vorzeichen einer experimentellen Annäherung zwischen Geisteswissenschaften und der Chemie.²⁸ Von der Förderung der chemiebezogenen Wissenschaftsforschung profitierten insbesondere Geschichte und Philosophie der Chemie, die sich dem Verhältnis zwischen Gesellschaft, Chemie und anderen Disziplinen annahmen.

Mit der Frage nach der Ausdifferenzierung und Amalgamierung der chemischen Disziplinen mit anderen Feldern haben sich insbesondere Historiker/innen der Chemie seit der Jahrtausendwende auseinandergesetzt. Deren Fachkonferenzen, Sammelbände und Zeitschriftenbeiträge der letzten 15 Jahre scheinen vor allem um drei Themen zu kreisen: *identity, boundary and territory of chemistry*.²⁹ Die (drohende) Auflösung und Identitätskrise der Chemie wurden insbesondere in der Chemiegeschichte der 1990er und 2000er Jahre zu den Leitfragen des Diskurses erhoben (Meinel, 2017). So waren etwa die größeren Konferenzen des Faches den Fragen nach Identitäten, Territorien und Grenzen der Chemie gewidmet, die erstmals in historische und soziale Kontexte (jenseits industriekapitalistischer Fortschrittsnarrative) gesetzt wurden. Die Wiederentdeckung der Chemie als Gegenstand der Wissenschaftsgeschichte (nachdem zwischen 1920 und 1985 fast kein einziges Werk zur Chemiegeschichte veröffentlicht worden war)³⁰ stand im Zeichen einer epistemischen Emanzipationsbewegung und Chemiehistoriker/innen treten seither als zentrale Akteur/innen der chemischen Grenzarbeit auf. Chemiker/innen sowie Chemiehistoriker/innen verhandelten die Entstehung einer eigenständigen Fachhistoriografie der Chemie (unabhängig von Medizin-, Industrie-, Pharmazie- oder Institutionengeschichte) stets vor dem Hintergrund der angesprochenen gesellschaftlichen Kritik an der Chemie (Hampel, 2017).

Die Chemie in der Geschichte überhaupt sichtbar zu machen, einen essentiellen Kern der chemischen Identität herauszuarbeiten und gegenüber der physikalisch und biowissenschaftlich dominierten Wissenschaftsgeschichte gesondert

27 Siehe: (Janich und Psarros, 1994; Janich und Psarros, 1996; Janich und Psarros, 1998).

28 Siehe: (GDCh, 2015; Griesar, 2004b; Mauskopf, 1993; Mittelstraß und Stock, 1992; Reinhardt, 2001a; Renn, 1998; Janich und Rüchardt, 1996; Weitze et al., 2017).

29 Siehe exemplarisch: (Bensaude-Vincent, 1998; Bertomeu-Sánchez et al., 2008b; Callapez et al., 2005; Buchler, 2011; Janich, 1998; Laszlo, 2007; Münch und Baier, 2012; Palló, 2008; Reinhardt, 2001b; Ruthenberg und van Brakel, 2008; Thomas, 2012).

30 Es muss an dieser Stelle festgehalten werden, dass der Blick auf die Tradition der Chemiephilosophie eurozentrisch ist. Im gleichen Zeitraum bestand etwa in der Deutschen Demokratischen Republik und anderen sozialistischen Staaten der Zufluss chemischer Beiträge zur Wissenschaftsphilosophie fort (Schummer, o), insbesondere da diese durch Friedrich Engels eigene chemiephilosophische Schriften geprägt waren, die *im Westen* nicht rezipiert wurden (Schummer, 1996).

hervorzuheben, stand im Zentrum dieser Bestrebungen (McEvoy, 2016).³¹ Gleiches gilt für die universitäre Lehre und die Vermittlung chemiehistorischer Inhalte. In Europa gilt diese noch immer als schwach institutionell verankert, jedoch macht eine wachsende Zahl an Initiativen³² auf diese Lücke aufmerksam und versucht sie zu schließen³³. In ihren Bemühungen, für eine Emanzipation und Autonomie der Chemie einzustehen und ihre Einzigartigkeit im Gefüge der Wissenschaften hervorzuheben, überschneidet sich der chemiehistorische Diskurs mit dem der Philosophie der Chemie. Letzteres Feld grenzt sich von der etablierten Wissenschaftsphilosophie ab, die primär von Physiker/innen und Geisteswissenschaftler/innen betrieben wird und daher auch einen erkenntnistheoretischen Fokus auf jene Disziplinen bietet. Die Chemie und die chemische Perspektive bleiben dabei unterrepräsentiert, die Sichtbarmachung und Betonung der Unterschiede zu diesen benachbarten Disziplinen entspricht einer deliberativen Identitätspolitik (Thomas, 2012). Können Biolog/innen oder Physiker/innen wie Thomas Kuhn tatsächlich auch für Chemiker/innen und deren Erfahrungshorizonte sprechen? Meint der gängige wissenschaftsphilosophische Kanon die Chemie mit? Und: „*What might philosophy of science look like if chemists built it?*“ (Hoffmann, 2007). Erkenntnistheoretisch wie ontologisch drängt sich dabei insbesondere die Frage auf, ob es genuin chemische Gesetzmäßigkeiten und Größen in der Natur gibt, die unabhängig von physikalischen Größen und Kräften existieren bzw. nicht auf diese zurückzuführen sind (Harré, 2012). Die Unabhängigkeitserklärung der

31 Allgemein gefasste Chemiehistoriografien der letzten Jahre siehe unter: (Bensaude-Vincent und Stengers, 1996; Breslow, 1997; Brock, 1992; Brock, 2000; Brock, 2002; Brock, 2011; Brock, 2013; Brock, 2016; Hirota, 2016; Levere, 2001b; Morris, 2015). Sie unterscheiden sich von den vor 1920 erschienen Werken primär dadurch, dass sie die Geschichte der Chemie und ihrer Gegenstände, Methoden, Objekte und Akteur/innen in den jeweiligen gesellschaftlichen Kontext setzen, während die klassischen Beiträge vor dieser Zäsur eher als positivistisch eingestuft werden (McEvoy, 2016, S. 170). Zu letzteren zählen etwa die historiografischen Werke berühmter Chemiker/innen wie Ida Freund (Freund, 1904), Wilhelm Ostwald (Ostwald, 1906) oder Hermann Kopp (Kopp, 1843), die zur Zeit der „*Belle Époque*“ der Chemie (Bensaude-Vincent und Stengers, 1996, S.208) weder deren Reduzierbarkeit auf andere Wissenschaften noch eine übermäßige öffentliche Kritik zu befürchten hatten.

32 Die Sichtbarmachung der Chemie wird von Chemiehistoriker/innen u.a. auch ganz praktisch betrieben: Branchenverbände wie die *Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V.* haben etwa 1999 damit begonnen, „Historische Stätten der Chemie“ auszuzeichnen und die *American Chemical Society* hat bereits 1992 das *National Historic Chemical Landmarks Program* ins Leben gerufen. Dabei werden etwa bestimmte Gebäude mit Informationstafeln versehen, um bestimmte, dort stattgefundene chemische Entdeckungen und ihre Entdecker/innen zu würdigen und die Chemie und ihren Beitrag zum Fortschritt entsprechend öffentlich wahrnehmbar zu machen.

33 Vgl. hierzu zur Übersicht (Suay-Matallana und Bertomeu-Sánchez, 2017).

Chemie von der Physik stellt zwischen den Zeilen einiger Autor/innen ein großes Anliegen dar (Bensaude-Vincent und Simon, 2012e).

Die Philosophie der Chemie als junges akademisches Feld begann sich erst in den letzten zwanzig Jahren erfolgreich zu institutionalisieren und kämpft noch heute um einen Platz innerhalb der Wissenschaftsphilosophie (Schummer, 2017c). Es wurden Gesellschaften, Zeitschriften und Konferenzen im Namen der Philosophie der Chemie ins Leben gerufen, grundständige Lehr- und Übersichtswerke erarbeitet³⁴ und ihre Inhalte finden sich auch zunehmend in der Chemieausbildung wieder. Eine der häufigsten Fragen der Philosophie der Chemie lautet dabei: Wie verhalten sich Chemie und Physik und ihre jeweiligen Gegenstände zueinander? Verfügt die Chemie über eigene Naturgesetze, die nicht auf physikalische reduziert werden können? (Harré, 2012) Oder zugespitzter: „Ist Chemie auf Physik reduzierbar?“ (Primas, 1985). Insbesondere die epistemische, ästhetische, praxeologische und ontologische Abgrenzung von der (Quanten-)Physik erscheint in diesen Diskursen als erstrebenswertes Ziel (Bensaude-Vincent und Simon, 2012e). Im Diskurs ist man mehrheitlich um eine Falsifikation bzw. Relativierung bemüht und Reduktionismus sowie Physikalismus werden dabei als epistemologische Probleme bzw. Kontrapositionen formuliert (Hendry, 2012).

Reduktionismen und Physikalismen galten zum Gründungszeitpunkt der neuen Chemieforschung gewissermaßen als Ursünde, die mit der Formulierung von *Dirac's claim* zum schleichenden Niedergang der Chemie geführt hatte (Scerri, 2016). In der Chemiegeschichte galt längere Zeit die Arbeitshypothese, dass die (vermeintliche) Reduzierbarkeit der Chemie auf die Gesetze der Quantenphysik dazu geführt habe, dass die Chemie eigene wissenschaftsphilosophische Beiträge eingebüßt und in der Folge die Rückbindung mit Geisteswissenschaften und Gesellschaft verloren habe (ebd.). Mittlerweile wurden diese Annahmen allerdings revidiert und mit einer ausführlichen Forschung zur Geschichte der Instrumentellen Revolution (siehe Abschnitte 2.3 und 6.1) wurde deutlich, dass die Etablierung der Quantenmechanik als fundamentales Rahmenwerk der Chemie zwar erhebliche Veränderungen mit sich gebracht hatte, die der Chemie insgesamt aber eher nützten als schaden (ebd.). Dennoch lohnt sich ein Rückblick auf diese Diskurse, denn sie erlauben Rückschlüsse auf bisher eher weniger beachtete Aspekte in der Grenzarbeit der chemischen Felder:

In der chemiephilosophischen Ergründung des Verhältnisses von Chemie und Physik – und vor allem der analytischen Abgrenzungspraktiken – griffen in den 1980er Jahren bereits die Pionier/innen der Chemiephilosophie wie Hans Primas³⁵ und Pier Luigi Luisi Emergenztheorien auf. Dem Reduktionismus wurde somit

34 (Baird et al., 2006; Bhushan und Rosenfeld, 2000; Wünsch, 2000; Llored, 2013; Sobczyk et al., 2004; Woody et al., 2012).

35 Vgl. (Primas, 1983; Primas, 1998; Primas, 1985).

eine Reihe von Theorien der Emergenz entgegengestellt, die aufzeigen sollten, dass das Verhältnis von Chemie und Quantenphysik sich nicht im reduktionistischen Sinne als Beziehung zwischen Theorien oder Phänomenen beschreiben werden kann, sondern dass sich die jeweiligen Gegenstände und Bezugspunkte auf völlig unterschiedlichen Ebenen verschiedener Systeme bewegen (Manafu, 2013). Demnach bilden die komplexer (d.h. zahlreicher) werdenden Phänomene auf höherliegenden Seinsschichten Eigenschaften aus, die bei denjenigen Dingen aus denen sie sich zusammensetzen, nicht beobachtbar sind:

In fact, once those four segments have formed a square, they are no longer open-ended and the very essence of a cube perturbs the properties of the flat surfaces that form it, obliging them into more than one single plane. In other words, simultaneously with the emergence of the novel property at the higher level, there is a modification of the properties of the components (Luisi, 2002, S. 187).

Darüber hinaus wurden gezielt Fallbeispiele gesucht und erörtert, bei denen physikalische Gesetzmäßigkeiten, Prozesse und Größen an die Grenzen der Erklärungskraft stoßen (Heintz, 2004). In diesem Zusammenhang ist seither die molekulare Eigenschaft der Chiralität immer wieder im Gespräch, denn für die asymmetrische Isomerenstruktur organischer wie anorganischer Verbindungen wurde bis heute noch keine abschließende quantenphysikalische Erklärung formuliert, trotz Messung des Energieunterschiedes zwischen Isomeren (Meierhenrich, 2011). Die molekulare Eigenschaft der Chiralität wird als eine genuin chemische Eigenschaft kommuniziert, die als irreduzibel auf die physikalischen Grundgesetze der Natur gilt (Van Brakel, 2012; Le Poidevin, 2000; Anderson, 1972). So lässt sich das Phänomen molekularer Chiralität nicht nur nicht mit einem adäquaten theoretischen Konstrukt aus der Quantenmechanik erklären, sondern es ist zu beobachten, dass sich die Chiralität auf der Ebene des Supramolekularen (vgl. Kapitel 3) anders verhält als im kleinen Molekül: Während die Enantiomere eines Moleküls mit einem einzigen Asymmetriezentrum gleich stabil sind sowie über die gleichen Spektren verfügen und auch bezüglich ihrer thermodynamischen Eigenschaften identisch sind, tritt dies bei komplexen Makromolekülen mit multiplen Asymmetriezentren seltener auf (Van Brakel, 2012). Zudem ist es oftmals unmöglich zu erklären, welche molekularen Mechanismen zu einer enantioselektiven (unterschiedlichen) Wirkung *in vivo* führen.

Substances are more than their composition. But enantiomerism I think encourages us to take a step in the other direction. For [...] a full understanding of the identity of an enantiomer assigns a role to a global property of space. That there is a difference between the *d* and the *l* forms of a substance depends on spatial geometry, and so is not wholly determined by the intrinsic

microphysical properties of the molecule (or of entities at a deeper level of analysis). This hardly restores chemistry to the position of near-complete autonomy from physics that it enjoyed in the eighteenth-century, but it does suggest that in chemistry one sometimes needs to look further up, rather than further down, the hierarchy of nature (Le Poidevin, 2000, S. 140).

Diese Argumentation zeugt von der impliziten Grenzarbeit, die sich in den Auseinandersetzungen mit der Chiralität in Quantenchemie und Chemiephilosophie widerspiegelt: während manche Forscher/innen keinen Aufwand scheuen, die Lücken zwischen den Emergenzebenen zu schließen und an einer universellen Theorie der Symmetriebrechung zu arbeiten, versuchen andere die Unterschiede zwischen den Ebenen zu betonen und eine jeweilige Unabhängigkeit zu erhalten (Labarca und Lombardi, 2008, S. 439). Die Extrapolation bzw. die Gültigkeit von Wissen zwischen Emergenzebenen stellt ein zentrales Problem des aktuellen Wissenschaftsfeldes dar. An diesen Schnittstellen zeigen sich die Konflikthaftigkeit und disziplinäre Machtverhältnisse, die sich zwischen kollektiven wissenschaftlichen Akteur/innen und der Hegemonie von Deutungen der materiellen Welt entspinnen. Hierbei liegt ein Fall von Grenzarbeit vor, denn die Einheit der Naturwissenschaft kann als wissenschaftspolitische Bewegung bezeichnet werden, die von einigen hingegen als Bedrohung wahrgenommen wird und als Gegenreaktion die Verteidigung der Gegenstände ihres Fachbereiches nach außen hin bewirkt.

In der Philosophie der Chemie sind derweil die Debatten um Grenzen, Territorien und eine inhärente Identität der Chemie wieder abgeklungen – parallel zu den Befürchtungen einer möglichen Auflösung des Feldes. Die Suche nach einem gemeinsamen Kern der Chemie wurde weitestgehend aufgegeben und es herrscht derweil ein antiessentialistisches Verständnis von den chemischen Feldern vor, das vor allem an Praktiken, Orten und Objekten der Chemie orientiert ist (Bensaude-Vincent, 2018). Auch die Abgrenzung der Philosophie der Chemie in ihren Bestrebungen nach einer Autonomie der Chemie vom wissenschaftsphilosophischen *Mainstream* fallen mittlerweile gemäßigter aus. Dennoch wurde durch diese Identitätssuche der chemiebezogenen Wissenschaftsforschung ein Bewusstsein für die Beziehungen zu den Geisteswissenschaften geschaffen, das Chemiker/innen in den vorangegangenen Jahrzehnten abhandeln gekommen war. Der verstärkte Dialog mit der Öffentlichkeit, die Suche nach einem chemischen Beitrag zu den globalen Problemen der Gegenwart (Palermo, 2018) oder aus der Chemie stammende, analytische Begriffsprägungen wie das *Anthropozän* (Crutzen, 2002) wären ansonsten nicht möglich gewesen. An dieser Stelle wird deutlich, wie sehr Geistes- und Naturwissenschaften trotz vermeintlichem Graben der „Zwei Kulturen“ (Kreuzer, 1987) miteinander verwoben sind – und was geschieht, wenn dieser Kontakt abbricht. An dieser Stelle sei in diesem Zusammenhang das De-

siderat formuliert, dass auch die *Science and Technology Studies* diese Beziehungen verstärkt in die Analysen technowissenschaftlicher Felder miteinbeziehen (Sutter, 2012, S. 440) und zudem auch den Praktiken theoretischen Arbeitens jenseits des Labors, wie es etwa in der theoretischen Chemie bzw. Physik praktiziert wird, mehr Aufmerksamkeit zukommen zu lassen.

