

1 Einleitung

Seit den 1990er Jahren befinden sich die wissenschaftlichen Felder der Chemie in einer transformativen Phase, die insbesondere von Philosoph/innen und Historiker/innen der Chemie beobachtet und diskutiert wurde (Bensaude-Vincent, 2018). So stellten Beobachter/innen der Chemie fest, dass die etablierten, monolithischen Naturwissenschaften Physik, Chemie und Biologie im Zuge sich wandelnder Innovationsdispositive in Industrie und Forschungsförderung an den Feldgrenzen zunehmend miteinander verschmelzen und hybride Grenzbereiche ausbilden (Palló, 2008). Insbesondere Nano- und Materialwissenschaften sowie biotechnologische Spezialdisziplinen wie *Omics Sciences* und die wachsende Bedeutung computergestützter Datensimulation kamen den forschungspolitischen Forderungen nach Interdisziplinarität, Anwendungsorientierung und gesellschaftlich relevanten Problembezügen nach, denen eine einzelne Disziplin alleine nicht mehr gerecht zu werden scheint (Morris, 2001b, S. 200). Die Chemie hat demnach in der wachsenden Zusammenarbeit mit den Lebenswissenschaften und physikalischen Wissenschaften ihre angestammten Betrachtungsebenen, Theorien und Gegenstände auf diese Felder ausgeweitet und wurde simultan durch diese absorbiert. Mit dem Ergebnis, dass die Chemie nun omnipräsent erscheint und zugleich bezüglich eines spezifisch chemischen Zugriffs auf die Natur unsichtbar wird (ebd.).

Ausgehend von chemiephilosophischen Auseinandersetzungen mit der Konstitution von Grenzen, Territorien und Identitäten der Chemie sowie Fragen nach ihrer Auflösung bzw. Transformation (Bertomeu-Sánchez et al., 2008a), widmet sich dieses Buch Fragen nach den sozialen Konstitutionsprozessen und Grenzziehungen der Chemie. Das Ziel besteht dabei allerdings nicht darin, zu überprüfen, ob sich die Chemie tatsächlich auflöst oder erhalten bleibt. Statt einer historiografischen Erzählung von Niedergang und Erhalt der Chemie als eigenständige Wissenschaft, wird ein soziologischer Zugang gewählt, die sich auf die handelnden Akteur/innen und die sozialen Felddynamiken ausrichtet. In diesem Sinne wird an den hybriden Randbereichen der chemischen Felder empirisch überprüft, wie Akteur/innen in ihren Handlungen, Semantiken und in Auseinandersetzung mit der materiellen Welt die Feldgrenzen fortlaufend aushandeln, reproduzieren und verschieben. Zu diesem Zweck wurden vier exemplarische Grenzfelder

der chemischen Wissenschaften ausgewählt: Materialwissenschaften, Biomedizin, pharmazeutische Industrie und Quantenchemie. Darin zeigt sich deutlich, dass die Wissensproduktion über die molekulare Welt nicht mehr alleinig bei der Chemie liegt, sondern zunehmend physikalische und biowissenschaftliche Weltbilder, Konzepte und Methoden dominant werden. Der zunehmende Verlust der chemischen Deutungsmacht über die molekulare Welt zeigt sich exemplarisch in den Narrativen zur molekularen Eigenschaft der Chiralität, ein paradigmatischer Fall, anhand dessen sich die Grenzarbeit der Chemie besonders deutlich zeigt.

Die Erkenntnisse basieren methodisch auf Expert/innen-Interviews und teilnehmenden ethnografischen Beobachtungen in verschiedenen Arbeitsgruppen und Laboratorien der anorganischen bzw. physikalischen Chemie. Darüber hinaus sind die vorliegenden Positionen in den Diskursen der Philosophie und Geschichte der Chemie und der Medizin verwurzelt. Die Beobachtung und Analyse der gegenwärtigen chemischen Felder und ihrer hybriden Grenzbereiche mit Konzepten der *Science and Technology Studies* wie *Boundary Work* und *Boundary Object* und der wissenschaftssoziologischen Theorie Ludwik Flecks erfolgt stets vor dem Hintergrund einer historisch-genealogischen Entstehung und Entwicklung wissenschaftlicher Objekte, Orte, Fakten und Theorien in sozio-technischen Kontexten. Die zahlreichen Beiträge der jüngeren Diskurse in Philosophie und Geschichte der Chemie wurden als Sekundärquellen zugrunde gelegt. Allerdings stellen sie aus heutiger Sicht selbst zeithistorische Dokumente dar, zumal Chemiehistoriker/innen und Philosoph/innen selbst erheblich in die Grenzarbeit der chemischen Felder involviert sind. Die fortlaufende Re-Konfiguration, kollektiven Grenzziehungen und Transformation der chemischen Felder, Gegenstände und Weltbilder wird dabei nicht als bloße Fortschrittsgeschichte erzählt, sondern als Kultur- und Sozialgeschichte chemischen Wissens mit weitreichenden Auswirkungen in die Gegenwart.

1.1 Die Felder der Chemie im Wandel

Chemistry has, historically, been in constant flux, both in its self-image and in relation to other disciplines that sought to co-opt or absorb it. It has its sects, its rivalries, and many dead-ends. But from antiquity to the present, there have been men and women [...] engaged in seeking to understand the way in which different substances are formed, how they react, and how they may be used. Chemistry is and has always been both science and craft or technique, depending on its material subject matter and in the tools and instruments developed for the manipulation and transformation of that matter (Levere, 2001a, S. ix).

Die Chemie als Wissenschaft von Aufbau, Eigenschaften und Transformation von Stoffen kann aus historischer und sozialwissenschaftlicher Perspektive als soziales Feld beschrieben werden, das selbst wiederholt Phasen tiefgreifender Transformationen durchlaufen hat (McEvoy, 2016). Nicht nur Lokalitäten, Technologien, theoretische Weltbilder und wirtschaftliche Produktionsverhältnisse der Chemie unterliefen dabei radikale Paradigmenwechsel, sondern auch die Grenzen der chemischen Disziplinen, Fachidentitäten und epistemischen Zuständigkeitsbereiche (Bensaude-Vincent und Stengers, 1996, S. 4). In der Chemiehistoriografie bestehen in diesem Zusammenhang verschiedene Kanonisierungen chemischer Revolutionen, Paradigmenwechsel und Durchbrüche (Chamizo, 2019), wie etwa der Übergang vom Handwerk in eine empirische Naturwissenschaft (Bensaude-Vincent, 1998), die Entstehung einer chemiebasierten Großindustrie (Reinhardt, 2000c) und die theoretische wie materielle Konstitution der molekularen Welt durch die chemische Praxis, Formelsprache und Symbolik (Meinel, 2004). Auch in den letzten zwanzig Jahren durchlief die Chemie einen erheblichen Transformationsprozess, der sich insbesondere durch eine Hybridisierung ihrer Feldgrenzen und dem Verblenden mit verschiedenen physikalischen wie lebenswissenschaftlichen Gegenstandsbereichen auszeichnet. Die Wahrnehmung dieser jüngsten Disruption der chemischen Felder – und vor allem deren Bewertung – fällt bei den Beobachter/innen des Feldes jeweils unterschiedlich aus. Zur Hinführung zum Gegenstand dieses Buches – der Analyse dieser neueren Re-Konfigurationen der chemischen Felder – sei allerdings zunächst die Kontinuität der Transformation als zentrales Narrativ der Chemiegeschichte vorausgeschickt:

Menschen bemühen sich seit frühesten Zeiten diverser Praktiken der Materialverarbeitung, die als proto-chemisch gelten können (Dresselhaus, 1992): Traditionelles Wissen über das Gerben oder Brauen; die Umwandlung von Rohstoffen wie Kautschuksaft in Kunstprodukte wie Gummi (Soentgen, 2018) oder die Herstellung von Glas (Cohen, 1998) impliziert die technische Zusammenführung von Materialien und Stoffen, sodass ein Produkt entsteht, das sich von beiden Aus-

gangsprodukten unterscheidet und mehr ist als die Summe seiner Ausgangsstoffe (Cobb und Goldwhite, 1995). Die Wissenssysteme, die Menschen an verschiedenen Orten zu verschiedenen Zeiten zur Stofftransformation generiert haben, wurden im Laufe der Zeit auch wirtschaftlich immer relevanter (Homburg, 2018). Alchemiker/innen produzierten über Jahrhunderte als im Nachhinein geringgeschätzte Vorläufer/innen der naturwissenschaftlichen Chemie begehrte Produkte wie Alkohole und Sprengstoffe, machten Tierkörper haltbar und scheiterten immer wieder an vermessenen Vorhaben wie der Erschaffung von Gold aus allerlei Unrat (Weyer, 2018a, S. 9f.).

Die Konstitutionsprozesse der Chemie als akademisch institutionalisierte Naturwissenschaft erfolgten neben der Etablierung einer Experimentalpraxis auch auf der Grundlage von theoretischem Wissen über die Materie (Bensaude-Vincent und Simon, 2012f, S. 78). Chemiker/innen gelang es im 18. und 19. Jahrhundert für die unsichtbare, mikroskopische Zusammensetzung der Materie eine Sprache zu finden und diese durch die Erschaffung von Modellen, Symbolen und Systematiken erfahrbar, empirisch überprüfbar und die Stoffumwandlung rational planbar zu machen (Nesper, 2001). Chemische Erkenntnis und Praxis sind seit jeher eng verwoben mit ihrem jeweiligen gesellschaftlichen Kontext, dennoch bleibt die Chemie in der Kulturgeschichte bis heute weitestgehend unsichtbar (Schummer, 2017a, S. 20). So spielte die Chemie eine erhebliche Rolle in der Industrialisierung und ermöglichte im 19. und 20. Jahrhundert mithilfe der organischen Synthese enorme Märkte in den Bereichen Farben, Lebensmittel, Treib- und Baustoffen zu erschließen (Homburg und Travis, 1998). Noch heute sind Schätzungen zufolge 96 Prozent der alltäglichen Gebrauchsgegenstände mit Erzeugnissen der chemischen Industrie zumindest in Berührung gekommen (Atkins, 2015, S. 11).

Die Transformationen der chemischen Felder hatte zudem stets Auswirkungen auf benachbarte Disziplinen, bzw. auf die Felder, aus denen sich die Chemie speist und ihre Anwendungsgegenstände bezieht. So erfolgten auch die Diagnose- und Behandlungsmethoden der Medizin im 19. Jahrhundert zunehmend durch die chemische Brille: das chemische Fertigarzneimittel setzte sich sukzessive gegen weniger wissenschaftlich-evidente kurative Praxen durch und etablierte sich fest im pharmazeutischen Kanon (Henkel, 2010). Gesellschaftliche Verhältnisse spiegeln sich damals wie heute entsprechend in der öffentlichen wie privaten Forschungsförderung der Chemie wieder, wenn etwa im Deutsch-Französischen Krieg die Chemie als jeweils nationale Identifikationsinstanz angeeignet wurde (Vaupel, 2007) oder im Nationalsozialismus die Chemie mit der Erfindung von Ersatzstoffen die staatliche Autarkie des Regimes realisieren sollte (Leslie, 2005). Dass sich die Chemie vom Handwerk zur Wissenschaft und später zur ersten *science based industry* entwickeln konnte, verdankte sie seit dem 18. Jahrhundert einer geschickten Wissenschaftskommunikation vonseiten prominenter Fürsprecher/innen (Lundgren und Bensaude-Vincent, 2000) sowie einer zuverlässigen

chemischen Analytik, die im ausgehenden 19. Jahrhundert Bereiche wie Kriministik, Metallurgie und medizinische Diagnostik von Grund auf veränderte (Weyer, 2018b, S. 354ff.).

Als in den 1920er Jahren die Quantenmechanik die Theorien der klassischen Mechanik abzulösen begann, erfuhr die Chemie einen weiteren dramatischen Wandel: Indem eine physikalische Theorie der Materie jeglichen chemischen Denkens, Forschens und Schaffens zugrunde gelegt wurde, verlor sie in der Folge ihr philosophisches Fundament (Scerri und McIntyre, 1997) und eine fachspezifische Geschichtsschreibung (Meinel, 2017). Indem sich die Annahme durchsetzte, sämtliche Naturphänomene seien auf die Gesetze der Physik rückführbar und die Physik somit die reinste Form der Erkenntnis, etablierte sich die Präidee einer Hierarchie der Wissenschaften. Dementsprechend dominierte die physikalische Perspektive die Wissenschaftsphilosophie und -Geschichte des 20. Jahrhunderts, die Chemie degenerierte in philosophischer Sicht zu einem angewandten Appendix der Physik ohne eigene erkenntnistheoretisch relevante Probleme und Fragestellungen (Janich, 2004, S. 52). Auf diesem Wege rückten Chemie und Geisteswissenschaften immer weiter auseinander – mit dramatischen Folgen: Das Abbrechen der chemiedidaktischen Diskurse ließ die Chemie zum unbeliebtesten Schulfach werden und die jahrzehntelange Abwesenheit der Chemie in Populärwissenschaft und Journalismus sorgte dafür, dass die Chemie in der Öffentlichkeit mehr oder weniger unsichtbar wurde, da sie ihre Perspektive kaum noch in gesellschaftliche Debatten einbrachte (Winter et al., 2017).

Ab den 1970er Jahren wuchs darüber hinaus das öffentliche Bewusstsein für Chemikalienbelastungen, nachdem die chemische Industrie über viele Jahrzehnte als Fortschrittsgarantin gewertet wurde und in einer völlig chemikalierten Gesellschaft der Alltag ohne chemische Erzeugnisse unvorstellbar geworden war (Romero et al., 2017). Die Chemie geriet aufgrund von toxischen Schadstoffbelastungen und gar Explosionen in chemischen Industrieanlagen wie in Soveso (1976) Bhopal (1984) oder Schweizerhalle (1986) zunehmend in die Kritik (Bösch, 2004). Die Chemie avancierte zum Synonym für Unnatürlichkeit, Umweltschädlichkeit und Toxizität schlechthin (Hampel, 2017). Die erhebliche soziale Ungleichheit bezüglich Risikoexposition und ökonomischem Nutzen von chemischen Erzeugnissen unter verschiedenen sozialen Gruppen schuf politische Räume des Aktivismus und kollektive Identitäten unter sozial benachteiligten und vulnerablen Kollektiven (Shapiro, 2015). Chemiker/innen hatten der weltweit wachsenden „Chemophobie“ entsprechend wenig entgegenzusetzen, waren sie in der Wissenschaftskommunikation ungeübt und sahen sich zudem als Instanz außerhalb der Gesellschaft, die vorgeblich als rationale Naturwissenschaft nicht durch Ideologien, Politik und Aktivismus verunreinigt werden darf (Schummer et al., 2007). In den 1990er Jahren befand sich die sog. Vertrauenskrise der Chemie entsprechend auf

dem Höhepunkt, die zudem noch mit einer – nicht weniger tiefgreifenden – Identitätskrise zusammenlief (Meinel, 2017).

In den 1990er Jahren durchliefen schließlich die internationalen Innovationsdispositive der Forschungspolitik einen disziplinenübergreifenden Wandel: Die Wissenschaften sollte sich verstärkt den dringlichen Probleme der Menschheit widmen, namentlich der Bekämpfung von komplexen Krankheitsbildern wie Krebs und Morbus Alzheimer, aber auch Klima- und Umweltproblemen angehen und eine zuverlässige Energie- und Rohstoffversorgung sicherstellen (Roco und Bainbridge, 2003). Darüber hinaus sollten technowissenschaftliche Innovationen wirtschaftliches Wachstum und nationale Wettbewerbsfähigkeit garantieren. Als Lösung wurden Großprojektforschung in Verbünden, Interdisziplinarität, eine unternehmerische Ausrichtung der Forschung sowie verstärkte translatorische Bestrebungen im Sinne einer Übersetzung von Grundlagenforschung und Anwendung gefördert (Kurath und Kaiser, 2010). Im Zuge dessen entstanden neue technoscientifische Felder im Bereich Nano-, Bio- und Informationstechnologie sowie Neurowissenschaften (NBIC), die sich mit großangelegten *mapping*-Projekten und ihrem Streben nach Innovationen im Grenzbereich der Natur- und Ingenieurwissenschaften ansiedelten (Bensaude-Vincent, 2016). Die Hybridisierung der Wissenschaften und die Auseinandersetzung mit den sozialen, theoretischen, ökonomischen und politischen Implikationen dieser Felder hat eine ganze Generation von Wissenschaftsforscher/innen in Innovations- und Hochschulforschung geprägt (Schaper-Rinkel, 2007). Eine Frage, die dabei allerdings eher am Rande verhandelt wurde, lautet: Was ist eigentlich aus den etablierten Großdisziplinen geworden im Zuge dieser Re-Konfiguration der wissenschaftlichen Felder?

Während im Zuge des NBIC-Paradigmas zahlreiche Akteur/innen der Chemie in Hochschulverwaltung, Forschung und Wissenschaftsmanagement sowie -politik den Forderungen nach Interdisziplinarität, Anwendungsorientierung und Großprojektforschung bereitwillig nachkamen und in die neu entstandenen Felder der Nanowissenschaften und Biotechnologie strömten, sahen Vertreter/innen des kurz zuvor wiederbelebten Feldes der Chemiephilosophie und -geschichte ein baldiges Ende der Chemie als eigenständige Wissenschaft gekommen (Morris, 2008). Während Fachwissenschaftler/innen in der Chemie wenig über die philosophischen und sozialen Implikationen ihrer Entscheidungen reflektierten und die entstandenen *bandwagon*-Effekte nutzten um Ressourcen zu akquirieren (Palermo, 2018), fürchteten die Beobachter/innen der Chemie insbesondere vor dem Hintergrund negativer öffentlicher Kritik und einer gewissen „Philosophieferne der Chemie“ (Mittelsträß, 1992, S. 10) eine nahende Auflösung in hybride Bindestrichdisziplinen wie *-sciences* und *-omics*:

Chemistry works at its boundaries that are attacked from various directions such as physics, environmentalist movements, agricultural interests, tradition-

nal medicine, and many others. Inside its boundaries, chemistry claims to have cognitive authority defined by the population of chemists. So, who are the chemists? (Palló, 2008, S. 322).

Die befürchtete Auflösung und sog. Identitätskrise der Chemie wurden insbesondere in der Chemiegeschichte der 1990er und 2000er¹ Jahre zu den Leitfragen des Diskurses erhoben (Meinel, 2017). So waren etwa die größeren Konferenzen den Fragen nach Identitäten, Territorien und Grenzen der Chemie gewidmet, die erstmals in einen historischen und gesellschaftlichen Kontext gesetzt wurden (Bertomeu-Sánchez et al., 2008b). Die Wiederentdeckung der Chemie als Gegenstand der Wissenschaftsgeschichte (nachdem zwischen 1920 und 1985 kaum ein Werk zur Chemiegeschichte veröffentlicht worden war) stand dabei im Zentrum einer epistemischen Emanzipationsbewegung und Identitätssuche, die explizit um die Restitution der Chemie als autonome Wissenschaft bemüht war (Thomas, 2012). 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 den Auswirkungen der chemischen Industrie (Gribble, 2013). Die Chemie in der Geschichte sichtbar zu machen, einen genuinen Kern der Chemie herauszuarbeiten und gegenüber der Physik- und Biologiegeschichte gesondert hervorzuheben, standen im Zentrum dieser Bestrebungen (Meinel, 2017).

Daran, eine Autonomie der Chemie zu postulieren, zeigte sich auch die zeitgleich mit der Chemiegeschichte entstandenen Philosophie der Chemie interessiert (Janich, 1998). Lange spielten chemische Perspektiven in der Wissenschaftsphilosophie keine Rolle, waren diese seit dem Bedeutungszuwachs der Quantenmechanik fast ausschließlich durch physikalische (und später auch biowissenschaftliche) Perspektiven dominiert (Schummer, 2004b). Die Beispiele zu Erkenntnisgewinn, Experimentalsettings, Epistemologie, Ästhetik, Logik und Ontologie der Materie stammten in der Wissenschaftsphilosophie mehrheitlich aus der Physik. Die Chemie wurde entsprechend der hierarchisierenden Idee der Einheitswissenschaft des Wiener Kreises eher implizit der Welt der Physik untergeordnet (Janich, 1998, S. 3). Erst zögerlich² entstand seit den späten 1980er Jahren eine kleines wissenschaftsphilosophisches Feld, das sich bis heute primär mit den Fragen der Reduzierbarkeit der Chemie auf die Physik beschäftigt, zumal die Chemie einige interessante Fallbeispiele liefert, die den bestehenden Diskurs um

1 (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).

2 Noch in den 1980er Jahren wurde eine Magisterarbeit in Auftrag gegeben, die der Beweisführung gewidmet war, dass die Chemie über keine eigenen wissenschaftsphilosophisch relevanten Fragestellungen verfügt (Janich, 2015).

Emergenz, Reduktion und Physikalismus um eine neuartige Perspektive erweitern (Hendry, 2012). Auch dieses Feld entwickelte sich maßgeblich als Reaktion auf die befürchtete Auflösung der Chemie, die auf einen mangelnden Kontakt mit den Geisteswissenschaften zurückgeführt wurde (Winter et al., 2017) und spielte in der Grenzarbeit der chemischen Felder eine tragende Rolle.

1.2 Die molekulare Welt als soziale Arena

Dieses Buch knüpft zwar an diese Diskurse der Chemiegeschichte und -philosophie an, allerdings wird nicht versucht, eine Antwort auf die Frage zu finden, ob und inwiefern sich die Feldgrenzen, Territorien und Identitäten der Chemie tatsächlich auflösen oder erhalten bleiben. Es handelt sich weder um einen Versuch, die positive Bedeutung der Chemie für die Menschheitsgeschichte herauszustellen, noch um eine Erzählung von der Chemie als sterbenden Riesen. Vielmehr wird analysiert, wie die Grenzen der Chemie in heterogenen Netzwerken verschiedener menschlicher und nicht-menschlicher Akteur*innen in diskursiven, soziotechnischen Settings in Auseinandersetzung mit der materiellen Welt hervorgebracht, ausgehandelt, aufrechterhalten und verschoben werden (Clarke und Leigh Star, 2008, S. 118). Meinem Befund nach steht im Zentrum dieser Aushandlungsprozesse die molekulare Welt als soziale Arena der Aushandlung von Feldgrenzen und Ressourcen (Charmaz, 2006, S. 64f.). In diesem Kontext wird bewusst die Formulierung der Felder der Chemie gewählt, der sich von einem essentialistischen und monolithischen Verständnis der wissenschaftlichen Disziplin abgrenzt. Die Chemie wird dabei als plurales, heterogenes, soziotechnisches Gebilde verstanden, das über eine Historizität verfügt, d.h. in ihren Wechselwirkung mit gesellschaftlichen, ökonomischen und politischen Prozessen einem steten Wandel unterworfen ist (Bourdieu, 1998).

Die Betrachtungs- und Beschreibungsebenen des Molekularen galten lange als Monopol der chemischen (Sub-)Disziplinen, zumal die Chemie die erste Wissenschaft war, die sich einer Molekularisierung unterzogen hatte. Dies bedeutet, dass makroskopische Stoffe auf der Grundlage molekularer Modelle auf einer mikroskopischen Ebene zugänglich gemacht wurden (vgl. Kapitel 2). Moleküle und die Betrachtung der Stoffe als molekulare Modelleinheiten waren demnach ein essentieller Bestandteil der chemischen Theorie, ihrer Selbstdarstellung, Ikonografie und Weltbilder (Nesper, 2001). Als die Chemie die molekularen Weltbilder, Methoden und Wissensbestände zunehmend in die außer-chemischen Felder transportierte, wurden diese in den jeweiligen Feldern allerdings nicht passiv übernommen, sondern erfuhrten in diesen außer-chemischen Umgebungen ihrerseits Transformationen und Bedeutungsverschiebungen. Insbesondere im Zuge der Molekularisierung der Biologie und der Medizin in der zweiten Hälfte

des 20. Jahrhunderts bildeten die aufstrebenden Disziplinen der Biochemie nicht bloße Anwendungsbereiche der Chemie. Vielmehr entstand in der Auseinandersetzung mit den molekularen Grundbestandteilen und Gesetzen des Lebens eine biowissenschaftliche molekulare Betrachtung, die sich epistemisch wie methodisch immer weiter von dem organisch-chemischen Zugriff auf die molekulare Welt entfernte (Bensaude-Vincent, 2009).

Im Laufe der Zeit hat sich eine gewisse Pluralität molekularer Welten herausgebildet, wobei das erwähnte NBIC-Paradigma diesen Prozess erheblich beschleunigte und zusätzlich diversifizierte. Physikalische, informationswissenschaftliche und biotechnologische Akteur*innen haben sich im Zuge dessen die molekulare Welt angeeignet, die zunehmend entlang verschiedener Komplexitätsgrade in makro- und supramolekulare oder nanostrukturelle Betrachtungsebenen klassifiziert wird. Statt einer einheitlichen, mikroskopischen Perspektive auf die Materie und ihren strukturellen Aufbau, bestehen mittlerweile verschiedene molekulare Zugriffe parallel zueinander. Diese komplexen Wissenssysteme können nicht im Sinne von Seinsschichten ein und derselben molekularen Realität reduziert werden. Die molekularen Welten präsentieren sich als komplexes Netzwerk von Akteursbeziehungen, in denen sie fortlaufend hervorgebracht, aufrechterhalten und verändert werden. Wie in den folgenden Kapiteln aufzeigt wird, sind die unterschiedlichen Zugriffe auf die molekulare Welt nicht nur in vielen Bereichen inkommensurabel (wie etwa die Auseinandersetzungen mit dem Translationsparadigma in Kapitel 5.3 zeigt). Sie präsentieren sich vielmehr als soziale Arenen, in denen wissenschaftliche Kollektive Ressourcen und Deutungsmacht aushandeln, in dem Konzepte des Molekularen entweder angeeignet, unsichtbar gemacht oder umgedeutet werden, so etwa die Chiralität, wie in der Folge argumentiert wird.

Die Analysen vierer exemplarischer Grenzbereiche der chemischen Wissenschaften bilden dabei die empirische Grundlage bezüglich der Aushandlungsprozesse divergierender molekularer Auffassungen: Materialwissenschaften, pharmazeutische Industrie, Biomedizin und Quantenchemie. An diesen Schnittstellen chemischer mit außer-chemischen Feldern wurde auf qualitativ-empirischen Wege untersucht, wie die Konzeptionen des Molekularen und Chemischen sich verschieben und welche Folgen die Hybridisierung dieser Felder für die chemische Fachidentität mit sich führte. Exemplarisch werden hierbei die Narrative zur molekularen Eigenschaft der Chiralität untersucht, ein paradigmatischer Fall, anhand dessen sich die epistemische Diffusion der Chemie besonders deutlich zeigt:

In den Materialwissenschaften, insbesondere in neueren Bereichen wie Oberflächen- und Nano-Forschung, besteht seit den 1960er Jahren mit dem Aufkommen der Halbleiterforschung und insbesondere seit der Implementierung des NBIC-Paradigmas in den 1990er Jahren eine verstärkte Arbeitsteilung mit Physik und Ingenieurwissenschaften. Während die Chemie sich in ihrer Entstehungsgeschichte als Wissenschaft von den Materialien *per se* etablierte, drängen

seit Mitte des 20. Jahrhundert vermehrt physikalisch-experimentelle Zugriffe in diese Felder und machen eine spezifisch physikalische Expertise geltend, die von Chemiker/innen zunehmend als Konkurrenz wahrgenommen wird (Bensaude-Vincent, 2001). Wie in Kapitel 3 gezeigt wird, werden physikalische Termini und Weltbilder auf die Verarbeitungs- und Optimierungsweisen von Materialien zunehmend dominant und ersetzen die etablierten chemischen Konzeptionen, Methoden und Theorien der materiellen Welt. In diesem Sinne werden chemische Konzepte und Semantiken der Materie tendenziell umbenannt oder in ihren Bedeutungsbezügen ausgeweitet. Das Fallbeispiel der molekularen Chiralität weist in diesem Bereich eine besonders hohe Plastizität auf, denn Physiker/innen neigen dazu, diese Eigenschaft verschiedenen Phänomenen zuzuschreiben, die im strengen Sinne (d.h. analog zu den Definitionen der Chemie) eigentlich nicht chiral sind.

Nicht unbedingt eine Bedeutungsverschiebung, sondern eher ein Verschwinden des etablierten, organisch-chemischen Wortschatzes zeigt sich in den gegenwärtigen Kontexten der Arzneimittelentwicklung. Im ausgehenden 19. Jahrhundert fand die organische Synthesechemie in der industrialisierten Produktion von Fertigpharmazeutika einen ergiebigen Anwendungsbereich, in dem chemisches Wissen zum Leitparadigma empirisch gesicherten Heilwissens etablierte (Boyer, 2011). Die Tablette als Trägerin einer einzigen niedermolekularen Verbindung, einem sog. kleinen Molekül, dominierte das Verständnis des medizinischen Pharmakons des 20. Jahrhundert (Henkel, 2010). Wie Kapitel 4 aufzeigt, scheint allerdings mittlerweile in der Arzneimittelentwicklung das kleine Molekül der organischen Synthesechemie als *magic bullet drug* zunehmend ausgedient zu haben. Aufgrund eines attestierten Innovationsmangels schreitet der epistemische Wandel zum großen Biomolekül (insbesondere in Form von Antikörpern) voran. *Life scientists* ersetzen zuzunehmend Chemiker/innen in pharmazeutischen Entwicklungsprozessen. Etablierte chemische Termini wie die Chiralität verschwinden zunehmend aus dem allgemein geteilten Wortschatz der pharmazeutischen Produktentwicklung, da sie als veraltet gelten und nicht anschlussfähig sind für Lebenswissenschaftler/innen.

Die fortschreitende Aneignung der molekularen Welt durch die Lebenswissenschaften zeigt sich über die Pharmakotherapie hinaus zudem in den Feldern der biomedizinischen Forschung und Praxis, wozu insbesondere neuere, auf biotechnologische Innovationen ausgerichtete Paradigmata wie die translationale Medizin beitragen. Kapitel 5 kommuniziert in diesem Zusammenhang zentrale Befunde zu den Grenzziehungsdynamiken zwischen Medizin und Naturwissenschaften: So wird zunächst rekonstruiert, wie sich in der Geschichte zwischen Chemie und Medizin ein Verhältnis der Arbeitsteilung etablieren konnte, das die Interaktionen zwischen diesen Felder bin heute prägt. So gelang es der (organischen) Chemie im 19. Jahrhundert, sich institutionell von ihrem Status

als Hilfswissenschaft von der Medizin zu emanzipieren, dennoch bezog sie (neben Arzneimitteln) insbesondere im analytischen Bereich eine bedeutenden Anteil ihrer Anwendungsmöglichkeiten aus der Medizin. So wurde die Chemie zur primären Instanz, die Mediziner/innen im Rahmen des Studiums in die molekulare Welt einführt. Die Präidee der Arbeitsteilung, die das Verhältnis der beiden Disziplinen beeinflusst, ist allerdings seit der Molekularisierung der Lebenswissenschaften in Bewegung geraten. So prägen zunehmend biowissenschaftliche und -technologische Zugriffe auf die molekulare Welt die Vorstellungen von Mediziner/innen, während chemische als veraltet und im Zweifelsfall gar als gefährlich gelten: Das Beispiel des Arzneimittels Contergan steht wie kein anderes für das Versagen der Arbeitsteilung zwischen Chemie und Medizin.

Im Grenzbereich von theoretischer Chemie und Physik, in dem die beiden Felder als besonders amalgamiert erscheinen und die Gesetze der Quantenmechanik fast alle chemischen Prozesse und Phänomene mit den Theorien und Gesetzen der Physik erklärt werden, lassen sich besonders interessante Rückschlüsse auf die Grenzarbeit zwischen den beiden Bereichen ziehen. In Anbetracht der Diskurse der Chemiephilosophie, die in den späten 1980er Jahren als kritische Reaktion auf die Präidee des Reduktionismus auf die Physik begründet wurden (Scerri und McIntyre, 1997), ließe sich annehmen, dass Chemiker/innen in den Bereichen der Quantenchemie und theoretischen Chemie ein eher konfliktreiches Verhältnis zur Physik und besonders heftige Abgrenzungsbemühungen pflegen würden. Es zeigt sich in Kapitel 6 allerdings, dass die Präidee einer Reduzierbarkeit der Chemie auf die Physik von theoretischen Chemiker/innen im Feld eher positiv aufgefasst und auch aktiv hergestellt wird, da die Chemie durch die Nähe zur Physik ein starkes wissenschaftliches Fundament erhält. Darüber hinaus sind einige Vertreter/innen dieser Fachbereiche selbst aktiv darum bemüht, molekulare Phänomene wie die Chiralität mit quantenphysikalischen Gesetzmäßigkeiten zu erklären. Die wissenschaftsphilosophischen Debatten darüber, ob es sich bei der molekularen Chiralität auf eine auf die Physik reduzierbare oder irreduzible Eigenschaft handelt, dienen darüber hinaus als interessantes Fallbeispiel, das die Rolle der Geisteswissenschaften in der Grenzarbeit naturwissenschaftlicher Disziplinen sichtbar macht.

1.3 Molekulare Chiralität im Spiegel disziplinärer *Boundary Work*

Als zentrales Fallbeispiel, anhand dessen sich die Transformationsprozesse der chemischen Felder in ihrer Geschichte wie Gegenwart nachvollziehen lassen, soll nun die molekulare Eigenschaft der Chiralität ins Feld geführt werden. Die Chiralität dient im übertragenen Sinne als Probierstein, anhand dessen sich aus den Semantiken der Felder analytisch zugrundeliegenden Inkommensurabilitä-

ten³ und divergierende Weltbilder des Molekularen sichtbar machen lassen. Die eher unscheinbare und alltäglich anmutende Eigenschaft der molekularen Spiegelasymmetrie zeugt davon, dass mit den jüngeren Hybridisierungen der Lebens- und Materialwissenschaften multiple molekulare Welten entstanden sind, die sich nicht ohne weiteres sinnhaft in Deckung bringen lassen. Wie die Anwendung des Probiersteins der Chiralität zeigt, lassen sich Beobachtungen und Phänomene der zahlreichen supra- und makromolekularen Welten, die nanoskopische Betrachtung von Oberflächen oder die mathematisch-abstrahierten, quantenmechanischen Zugriffe auf die submolekulare Welt nicht so nahtlos zusammenführen, wie es das gegenwärtige Interdisziplinaritätsdispositiv der Wissenschaftspolitik annimmt und einfordert. Vielmehr zeigt sich, dass selbst basale Konzeptionen und Unterscheidungen wie diejenige zwischen Rechts und Links je nach disziplinärem oder kollektivspezifischem Kontext völlig unterschiedliche Prämissen transportieren können.

Beim Begriff der Chiralität handelt es sich um ein vom altgriechischen Äquivalent *cheír* (Hand) abgeleitete Kunstwort für Händigkeit. Chirale Objekte zeichnen sich der allgemeinen Definition nach dadurch aus, dass sie eine Spiegelbild-Asymmetrie aufweisen, sodass sie sich wie Bild und Spiegelbild verhalten, die durch Drehung nicht miteinander in Deckung gebracht werden können (Heilbronner und Dunitz, 1993). Der Begriff beschreibt all jene Dinge, die zwar jeweils in einer linken und einer rechten Version vorliegen können, die sich sonst jedoch in allen weiteren Eigenschaften gleichen. Es bezeichnet somit all jene Gegenstände, die sich nicht vollständig beschreiben lassen, ohne auf deren Eigenschaft einer inhärenten Rechts-Links-Asymmetrie zu verweisen (Brunner, 1999, S. 2). Dazu gehören etwa alle mikroskopischen, makroskopischen und hypothetischen Objekte mit einem dreidimensionalen Drehsinn (Schrauben, Schlingpflanzen, Schneckenhäuser oder die DNA-Doppelhelix) aber auch die Hände als prominentestes Beispiel dieser Form der Symmetriebrechung (ebd.). Die Konzeption der Chiralität wurde im 19. Jahrhundert an der Schnittstelle zwischen organischer Chemie und

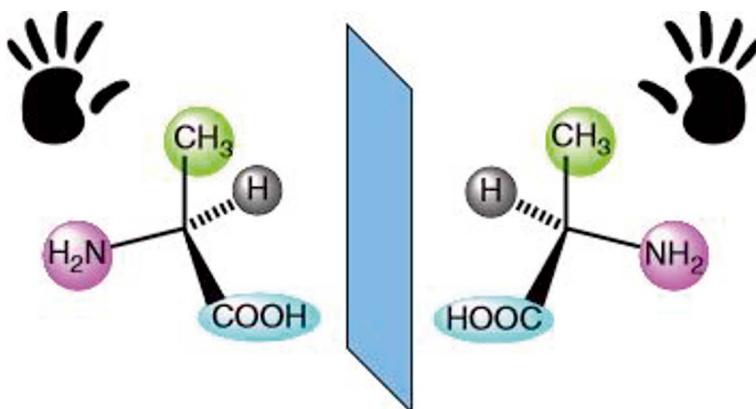
3 Der Begriff der Inkommensurabilität lässt sich am ehesten mit Verständigungsschwierigkeiten aufgrund fehlender geteilter Prämissen umschreiben (Kuhn, 2014, S. 116). Ludwik Fleck geht davon aus, dass die wissenschaftliche Wissensproduktion ein kollektives Unterfangen ist und Wissen in konkreten, lokalen Gruppen in Abgrenzung zu anderen erzeugt und ausgetauscht wird. Häufig zeigt sich, dass selbst wenn zwei Forschungsteams genau dasselbe Thema mit den gleichen Methoden zu bearbeiten scheinen, ihrem Denken und Handeln dennoch unterschiedliche Prämissen, Weltbilder und normative Vorstellungen von Wissenschaftlichkeit – sog. Präideen – zugrunde liegen können (Fleck, 2014b, S. 187). Als kommensurabel gelten diejenigen Denkstile, wenn sie bezüglich der gemeinsam geteilten Prämissen und Weltbilder übereinstimmen, als inkommensurabel werden sie bezeichnet, wenn sie nicht miteinander in Deckung zu bringen sind und insbesondere im interkollektiven Denkverkehr ein gegenseitiges Verstehen verhindern (Peine, 2011).

Kristallografie als Befund molekularer Symmetriebrechung in organischen Verbindungen angelegt (Gal, 2017), denn wie Abb. 1.1 zeigt, können sich auch Moleküle bezüglich ihrer Struktur wie Bild und Spiegelbild verhalten. Ein und dieselbe Verbindung in diesem Fall das Alanin kann dabei in rechts- bzw. linkshändiger Form vorkommen.⁴

Wie die Rekonstruktion der Historiografie der Chiralität in Kapitel 2 zeigt, blieb das Konzept der Chiralität nicht auf die organische Strukturchemie beschränkt, sondern wanderte im 20. Jahrhundert durch verschiedene naturwissenschaftliche Disziplinen hindurch und diente auch der Wissenschaftsphilosophie als Gegenstand erkenntnistheoretischer Betrachtungen (vgl. 6.2). Wie darüber hinaus die vertiefenden Analysen in den Kapiteln drei bis sechs aufzeigen, war die molekulare Spiegelsymmetrie stets in die kollektiven Erschließungsprozesse molekularer und anderer mikroskopischer Betrachtungszusammenhänge der Materie involviert und prägte die entsprechenden Weltbilder entscheidend mit. Die Auseinandersetzungen mit der Chiralität spiegeln zudem die innovationspolitische Dispositive vor dem Hintergrund des jeweiligen soziohistorischen Hintergrundes wieder: Am Fallbeispiel der Chiralität lässt sich ebenso der Aufstieg der organischen Synthesechemie als Leitdisziplin des Industriekapitalismus nachvollziehen wie die Unterschiedspraxen zwischen Grundlagenforschung und Anwendung (sowie deren wechselnde Priorisierungen) im Laufe des 20. Jahrhunderts bis hin zu jüngeren Forderungen nach Transdisziplinarität, unternehmerischer Forschungspraxis und gesellschaftlicher Relevanz von Forschung im Rahmen der „commercialized postmodern university“. Für die Rekonstruktion der Transformationen und Hybridisierungsdynamiken der chemischen und außer-chemischen Felder dient die molekulare Chiralität als Proberstein, anhand dessen sich die divergierenden Zugriffe auf die molekulare Welt herausarbeiten und vergleichen lassen.

Auch wenn die Chiralität vor allem Chemiker/innen zu Nobelpreisen verholfen hat und heutzutage primär durch chemische Lehrbücher vermittelt wird, ist sie doch im Laufe der Zeit durch verschiedene Disziplinen hindurchgewandert und hat dort ihre Spuren hinterlassen. So hat die Chiralität auch in Physik, Pharmazie, Medizin und Lebenswissenschaften wissenschaftliche Fragen aufgeworfen,

4 Die beiden händigen Versionen des chiralen Moleküls werden dabei als Enantiomere bezeichnet und in zwei verschiedenen Nomenklaturen beschrieben: Wobei sich R (*rectus* für rechts) und S (*sinister* für links) aus der Cahn-Ingold-Prelog Konvention (Cahn et al., 1956) ergeben und L (*levo*) bzw. D (*dextro*) aus der Fischer-Projektion zur Bestimmung der Polarisationsrichtung von Licht. Die S/R-Nomenklatur ist gegenwärtig neben der (-) und (+)-Version deutlich gebräuchlicher, L/D wird in der Breite nur noch überwiegend in Bezug auf Zuckermoleküle und Aminosäuren verwendet, insbesondere in den *Life Sciences*. Die aufgereinigten S- bzw. R-Isomere werden jeweils als Enantiomere bezeichnet, das äquimolare Mischverhältnis von 50/50 als Racemat.



Schematische Darstellung und Demonstration der molekularen Händigkeit anhand der spiegelbildlichen Isomere des Alanins. Übernommen aus (Blackmond, 2010, S. 2).

methodische und experimentelle Herausforderungen gestellt und zu gewichtigen Entdeckungen geführt. An dieser Stelle sei als populäres Beispiel für die Problematik der Chiralität in der Arzneimittelentwicklung das Thalidomid angeführt, der Ausgangsstoff für das Arzneimittel *Contergan*, das in den 1960er Jahren in 46 Ländern für Fehlbildungen an Gliedmaßen und inneren Organen bei über 10.000 Neugeborenen verantwortlich war und einen der größten Pharmaskandale des letzten Jahrhunderts auslöste (Kirk, 1999; Bützer, 2009). Das bioaktive Wirkungsspektrum des Schlafmittels steht in starken Zusammenhang mit der Stereoselektivität, sodass lange Zeit davon ausgegangen wurde, dass reine S-Enantiomer sei verantwortlich für die fruchtschädigende Wirkung des Thalidomids, während die R-Form lediglich die erwünschten Müdigkeitserscheinungen mit sich führe. Auch wenn diese Ergebnisse heutzutage nicht mehr haltbar sind (Meierhofer et al., 2001), nahm die stereoselektive Wirkung von Arzneimitteln in Anschluss an die *Contergan*-Katastrophe Einzug in das Arzneimittelrecht und jeder Stoff ist vor der Zulassung auf sein enantioselektives Wirkungsspektrum zu untersuchen (Agranat und Caner, 1999; Zeid, 2011).

Die darauffolgenden Bestrebungen, einzelne Enantiomere aufzuspalten sowie racemische Verbindungen auf ihre Wirkungsmechanismen zu untersuchen, hatten in der analytischen und synthetischen Stereochemie der 1980er und 1990er Jahre in der Folge einen erheblichen Forschungsboom ausgelöst (Francotte, 2006; Francotte und Lindner, 2006). Dieser Trend ist mittlerweile wieder abgeebbt, die entsprechenden Verfahren gehören zur Laborroutine, die von Europa aus gerne *outgesourced* wird und die drängenden chiralitätsbezogenen Forschungsfragen haben sich in die theoretische Chemie, Katalyseforschung und Agrochemie ver-

schoben. Der Begriff der Chiralität wird dabei auf ambivalente Weise behandelt. Während in den *Life Sciences* der Begriff in Publikationen tendenziell eher vermieden wird, da ihm zu sehr der Hauch des Althergebrachten und des Chemischen anhaftet, werden etwa in den Materialwissenschaften neue Begriffe wie die Helizität eingeführt, um eine ähnlich motivierte Distinktion vorzunehmen. Und manche/r Chemiker/in verteidigt im Interview *seine* Chiralität gegen unbefugte Außenstehende:

Chemieingenieur Prof. Borodin⁵ Jetzt in den Materialwissenschaften bei den Physikern, bei Magnet(.)leuten oder so die benutzen das auch (.). Aber es gibt eine strikte Definition, wenn man so will. von den Chemikern sag ich jetzt mal und die anderen Leute, die das benutzen, die scheren sich einen Dreck drum. Und benützen das einfach für allerlei Sachen (1) die SCHEINBAR spiegelsymmetrisch sind oder die Spiegelsymmetrie brechen.

Wie deutlich wird, liegt bei der molekularen Eigenschaft der Chiralität eine gewisse interpretative Flexibilität vor. Demnach bestehen verschiedene fachspezifische Zugänge, Konzepte und Praktiken nebeneinander, die nicht nur in einem harmonischen Verhältnis zueinander stehen. Im Sinne eines *Boundary Objects* (Leigh Star, 2010; Leigh Star und Griesemer, 1989; Leigh Star, 2004) ermöglicht die Chiralität aber in einem gewissen Maße die interdisziplinäre Kooperation ohne dass zwingend ein Konsens über geteilte Ziele oder Konzepte vorliegen muss. Als *Boundary Object* verfügt die Chiralität derweil einerseits über ausreichend Plastizität (sodass eine Mehrzahl verschiedener Konzeptionen und Interpretationen koexistieren und kooperieren können) und andererseits über genügend Geschlossenheit, sodass ein gemeinsamer Kern des Begriffs bestehen bleibt. Am Fallbeispiel der Chiralität zeigt sich darüber hinaus auf paradigmatische Art und Weise, wie wissenschaftliche Akteur/innen in kollektiver Auseinandersetzung und Abgrenzung von einander *das Chemische* hervorbringen. Auf diesem Wege werden die Identitätskonstruktionen der chemischen (und außer-chemischen) Felder empirisch *in the making* nachvollziehbar, was einen Zugewinn zu dem bestehenden historiografischen Rekonstruktionen und philosophischen Beiträgen darstellt. Insbesondere die Grenzarbeit der Chemie, die *Boundary work*, die sich um das *Boundary Object* der Chiralität spinnt, stellt ein konzeptuelles Werkzeug aus den *Science and Technology Studies* dar, das sich insbesondere für die Analyse heterogener Felder mit umkämpften Feldgrenzen eignet. In diesem Sinne fokussiert dieser Beitrag programmatisch auf die sozial hervorgebrachten Feldgrenzen der Chemie und

5 Die Namen der Interview-Partner/innen sind vollständig anonymisiert. Die Pseudonyme wurden derer von Komponist/innen entlehnt (siehe Übersicht in Abschnitt 1.4).

wie die Wissensarbeit bei den entsprechenden heterogenen Zugängen organisiert ist. Anknüpfend an den zahlreichen historischen Arbeiten zu den komplexen historischen Umständen ihrer Konstitutionsprozesse (Powers, 2012), werden die Re-Konfigurationen, Aufrechterhaltung und Verschiebungen von Feldgrenzen untersucht.

Thomas Gieryns Konzept der *Boundary Work* bzw. der Grenzarbeit (Gieryn, 1983) basiert auf der Beobachtung von Grenzziehung zwischen wissenschaftlicher und nicht-wissenschaftlicher intellektueller Tätigkeiten und sagt aus, dass es bei diesen kollektiven Bestrebungen um semantische Strategien handelt, die in der Werbung um Ressourcen bei der außerwissenschaftlichen Öffentlichkeit zum Einsatz kommen. Ähnlich Pierre Bourdieus Konzept der *illusio des Feldes* (Bourdieu, 1998, S. 16) gebärdet sich die Wissenschaft als objektiv, indem seine Akteur/innen auf eine rationalistische Epistemologie und die universelle, überhistorisch gültige, von gesellschaftlichen Einflüssen scheinbar nicht kontaminierte Gültigkeit ihrer Wissensproduktion verweisen (ebd.). Diese rhetorischen Strategien dienen nicht nur der Sicherung von Ressourcen, sondern verfolgen auch kollektive Ziele, so etwa die Expansion oder der Ausbau einer Monopolstellung über bestimmte Wissensgebiete, Gegenstände, Ressourcen, Professionen und über diese möglichst autonom zu walten und gegen nicht-wissenschaftliche Einflussnahme zu verteidigen (Gieryn, 1983, S. 791f.).

Gieryns Konzeption lässt sich dabei analytisch auf wissenschaftliche Disziplinen oder auch theoretische Paradigmata erweitern (ebd., S. 792), was insbesondere in Bezug auf die Untersuchungen zur Chemie interessant ist. So lässt sich auch in den kollektiv-praktischen Unterscheidungen zwischen dem Chemischen und Nicht-Chemischen ein ideologischer Stil herausarbeiten, der auf die Erschaffung und Aufrechterhaltung eines bestimmten öffentlichen Bildes orientiert ist und auf die Spannungen reagiert, denen sich die Felder der Chemie ausgesetzt sehen. So ist etwa in der chemischen Grundlagenforschung ein erhöhter Recht fertigungsbedarf zu beobachten, denn die gesellschaftliche und ökonomische Nützlichkeit (Klein, 2016), welche der Chemie im Industriekapitalismus des 19. und 20. Jahrhunderts ihren sagenhaften Aufschwung ermöglichte, gerät zunehmend unter Druck und hohe Forschungsinvestitionen werden rechtfertigungsbedürftiger (Romero et al., 2017, S. 165). Hinzu kommen gesetzliche Richtlinien bezüglich Umwelt- und Gesundheitsschutz, denen sich nach der pharmazeutischen nun vermehrt auch die chemische Industrie beugen muss.⁶

6 In diesem Kontext sind auch die neueren chemischen Felder der *Green* bzw. *Sustainable Chemistry* zu nennen. Bei der Entwicklung nachhaltiger Verfahren bei Gewässermanagement, Agrikultur (insbesondere Bodenfertilisation) und Energieproduktion können Chemiker/innen auf ihre bestehenden Kompetenzbereiche zurückgreifen und über die Adaption umwelt politischer Dispositive an bislang eher schwer erreichbare Ressourcen gelangen (Logar, 2011).

Mit der globalen Gefährdung durch chemische Kampfstoffe, toxische Pestizide oder Umweltverschmutzung durch Produkte der chemischen Industrie gerät die Chemie zunehmend unter Druck durch Gesetzgebung und öffentliche Kritik (Schummer, 2017c). Des Weiteren lässt sich beobachten, dass an den hybriden Grenzfeldern der Chemie (Materialwissenschaften, Nanowissenschaften, Quantentheorie und pharmazeutische Produktentwicklung) zunehmend außерchemische Deutungsmuster und Konzepte die Wissensproduktion überhandnehmen und klassisch chemische Gegenstände absorbieren. Die Chiralität stellt in diesem Zusammenhang einen paradigmatischen Fall dar, anhand dessen sich Re-Konfigurationen der chemischen Felder, Identitäten und Feldgrenzen nachvollziehen lassen. Damit steht dieser partikuläre, unscheinbare Fall für Fragen, die die strukturellen Veränderungen der klassischen Großdisziplin im allgemeinen berühren, sprich: die Hybridisierung der etablierten Organisationsform des Wissens, die sich zunehmend in problembezogenere, postdisziplinären Felder wie der *-omics*, *-sciences* oder *-studies* verschiebt.

Die Chemie und ihre heterogenen und hybridisierten wissenschaftlichen Felder liefern für die Wissenschaftsforschung zahlreiche neue Perspektiven. Insbesondere für die Studien zur Molekularisierung und zur Konstitution der Ebene des Molekularen liefert ein Fokus auf die Felder der Chemie erhebliche Zugevinne, da die Chemie als erste wissenschaftliche Disziplin gelten kann, bei der sich der *shift* vom makroskopischen Stoff zur molekularen Beschreibungsebene erstmals vollzogen hatte. Dennoch wurden in Bezug auf die Molekularisierung innerhalb der Wissenschaftsforschung primär die Lebenswissenschaften in den Blick genommen und dabei kaum ins Verhältnis zur Molekularisierung der Chemie gesetzt. Mithilfe des Vergleichs verschiedener Konzeptionen des Molekularen, wie sie in den verschiedenen Fachkulturen sichtbar werden, wird nachgewiesen, dass es sich bei Welt des Molekularen nicht etwa um eine statische, universelle Einheit handelt, sondern stetige Übersetzungsleistungen zwischen Feldern und Akteur/innen erfordert.

In diesem Zusammenhang wird somit der Annahme widersprochen, das Molekulare trete entsprechend der positivistischen Naturvorstellung als Einheit auf, als universell gleichbleibende Entität, unabhängig von einer Beobachterin/ einem Beobachter. Es wird davon ausgegangen, dass das Molekulare selbst von verschiedenen Akteur/innen, menschlichen wie nicht-menschlichen, wissenschaftlichen wie außerwissenschaftlichen netzwerkförmigen Beziehungsgeflechten hervorgebracht, ausgehandelt und aufrecht erhalten wird. Es besteht kein singulärer universeller Zugang zur Welt des Molekularen, das Wissen kann als situiert gelten, die Wirklichkeit präsentiert sich in einer Partialität (Haraway, 1988), einer Multiperspektivität und Multiplizität, die mit Machtverhältnissen, Ressourcenkonflikten und Mikropolitiken verbunden sind, die sich in den performativen Handlungsakten an den Orten der Wissensproduktion sowie den Narrativen und

Tropen von Akteur/innen widerspiegeln (Law, 2017). Es entspricht der Dynamik des Netzwerkes, die internen Machtverhältnisse zu depolitisieren sowie unsichtbar und durchsichtig werden zu lassen (Jasanoff und Kim, 2015, S. 17). Die Felder der Chemie bieten sich in diesem Sinne als paradigmatischer Fall für die Erforschung dieser Prozesse an, da sie in diesen Übersetzungsnetzwerken im Zentrum stehen und als Knotenpunkte gelten.

Ziel des vorliegenden Buches besteht darin, die Felder der Chemie für die Wissenschaftsforschung systematisch zu erschließen und als Betrachtungsgegenstand aus der Marginalität stärker ins Zentrum der allgemeinen Wissenschaftsforschung zu heben. Dieses Werk knüpft dabei an die bestehenden Erkenntnisse und Fragestellungen aus Philosophie und Historiografie der Chemie an, die seit den 1980er Jahren dieses noch relativ kleine Feld der chemiefokussierten Wissenschaftsforschung prägen. Insbesondere empirische sozialwissenschaftliche Beiträge und Perspektiven auf die chemischen Wissenschaften sind noch rar gestreut, auch wenn sich jüngstens um eine stärkere interdisziplinäre Einheit und Zusammenarbeit der chemiebezogenen Wissenschaftsforschung bemüht wird (Seeman, 2017; Fortin et al., 2018) und insbesondere der Ruf nach empirischen Interviewstudien und der Beobachtung von Praktiken der Chemie laut wird (Klein und Reinhardt, 2014).

1.4 Vorstellung der Interview-Partner/innen

Die empirische Grundlage der Befunde zur Grenzarbeit der Chemie besteht aus einer ethnografischen Laborbeobachtung und einer qualitativen Interviewstudie mit Expert/innen verschiedener Grenzbereiche der chemischen Felder und angrenzenden Wissenschaften wie Physik und Biomedizin. In den folgenden Kapiteln finden sich immer wieder Zitate oder Beobachtungsvignetten aus der Feldforschung, zu deren Lesart in der Folge noch einige Hinweise vorausgeschickt seien. Insgesamt besteht die Interviewstudie aus 23 leitfadengestützten Interviews mit Vertreter/innen diverser chemischer, physikalischer, lebenswissenschaftlicher (Sub-)Disziplinen sowie Vertreter/innen der biomedizinischen Praxis. Sie alle gruppieren sich an den verschiedenen Feldgrenzen der Chemie und positionieren sich in heterogener Art und Weise zum chemischen Feld zugehörig bzw. nicht-zugehörig, was wertvolle Einblicke in die Grenzarbeit der Chemie von *innen* wie *außen* her erzeugt. Zu diesem Zweck galt es, je nach Feld verschiedene Vertreter/innen verschiedener akademischer Qualifikationsstufen zu befragen und auch hinsichtlich akademischen und industriellen Arbeitsumfeld zu kontrastieren.

Sämtliche Interviews wurden in schriftdeutscher Sprache mit Personen, die in Deutschland, der Schweiz und Österreich tätig sind, im Zeitraum zwischen Juli 2015 und August 2016 geführt. Die laborethnografische Beobachtung in einem La-

bor der anorganischen Chemie mit Anbindungen an die Materialforschung fand zwischen Juni und Dezember 2016 statt. Die gewonnenen Interviewdaten wurden in der Transkription nach Möglichkeit anonymisiert und sollen keine Rückschlüsse auf einzelne reale Personen zulassen. Zur Anonymisierung erhielten diejenigen Interview-Partner/innen und Gesprächspartner/innen der teilnehmenden Beobachtung, die im Text wörtlich zitiert werden, jeweils ein Pseudonym. Sie wurden nach weniger gespielten Komponist/innen aus verschiedenen Epochen der Musikgeschichte benannt. Die in die Argumentation eingewobenen Interviewzitate basieren auf entsprechenden Transkripten, wie sie in der qualitativen Sozialforschung durch Audiotranskription angefertigt werden, wenn auch in einer speziell für Publikationen bereinigter Form (Kruse, 2015, S. 354f.). Die im Zitat vorkommenden Großsetzungen einzelner Ausdrücke stehen für Betonungen seitens der Sprecher/innen und Kürzel wie (.), (1), (4) für Sprechpausen. Die Ziffer innerhalb der Klammern weist die jeweilige Dauer der Pause in Sekunden aus, wobei (.) für eine kurze Pause mit einer Länge von unter einer Sekunde steht.

Dr. Albrechtsberger ist zum Zeitpunkt des Interviews bereits seit mehreren Jahren in der pharmazeutischen Produktentwicklung einer internationalen Pharmafirma beschäftigt. Er wendet insbesondere großdatenbankgestützte Hochdurchsatzverfahren zum Bestimmen potentieller Wirkstoffe an. Er vertritt mit seiner hybriden Ausbildung in Chemie, Biotechnologie und Nanowissenschaften ein postdisziplinäres Wissenschaftsbild, rechnet sich selbst den Lebenswissenschaften zu und entzieht sich in seiner Selbstpositionierung bewusst einer monodisziplinären Verortung. Die Semantiken, die Herr Albrechtsberger wählt, zeugen insbesondere vom Paradigmenwechsel, die mit dem Übergang vom kleinen zum großen Molekül in der Arzneimittelentwicklung einhergingen (Kapitel 4) und den Re-Konfigurationen der chemischen Felder.

Frau Ali-Zadeh befindet sich zum Zeitpunkt des Interviews im 8. Fachsemester des Studiums der Humanmedizin und absolviert im Rahmen ihrer medizinischen Promotion ein klinischen Forschungssemester im Bereich der toxikologischen Forschung. In diesem Bereich forscht sie mit einer Reihe chiraler Arzneistoffe und ihr Fallbeispiel zeugt eindrücklich von der epistemischen wie ästhetischen Sozialisation angehender Mediziner/innen in die molekulare Welt, die erheblich durch die organischen Synthesechemie geprägt ist.

Prof. Borodins Expertise ist primär in den Material- und Nanowissenschaften angesiedelt. Als Chemieingenieur und Materialwissenschaftler beschäftigt er sich überwiegend mit Katalyseprozessen. Die Chiralität versteht er als essentielle Eigenschaft von Nanopartikeln, organischen Molekülen und Oberflächenstrukturen. Seine Abgrenzungsbemühungen gegen die als invasiv wahrgenommenen physikalischen Expertisen und Zugriffe auf die supramolekulare Welt stellen ein paradigmatisches Beispiel für die chemische Grenzarbeit in einem hybridisierten, wissenschaftlichen Feld dar (Kapitel 3).

Dr. Eller wurde in der theoretischen Physik ausgebildet, was sich in seinem Chiralitätskonzept deutlich niederschlägt. Dieses wird vor allem auf der Ebene von Elementarteilchendynamiken und fundamentalen Wechselwirkungen verortet (vgl. Kapitel 6).

Prof. Farrenc ist Professorin der Pharmazie und bewegt sich in der biochemischen klinischen Forschung. Sie rechnet sich selbst dem Bereich der Medizinalchemie zu, in diesem Bereich entwickelt sie molekulare Modelle für verschiedene Gefäßerkrankungen. In diesem Bereich komplexer Biomoleküle zeigt sich, wie die Konzepte der klassischen organischen Synthesechemie allmählich aus dem Wortschatz verschwinden – und Akteur/innen dies zu verhindern versuchen: Frau Farrenc beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der chiralen Eigenschaft von Biomolekülen und ihr Interview zeugt eindrucksvoll von den Paradigmenwechseln, die sich in der Fachterminologie niederschlagen.

Frau Hensel ist Pharmazeutin mit einem Werdegang in pharmazeutischer Industrie (Schwerpunkt Produktsicherheit), Offizinapotheke und Koordination von Weiterbildungsmaßnahmen für pharmazeutisches Fachpersonal. Ihr Interview liefert Einsichten in den Problembereich der Arzneimittelsicherheit und Zulassungsstrategien bei chiralen Wirkstoffen (vgl. Abschnitt 4.2) und wie der Contergan-Fall (vgl. Abschnitt 5.2) die Grenzarbeit zwischen Biomedizin und Naturwissenschaften nach wie vor prägt.

Dr. Hoffmann ist zum Zeitpunkt des Gesprächs überwiegend in der Wissenschaftsphilosophie tätig, nachdem der eine interdisziplinäre, wissenschaftliche Ausbildung im Bereich der Quantenphysik und -Chemie absolviert hatte. Das Interview lieferte insbesondere zu den wissenschaftsphilosophischen Auseinandersetzungen mit der Chiralität in Emergenz- und Reduktionstheorien wichtige Erkenntnisse.

Prof. Paderewski ist emeritierter Professor der Toxikologie und blickt auf ein Berufsleben in der pharmazeutischen Industrie mit zahlreichen Anbindungen an den akademischen Forschungs- und Lehrbetrieb zurück. Als ausgebildeter Arzt war er in leitender Position für die vorläufige Prüfung von Arzneimittelkandidaten in einer internationalen Pharmafirma tätig. Seine Auseinandersetzungen mit der molekularen Eigenschaft der Chiralität zeugen insbesondere vom Paradigmenwechsel vom kleinen zum großen Molekül und dem Bedeutungsverlust, den die Weltbilder der organischen Chemie zugunsten der molekularen Lebenswissenschaften erleben.

Prof. Pejačević ist Professorin für anorganische Chemie, die sich insbesondere der Nano- und Materialforschung verschrieben hat. In Ihrer Forschungsgruppe fanden auch die teilnehmenden laborethnografischen Beobachtungen statt. Das Interview mit Frau Pejačević informiert über eine große Bandbreite von Bezügen zur molekularen Chiralität, die die verschiedenen chemischen Subdisziplinen überspannen und zeugt insbesondere vom Forschungsboom zur enantioselektiven

Synthese und Enantiomertrennung der 1990er Jahre infolge des Contergan-Falls (vgl. 2.3).

Prof. Rameau ist emeritierter Professor für Quantenchemie und physikalische Chemie. Er wirkt in einem Feld, in dem physikalische und chemische Zugriffe auf die fundamentalen Eigenschaften der Materie kaum zu unterscheiden sind und offenbar auch nicht Gegenstand der Grenzarbeit der chemischen Felder.

Herr Rolla ist Chemiker mit Berufserfahrung in der chemischen Industrie und absolviert zum Zeitpunkt des Interviews ein Doktorat bei Prof. Pejačević. Sein Projekt ist interdisziplinär angelegt und umfasst mehrere Teilprojekte im Bereich der organischen und anorganischen Chemie sowie Nanoforschung. Laborexperimente bestimmen seinen Alltag, er war meine primäre Ansprechperson während meines Aufenthalts in der Forschungsgruppe

Dr. Schoeck bewegte sich mit seiner Qualifikation als Physiker im Bereich der Oberflächenforschung ehe er dem Forschungsbetrieb den Rücken zukehrte und sich Primär mit der Universitätslehre widmete. Er positioniert sich als Experimentalphysiker und war im Bereich der Oberflächenforschung mit der Absorption chiraler Moleküle an Oberflächen beschäftigt. Das Gespräch zeugt in besonderem Maße von den Unterschieden zwischen chemischen und physikalischen Zugriffen auf die molekulare Welt.

Dr. Silcher wirkt als Chefarzt in der klinischen Psychiatrie und beschäftigt sich mit hochschul- und forschungspolitischen Themen. Seine kritischen Positionen zum Verhältnis zwischen Medizin und Naturwissenschaften warfen ein besonderes Licht auf die Grenzarbeit der chemischen Felder und wie die Prädee der Arbeitsteilung zwischen chemischen und biomedizinischen Wissenschaften zunehmend an Einfluss verliert (vgl. Abschnitt 5.1).

Herr Tartini ist Radiologe und in einem städtischen Versorgungskrankenhaus als behandelnder Arzt beschäftigt. Das Gespräch birgt ebenfalls Einsichten zur Grenzarbeit zwischen Chemie und Biomedizin zumal er vor seinem Medizinstudium einige Semester Physik studiert hatte.

Prof. Wolf-Ferrari ist emeritierter Professor für theoretische Chemie und war im Bereich der Risikomodellierung von Umweltereignissen tätig. Er unterscheidet in seinen Narrativen zwischen harten und weichen Wissenschaften und positioniert sich in einem Grenzbereich zwischen Physik und Chemie, der sich wie bei Prof. Rameau mit den fundamentalen Dynamiken der Materie beschäftigt. Er grenzt sich von alltagsnäheren und angewandten Feldern der organischen Chemie ab.

