

Wissenschaft der Synthese –

Ein Ansatz zur wissenschaftsphilosophischen
Bestimmung der Chemie

Mareike Frevert

kassel
university



press

Mareike Frevert

Wissenschaft der Synthese –
Ein Ansatz zur wissenschaftsphilosophischen Bestimmung
der Chemie

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Geistes- und Kulturwissenschaften der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.) angenommen.

Erster Gutachter: Prof. Dr.Dr. Kristian Köchy
Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Gottfried Heinemann

Tag der mündlichen Prüfung

24. November 2014

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Zugl.: Kassel, Univ., Diss. 2014
ISBN 978-3-7376-0024-8 (print)
ISBN 978-3-7376-0025-5 (e-book)
URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0002-400257>

© 2015, kassel university press GmbH, Kassel
www.upress.uni-kassel.de/

Printed in Germany

Diese Arbeit entstand in der Abteilung Theoretische Philosophie des Instituts für Philosophie im Fachbereich Geistes- und Kulturwissenschaften der Universität Kassel von August 2011 bis April 2014.

Mein besonderer Dank geht an Prof. Dr. Dr. Kristian Köchy für die Bereitstellung des Themas, sowie die Betreuung dieser Dissertation und die damit verbundene allseits vorhandene Diskussionsbereitschaft.

Mein Dank geht ebenfalls an Prof. Dr. Gottfried Heinemann für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Ebenso danke ich dem Otto Braun Fonds für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes.

Ich danke außerdem Frau Véronique Milanetto für die Hilfe beim Verfassen der Dissertation.

*Meiner Familie
und den Wahlverwandtschaften*

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG	11
EINFÜHRUNG IN DAS THEMA	13
TEIL I: DISZIPLINENÜBERGREIFENDE SYNTHESKATEGORIEN	18
1. Die Methode der Untersuchung	18
2. Die Synthesekategorien	22
2.1 Die formal-logische Synthesekategorie – Die euklidische Geometrie	23
2.2 Eine Einführung zur Synthese in der Philosophie	28
2.2.1 Die formal-materiale Kategorie – Synthesiskonzepte bei Kant	30
2.2.2 Die Momente der Synthesis	31
2.2.3 Die Wissenschaftsphilosophie Gaston Bachelards	39
2.2.4 Die methodologische Synthesekategorie	40
2.2.5 Die wissenschaftlich-disziplinäre Kategorie.....	48
2.3 Die materiale Kategorie – Die chemische Synthese.....	50
2.3.1 Definitionen und Formen der Synthese in der Chemie.....	50
2.3.2 Der Syntheseplan	54
2.3.3 Der Faktor der Komplexität in der Synthesechemie	58
2.3.4 Die Produkte der Synthesechemie	62
2.4 Analytische Chemie	63
3. Resümee	71
TEIL II: DIE GESCHICHTE DER CHEMISCHEN SYNTHESE	78
1. Eine Einführung in die Geschichte der Synthesechemie	78
2. Synthese in der Alchemie	85
2.1 Immaterielle und materielle Synthesen	85
2.2 Die 12 Schlüssel des Basilius Valentinus.....	89
3. Das 18. Jahrhundert	101
3.1 Die Geburtsstunde der Chemie	101
3.2 Die analytische Ära Lavoisier	103

4. Die Chemie im 19. Jahrhundert.....	111
4.1 Die Entwicklung von Synthese und Analyse	111
4.2 Die chemische Synthese bei Marcellin Berthelot.....	123
5. Der Beginn des 20. Jahrhunderts.....	132
5.1 Naturstoffsynthesen.....	132
5.2 Die Synthese des Adrenalin bei der Firma Hoechst.....	134
6. Das 20. Jahrhundert	139
6.1 Techniksynthesen.....	139
6.2 Nylon – Vielseitigkeit durch Synthese.....	140
7. Resümee	143

TEIL III: DIE PRAXIS DER SYNTHESECHEMIE..... 150

1. Einleitung zur Synthesechemie in der Praxis	150
2. Die Vorannahmen und die methodische Herangehensweise	152
3. Eine Definition des Syntheselabors.....	158
4. Relevante Parameter der Syntheseforschung im Laborkontext	161
4.1 Offenheit	161
4.2 Systematik	162
4.3 Dynamik	167
4.4 Kreativität.....	170
4.5 Funktionalität	173
4.6 Pragmatik	175
4.7 Intuition	177
4.8 Variation/Varianz.....	179
4.9 Komplexität.....	181
4.10 Ungewissheit	183
4.11 Realisierung.....	185
5. Der Status der Objektivität.....	189
6. Resümee	195

TEIL IV: DIE PHILOSOPHIE DER SYNTHESECHEMIE..... 200

1. Voraussetzungen	200
---------------------------------	------------

2. Die Philosophie der Synthesechemie	203
2.1 Eine variable Philosophie.....	204
2.2 Surrealismus und Synthesechemie – Dialektiken und Komplexität.....	206
2.3 Strukturalismus und Synthesechemie.....	217
3. Der surrealistische Strukturalismus der Synthesechemie	230
4. Die Synthesechemie im Spannungsfeld von Natur und Technik	233
4.1 Die Beschreibung des Fallbeispiels.....	235
4.2 Bestrebungen einer Zuordnung der Synthesechemie	239
4.2.1 Der erste Versuch einer Zuordnung.....	240
4.2.2 Der zweite Versuch einer Zuordnung.....	245
4.2.3 Der dritte Versuch einer Zuordnung – Ein alternativer Zugang	249
4.2.4 Der vierte Versuch – Die Anwendung des surrealistischen Strukturalismus	254
SCHLUSSBETRACHTUNG	263
LITERATURVERZEICHNIS.....	269

Einleitung

Die Synthesechemie ist eine Teildisziplin der Chemie, deren Errungenschaften in Form von synthetischen Produkten sich seit dem 19. Jahrhundert in den Industrienationen und deren Gesellschaftsformen etablieren. Man kann sicher soweit gehen und behaupten, dass eine Gesellschaft radikalen Veränderungen unterworfen wäre, wenn die Errungenschaften der Synthesechemie keine Bestandteile mehr vom gesellschaftlichen Leben wären. Daher spielt die Synthesechemie im kulturellen Kontext eine bedeutende Rolle.

Zuvorderst ist sie jedoch eine wissenschaftliche Teildisziplin der Chemie. Die Chemie beschäftigt sich mit materiellen und energetischen Umwandlungen von Substanzen. Der Synthesechemie kommt dabei allgemein die Rolle des Zusammenfügens, des Verbindens chemischer Substanzen zu.

Was ist aber die Synthesechemie darüber hinaus für eine wissenschaftliche Disziplin? Wie lässt sich die Synthesechemie konstituieren? Aus der Sicht der Wissenschaftsphilosophie wurden diese und andere Fragen die Synthesechemie betreffend bisher kaum beachtet, geschweige denn beantwortet. Vielmehr wurde die Synthesechemie aus dem Kanon wissenschaftsphilosophischer Ansätze und Reflexionen quasi ausgeschlossen. Die Hauptaufgabe der folgenden Untersuchung ist es, dieses Vakuum zu füllen.

Zugleich ist es auch die Motivation dieser Arbeit die Synthesechemie und die Philosophie einander anzunähern, damit die Synthesechemie wissenschaftsphilosophisch erschlossen, also quasi *philosophierbar* wird. Die Etablierung einer Philosophie der Synthesechemie würde eine Lücke im Rahmen der Wissenschaftsphilosophie schließen und zeigen, dass philosophische Überlegungen für jedwede wissenschaftliche Disziplin möglich sind.

Die in dieser Arbeit präsentierten Ansätze zur Philosophie der Synthesechemie sollen eine Basis für den wissenschaftsphilosophischen Diskurs bilden. Man muss sie in dem Bewusstsein betrachten, dass die Synthesechemie eine sehr komplexe Disziplin ist, die ihren Gegenstandsbereich der Forschung, durch die Entwicklung bisher nicht-existierender chemischer Verbindungen, stetig erweitert. Diese Tatsache kann für die Entwicklung einer Philosophie der Synthesechemie problematisch sein. Gleichzeitig ist dies aber auch eine Herausforderung für die Wissenschaftsphilosophie sich mit einer stets aktualisierenden wissenschaftlichen Teildisziplin zu befassen.

Im nächsten Kapitel „Einführung in das Thema“ wird das Vorhaben der folgenden wissenschaftsphilosophischen Untersuchung zur Synthesechemie ausführlich erläutert.

Einführung in das Thema

Wie kann man den Begriff der Synthese erklären? Die Synthese ist eine Methode, der sich heutige Wissenschaften sowie tradierte Disziplinen bedienen, um einen Zuwachs von Wissen zu erlangen. Der Fokus dieser Arbeit richtet sich auf die Entwicklung eines wissenschaftsphilosophischen Ansatzes, der gerade die Syntheseaspekte der Chemie in den Vordergrund einer Philosophie der Chemie rückt. Dementsprechend gestaltet sich auch die Leitfrage dieser Arbeit folgendermaßen: Welches Bild von Chemie entsteht am Leitbild der chemischen Synthese? Wie lässt sich eine Philosophie der Chemie mit Rücksicht auf ihrem Syntheseaspekt bestimmen? Eine weitere Frage, die sich direkt daran anschließt, ist: Wie könnte dieser wissenschaftsphilosophische Ansatz aussehen? Es wird in dieser Untersuchung ein Entwurf dieses Ansatzes angestrebt. Gleichzeitig heißt dies, es wird vorausgesetzt, dass die Synthese für eine Bestimmung geeignet ist und es daher keiner Rechtfertigung des Untersuchungsgegenstandes bedarf. Sollte man dennoch nach Gründen fragen, kann Folgendes angeführt werden. Die Rechtfertigung ergibt sich allein daraus, dass die Chemie in ihrem wissenschaftlichen Wirken eben zu einem großen und gewichtigen Teil aus der Beschäftigung mit der Synthese als Methode, sowie aus zusammengesetzten und zusammensetzenden Stoffen besteht. Die Produktivität, die diese wissenschaftliche Methode besitzt, zeigen folgende Zahlen eindrucksvoll. *„During the past 200 years, the synthesis of new substances has been the main experimental activity of chemists. Today there are over 3 million chemists worldwide who produce some 57,000 papers a year reporting on some 900,000 new chemical substances.”*¹

Über die Methodologie speziell der chemischen Synthese gab und gibt es bis jetzt keine ausführlichen philosophischen Arbeiten.² Eine Beschäftigung der Philosophie mit der Synthesechemie erscheint als wünschenswert, wenn man sich neben der Produktivität vor Augen führt, dass diese Produktivität sich auf Individuen und Gesellschaften auswirken kann

¹ Schummer: Ethics of Chemical Synthesis. In: Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry, Vol. 7, No. 2 (2001), S. 108.

² Vgl. Brakel: Über die Vernachlässigung der Philosophie der Chemie. In: Psarros, Ruthenberg, Schummer (Hrsg.): Philosophie der Chemie – Bestandsaufnahme und Ausblick (1996), S. 19.

und auswirkt, sei es im industriellen, pharmazeutischen also anwendungsbezogenen oder wissenschaftlichen Sinne.

Warum soll man nun eine Philosophie der Chemie entwerfen, die als Grundlage die chemische Synthese nutzt? Ausgehend von Joachim Schummers Feststellung, dass die chemische Synthese für die Chemie die wohl charakteristischste Eigenschaft, jedoch zugleich die philosophisch unbeachtetste ist, weil sie in keins der herkömmlichen wissenschaftstheoretischen Bilder passt,³ ist hier also ein unübersehbares Defizit in der Philosophie der Chemie zu erkennen.

Um dieses Defizit zu beheben, fallen zwei mögliche Wege sofort ins Auge. Der erste besteht darin, die chemische Synthese in die bisherige herkömmliche Wissenschaftstheorie⁴ mit einzubinden und Ansätze zu suchen, die mit dem Konstrukt der Synthese in der Chemie kompatibel sind. Voraussetzung dafür ist, die Charakteristika der chemischen Synthese aus Sicht der Philosophie zu ergründen und ihre Struktur innerhalb der Wissenschaft, sowie die Bedeutung für diese zu beschreiben und zu beurteilen. Man könnte diesen Weg den evolutionären Weg nennen, der die chemische Synthese in das wissenschaftstheoretische Gefüge aufnimmt, einfügt und (weiter-)entwickelt.

Die Frage, die sich weiterhin stellt, ist, warum der erste Weg nicht schon gegangen worden ist. Mangelndes Interesse seitens der Philosophie könnte ebenso gut eine Erklärung sein, wie die Annahme eines *Nicht-Einfügen-Könnens* der Synthesechemie in die bisherige Wissenschaftsphilosophie. Um die Annahme eines möglichen *Nicht-Einfügen-Könnens* der Synthesechemie in die bisherige Wissenschaftsphilosophie zu erklären, müsste man die Defizite der Wissenschaftsphilosophie mit den Charakteristika der Synthesechemie erklären. Man könnte eine Geschichte der Synthesechemie schreiben, die diese defizitäre Wechselwirkung zwischen Synthesechemie und Wissenschaftsphilosophie offenlegt. Damit würde man sich aber auf eine negative Geschichte der Synthesechemie einlassen, die zuerst einmal keinen Gewinn für eine Wissenschaftsphilosophie der Chemie bedeutet, weil sie Distanz schafft. Der zweite Schritt müsste darin bestehen, diese Distanz zu überwinden. Es

³ Vgl. Schummer: Philosophie der Chemie: Rück- und Ausblicke. In: Griese (Hrsg.): Wenn der Geist die Materie küßt (2004), S. 5.

⁴ Gemeint sind damit die wissenschaftstheoretischen Ansätze des kritischen Rationalismus nach Karl Popper, der logische Empirismus des Wiener Kreises oder der Positivismus nach Ernst Mach.

sollte ja gerade das Ziel sein, eine Isolation zu vermeiden und stattdessen eine Integration zu bewirken, um Synthesechemie und Philosophie einander anzunähern. Die Aussage – um noch einmal Schummer anzuführen – die chemische Synthese passe in keines der herkömmlichen wissenschaftstheoretischen Bilder, impliziert die Annahme, dass bereits Versuche dazu unternommen worden sind. Es sind jedoch keine ausgearbeiteten Ansätze, die sich speziell einer Philosophie der Synthesechemie widmen, bekannt oder existent. Deshalb scheint es nicht vielversprechend herkömmliche wissenschaftstheoretische Bilder für die Entwicklung einer Philosophie der Synthesechemie zu nutzen.

Einen zweiten Weg – zur Behebung des oben festgestellten Defizits – könnte man den revolutionären Weg nennen. Dieser versucht nicht, die chemische Synthese in die bisherige Wissenschaftstheorie einzubinden, sondern nimmt gerade die chemische Synthese bzw. ihre bisherige Vernachlässigung zum Anlass, um eine neue Wissenschaftstheorie auf dem Konstrukt der chemischen Synthese für eine Philosophie der Chemie aufzubauen. Die Rechtfertigung dafür, eine Wissenschaftsphilosophie zu konstruieren, die auf der chemischen Synthese basiert, sind wiederum die Spezifika selbiger, wie die Erfindung und Realisierung neuer chemischer Substanzen, sowie die Möglichkeiten, eben durch diese neuen Substanzen in die materielle Welt einzugreifen und diese zu verändern. Das Konstruieren neuartiger chemischer Substanzen bezieht sich ganz allgemein auf die alltägliche Lebenswelt und auf die (chemisch) interne sowie externe naturwissenschaftliche Forschung. Diesen zweiten Weg zu beschreiten, wäre eine komplexe Aufgabe, deren Gelingen an eben jener Komplexität scheitern kann. Sie scheint weiterhin gewagt, da eine neue wissenschaftsphilosophische Konstruktion anerkannt werden müsste. Gleichzeitig entsteht mit einer völlig wissenschaftstheoretischen Neuorientierung der Philosophie der Synthesechemie, wieder eine Isolation, da ihre Entwicklung klar auf Abgrenzung zur herkömmlichen Wissenschaftsphilosophie angelegt worden ist. Dennoch scheint man diesen revolutionären Weg – wenn man Schummer zustimmt, dass die chemische Synthese in keines der herkömmlichen wissenschaftstheoretischen Bilder passt – gehen zu müssen, um einen angemessenen Ansatz zur Philosophie der Synthesechemie realisieren zu wollen.

Ein erfolgversprechender Ausweg aus dem Dilemma, den ersten *oder* den zweiten Weg ausschließlich zu verfolgen, scheint eine Synthese aus dem ersten und zweiten Weg zu sein. Eine Synthese aus beiden Wegen, also der Ansatz, die Gemeinsamkeiten aus existierenden

wissenschaftsphilosophischen Ansätzen zu nutzen und diese fortzuführen, auf die chemische Synthese umzusetzen und gleichzeitig die Spezifika selbiger zu fokussieren, stellt auch letztlich den Weg dar, der hier gegangen werden soll. Die Kombination vom evolutionären und revolutionären Weg soll der Distanz zwischen einer Philosophie der chemischen Synthese und der Wissenschaftsphilosophie entgegenwirken, denn eine Kombinatorik beider lässt die neuen Aspekte des revolutionären Weges auf die herkömmliche Wissenschaftsphilosophie einwirken, wodurch eine nun adäquate, eigendynamische Philosophie der Chemie entstehen kann, die auf dem Bestimmungsmerkmal der Synthese basiert.

Das Herstellen dieser Nähe bedarf zuerst einmal einer anfänglichen Bestandsaufnahme der chemischen Synthese sowie einer Abgrenzung selbiger zu den Synthesekonzepten anderer Disziplinen, die die Synthese als Methode nutzen. Damit soll offensichtlich werden, was die Spezifika der chemischen Synthesemethode sind und was in ihrem Konzept besonders bedenkenswert erscheint.

Das Konzept für die Entwicklung der Philosophie der Synthesechemie setzt sich aus drei Teilen zusammen.

Der erste Teil beschäftigt sich mit der Erarbeitung von Synthesekonzepten aus der Mathematik, der Philosophie und der Chemie, die in Kategorien angeordnet und erläutert werden. Der zweite Teil stellt eine Konstruktion der Geschichte der chemischen Synthese dar und analysiert anhand von fünf signifikanten Fallbeispielen, Synthesekonzepte ab dem 16. Jahrhundert.

Der dritte Teil befasst sich mit der heutigen Synthesechemie und stellt die praktische Laborarbeit in den Fokus der Untersuchung. Hier sollen konkret die Bedingungen des chemischen Synthetisierens untersucht und erläutert werden.

Der vierte Teil stellt schließlich einen Ansatz zur Philosophie der Synthesechemie dar, der sich aus den Erkenntnissen von Teil eins, Teil zwei und Teil drei zusammensetzt. Die Generierung des Ansatzes zur Philosophie der Synthesechemie ergibt sich also unter Einbeziehung unterschiedlicher Aspekte zur chemischen Synthese und aus unterschiedlichen Richtungen.

Die entstandene Philosophie der Synthesechemie wird schließlich anhand eines spezifischen Kontextes einer Anwendung unterzogen, um sie zu überprüfen. Dieser Kontext umschließt die oppositionellen Bereiche von Natur und Technik. Die Frage, die unter Berück-

sichtigung des Ansatzes einer Philosophie der Synthesechemie, geklärt werden soll, ist:
Welches Bild von Natur und Technik entsteht für die Synthesechemie?

Teil I: Disziplinenübergreifende Synthesekategorien

1. Die Methode der Untersuchung

Im Folgenden wird die Synthese als die Operation und Methode des Zusammenfügens in unterschiedliche Kategorien aus den Bereichen der Philosophie, der Mathematik und letztlich der Chemie unterteilt. Der Terminus Kategorie bedeutet hier, dass anhand der charakteristischen Eigenschaften die Methoden der Synthese der jeweiligen Disziplinen unterschieden werden, was zur Bildung dieser Kategorien gehört. Dabei wird unterschieden in eine formal-logische Kategorie, eine formal-materiale Kategorie, eine methodologische sowie eine wissenschaftlich-disziplinäre Kategorie und letztlich eine materiale Kategorie.

Was vor der eigentlichen Untersuchung festgehalten werden muss, ist, dass hier allein wissenschaftliche bzw. logische Synthesekonzepte betrachtet werden. Eine Behandlung von ganzheitlichen oder mystischen Synthesekonzepten⁵ würde zwar mit dem hier angewandten Kriterium der Abgrenzung der einzelnen Kategorien konform gehen und in anschaulicher Weise die Untersuchungsergebnisse erweitern, jedoch zu weit von einer Bestimmung einer Wissenschaftsphilosophie der Chemie fortführen, die sich auf der Synthese gründet. Es geht an dieser Stelle vielmehr darum, im wissenschaftlich-logischen Bereich der Synthesemethoden die Untersuchung durchzuführen und Unterscheidungsmerkmale zu finden.

Der gesamte erste Teil soll die grundlegenden Prinzipien der Synthesemethoden verdeutlichen. Die Synthesemethoden sollen anhand der Aspekte von Umgang, Anwendung, Art der Methode und grundlegenden Charakteristika der jeweiligen Konzepte dargestellt und untersucht werden. Diese Darstellung beinhaltet lediglich eine Beschreibung für grundlegende Merkmale. Das heißt im Umkehrschluss, es wird nicht spezifiziert. Zugleich soll hieran die Vielfalt von Synthesekonzepten bzw. Syntheseformen deutlich werden.

Die hier durchzuführende Methode besteht darin, dass die oben beschriebene Einteilung von Synthesekonzepten anhand 1) der synthetischen Geometrie Euklids (formal-logisch), 2) der theoretischen Philosophie Immanuel Kants (formal-material), 3) Gaston Bachelards

⁵ Ein Beispiel dafür waren die Rosenkreuzer, eine hermetische Bruderschaft, die eine Synthese aus esoterischer und naturphilosophischer Tradition anstrebten.

Epistemologie (methodologisch, sowie wissenschaftlich-disziplinär) und 4) der Synthese in der Chemie (material) untersucht werden. Diese Kategorien von Synthese erstrecken sich auf einen Zeitraum von über 2000 Jahren, sind also nicht durch das Kriterium der Zeit zu beurteilen, obwohl sie chronologisch behandelt werden. Vielmehr gehen sie zurück auf die Idee, von einem immateriellen Konzept zu einem materiellen Konzept fortzuschreiten. Damit ist gemeint, dass von einem logisch-methodischen Konzept der Geometrie, das die Beweise seiner Wahrheit nicht zu vergegenständlichen oder auf materielle Gegenstände anzuwenden versucht, zu einem Konzept übergeleitet wird, das sich gerade mit der Materie, sowie der Umsetzung dieser, der chemischen Synthese, beschäftigt. Möchte man diese Vorgehensweise definieren, ist es das Fortschreiten vom theoretischen zum praktischen Standpunkt innerhalb des Synthesekontextes.

Ergänzend zu den verschiedenen Synthesekonzepten wird für die Untersuchung der Synthese in der Chemie ebenfalls die Betrachtung der komplementären Methode der Analyse vorgenommen. Der Sinn dieses Vorgehens ist eine möglichst vollständige Untersuchung der chemischen Synthese zu exerzieren, wobei spätestens in der Praxis der Chemie ein Methodenkomplex von Analyse und Synthese entsteht, bei dem beide Methoden zwar auseinander zu dividieren sind, jedoch kommt die chemische Praxis erkenntnisstrategisch schwerlich ohne deren Interaktion aus.

Dass der Aspekt der Analyse in der Chemie ebenfalls dargestellt wird, sowie auch bei anderen hier dargestellten Synthesekategorien analytische Ansätze zum Teil berücksichtigt werden, liegt primär daran, dass ein möglichst vollständiges und grundlegendes Bild von Synthese vermittelt werden soll, wozu auch der komplementäre Bereich der Analyse gehört. Außerdem soll dem Eindruck entgegengewirkt werden, dogmatisch oder einseitig vorzugehen. Synthese oder Analyse ausschließlich einseitig bzw. partiell zu behandeln, würde heißen, den Teufel mit dem Belzebub auszutreiben. Das heißt: Will man eine Philosophie der Chemie entwickeln, die auf Synthese basiert und die Analyse unberücksichtigt lassen, dann ist man an dem Punkt der bisherigen Wissenschaftsphilosophie, die maßgeblich analytische Methoden Aspekte in den Vordergrund stellte. Das bedeutet Stillstand.

Allgemein zum Verhältnis von Synthese und Analyse lässt sich feststellen, dass der Analyse, im wissenschaftlichen Methodenarsenal sowie auf einer allgemeinen Bedeutungsebene,

zumeist vor der Synthese der Vorrang eingeräumt wird. Dieses wird erkenntlich, wenn man philosophische Ansätze zu (natur-)wissenschaftlichen Methodenbetrachtungen untersucht.⁶ Die zentrale Methode, um die komplexe Beschaffenheit der Welt zu erklären, sei es im naturwissenschaftlichen oder geisteswissenschaftlichen Bereich, scheint analytisch zu sein, und diese Welt ist chemisch-synthetisch aufgebaut. Das heißt, die materielle Welt ist aus komplexen Bausteinen, die letztlich aus Atomen und subatomaren Teilchen bestehen, zusammengesetzt. Dieses bedeutet noch lange keinen Widerspruch, sondern scheint eher eine Bestätigung der analytischen Vorgehensweise für Wissenschaftler und Gelehrte zu sein. Um zu Erkenntnissen über die Welt, sowie ihren Aufbau zu gelangen, muss man diese zerlegen. Somit stimmen Methode und Welt nicht überein, sondern befinden sich in konträren Verhältnissen. Der Terminus Welt wird in diesem Zusammenhang rein materiell begriffen, als das Zusammengesetzte, als aus atomaren Bausteinen bestehend, die in Molekülen und Kristallstrukturen verbunden sind. Die Frage, die man hier anknüpfen kann, ist: Was soll man mit den durch die Analyse entstandenen (atomaren) Partikeln anfangen? Aus der potentiellen Komplexität der Methode der Analyse folgt die Einfachheit der Dinge. Das Methodenarsenal der Analyse ist komplex, da aufgrund der materiellen Vielfalt auch mehrere Wege und Strategien existieren, um zu der Einfachheit der Dinge vorzudringen. Selbiges kann für die Welt der Vorstellungen und der Logik gelten. Erst die Synthese wird aber die Komplexität der Dinge zurückbringen und gleichfalls ihre methodische Komplexität behalten. Somit ist der Rahmen, in dem sich diese Welt – sowohl die materielle als auch die immaterielle – bewegt, vorläufig abgesteckt. Der Rahmen des Materiellen und Immateriellen wird gehalten von einer Komplexität des Zusammengesetzten, von Synthese. Die Einfachheit durch Zerlegung der Dinge wird in dieser Untersuchung zurückgestellt, auch wenn sie zwangsläufig niemals übergangen werden kann, sondern als komplementärer Bestandteil von Synthese sich förmlich aufzudrängen pflegt. Mit dieser Komplementarität muss man sich ebenfalls befassen, wenn man sich mit der Methode der Synthese beschäftigt. Synthese und Analyse sind nicht untrennbar, sondern vielmehr in ihrem Gesamtkontext miteinander

⁶ Dieses zeigt sich bereits in der aristotelischen Philosophie, wo die Analyse als beweisendes Verfahren verwendet wurde und vor allem bei der logischen Analyse im 20. Jahrhundert, die von Ludwig Wittgenstein und Rudolf Carnap geprägt wurde.

verbunden, sodass die Analyse ohne die Synthese ihres Daseins beschnitten wird und umgekehrt.

In den Disziplinen von Philosophie, Mathematik und Chemie sind Analyse und Synthese jeweils für sich zu betrachten und rücken historisch gesehen in verschiedenen Zeiten in den Fokus der Forschung.⁷ Doch betrachtet man die Geschichte genauer, so lässt sich erkennen, dass zumindest in der Mathematik die Entwicklung des analytischen Zweiges nach einer bereits existierenden und angewandten Methode des jeweils konträren Parts erfolgte. Eine anwendbare und die synthetische Geometrie erweiternde analytische Geometrie entwickelte sich Jahrhunderte nach der Entstehung ersterer.⁸ Alternativ dazu lässt sich in der Alchemie hingegen eine Verschmelzung der Methoden von Analyse und Synthese beobachten, worauf an späterer Stelle noch eingegangen wird.

Betrachtet man die Wissenschaft der Chemie, ist es zwar ohne Probleme möglich, eine Trennung von Analyse und Synthese vorzunehmen, da sich diese chemischen Methoden von den Verfahren eindeutig unterscheiden, doch liegt hier das Problem in der Tiefe. Ein Problem offenbart sich darin, den Gegenstand der Synthese zu reflektieren. Von der Seite der Chemie – also aus der Sicht eines Chemikers – ist eine Bestimmung der Methode der Synthese beinahe trivial. Die Synthese versucht aus einfach aufgebauten Molekülen durch präparatives Arbeiten komplexere Moleküle zu produzieren. Doch was eine chemische Synthese *ist*, unter welchen Bedingungen man die Synthese als Synthese, als Zusammensetzendes unter Berücksichtigung der Bedingungen des Zusammensetzens bezeichnet, bleibt von Seiten des Chemikers dahingestellt. Das Ende seiner Ausführungen ist erreicht, sobald der Chemiker das Labor verlassen hat, sobald die Substanz gewonnen ist, scheint die Reflexion über die Synthese nicht mehr wichtig, sondern trivial, denn das Syntheseprodukt ist entstanden.

Hier fangen die Fragestellungen und Reflexionen des Wissenschaftsphilosophen jedoch erst an. Hier beginnt die Arbeit außerhalb des Labors für die Philosophie der Synthesechemie. An dieser Stelle hören für gewöhnlich die chemischen Fachbücher über die Syntheseche-

⁷ Zwei Beispiele hierfür sind die analytische Sprachphilosophie im 20. Jahrhundert und die Anfänge der analytischen Chemie im 18. Jahrhundert.

⁸ Ansätze der analytischen Geometrie wurden maßgeblich von René Descartes entwickelt.

mie auf. Die Beschäftigung mit der Synthese beginnt in diesen Büchern ebenfalls im Labor, doch nur Syntheseprodukte und wissenschaftliche Ergebnisse für Fachpublikationen verlassen das Labor. Das *Wesen* der Synthese bleibt verborgen und verlässt das Labor nicht. Einen Einblick in dieses Wesen der Synthese bzw. Synthesechemie zu erlangen, ist die Aufgabe des Philosophen.

Die Aufgabe des Philosophen ist es, in diesem Fall eine Vorgeschichte zu einem chemischen Fachbuch der Synthesechemie zu schreiben, die sich nicht allein und ausschließlich auf einer historischen Ebene bewegt. Durch die historische Ebene würde nämlich nur deutlich werden, wie sich der Weg zum heutigen Synthesekonzept vollzogen haben könnte, die Reflexion und spezifische Aussagen über den Prozess und das Prozesshafte würde wiederum in den Hintergrund treten. Trotz dieser Defizite seitens der chemischen Fachliteratur stützt sich die hier vorzunehmende Charakterisierung der chemischen Synthese zuerst auf die Fachliteratur zur Synthesechemie. Der Hintergrund dafür ist der gleiche wie bei der Philosophie und der Mathematik: Die Eigenheiten des Konzepts von Synthese sollen aus Sicht der jeweiligen wissenschaftlichen Disziplinen erfasst werden, sodass es nicht nur zu einer Metareflexion (bei Mathematik und Chemie) kommt, sondern auch wissenschaftsinterne Parameter berücksichtigt werden.

2. Die Synthesekategorien

Alle partiellen sowie ganzheitlichen Synthesemethoden haben das gleiche Ziel, ihre jeweiligen Untersuchungsgegenstände in einer oder in mehreren aneinander folgenden Operation(en) zu komplexeren Gegenständen zu vereinigen.⁹ Neben diesem offensichtlichen Ziel fällt es bereits schwer, weitere Gemeinsamkeiten zu erkennen, denn die einzelnen Operationen der Synthese hängen vom jeweiligen Gegenstand und der Forschungsmethode der

⁹ Vgl. Wessel, H.: Synthese, in: Philosophie und Naturwissenschaften – Wörterbuch zu den philosophischen Fragen der Naturwissenschaften, Bd. 2 (1991), S. 858 f.

jeweiligen wissenschaftlichen Disziplin ab.¹⁰ Die Methode der Synthese kann beispielsweise empirieabhängig sein, wie es in der Chemie der Fall ist.¹¹

Die folgenden Synthesekategorien zeigen inhaltliche Bezugspunkte zueinander. Trotzdem werden sie größtenteils als unabhängig voneinander betrachtet. Beispielsweise lässt sich die formal-materiale Kategorie mit der formal-logischen Kategorie in Verbindung setzen. Ebenso findet sich in der methodologischen Kategorie eine indirekte Auseinandersetzung mit der materialen Kategorie. Auf diese Verbindungspunkte wird bei den einzelnen Kategorien ausführlicher eingegangen werden. Grundlegend ist eine wechselseitige Verbindung zwischen den Disziplinen von Mathematik, Philosophie und Chemie nicht von der Hand zu weisen.¹² Diese lediglich als übergeordnet zu bezeichnende Verbindung soll nicht den Eindruck eines holistischen Ansatzes erwecken. Vielmehr bestehen Verbindungen dadurch, dass beispielsweise mathematische Elemente in der Chemie zu finden sind oder auch philosophische Fragestellungen in der Mathematik und der Chemie durchaus ihre Berechtigung haben. Fragen, die den (materiellen) Aufbau der Welt betreffen, sind wiederum auch in der Philosophie zu finden. Trotz heterogener Ansätze der Nutzung der Synthesemethode gibt es also Gemeinsamkeiten der Synthesekategorien untereinander.

2.1 Die formal-logische Synthesekategorie – Die euklidische Geometrie

Die Synthese in der Mathematik ist eine methodische Herangehensweise an eine Frage- oder Problemstellung. In der Chronologie der Mathematik ist die synthetische Methode

¹⁰ Vgl. Wessel, H.: Analyse, in: Philosophie und Naturwissenschaften – Wörterbuch zu den philosophischen Fragen der Naturwissenschaften, Bd. 1 (1991), S. 54.

¹¹ Ein weiteres Beispiel der spezifischen Anwendung der Synthesemethode findet sich im naturwissenschaftlich-historischen Kontext in der klassischen Physik Isaacs Newtons. Dort vertritt selbiger bereits ein synthetisches Modell, was die Ableitung aller physikalischen Phänomene aus den mechanischen Prinzipien beinhaltet. Dadurch bleibt er bei seinen neuen Gesetzen der Mechanik der Tradition der synthetischen Geometrie (die auf Euklid zurückgeht) verhaftet, da durch die Synthese Bewegungsprobleme mit den Methoden der synthetischen Geometrie gelöst werden sollen. Dies wird hier angeführt als ein Verbindungspunkt von Mathematik, Kant und Alchemie. Es finden sich synthetische Aspekte in dem jeweiligen Bereich, die wiederum in der newtonschen Lehre (bzw. dem Lehrgebäude) zusammenlaufen.

¹² Für die Chemie sei an die Philosophie der Mathematik und die wenigen Beiträge zur Philosophie der Chemie erinnert, die Verbindung zwischen Naturwissenschaften und Mathematik ist in ihrem Anwendungsbereich der Mathematik auf die Naturwissenschaften offensichtlich.

unterschiedlich stark verwendet worden. In einer Subdisziplin der Mathematik – der Geometrie – lässt sich die Methode der Synthese in einem exakten Bezugsrahmen finden, deren einzelne Elemente logisch aufeinander aufbauen. Nach einer kurzen Einführung in die Teilgebiete der Geometrie wird die synthetische Geometrie im Folgenden genauer betrachtet.

In der Mathematik lässt sich eine große Zahl von geometrischen Spezialgebieten finden, die sich auf unterschiedliche Fragestellungen spezialisiert haben. In der Geometrie sind diese Spezialgebiete, nach ihren methodischen Vorgehensweisen (synthetisch bzw. analytisch) benannt. Folgende Subkategorien lassen sich zur Teildisziplin der Geometrie zählen: projektive Geometrie, affine Geometrie, Ähnlichkeitsgeometrie, euklidische Geometrie, nicht-euklidische Geometrie, Differentialgeometrie, algebraische Geometrie, Konvexgeometrie, synthetische Geometrie, analytische Geometrie und algorithmische Geometrie. Allen ist die Untersuchung und Beschäftigung mit mathematisch-mehrdimensionalen Formen gemein. Im Folgenden wird die euklidische Geometrie als eine frühe, grundlegende Form der synthetischen Geometrie behandelt.

Die Entwicklung und Historie dieser synthetischen Geometrie lässt sich mit Blick auf die Antike nachzeichnen, ist also die älteste Synthesemethode, die in dieser Untersuchung behandelt und beschrieben wird. Die grundlegende Form synthetischer Geometrie wurde von Euklid¹³ als kategorisch-deduktive Wissenschaft begründet.¹⁴ Von mehreren überlieferten Schriften ist die Abhandlung „Elemente“ das für die Anfänge der Geometrie bedeutendste Werk, da hier das Grundgerüst für den Anfang der synthetischen Geometrie gelegt worden ist. Die „Elemente“ sind ein zusammenhängendes deduktives Netzwerk aus 465 Sätzen, das neben der Elementargeometrie auch anfängliche Beiträge zur Algebra und der Zahlentheorie enthält. Weiterhin sind die „Elemente“ das älteste überlieferte Beispiel eines axiomatischen Systems, das zugleich den Ansatz der synthetischen Methode enthält.

Der Aufbau des Werkes der „Elemente“ gestaltet sich systematisch und setzt sich folgendermaßen zusammen:

¹³ Euklid von Alexandria war ein griechischer Mathematiker, der nach bisherigen Erkenntnissen im dritten Jahrhundert v. Chr. in Alexandria gelebt hat und dessen mathematisches Verständnis durch die platonische Lehre geprägt war.

¹⁴ Vgl. Schönbeck (2003): Euklid – Um 300 vor Christus, S. 79f.

- 1) Als Erstes werden in „Elemente“ die grundlegenden technischen¹⁵ Termini des Diskurses eingeführt und ihre Bedeutung erklärt. Diese grundlegenden Termini werden primitive Terme genannt.
- 2) Anschließend wird eine Liste von Grundaussagen über die primitiven Terme erstellt. Diese Aussagen müssen vor dem Hintergrund der zuvor gegebenen Erklärung für wahr gehalten werden. Diese Grundaussagen werden Axiome genannt.
- 3) Dann werden alle weiteren technischen Termini unter Zuhilfenahme früher eingeführter Terme definiert. Technische Termini, die nicht primitive Termini sind, heißen dementsprechend definierte Terme.
- 4) Schließlich werden alle weiteren Aussagen logisch aus bereits zuvor als wahr angenommenen oder bewiesenen Aussagen deduziert. Diese abgeleiteten Aussagen heißen Sätze (Theoreme).¹⁶

In den „Elementen“ folgen auf die Definitionen fünf Postulate, aus denen wiederum die logischen Axiome folgen. Die erste Definition, die Euklid gibt, lautet: Ein Punkt ist, was keine Teile hat.¹⁷ Dies ist ein Grundsatz, der für wahr gehalten werden muss, um ihn im System zu verwenden. Durch diese Definition wird gewissermaßen auch die Richtung deutlich, in der das euklidische System zu verorten ist. Durch Definitionen wie diese erste wird die Geometrie von vornherein entmaterialisiert bzw. idealisiert. Der Punkt (ebenso die Linie etc.) werden hier, ganz im Sinne der platonischen Lehre, zu idealisierten Objekten. Idealisiert sind sie, weil sie sich nicht notwendig in der Welt wiederfinden.

Axiome und Postulate sind die auf den primitiven Termen aufbauenden Bestandteile des euklidisch-geometrischen Systems. Die synthetische Methode selbst kann man in dem zuvor beschriebenen Aufbau sehen. Aus den primitiven Termen setzen sich die Axiome zusammen, die wiederum zu Theoremen zusammengefügt werden können. Die auf den Definitionen aufbauenden Postulate sind folgende:

1. Es ist möglich, dass man von jedem Punkt nach jedem anderen Punkt eine Strecke ziehen könne.

¹⁵ Technisch ist hier als ein logisches Werkzeug der Umsetzung zu betrachten.

¹⁶ Vgl. Trudeau (1998): Die geometrische Revolution, S. 7.

¹⁷ Vgl. Euklid: Die Elemente, Buch I. Hrsg. u. übers. Von Clemens Thaer, 4. erw. Auflage (2005).

2. Es ist möglich, dass man eine begrenzte gerade Linie zusammenhängend gerade verlängern könne.
3. Es ist möglich, dass man mit jedem Mittelpunkt und Abstand den Kreis zeichnen könne.¹⁸

Eine Forderung, die sich aus der axiomatischen Vorgehensweise in der synthetischen Geometrie ergibt, ist, dass die Beweiskraft der Anschauung ein zu überwindendes Element darstellt. Das bedeutet, die Anschauung darf kein strukturierendes oder evidentes Mittel der Beweisführung sein. Das Leitbild der synthetischen Geometrie stellt die axiomatische Theorie dar, die sich nicht durch und für die Anschaulichkeit ihrer selbst entwickelt.

Die Methode der Synthese, die ebenfalls die Leitmethode der „Elemente“ und somit der Geometrie Euklids darstellt, wird hier als formal-logische Operation begriffen. Sie benötigt keinen materiellen Zugang für ihre Durchführung oder zu ihrer Beweisführung, der sich beispielsweise in einem experimentellen Bezugsrahmen zeigen könnte, damit sie selber als beweisbar bzw. einzelne Elemente ihrer Theorien als bewiesen gelten können. Das heißt, sie ist in ihrem Konzept nicht abhängig von einer Beschaffenheit der Materie. Dennoch hat sie gleichzeitig, wie die gesamte Geometrie einen Anwendungsbezug in der Welt, der darin besteht, dass sie auf die Welt konkret anwendbar ist, beispielsweise bei Landvermessungen. Das strikte Schema, nach dem Euklid die „Elemente“ konstruiert hat (1. primitive Terme, 2. Axiome, 3. Sätze) wird an einer Stelle des Buches XIII der „Elemente“ gebrochen, in dem eine Passage über die Methoden „analytisch“ und „synthetisch“ eingefügt ist. Analytisch heißt nach Euklid: *„Eine Analysis ist die Zugrundelegung des Gefragten als anerkannt um seiner auf anerkannt Wahres führenden Folgerungen willen.“*¹⁹ Die analytische Methode zeichnet sich nach Euklid also dadurch aus, dass sie ein Rückführungsmoment beinhaltet und ein bereits gesichertes Bewiesenes voraussetzt. Die synthetische Methode wird hingegen definiert als: *„Eine Synthesis ist die Zugrundelegung des Anerkannten um seiner auf Vollendung oder Ergreifung des Gefragten führenden willen.“*²⁰ Die synthetische Methode gilt Euklid augenscheinlich als Methode zur Erweiterung des Wissens und stellt einen lösungsorientierten Ansatz dar. Die Synthese kann hier als Methode des Beweisens angese-

¹⁸ Vgl. Ebd.

¹⁹ Euklid: Die Elemente, Buch XIII. Hrsg. u. übers. von Clemens Thaer, 4. erw. Auflage (2005).

²⁰ Ebd.

hen werden. Die analytische Vorgehensweise kann als Methode aufgefasst werden, die nichts beweist, sondern überprüfbar macht, ob bereits Bewiesenes mit anderen Resultaten harmoniert. Man kann an dieser Stelle nicht von einer wissensgenerierenden Methode, sondern vielmehr von einer vergleichenden Methode sprechen. Die analytische Methode kann also als ein Werkzeug oder auch ein Hilfsmittel für das Aufstellen von Beweisen oder die Stellung von Sätzen im Gesamtgefüge verstanden werden. Demnach ist die Synthese in der euklidischen Denkart die einzige Methode, die mathematisches Wissen hervorzubringen vermag.

Der Rahmen der methodischen Systematik birgt Konsequenzen für die Durchführung der Methode. Eine Konsequenz dieses methodischen Aufbaus zeigt sich bereits zu Beginn des Verfahrens, die gleichfalls zur Kritik der Methode führt. Die primitiven Terme und die Grundaussagen über selbige werden gesetzt, beruhen also selber auf keinerlei Beweisen. Der Ausgangspunkt der synthetischen Methode ist somit variabel, solange er der logischen Argumentation und logischen Gesetzen standhält.

Man muss sich das Problem des variablen Denkansatzes bewusst machen. Die Variabilität führt zu dem Problem des Individuums, der individuellen Denkart. Das heißt, Individuum A besitzt einen anderen Denkrahmen, eine andere Denkstruktur als Individuum B. Nimmt man an, dass diese Denkstruktur auch von persönlichen Mustern²¹ begleitet wird, ist die jeweilige Denkart von Individuum A mit Individuum B nicht kommensurabel. Dieses Problem relativiert sich jedoch dahingehend, dass unterschiedliche Denkansätze in der synthetischen Geometrie zu gleichen Ergebnissen führen müssen, was die logische Struktur der Geometrie fordert. Somit kann erst einmal konstatiert werden, dass die Kritik nicht innerhalb des methodischen Vollzugs liegt, sondern vielmehr temporär ihre Berechtigung hat. Das heißt, vor der Durchführung der Synthesemethode, vor ihrem Beginnen setzt die Kritik an und nicht während der Durchführung. Dieser Kritik kann entgegnet werden, dass die methodisch-synthetische Vorgehensweise strikt, stringent und genau durchgeführt werden und alles logisch auseinander deduziert werden muss. An der Methode selber greift dieser

²¹ Als persönliches Muster wird hier ein Konglomerat von Erfahrungen, Vor-Bildung sowie Interessen einer Person bezeichnet.

Kritikpunkt also nicht. Der Beweis bleibt bei der synthetischen Geometrie Euklids das geforderte Element der methodischen Durchführung. Er ist methodisch zwingend und notwendig.

Dem Geometriker kann man ein weiteres kritisches Argument entgegenen. Da die grundlegenden Terme von ihm selber gesetzt werden und er auf diesen sein System aufbaut, ist nicht gänzlich von der Hand zu weisen, dass er diese grundlegenden Terme auch intuitiv gesetzt hat. Zwar kann der Geometriker, sobald er bemerkt, dass sein logisch-deduktiv abgeleitetes System Fehler beinhaltet, das logische System ändern, jedoch wird er sich schwerlich von seiner Intuition zur Gänze lösen können.²² Wenn man also davon ausgeht, dass Intuition die Auswahl und das Konstruieren der primitiven Terme mitgestaltet, dann ist die Konkretisierung des Ausgangspunktes wie zuvor bei der individuellen Denkstruktur das Problem. Die Methode des Synthetisierens in der euklidischen Geometrie selber betrifft es jedoch nicht. Schließlich ist gefordert, dass die Beweisführung logisch und formal korrekt, also nachvollziehbar ist.

2.2 Eine Einführung zur Synthese in der Philosophie

Die Synthese in der Philosophie steht für eine methodische Vorgehensweise, die als Beweis-, Konstruktions- und Begründungsverfahren dient.²³ Seit der Antike ergänzt dieses Verfahren die Analyse von Problemstellungen und schließt als überprüfende Methode den Prozess der Problemlösung ab. Meistens bezieht sich die synthetische Methode (sowie die analytische) auf die Sprachphilosophie. Gerade in der Sprachphilosophie offenbart sich das Problem einer Einteilung in synthetische und analytische Aussagen. Denn eine mögliche Einteilung ist relativ und zeitabhängig. Eine zuerst als analytisch deklarierte Aussage kann durch eine andere Terminologie zu einer synthetischen werden und umgekehrt. So bleibt

²² Vgl. Trudeau (1998): Die geometrische Revolution, S. 13 f.

²³ Vgl. Mainzer, K.: Synthese, in: Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie. Bd. 4, (1996), S. 179.

die Klassifizierung und Zuordnung der Aussage als synthetische und analytische nur innerhalb eines Sprachsystems konkret.²⁴

Eine Zeitabhängigkeit der Vorrangstellung der Synthese vor der Analyse und vice versa lässt sich durch die Philosophiegeschichte beobachten. Im 18. Jahrhundert befand sich die Synthese durch Immanuel Kants „Kritik der reinen Vernunft“ bzw. der Leitfrage aus diesem Werk: Wie sind synthetische Urteile a priori möglich? im Mittelpunkt der neuen und viele Generationen nach Kant beeinflussenden Transzendentalphilosophie. Im 20. Jahrhundert – vor allem zu dessen Beginn – wurde die analytische Sprachphilosophie als ein aufstrebender Zweig der Philosophie gewertet, deren Entwickler, wie Ludwig Wittgenstein, Rudolph Carnap, Bertrand Russell, Otto Neurath u. a. viele Ansätze für die analytische Sprachphilosophie aus der Mathematik herleiteten.

Bei der Behandlung der Synthese in der Philosophie wird bereits schon jetzt deutlich, dass Synthese und Analyse schwerlich zu trennen sind und als komplementäre Methodenbegriffe aufgefasst werden können.

Des Weiteren ist aus der Entwicklung im 20. Jahrhundert zu erkennen, dass dem synthetisch-methodischen Vorgehen in der Philosophie im 20. Jahrhundert eine geringere Bedeutung zukommt. Dieses liegt vor allem an dem beachtlichen Einfluss der analytischen Sprachphilosophie im 20. Jahrhundert. Diese Entwicklung – die Analyse der Synthese vorrangig zu behandeln – hat seit dieser Zeit bis heute angehalten.

Bei Immanuel Kant nimmt die Synthese in Form des Begriffes der Synthesis eine zentrale Rolle in seiner Transzendentalphilosophie ein. Im deutschen Idealismus sowie der Phänomenologie ist die Bedeutung der Synthese zu erkennen. Sowohl in der kantischen Philosophie, aber auch in den Konzepten der Phänomenologie Hegels bzw. in der dargestellten Dialektik, ist die Synthese ein Bestandteil des jeweiligen philosophischen Wirkens. Doch in der Gegenwart werden der Begriff und das methodische Konzept der Synthese häufig kritisiert. Man versucht sie durch andere Begriffe bzw. andere Methodenansätze zu ersetzen.²⁵ Ein Grund dafür wäre möglicherweise das Favorisieren induktiver Vorgehensweisen in der

²⁴ Vgl. Wessel, H.: Analyse, in: Philosophie und Naturwissenschaften – Wörterbuch zu den philosophischen Fragen der Naturwissenschaften, Bd. 1 (1991), S. 54.

²⁵ Vgl. Hoppe, H.: Synthese, in: Historisches Wörterbuch der Philosophie, Bd. 10, (1998), S. 819.

Forschung, die häufig mit dem analytischen Ansatz verbunden werden oder auch, dass eine synthetisch-methodische Vorgehensweise als zu unpräzise erachtet wird.

Die folgende Kategorie behandelt die Rolle der Synthese bei Kant. Im Rahmen der Transzendentalphilosophie, die nach den Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis sucht, wird der Begriff der Synthesis in verschiedener Weise verwendet, was im Folgenden gezeigt und aufgeschlüsselt werden soll.

2.2.1 Die formal-materiale Kategorie – Synthesiskonzepte bei Kant

Kants Synthesiskonzeptionen, die in der „Kritik der reinen Vernunft“ dargelegt wurden, zeigen die Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis, die zwischen einem Subjekt und der Welt existieren. Im Rahmen der Transzendentalphilosophie und der Frage nach synthetischen Urteilen a priori sollen die verschiedenen Momente der Synthesis, die Kant unterscheidet, hervorgehoben werden. Dennoch muss schon von vornherein darauf hingewiesen werden, dass für diese Untersuchung lediglich fragmentarisch auf das kantische System eingegangen wird. Dadurch wird man eher der quantitativen Bedeutung der Synthesiskonzeptionen gewahr, als einer ausführlichen und qualitativen. Das heißt, es ist nicht möglich, jedoch auch nicht erforderlich, die gesamte Transzendentalphilosophie auszuführen und zu interpretieren, um die Bedeutung der Synthesis in ihrem Umfang und ihrer grundsätzlichen Bedeutung aufzuzeigen.

Die Synthesis definiert sich im Rahmen der Erkenntnistheorie und wird als die Handlung verstanden, die verschiedene Vorstellungen zusammenbringt, um ihre Mannigfaltigkeit in einer Erkenntnis zu begreifen. Das Konzept der kantischen Synthesis entfaltet sich in der Transzendentalphilosophie, bezieht sich also auf die Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis, wobei die Synthesis auf verschiedene Weisen, innerhalb der Verknüpfung von reiner Erkenntnis (a priori), sowie Erkenntnis, die auf Erfahrung (a posteriori) beruht, angewendet wird.

Die Operation des Zusammenfügens bei Kant besteht auf zwei verschiedenen Ebenen, was sowohl den Umfang der kantischen Philosophie, als auch die Bedeutung der Synthese in

dieser zeigt. Das Zusammenfügen von Begriffen, sowie das Zusammenfügen von Vorstellungen sind ebenso immanent, wie das von Kant behandelte Zusammenfügen von Erfahrungen. Die von Kant angestrebte Verschmelzung von Empirismus und Rationalismus ist eine Grundlage seiner Erkenntnistheorie, was man als synthetisches Anliegen bezeichnen kann.

Das Moment der Synthesis gelangt bei Kant, in den Bereichen von Rationalismus und Empirismus, sowie zwischen ihnen, immer wieder in den Fokus, weshalb diese Kategorie eine formal-materiale heißt. Der Begriff des formal-materiale ist für das Synthesiskonzept Kants deshalb gewählt, weil sich das Synthetische sowohl in den reinen Begriffen (formal), sowie in Erfahrungen und Vorstellungen von der Welt (material) finden lässt. Die Synthesis ist die Bildung der Einheit von Vorstellungen, wobei die Einheitsbildung auf die vorgestellte Welt bezogen werden soll. Das heißt, man hat es in dieser Synthesekategorie mit einer logischen Kategorie zu tun, die dennoch auf die materielle Welt anwendbar sein soll und in dieser Welt angewandt wird. Man muss also bei der Betrachtung der kantischen Synthesis immer den Kontext berücksichtigen und ob man sich gerade im Bereich der Verstandesbegriffe oder der Erfahrung bewegt.

2.2.2 Die Momente der Synthesis

Bei Kant beruht die Erkenntnis, als eine Leistung des Subjekts, auf einer Synthesis. Eine der Thesen Kants ist, dass erst durch die Synthesis das Mannigfaltige der Sinnesempfindungen eine Beziehung zu konkreten Gegenständen erhält. Somit kann man die Synthesis als eine Art Ordnungsprozess verstehen. Dieser Ordnungsprozess betrifft den gesamten Bereich der menschlichen Vorstellungen.

In diesem Zusammenhang werden die Begriffe analytisches Urteil und synthetisches Urteil definiert. In den Urteilen geht es um das gedankliche Schließen, wie ein Prädikat zum Subjekt gedacht wird ($S \text{ ist } P$). Wenn das Prädikat bereits im Subjekt enthalten ist, sei es in offensichtlicher oder versteckter Weise, spricht Kant von einem analytischen Urteil. Dieses Urteil erweitert das Subjekt in keiner Weise. Bei dem synthetischen Urteil hingegen erweitert das Prädikat das Subjekt und steht mit ihm in Verbindung, obwohl das Prädikat außer-

halb des Subjekts liegt, weshalb Kant auch von Erweiterungsurteil spricht.²⁶ Diese beiden Urteilsformen können a priori oder a posteriori existieren. Urteile, die durch Erfahrung gefällt werden, sind somit a posteriori und nach Kant auch insgesamt synthetisch.²⁷ Das Verbinden von Erfahrungen mit dem entsprechenden Subjekt bedeutet immer ein Hinzufügen. Die Erfahrung ist selbst eine synthetische Verbindung vermittelt der Anschauung. Synthesis (bzw. Synthesis a priori) heißt für Kant nun ein neuer Erwerb von Erkenntnis. Denn hier kann man die Verstandesleistung entdecken, welche ohne das Hinzutun von Erfahrung, Erkenntnisse aus dem Verstand selber produziert.²⁸ Nach Kant ist also die Synthesis eine Leistung des Denkens, ebenso ist die Erfahrung eine synthetische Leistung des Denkens.²⁹ Um überhaupt zu Urteilen zu gelangen, braucht es ein Instrument, das nach Kant der Verstand ist. Der Verstand ist „*das Vermögen zu urteilen*“.³⁰ Alle Handlungen des Verstandes lassen sich auf Urteile zurückführen. Um die Urteile und die ihnen zugrundeliegenden Begriffe zu ordnen, sie von ihrem Inhalt abstrahiert zu betrachten, gibt die bloße Form des Verstandes die Kategorien vor, nach denen Urteile gefällt werden können. Dieses System der reinen Verstandesbegriffe stellt die Grundfunktion des Denkens (und somit die Fähigkeit Urteile zu fällen) in vier Hinsichten dar: 1) die Qualität der Urteile; 2) die Quantität der Urteile; 3) die Relation der Urteile; 4) die Modalität der Urteile.³¹ Die reinen Verstandesbegriffe benötigen jedoch das Mannigfaltige der Sinnlichkeit, um nicht leer zu sein und um Urteile darüber zu fällen. Nach Kant ist der Verstand ohne die Sinne leer, die Sinne ohne den Verstand sind blind.

Eine Quelle aller synthetischen Einheit der Erkenntnis ist die transzendente Einheit der reinen Apperzeption.³² Diese Einheit findet sich wiederum in den Verstandeskategorien, die nur verschiedene Arten dieser synthetischen Einheit darstellen.³³

²⁶ Vgl. Kant (1976): Kritik der reinen Vernunft, B 11/ A 7.

²⁷ Vgl. Ebd., B 12/ A 8.

²⁸ Vgl. Ebd., B 14/ A 10.

²⁹ Vgl. Eisler (1984): Kant-Lexikon, S. 521.

³⁰ Kant (1976): Kritik der reinen Vernunft, B 94/ A 69.

³¹ Vgl. Ebd., B 95/ A 70.

³² Apperzeption: Die reine Apperzeption ist das spontane ursprüngliche Selbstbewusstsein des „ich denke“. Das Ich ist in diesem Sinne die bloße logische Einheit des Subjekts. Nach Kant muss das Selbstbewusstsein alle Vorstellungen begleiten können, weil sonst etwas in dem Subjekt vorgestellt würde, was es selber nicht denken könnte.

³³ Vgl. Eisler (1984): Kant-Lexikon, S. 521.

Die Erkenntnisquellen, aus denen a priori diverse synthetische Erkenntnisse entnommen werden können, sind Raum und Zeit. Diese beiden sind reine Anschauungsformen, da es nicht möglich ist, eine Vorstellung davon zu haben, dass kein Raum ist bzw. etwas außerhalb der Zeit geschieht. Raum und Zeit sind somit *vor* jeder Erkenntnis in der Vorstellung bereits gegeben. So sind synthetische Sätze a priori in der Anschauung möglich und können für Objekte möglicher Erfahrungen gelten.³⁴ Raum und Zeit enthalten ebenfalls ein Mannigfaltiges, nämlich das der reinen Anschauung a priori, gehören aber genauso zu den Bedingungen der Sinnlichkeit. Dieses Mannigfaltige muss eine Verbindung eingehen. Dazu ist die Spontaneität des Denkens erforderlich, erst dann kann eine Erkenntnis daraus entstehen. Dieses Sich-Verbinden ist eine Handlung, also ein aktiver Prozess, welchen Kant Synthesis nennt.³⁵

Ebenfalls kann man Raum und Zeit als ein Zusammengesetztes bezeichnen, da beide in der Vorstellung bzw. durch die Vorstellungskraft nicht als getrennt voneinander vorgestellt werden können. Sie sind insoweit verbunden, dass das eine immer zugleich mit dem anderen vorgestellt wird. Ohne mit diesem Aspekt auf die Physik des 20. Jahrhunderts anspielen zu wollen, kann man dieses Zusammengesetzte als *Raumzeit* fassen.

Um Begriffe durch synthetische Handlungen zu vergleichen, ist nach Kant eine dritte Komponente nötig, wodurch die Synthesis zweier Begriffe überhaupt erst entstehen kann. Diese dritte Komponente ist die Zeit, in der alle Vorstellungen existieren. Die Synthesis der Vorstellungen beruht auf der Einbildungskraft, ihre Synthesis beruht auf der Einheit der Apperzeption. Diese drei enthalten die Möglichkeiten zu Vorstellungen a priori, wodurch es möglich ist, reine synthetische Urteile in der Zeit zu finden.³⁶

Ein weiteres Synthesismoment ist die Synthesis der Apprehension.³⁷ Sie ist die Zusammensetzung des Mannigfaltigen in einer empirischen Anschauung, wodurch die Wahrnehmung des Subjektes als eine Erscheinung möglich wird. Diese Wahrnehmung von Objekten in der Einbildungskraft³⁸ beruhen auf der Synthesis der Apprehension. Möglich wird dieses durch

³⁴ Vgl. Kant (1976): Kritik der reinen Vernunft, B 66/ A 48, 49.

³⁵ Vgl. Ebd., S. B 102, 103/ A 77.

³⁶ Vgl. Ebd., A 115, 116.

³⁷ Apprehension: Sie ist nach Kant die Zusammenfassung eines Mannigfaltigen in der Wahrnehmung.

³⁸ Die Einbildungskraft gilt als das Vermögen, sich einen Gegenstand in Abwesenheit des selbigen in der Anschauung vorzustellen.

die Voraussetzung einer Einheit der Anschauung, die als verknüpfende Funktion fungiert.³⁹ Auch diese Synthesis muss den Anschauungsformen Raum und Zeit gemäß sein, weil allein durch diese beiden Formen eine Vorstellung erst möglich wird. Die Synthesis der Apprehension ist empirieabhängig und muss der Synthesis der Apperzeption, welche intellektuell und gänzlich a priori in den Kategorien enthalten ist, notwendig gemäß sein. Bei beiden ist dieselbe Spontaneität gefordert, welche bei der Apprehension unter dem Namen der Einbildungskraft, bei der Apperzeption unter Bezug auf den Verstand in Erscheinung tritt und welche das Mannigfaltige der Anschauung verbindet.

Die Synthesis des Mannigfaltigen der sinnlichen Anschauung kann figurlich sein, was Kant als *Synthesis speciosa* bezeichnet. Diese muss von der *Synthesis intellectualis* differenziert werden, welche die Verstandesbedingung bezeichnet und in einer bloßen Verstandeskategorie gedacht werden würde. Beide sind transzendental, sind selbst a priori gegeben und ermöglichen eine andere Erkenntnis a priori.⁴⁰ Die figurliche Synthesis heißt weiterhin, wenn sie als transzendente Einheit (die in den Kategorien gedacht wird) gilt, im Unterschied zur Verstandesverbindung, die transzendente Synthesis der Einbildungskraft. Diese Einbildungskraft gilt als das Vermögen, sich einen Gegenstand in Abwesenheit desselbigen in der Anschauung vorstellen zu können.⁴¹

Das Bewusstsein muss eine Einheit gemäß einer Synthesis darstellen, denn nur so ist eine objektive Bedingung aller Erkenntnis gegeben. Dieses ist überhaupt erst die Bedingung einer Objektwerdung des Objekts für das Subjekt, denn ohne diese synthetische Einheit gelangt das Mannigfaltige nicht in das Bewusstsein.⁴² Da alle Anschauung sinnlich ist, gehört ebenso die Einbildungskraft zur Sinnlichkeit. Wenn aber die Synthesis der Einbildungskraft eine Ausübung von Spontaneität ist, dann kann die Einbildungskraft die Sinnlichkeit a priori bestimmen. Ihre Synthesis der Anschauung ist, nach den Kategorien, die transzendente Synthesis der Einbildungskraft. Sie wirkt vom Verstand auf die Sinnlichkeit.

³⁹ Vgl. Eisler (1984): Kant-Lexikon, S. 521.

⁴⁰ Vgl. Kant (1976): Kritik der reinen Vernunft, B 151.

⁴¹ Vgl. Ebd., B 151.

⁴² Vgl. Ebd., B 143, 144.

Eine empirische Synthesis der Reproduktion kommt erst zustande, wenn eine Synthesis der Einbildungskraft a priori besteht. So sind reproduktive Synthesis und Synthesis der Apprehension miteinander verbunden.⁴³

Ein weiteres Synthesis-Moment in der kantischen Transzendentalphilosophie ist die Synthesis der Rekognition, die das Wiedererkennen eines Gegenstandes als identisch mit einem anderen Gegenstand erst möglich macht. Sie führt also das Identifizierungsprinzip von Gegenständen mit sich.⁴⁴

Die Synthesis ist nach Kant nicht nur Verstandesleistung und Erkenntnismoment der sinnlichen Anschauung, sondern sie kann zudem auch noch in Form einer Wirkung in Erscheinung treten. Die Synthesis zeigt sich als Wirkung, wo die Einbildungskraft als eine blinde Funktion der Seele fungiert. Diesem Zustand ist sich das Erkenntnissubjekt jedoch kaum bewusst. Die Einbildungskraft ist jedoch nicht blind, wenn der Verstand die Synthesis der Wirkung auf Begriffe bezieht und so eine Verstandeserkenntnis entstehen kann.⁴⁵

Durch die Methoden der Analyse und Synthese unterscheidet Kant in einem anderen Sinne als bisher eröffnet auch die allgemeine von der transzendentalen Logik. Denn die allgemeine Logik bringt durch die Analyse verschiedene Vorstellungen unter einen Begriff, wohingegen die transzendente Logik lehrt, die reine Synthesis der Vorstellungen auf Begriffe anzuwenden. Die allgemeine Logik hält Kant für nicht brauchbar eine Erklärung der Möglichkeit synthetischer Urteile überhaupt zu geben. Die transzendente Logik fokussiert diese Erklärung sowie ihre Bedingungen und kann damit die Grenzen der Gültigkeit aufzeigen. So kann die transzendente Logik auch den Zweck erfüllen, den Umfang des reinen Verstandes zu bestimmen.

Der Vorgang der Synthesis ist ein Prozess, der vom erkennenden Subjekt aktiv verrichtet wird. Verbinden bedeutet nach Kant also Aktivität. Der Begriff des aktiven Verbindens trägt die Begriffe des Mannigfaltigen und dessen Synthesis, sowie den der Einheit in sich. „*Verbindung ist Vorstellung der synthetischen Einheit des Mannigfaltigen.*“⁴⁶ Überhaupt

⁴³ Vgl. Eisler (1984): Kant-Lexikon, S. 523.

⁴⁴ Vgl. Ebd., S. 523.

⁴⁵ Vgl. Kant (1976): Kritik der reinen Vernunft, B 104, 105/ A 78, 79.

⁴⁶ Ebd., B 130, 131.

kann die Verbindung eines Mannigfaltigen nur durch einen Akt der Spontaneität der Vorstellungskraft zustande kommen, was Kant wiederum als eine Synthesis bezeichnet.⁴⁷

Der Begriff der Verbindung ist vom Begriff der Synthesis in dem Sinne verschieden, dass ersterer die Synthesis, sowie den Begriff des Mannigfaltigen und den Begriff der Einheit enthält. Somit ist der Begriff der Verbindung als ein Übergeordneter zu erkennen, der Mannigfaltiges durch die Synthesis zu einem einheitlichen Konstrukt überführen kann.⁴⁸

Erfahrung ist als empirische Synthesis die einzige Erkenntnisart, welche allen anderen Formen der Synthesis zur Realität verhilft. Sie erlangt Erkenntnis dadurch, dass sie nur enthält, was zur synthetischen Einheit der Erfahrung notwendig ist. Somit ist das Prinzip aller synthetischen Urteile: *„Ein jeder Gegenstand steht unter den nothwendigen Bedingungen der synthetischen Einheit des Mannigfaltigen der Anschauung in einer möglichen Erfahrung.“*⁴⁹ So sind synthetische Urteile möglich. Als Voraussetzung dafür müssen sich die formalen Bedingungen der Anschauung a priori, die Synthesis der Einbildungskraft und die notwendige Einheit selbiger in einer transzendentalen Apperzeption auf eine potentielle Erfahrungserkenntnis beziehen.⁵⁰ *„Die Bedingungen der Möglichkeit der Erfahrung überhaupt sind zugleich Bedingungen der Möglichkeit der Gegenstände der Erfahrung und haben darum objective Gültigkeit in einem synthetischen Urteile a priori.“*⁵¹

Im Gegensatz zu einem allgemeinen wissenschaftlichen und philosophischen Trend, auf den eingangs verwiesen wurde, die Analyse als vorrangige Erkenntnis- und Untersuchungsmethode zu verwenden und dieses Vorgehen dann logisch oder disziplinintern zu rechtfertigen, hält Kant die Synthese für den ersten Ursprung der menschlichen Erkenntnis. *„Die Synthesis eines Mannigfaltigen aber (es sei empirisch oder a priori gegeben) bringt zuerst eine Erkenntniß hervor, die zwar anfänglich noch roh und verworren sein kann und also der Analysis bedarf; allein die Synthesis ist doch dasjenige, was eigentlich die Elemente zu Erkenntnissen sammelt und zu einem gewissen Inhalte vereinigt; sie ist also das*

⁴⁷ Vgl. Eisler (1984): Kant-Lexikon, S. 522.

⁴⁸ Vgl. Ebd., S. 522.

⁴⁹ Kant (1976): Kritik der reinen Vernunft, B 197, 198/ A 158, 159.

⁵⁰ Vgl. Ebd., B 197, 198/ A 158, 159.

⁵¹ Ebd., B 197, 198/ A 158, 159.

*erste, worauf wir Acht zu geben haben, wenn wir über den ersten Ursprung unserer Erkenntnis urteilen wollen.*⁵² Somit behandelt Kant die Synthese gegenüber der Analyse vorrangig und bewertet den Prozess selbiger als den wirklichen Erkenntnisakt. Die Synthesis bzw. ihr Vermögen ist also unerlässlich für die Entstehung von Erkenntnis.

Als Anknüpfungspunkte zu seiner Transzendentalphilosophie setzt Kant Metaphysik und Mathematik mit seinem Konzept der Synthesis in Beziehung und erläutert die Rolle selbiger in der jeweiligen Disziplin.

Die Mathematik ist für Kant die Disziplin, die einer wirklichen Wissenschaft entspricht. Sie wird deshalb als eine Wissenschaft definiert, weil sie synthetische Urteile beinhaltet, die nicht empirisch sind.⁵³ Eine weitere Disziplin die synthetische Urteile a priori enthält und darum als eine Wissenschaft nach Kant gelten kann, ist die Physik nach Sir Isaac Newton, also im Wesentlichen die klassische Mechanik. Dass die Physik als Prinzipien in sich synthetische Urteile a priori enthält, macht Kant an der Beschäftigung der Physik mit Materie fest, denn man denkt sich in dem Begriff der Materie ihre Gegenwart im Raum, sowie die Ausfüllung im Raum, womit man über den bloßen Begriff der Materie hinausgeht und a priori ein synthetisches Urteil fällt.

Die Metaphysik besteht nach Kant zumindest ihrem Zweck nach aus synthetischen Urteilen a priori. Denn vor allem bei metaphysischen Fragestellungen kann die Erfahrung keinen sinnvollen Beitrag leisten, da Erkenntnis hier nicht mehr erfahrbar ist, da sie hinter jedweder Anschauung liegt. Synthetische Urteile in der Metaphysik gehen über jede Erfahrung hinaus. Ihrem Zweck nach werden synthetische Urteile a priori in der Metaphysik dennoch gebildet, da hier im Gegensatz zur Mathematik und Physik der Inhalt nicht durch ihre Wirklichkeit bewiesen werden kann. Allerdings ist Metaphysik als Naturanlage möglich, da die Vernunft von Natur aus getrieben wird, Fragen, die die Metaphysik betreffen, nachzugehen.⁵⁴

⁵² Ebd., B 104, 105/ A 78, 79.

⁵³ Vgl. Ebd., B 15, 16.

⁵⁴ Vgl. Ebd., B 18, 19.

Die Synthesiskonzeption der Transzendentalphilosophie wurde von Kant weiterentwickelt. Dieses zeigt sich, wenn man die erste Auflage mit der zweiten Auflage der „Kritik der reinen Vernunft“ vergleicht. In der ersten Auflage teilt Kant die produktive Synthesis der Einbildungskraft in drei Synthesismomente: 1) die Synthesis der Apprehension in der Anschauung, 2) die Synthesis der Reproduktion in der Einbildung und 3) die Synthesis der Rekognition im Begriff. Diese drei Stufen konstituieren das Objekt, das im Fokus der Erkenntnis steht. In der zweiten Auflage der Kritik wird diese Dreiteilung nicht mehr vorgenommen.⁵⁵ Das bedeutet auch, die Verortung der Synthese bei Kant und die dahinter stehenden Konzepte besitzen durchaus eine Entwicklungsdynamik. Sie sind somit in einem bedingt fertigen Rahmen zu betrachten.

Im Vorherigen wurde aufgezeigt, dass in der Transzendentalphilosophie Kants die Synthese a) eine übergeordnete und b) eine zu differenzierende Rolle einnimmt. Die Synthese ist das maßgebliche methodische Kriterium für den Ursprung menschlicher Erkenntnis. Darüber hinaus gibt es nicht nur ein Synthesismoment, sondern im Bereich des Verstandes und der sinnlichen Erkenntnis viele Formen der Synthesis, die zusammengenommen einen Großteil der Funktionen des menschlichen Erkenntnisvermögens nach Kant ausmachen.

Da sich die Synthesismomente insgesamt, sowohl auf den reinen Verstand, als auch auf die sinnlich erfahrbare Anschauung beziehen und beide miteinander zu verbinden versuchen, ist die Bezeichnung formal-material adäquat. Es wird deutlich, dass die kantische Transzendentalphilosophie neben einer rein logischen Konzeption von Erkenntnis auch die Vorstellungen über die Welt, dass ein jedes Subjekt umgebende Materielle als wesentlicher Bestandteil des Erkenntnisvermögens beinhaltet. Schließlich kann man für die formal-kategoriale Kategorie noch von einem übergeordneten Synthesiskonzept sprechen, da Kant selber in seiner Transzendentalphilosophie versucht, alle Momente der Synthese des Erkenntnisvermögens zusammenzufassen und unter dem Vernunftvermögen zu vereinheitlichen.

⁵⁵ Vgl. Hoppe, H.: Synthese, in: Historisches Wörterbuch der Philosophie, Bd. 10, (1998), S. 819 f.

2.2.3 Die Wissenschaftsphilosophie Gaston Bachelards

Gaston Bachelard hält eine gegenseitige Wechselwirkung und Beeinflussung der Naturwissenschaften auf der einen Seite und der Philosophie auf der anderen Seite für die beste Lösung einer adäquaten Wissenschaftsphilosophie. Diese Wissenschaftsphilosophie soll die Naturwissenschaften nicht normativ beschränken, sondern sich an ihren jeweils neuesten Erkenntnissen orientieren und diese in ihre Philosophie mit einfließen lassen. Man hat es hier also mit einem spezifischen philosophischen Ansatz zu tun, dessen Forderung es ist, die Kenntnisse der Wissenschaften von Physik und Chemie für eine Wissenschaftsphilosophie zu berücksichtigen. Bachelard war studierter Physiker und Chemiker und hat diese beiden Disziplinen auch in der Schule unterrichtet. Eine Orientierung an wissenschaftlichen Fakten und die Behandlung seines philosophischen Ansatzes an einer Vielzahl von wissenschaftlichen und wissenschaftshistorischen Beispielen, sowie eine immer wieder durchklingende Kritik an naturwissenschaftlicher Lehre, Didaktik und Methodik prägen seine Werke. Dies ist die erste Bedeutung von Synthese in Bachelards Wirken. Seine Werke sind selbst eine Verbindung bzw. ein Verbund aus den Bereichen der Wissenschaft, der Wissenschaftsphilosophie, der Wissenschaftsgeschichte, der Didaktik und der Methodik. Bachelard verdeutlicht diese epistemologische Hybridstruktur in seinen Arbeiten wie „Le Nouvel esprit scientifique“ (1934), „La Formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychoanalyse de la connaissance objective“ (1938), „La Philosophie du Non“ (1940), „Le Rationalisme appliqué“ (1949). In diesen Werken zeigt sich eine Synthese interdisziplinärer Wissensgebiete.

Bachelards philosophischer Ansatz orientiert sich an den naturwissenschaftlichen Erkenntnissen von Physik und Chemie in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, wie der Quantenmechanik, Atomtheorie etc., und verwendet diese als Indizien für eine adäquate Philosophie dieser Naturwissenschaften. Damit wird auch der Grund deutlich, warum es für diese Untersuchung sinnvoll ist, neben der Synthesiskonzeption von Kant auch noch die Rolle der Synthese bei Bachelard zu analysieren. Es geht nämlich nicht allein darum, dass Bachelard mit synthetischen Ansätzen in seiner Philosophie arbeitet, sondern dass Bachelard zudem direkt die Philosophie mit der Naturwissenschaft (Physik und Chemie) verknüpft. Vor allem aber stellt die Chemie für Bachelard eine (Natur-)Wissenschaft dar, was beispielsweise

im Gegensatz zur kantischen Einordnung der Chemie in den Disziplinenkanon der Naturwissenschaften steht. Kant bezeichnete die Chemie seiner Zeit als *systematische Kunst*⁵⁶ und genügte damit seinem Anspruch an eine Wissenschaft, allgemeine und notwendige Erkenntnisse zu vermitteln, nicht.

Die Frage, ob die Chemie eine (Natur-)Wissenschaft ist oder nicht, wurde von anderen bereits ausführlicher diskutiert⁵⁷ und es soll hier davon ausgegangen werden, dass die Chemie und somit auch die Synthesechemie als eine Wissenschaft zu gelten hat. Mit der Wissenschaftsphilosophie Bachelards liegt somit ein Konzept vor, in dem die Chemie als eine Naturwissenschaft gilt. Bezieht man sich also auf diesen Ansatz, kann die Chemie als eine Wissenschaft angesehen werden, ohne ihren Status als Wissenschaft erst begründen zu müssen.

Bachelards Philosophie ist eine Philosophie der Gegensätze und der Komplementarität. Doch in eben diesen Gegensätzen lässt sich die Synthese gleich in mehrfacher Weise finden. Zum einen (a) als Strukturelement, dass das komplexe Gesamtkonstrukt seiner Philosophie im methodologischen Sinne synthetisch und keineswegs analytisch aufgebaut ist und somit die erste der beiden Synthesekategorien (die methodologische) darstellt und zum anderen b) als synthetische Denkleistungen bzw. Denkstile innerhalb der naturwissenschaftlichen Disziplinen der Physik und der Chemie, die Bachelard an konkreten wissenschaftlichen Beispielen darlegt. Diese zwei Aspekte, in denen sich Bachelard der Synthese auf unterschiedlich Weise widmet, werden im Folgenden aufgegriffen und erläutert.

2.2.4 Die methodologische Synthesekategorie

Der Begriff und das Konstrukt der Synthese finden bei Bachelard in einer nicht-utopischen Philosophie der Naturwissenschaften ihre Anwendung. Innerhalb seines wissenschaftsphilosophischen Systems besteht die Aufgabe für diese Philosophie der Naturwissenschaften

⁵⁶ Vgl. Kant (1997): *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, S. 7.

⁵⁷ Literatur, die diese Thematik behandelt: Psarros, Ruthenberg, Schummer (Hrsg.): *Philosophie der Chemie* (1996). und Brakel: *Philosophy of chemistry* (2000).

in einer Synthese von 1) rationaler Objektivität, 2) technischer Objektivität und 3) sozialer Objektivität.⁵⁸ Diese metatheoretische Form der Synthese beinhaltet gleich drei markante Punkte bzw. Forderungen des bachelardschen Konzeptes an eine Philosophie der Naturwissenschaften.

1) Die rationale Objektivität zeigt sich in der Philosophie Bachelards durch folgende Konzeptualisierung: Die rationale Objektivität gründet sich auf einem Rationalismus, genauer einem *Surrationalismus*. Der Surrationalismus ist keine Subkategorie des philosophischen Rationalismus, sondern besteht bzw. entsteht vielmehr durch eine Form der Unstetheit. Er ist offen und experimentell, er ist permanente Revolution. In diesem Rationalismus offenbart sich eine Dialektik, die wiederum nicht einer Synthesis wie in der Hegelschen Philosophie eine Auflösung erlebt, sondern die mittels ihrer Komplementarität bestehen bleibt bzw. gerade durch diese Komplementarität ihrer Gegensätze besteht. Diese Dialektik zeigt sich zwischen Empirismus und Rationalismus und findet ihrerseits zumindest eine begriffliche Synthese im *angewandten Rationalismus* oder auch *rationalen Materialismus*. Denn nach Bachelard offenbaren sich vor allem in der (Natur-)Wissenschaft, nicht allein im Geist (Rationalismus), noch allein in der Materie oder durch die Empirie wahrhaftige Momente des Erkennens. Weiterhin ist der Surrationalismus ein komplexer Rationalismus. Die Komplexität bezieht sich darauf, dass die Aufgabe der wissenschaftlichen Vernunft nicht eine Vereinfachung wissenschaftlicher Phänomene oder wissenschaftlicher Theorien anstrebt, sondern genau das Gegenteil versucht. Durch die Bereicherung in den Wissenschaften geht die Vernunft zu einem immer komplexer werdenden Denken über. Nicht die Phänomene der sinnlichen und gegebenen Anschauung sind die Phänomene, mit denen sich die Wissenschaft beschäftigt. Die Wissenschaft beschäftigt sich mit den Phänomenen, die eine immer höher werdenden Grad an Komplexität erreichen und sich gleichzeitig auf einem steigenden Abstraktionsniveau bewegen.

In Bezug auf die beiden Disziplinen von Wissenschaft und Philosophie offenbart sich ebenfalls eine derartige Dialektik, wie sie zwischen Empirismus und Rationalismus besteht, was gleichzeitig einer Synthese beider Disziplinen gleichkommt. Die Philosophie wird auf Wis-

⁵⁸ Vgl. Bachelard (1993): Epistemologie, S. 160.

senschaft angewendet, welche wiederum auf Philosophie angewiesen ist. Dabei jedoch muss sich die Philosophie an den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen orientieren. So sollte auch der Wissenschaftler gleichzeitig Philosoph sein, sowie der Philosoph Wissenschaftler sein muss, um eine adäquate und zeitgemäße Philosophie der Naturwissenschaften zu entwerfen.⁵⁹

Eine weitere Konsequenz, die sich aus der Annahme eines Surrationalismus ergibt, ist, dass man in Bezug auf das wissenschaftliche Denken keine einheitliche Philosophie annehmen kann. Der wissenschaftliche Geist fordert vielmehr Offenheit und Flexibilität im Denken.⁶⁰ Die Philosophie, genauer die Epistemologie, muss gerade aufgrund dieses angenommenen angewandten Rationalismus auch veränderliche Synthesen von Theoriesystemen und Fachgebieten annehmen, auch wenn gerade diese veränderlichen Synthesen sich für die Philosophie als ein hoffnungsloses Problem darstellen sollten.⁶¹ Diese veränderlichen Synthesen zeigen sich im Umstrukturieren und dem Zusammenfügen diverser Wissensgebiete. Ein Beispiel, das Bachelard anführt, ist die Synthese von Elektrostatik zur Elektrodynamik. Eine heutige Synthese wäre wohl etwa die Verbindung von Physik, Chemie und Biologie in der Nanotechnologie.

Die von Bachelard angenommenen Synthesen sollen eine andere Tiefe und eine viel größere Freiheit zum Ausdruck bringen, als es in der cartesianischen Philosophie der Fall ist.⁶² Bachelards Philosophie richtet sich gegen den Cartesianismus. Dies lässt sich auf eine unterschiedliche Methodologie der beiden Philosophen zurückführen. Während die cartesische Methode ein Voranschreiten von den komplexen Sachverhalten zu den Einfachen vorsieht, strebt die Bachelardsche Philosophie umgekehrt von den einfachen Dingen zu komplexen Sachverhalten. Descartes schlägt eine analytische Vorgehensweise vor, die zu den einfachsten Elementen voranschreitet und den Untersuchungsgegenstand in so viele Teile wie möglich teilt, wie es seine Methode zum Erlangen von Erkenntnis im „Discours de la méthode“

⁵⁹ Vgl. Dubrulle (1983); Philosophie zwischen Tag und Nacht, S. 27 f.

⁶⁰ Vgl. Bachelard (1988); Der neue wissenschaftliche Geist, S. 8.

⁶¹ Vgl. Ebd., S. 22.

⁶² Vgl. Ebd., S. 22 f.

beschreibt.⁶³ Zwar folgt diesem analytischen Schritt eine Synthese, in der Descartes das Ordnen der Gedanken von den einfachen zu den komplexeren Sachverhalten vornimmt, jedoch kann die Synthese hier wiederum als das Hilfsmittel des Analyseschrittes verstanden werden, die die methodische Hauptaufgabe im Erkenntnisprozess erfüllt.⁶⁴ Bachelard hingegen sieht die Relation von Analyse und Synthese in epistemologischen Zusammenhängen eher als Wechselverhältnis, als komplementäres Zusammenspiel, wobei jedoch die Synthese einen Vorrang hat. Die Kritik von Bachelard an Descartes richtet sich auf sein reduktives Denken. „*Wir müssen uns in der Tat klar machen, dass die Basis des objektiven Denkens bei Descartes zu schmal ist, um die physikalischen Phänomene zu erklären. Die cartesische Methode ist reduktiv und nicht induktiv. Eine solche Reduktion verfälscht die Analyse und beeinträchtigt die Ausdehnung des objektiven Denkens. Ohne eine solche Erweiterung gibt es jedoch kein objektives Denken und keine Objektivierung. Wie wir noch zeigen werden, gelingt es der cartesischen Methode zwar, die Welt zu explizieren, aber sie vermag die Erfahrung nicht zu komplizieren, und das wäre die eigentlich Aufgabe objektiver Forschung.*“⁶⁵ Bachelards Kritik an der cartesischen Lehre ist letztlich auch eine Ablehnung der Auffassung von den einfachen und zugleich absoluten Wesenheiten, sowie die Ablehnung der Annahme den Alltagsverstand als Hilfsmittel für wissenschaftliche Erkenntnis anzuwenden.⁶⁶ Zugleich wird dadurch eine Kritik an der fehlenden Syntheseleistung zu komplexen Sachverhalten und der objektiven Denkweise in den Naturwissenschaften deutlich.

2) Der zweite Aspekt, aus dem sich die Synthese des wissenschaftsphilosophischen Konzepts Bachelards zusammensetzt, ist folgender: Die Rolle der technischen Objektivität als Bestandteil der Synthese für eine Philosophie der Naturwissenschaften wird verständlich, wenn man sich die Bedeutung der Technik für die Naturwissenschaften, die Bachelard in

⁶³ Die Analyse als methodische Operation des Denkens und logischen Schließens ist in Descartes' „Discours de la méthode“ die zweite Regel des richtigen Vernunftgebrauchs. Die Regel beläuft sich darauf, jede zu untersuchende Schwierigkeit in so viele Teile als möglich zu teilen. Dieser analytischen Vorgehensweise folgt anschließend in der dritten Regel ein synthetischer Schritt, bei dem mit den einfachsten Gedanken begonnen wird, und aufsteigend zu komplizierteren Erkenntnissen mit den kompliziertesten geendet wird.

⁶⁴ Vgl. Descartes (1948): Discours de la méthode, S. 49.

⁶⁵ Bachelard (1988): Der neue wissenschaftliche Geist, S. 137.

⁶⁶ Vgl. Ebd., S. 141.

seinen Überlegungen immer wieder hervorhebt, vor Augen führt. Die Schriften, die die bachelardschen Wissenschaftsphilosophie enthalten, entstanden im zweiten Quartal des 20. Jahrhunderts. Sie fallen somit in eine Zeit, in der auch technische Prozesse bereits eine große Bedeutung für die naturwissenschaftliche Forschung und die Industrie gewonnen haben, in der Technik bereits den wesentlichen Zugang zur Erlangung von Wissen in der Physik und der Chemie darstellt. Der Ausbau der technischen Prozesse innerhalb dieser beiden naturwissenschaftlichen Disziplinen bot die Möglichkeit, eines größeren Repertoires von Experimentalapparaturen und erweiterte dadurch die Möglichkeiten des naturwissenschaftlichen Arbeitens, was sowohl zu einer höheren Komplexität des Wissens als auch der wissenschaftlichen Methoden führte.

Wissenschaftliche Phänomene müssen nach Bachelard objektiviert werden und ein erster Schritt dazu ist, sie – trotz möglicher Merkmale des alltäglichen Gebrauchs – zu technisieren. Diese Technisierung muss soweit reichen, dass mögliche Merkmale des alltäglichen Gebrauchs eliminiert werden und somit gleichfalls mögliche Assoziationen erster Sinneseindrücke in keinem Bezug zu eben jenen wissenschaftlichen Phänomenen stehen. Wissenschaftliche Phänomene sind erst dann wissenschaftlich, wenn sie dem Alltäglichen entfremdet, wenn sie technisiert sind. Diese Technisierung heißt bei Bachelard Realisierung. Ein wissenschaftliches Phänomen ist erst dann realisiert, wenn es technisiert ist. Innerhalb der Naturwissenschaft gelangt man durch die Technisierung des Phänomens zu einer Phänomenotechnik. Die Phänomenotechnik verwirklicht das Phänomen und macht es dadurch erst real. *„Die wahre wissenschaftliche Phänomenologie ist daher ihrem Wesen nach eine Phänomenotechnik. Sie verstärkt das, was hinter den Erscheinenden durchscheint. Sie lernt aus dem, was sie konstruiert.“*⁶⁷ Man bewegt sich hier im Bereich der Realisierung.⁶⁸ Das bedeutet gleichzeitig, dass in der Naturwissenschaft des 20. Jahrhunderts Phänomene nicht aufgefunden werden, sondern erst durch ihre Realisierung hervorgebracht werden. Dies ist gleichzeitig eine Absage an den reinen Beobachterstatus des Naturwissenschaftlers. Denn Konstruieren bedeutet auch immer Intervention und Aktivität.

⁶⁷ Ebd., S. 18.

⁶⁸ Vgl. Bachelard (1980): Die Philosophie des Nein, S. 49.

Da es in den Naturwissenschaften neben der Realisierung von Phänomenen auch um die Realisierung von Substanzen geht, rückt in Bezug auf die Phänomenotechnik auch der Begriff der Energie in den Vordergrund. „Die Energie ist genauso real wie die Substanz und die Substanz ist nicht realer als die Energie.“⁶⁹ Somit gewinnt die Energie, als entscheidende Größe durch ihre Bedeutung in der Physik und Chemie, auch für die Wissenschaftsphilosophie an Relevanz. „Nur aufgrund der energetischen Gesetze kann Rechenschaft von den Phänomenen der Materie abgelegt werden.“⁷⁰ Energetische Gesetze sind in der Naturwissenschaft mathematische Gesetze, wodurch eine technische Objektivität zu einer mathematischen Objektivität wird. Die Energie wird zu einem Maß, mit dem der Naturwissenschaftler rechnen kann und dass es ihm erlaubt, disziplinenübergreifende Forschungen gezielter zu verfolgen. Die Mathematik ist für die Wissenschaft eines der wichtigsten Medien, das sich mit der Phänomenotechnik verbindet. Die Mathematik gilt für Bachelard als erfinderisch und kann in ihrer dialektisierenden Eigenschaft, dem angewandten Rationalismus der Naturwissenschaft eine dauerhafte Sprache geben.⁷¹ Diese dialektisierende Eigenschaft bezieht sich auf eine potentielle Anwendung der Mathematik in den Naturwissenschaften vor allem für die Theorie, oder als ein unerlässliches und datengenerierendes Mittel für die Praxis. Hierbei wird ebenfalls der Charakter der Synthese offenbar, da sowohl für die Theorie als auch für die Praxis die Mathematik als verbindendes Sprachrohr sowie transferierende, universale Übersetzungsmöglichkeit fungiert.

Bei Bachelard geht die Fokussierung der Technik soweit, dass er in Bezug auf die Naturwissenschaften, den Eintritt in eine Phänomenofabrik annimmt. Indem die Physik und die Chemie durch die Phänomenotechnik ihre Gegenstände und Phänomene selbst produzieren und konstruieren, verlassen sie die Natur und werden bildlich gesprochen zu einer Phänomenofabrik, in der technisierte Objekte in großem Maßstab entstehen und ausschließlich konstruiert werden.⁷²

⁶⁹ Ebd., S. 82.

⁷⁰ Bachelard (1993): Epistemologie, S. 117.

⁷¹ Vgl. Bachelard (1980): Die Philosophie des Nein, S. 150.

⁷² Vgl. Bachelard (1993): Epistemologie, S. 160.

3) Die dritte Komponente der geforderten Synthese in der Wissenschaftsphilosophie Bachelards berücksichtigt das forschende Subjekt in seinem Kollektiv bzw. seinem gesellschaftlichen Kontext. Die soziale Objektivität bezieht sich sowohl auf die wissenschaftsinterne Gemeinschaft als auch auf die Gesellschaft im Allgemeinen. Bachelard fordert in seiner Wissenschaftsphilosophie eine Forschergemeinschaft bzw. Forschergemeinschaften, und steht damit im Gegensatz zu der zuvor vorherrschenden sozialen Auffassung von Forschung, für die Wissenschaft und wissenschaftliche Erkenntnis meist von Forscherpersönlichkeiten und Autoritäten gewonnen wurde.

Selbst das Denken des Forschers versteht Bachelard als eine Syntheseleistung, die als Ziel die Objektivierung des Denkens hat. Der Wissenschaftler sucht die Synthese, indem er Gedanken objektiviert.⁷³ Objektivieren muss er seine Gedanken, damit diese einen wissenschaftlichen Anspruch erfüllen. Durch die Prozesse der Objektivierung wird sein Geist schließlich auf der höchsten Abstraktionsstufe zum wissenschaftlichen Geist. Die Entwicklung zum wissenschaftlichen Geist führt über zwei Stufen, die sich sowohl im Individuum (dem Forscher), als auch im Kollektiv (der Forschergemeinschaft) entdecken lassen müssen. Die erste Stufe ist die konkrete Stufe (des Geistes), bei der der Geist, sich auf die ersten Bilder der Erscheinungen, die ersten Sinneseindrücke und eine Philosophie, die die Natur verherrlicht, stützt. Die zweite Stufe ist die konkret abstrakte Stufe, auf der der Geist geometrische Formen an die physikalische Erfahrung heranbringt und sich auf eine Philosophie der Einfachheit stützt. Der Geist ist sich hier seiner Abstraktion umso sicherer, je deutlicher sich ihm diese in einer sinnlichen Anschauung präsentiert. Die dritte Stufe ist die abstrakte Stufe, auf der der Geist sich eigenwillig von der unmittelbaren Erfahrung löst und in offenen Widerspruch zur primären Realität tritt.⁷⁴ So kann man die Forschung durch den wissenschaftlichen Geist ihrer Irrtümer entledigen, die von der bloßen Sinnlichkeit und den ersten Eindrücken herrührt und zur objektiven Erkenntnis voranschreiten, indem wissenschaftliche Phänomene ausschließlich konstruiert bzw. technisiert sind oder werden.

Der Bezug zur epistemologischen Geschichte der Naturwissenschaften wird hergestellt, indem diese drei Phasen des wissenschaftlichen Geistes von Bachelard folgenden Epochen

⁷³ Vgl. Bachelard (1987): Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes, S. 344.

⁷⁴ Vgl. Ebd., S. 41 f.

zugeordnet werden. Soziale Objektivität wird hier also nicht nur synchron auf der individuellen oder kollektiven Ebene, sondern auch diachron auf der historischen Ebene betrachtet. Die erste Periode des vorwissenschaftlichen Geistes (erste Stufe) würde demnach die Antike, die Renaissance und das 16., 17. und 18. Jahrhundert umfassen. Die zweite Stufe würde sich über das ausgehende 18. Jahrhundert, das 19. Jahrhundert und den Anfang des 20. Jahrhunderts erstrecken. Der wissenschaftliche Geist würde im Jahr 1905 mit der Relativitätstheorie von Albert Einstein Einzug in die Wissenschaft halten, womit Veränderlichkeit und Abstraktion die Wissenschaften bestimmten.⁷⁵

Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes ist nur in einer sozialisierten Wissenschaft möglich. Dieses bedeutet den Austausch innerhalb der Wissenschaftlergemeinschaft (Transparenz) und Kontrolle bei der Generierung wissenschaftlicher Erkenntnis. Austausch und Kontrolle als Überprüfungsmethoden bewahren in einem Sozialgefüge das Wissen, das durch den wissenschaftlichen Geist erworben worden ist.⁷⁶

Durch die Sozialisation der Wissenschaftler in einer Wissenschaftlergemeinschaft ist das Wissenswachstum beim Individuum und in der Wissenschaft ungleich größer als beim isolierten Forscher, der möglicherweise durch seine eigenen Erkenntnishindernisse zu wissenschaftlichen Fehlannahmen verleitet wird. „*Die sozialisierte Wissenschaft ist quantitativ.*“⁷⁷

Die Bildung der sozialisierten Wissenschaft bzw. eine Disposition dafür beginnt für Bachelard bereits in der Schule. Der Geist muss bereits in der schulischen Bildung zur Dynamik und zur Kritik erzogen werden, um die Stufen zur Bildung des wissenschaftlichen Geistes beschreiten zu können. Ein Kriterium für eine dementsprechende Bildung ist nach Bachelard, das derjenige, der unterrichtet wird, auch selber unterrichten muss.⁷⁸ Soziale Objektivität beginnt also bereits lange, bevor der Wissenschaftler das Labor betritt. Durch das Einbinden der schulischen Bildung in die Bildung des wissenschaftlichen Geistes wird die soziale Objektivität zu einer Forderung an die Gesellschaft und ist somit in einem größeren als dem wissenschaftsdisziplinären Rahmen zu betrachten.

⁷⁵ Vgl. Ebd., S. 39.

⁷⁶ Vgl. Wulz (2010): Erkenntnisagenten – Gaston Bachelard und die Reorganisation des Wissens, S. 150.

⁷⁷ Bachelard (1987): Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes, S. 348.

⁷⁸ Vgl. Ebd., S. 351.

Die Synthese aus rationaler, technischer und sozialer Objektivität führt zu einer Gesamt-konstruktion, die eine moderne und der Ausgestaltung der Naturwissenschaft im 20. Jahr-hundert angemessene Philosophie ermöglicht. Die drei genannten Punkte synthetisiert Ba-chelard in seiner Philosophie und konstituieren gleichzeitig die bachelardsche Philosophie der Naturwissenschaften.

2.2.5 Die wissenschaftlich-disziplinäre Kategorie

Auch innerhalb der naturwissenschaftlichen Disziplinen sieht Bachelard synthetische An-sätze und führt diese in seiner Philosophie als ein Beleg für das Zusammengesetzte in die-sen Wissenschaften an. Ein offensichtliches Beispiel dafür ist die Physik des 20. Jahrhun-derts, die sich darum bemüht, die Phänomene der Materie und der Strahlung in einen ein-heitlichen Erklärungszusammenhang zu bringen. In Analogie zu den physikalischen Phä-nomenen behauptet Bachelard, dass diese im philosophischen-metaphysischen Diskurs Ding (=Materie) und Bewegung (=Strahlung) entsprechen. Aufgrund ihrer offensichtlich unterschiedlichen Eigenschaften würde der Alltagsverstand gerade Materie und Strahlung als unterschiedliche Phänomene behandeln.⁷⁹

Eine analytische Herangehensweise würde diese Phänomene angesichts dieser Erfahrung des Alltags als getrennt behandeln. Doch der synthetische Ansatz der Physik (hier der Quantenmechanik) erlaubt es, das statische Phänomen (Materie) und das dynamische Phä-nomen (Strahlung) im Welle-Teilchen-Dualismus zusammenzubringen.⁸⁰ Die modernen Naturwissenschaften folgen also gerade dort, wo sich Widerstände gegen die alltägliche Erfahrung, sowie das kategorische selbstverständliche Denken ergeben, einem syntheti-schen Ansatz und erlangen durch das Zusammenfügen, von zuvor als getrennt behandelten Phänomenen, wissenschaftliche Erkenntnisse. *„Die heutige Naturwissenschaft stützt sich auf eine erste Synthese; in ihren Grundlagen realisiert sie den Komplex Geometrie-*

⁷⁹ Beispielsweise wird Materie mit Eigenschaften wie Statik und Lokalisation in Verbindung gebracht, Strah-lung dagegen mit Dynamik/Bewegung und Delokalisation.

⁸⁰ Vgl. Bachelard (1988): *Der neue wissenschaftliche Geist*, S. 139 f.

Mechanik-Elektrizität; sie entfaltet sich in der Raum-Zeit; sie vermehrt die Systeme ihrer Postulate; sie legt ihre Klarheit ins epistemologische Kombinieren und nicht in die gesonderte Betrachtung kombinierter Objekte.“⁸¹

Auch die chemische Synthese ist nach Bachelard nicht nur wegen der reaktionstechnischen Möglichkeiten im Punkt des Zusammenfügens von Atomen und kleineren Molekülen zu komplexeren Verbindungen als synthetisch zu bezeichnen. Auf einer Metaebene ist das Konzept der chemischen Synthese ebenfalls als synthetisch zu denken. „*Das Denken darf nicht zur Ruhe kommen, solange nicht eine Gesamtschau die Konstruktion mit dem Siegel der Synthese versieht.*“⁸² Das bedeutet konkreter, die Chemie beschäftigt sich selber mit dem Zusammenfügen von Materie, dies ist die erste Ebene. Die Metaebene zeichnet sich nach Bachelard dadurch aus, dass das, was konstruiert wird (wie bei der chemischen Synthese molekulare Strukturen), sich durch ein synthetisches Denken auszeichnet. Das Endergebnis einer Operation soll insgesamt synthetisch sein.

Eine weiteres Beispiel für eine Synthese innerhalb der Naturwissenschaften, genauer der Chemie, zeigt sich nach Bachelard beim Periodensystem der Elemente. Die Synthese von physikalischen Größen (Massenzahl) mit mathematischen Größen (Ordnungszahl) sagt die Existenz chemischer Elemente und ihrer Charakteristika korrekt vorher, bevor man sie als Substanz aufgefunden hat. Dies ist ein Beleg für den rationalen Charakter der Chemie und verweist zugleich auf eine rationale Syntheseleistung auf einer Metaebene, die jenseits des Labors, in der Praxis des Denkens existiert.⁸³ Gerade das Periodensystem der Elemente erlaubt es, die Chemie zu arithmetisieren, weil so die Substanzen zu berechnen sind und damit Daten vorhersagbar werden. Diese Arithmetisierung führt zu einer Rationalisierung der Chemie.⁸⁴ So entsteht eine Synthese durch Rationalisierung und Arithmetisierung der Chemie nicht nur inhaltlich, sondern in eins damit auf einer übergeordneten formalen und praktologischen Metaebene, da die Chemie ihr Objekt voraussagt, bevor es im Labor produziert wurde.

⁸¹ Ebd., S. 143.

⁸² Ebd., S. 163.

⁸³ Vgl. Bachelard (1980): Die Philosophie des Nein, S. 73.

⁸⁴ Vgl. Bachelard (1993): Epistemologie, S. 97.

2.3 Die materiale Kategorie – Die chemische Synthese

Bei der Betrachtung der chemischen Synthese, die hier als die materiale Kategorie bezeichnet wird, rückt die Umwandlung von Materie in den Fokus der Synthesebetrachtung. Im Unterschied zur methodischen Verwendung in der Philosophie und Mathematik geht es bei der chemischen Synthese nicht um ein logisch-stringentes Verfahren der Zusammenfügung von Formeln, Konzepten, Vorstellungen oder Begriffen, das einen Bezug zur materiellen Welt aufweisen kann oder nicht, sondern hier ist die Synthese selber der Prozess der Umwandlung und Erschaffung neuer Formen von Materie. Das heißt, diese Methode interveniert direkt mit und in der stofflichen Welt.

Gerade weil die Welt synthetisch aufgebaut ist, finden auch überall dort, wo Materie verändert wird, synthetische Umwandlungsprozesse statt. Man denke an die Proteinbiosynthese, bei der zellulär komplexe Bausteine des Lebens entstehen. Dies ist nur ein Beispiel für die vielfältigen synthetischen Stoffumwandlungen und komplexen synthetischen Stoffe, die abseits der Laborchemie allgegenwärtig geschehen bzw. existieren. Genau um diese Dimension soll es jedoch im Folgenden nicht gehen. Dargestellt wird vielmehr nur die Synthese, die im chemischen Labor erfolgt, bei der Stoffe zum Einsatz kommen, durch die keine In-vivo-Syntheseprozesse wie in biologischen Systemen vonstattengehen.

Der folgende Teil soll die chemische Synthese vor allem aus Sicht der Chemie darstellen und den disziplininternen Umgang, sowie Aspekte der Planung bei der Synthese verdeutlichen.

2.3.1 Definitionen und Formen der Synthese in der Chemie

Die Chemie, die als die Lehre von den Stoffen, von Stoffumwandlungen, von Strukturaufklärung, von Energieumwandlungen, von der Verifikation bereits bekannter Stoffe und der Herstellung neuer Stoffe gilt, ist keine abgeschlossene Wissenschaft.⁸⁵ Die moderne Chemie kann als aus vier Teilen bestehend bestimmt werden: 1) aus der chemischen Theorie, 2)

⁸⁵ Vgl. Naumer, Heller (Hrsg.): Untersuchungsmethoden in der Chemie (2002), S. 1.

der chemischen Synthese, 3) der chemischen Technologie und 4) der analytischen Chemie.⁸⁶

In der Chemie bezeichnet man als Synthese den Vorgang, bei dem im Labor aus einfacher aufgebauten Strukturen, komplexere (noch nicht existierende) Strukturen produziert werden.

Eine Synthese ist mehr als das bloße (physikalische) Vermischen von Stoffen. Aus einer neu synthetisierten Verbindung können die Ausgangsstoffe durch rein physikalische Operationen nicht mehr zurückgewonnen werden. Das Produkt einer Synthese soll ein einheitliches Stoffgemenge sein und soll im Idealfall lediglich einen Stoff beinhalten und sich somit von einer Mischung, die aus mindestens zwei Stoffen besteht, unterscheiden.

Man unterscheidet schon seit dem 19. Jahrhundert mehrere Formen von materiellen Synthesen, die sowohl das Ziel der Synthese, als auch die in ihr eingesetzten Stoffkategorien berücksichtigen. Als ein weiteres Unterscheidungskriterium gilt die Funktion diverser Materialien. Folgende Syntheseformen lassen sich unterscheiden:

1) Als Totalsynthese bezeichnet man die Herstellung eines Naturstoffes, ohne dass hierbei auf Zwischenprodukte zurückgegriffen wird, die in Organismen durch Biosynthese gebildet wurden.⁸⁷

2) Die in lebenden Organismen stattfindende Synthese organischer Verbindungen wird als Biosynthese bezeichnet.

3) Bei der Festphasensynthese wird eine Substanz durch chemische Reaktion hergestellt, indem ein Grundmolekül an einen meist polymeren Träger chemisch gebunden wird. Schließlich wird dann das Zielmolekül vom Träger abgetrennt und gegebenenfalls durch weitere Reinigungsschritte als Reinsubstanz gewonnen.

Dieses sind allgemeine Unterscheidungskriterien von Synthesemethoden, bei denen Produkte durch unterschiedliche Vorgehensweisen gewonnen werden können. Die Unterscheidung richtet sich also nach dem Kriterium der Methode.

⁸⁶ Vgl. Otto (2000): Analytische Chemie, S.1.

⁸⁷ Diese heute gängige Definition von Totalsynthese unterscheidet sich von der im 19. Jahrhundert von Marcellin Berthelot, der eine Totalsynthese (bzw. totale Synthese) als ein Zusammenfügen zu chemischen Verbindungen aus den Atomen definiert.

4) Es besteht ebenfalls die Möglichkeit, die Synthese nach ihrem jeweiligen chemischen Fachgebiet zu unterteilen. Dabei kategorisiert man in anorganische Synthese, organische Synthese, metallorganische Synthese etc. Durch diese Gliederung wird ein Hinweis auf die Beschaffenheit des Materials gegeben, die durch die Synthese entstehen soll.

5) Chemische Synthesen im Labor (gerade in heutiger Zeit) sind immer Mehrstufensynthesen. Das heißt, es sind nahezu immer mehrere experimentelle Teilschritte nötig, um ein gewünschtes Produkt zu erzielen. Man kann auch von *multistep constructions*⁸⁸ sprechen, wobei hier der Terminus *constructions* hervorzuheben ist. Er zeigt deutlich, dass diese Mehrstufensynthesen Annäherungen an eine noch nicht realisierte Struktur darstellen, gleichfalls dass innerhalb dieser constructions kaum etwas dem Zufall überlassen bleibt. Ähnlich wie es die zu realisierende Verbindung noch nicht gibt, ist die Methode, um zu selbigen zu gelangen, eine konstruierte, bei der nichts der reinen Beobachtung überlassen wird, sondern vielmehr durch Intervention immer wieder aufs Neue konstruiert wird.

Unter Punkt 5) zeigt sich der Umfang und die Komplexität der Syntheseforschung in der Chemie. Mit der Zunahme der Anzahl der chemischen Verbindungen, die bereits hergestellt wurden, nehmen auch die Komplexität der Methoden und die Anzahl der Zwischenstufen eines Syntheseprozesses zu.

Gerade bei der chemischen Synthese gibt es diverse Parameter, die im Gegensatz zur formalen Synthese, nicht durch Generierung im Geiste entstehen, sondern von der Umwelt gegeben und somit aber auch durch Umwelteinflüsse modifizierbar sind. Dazu gehören Druck, Temperatur, Mischungsverhältnisse, Katalysatoren und pH-Wert, um nur einige zu nennen. Diese Parameter sind zwar gegenüber dem Standardzustand in größeren Toleranzbereichen veränderbar, jedoch definitiv immer Bestandteil des Prozesses selbst. Materie ist nie ohne Temperatur oder Druck und im Syntheseprozess sind mindestens zwei verschiedene Stoffe beteiligt. Somit ist die Durchführung einer Synthese immer von der Außenwelt abhängig. Materie steht immer in Wechselwirkung zueinander. Die Parameter machen die Funktionen, die Eigenschaften und die Erscheinung von Materie überhaupt erst sichtbar und kategorisierbar. Die materielle Synthese ist also von Faktoren der Außenwelt abhängig, gerade weil sie materiell ist. Materie interagiert mit Materie. Ebenso ist sie den Naturgeset-

⁸⁸ Vgl. Corey, Cheng (1995): The Logic of chemical Synthesis, S. 1.

zen unterworfen. Diese Naturgesetze spielen für den Prozess der experimentellen Synthese eher eine untergeordnete Rolle. Um zu verdeutlichen, dass Naturgesetze eine untergeordnete Rolle im experimentellen Prozess der Synthese spielen, muss das Verständnis von Naturgesetz hier differenziert dargelegt werden: 1) Selbstverständlich sind chemische Synthesereaktionen wie alle anderen materiellen Vorgänge den Naturgesetzen unterworfen. Wie alle anderen materiellen Vorgänge sind sie beispielsweise mit den Hauptsätzen der Thermodynamik erklärbar, jedoch spielen die Naturgesetze 2) eine untergeordnete Rolle, wenn es um den Herstellungsprozess, die Praxis im Labor geht. Die Naturgesetze sind hier entweder bloße Rahmenbedingungen, die im Sinne einer gegebenen Voraussetzung für die technische Praxis, vom chemischen Forscher nicht hinterfragt werden, oder der Chemiker muss für ihre Herstellung die Substanz nicht direkt einer naturgesetzlichen Überprüfung unterziehen. Wenn die Substanz produziert wurde, liegt diese Herstellung bzw. ihr Produkt auch im Rahmen der Naturgesetze. In der chemischen Syntheseforschung liegt der Fokus nicht primär im Auffinden von Gesetzen, sondern in der Realisierung von synthetischen Substanzen und der gleichzeitigen Verifikation ihres Vorhandenseins, sowie dem Erkennen ihrer Funktionen für die Forschung und die Gesellschaft.

Dieses kann zu der Verallgemeinerung verleiten, die synthetische Chemie als eine ausschließlich auf die Praxis, auf die Labortätigkeit ausgerichtete Wissenschaft zu betrachten, deren Zielsetzung allein in der Anwendung und Anwendbarkeit von chemischen Stoffen und Verfahren besteht. Dieses stellt wohl das erste und wichtigste Ziel der Synthesechemie dar, bedeutet jedoch nicht ein Desinteresse oder gar eine Abkehr von der Theorie. Gerade für die Entwicklung neuer chemischer Substanzen ist heutzutage die Verbindung von fundierter Theorie der Strukturen und Stoffe mit der spezifischen Methodik und die Beherrschung komplexer Handgriffe und Praxen im Labor unerlässlich. Wie die Charakterisierung der Zusammensetzung der modernen Chemie zeigt,⁸⁹ sind sowohl Synthese und Analyse, Theorie und Technologie Bestandteile der modernen chemischen Forschung.

⁸⁹ Vgl. Teil I: Kap. 5.2.1 Definitionen und Formen der chemischen Synthese.

2.3.2 Der Syntheseplan

Am Anfang einer Synthese steht jedoch weder die Substanz selber noch eine zu verifizierende Theorie. Am Anfang eines zu verfertigenden Syntheseprozesses steht ein Plan.⁹⁰ Ein Plan, der materiell verwirklicht werden soll, in bzw. durch die Synthese sollen bisher unbekannte Substanzen oder eine bisher noch nicht anerkannte Methode (ein Syntheseweg) wissenschaftlich nachweisbar umgesetzt werden. Der zuvor erdachte Plan stellt ein rationales Konstrukt dar, das auf der Erfahrung des Chemikers, dem aktuellen Forschungsstand, dem chemischen Fachwissen und den Ideen über veränderliche Strukturen beruht.

Dieser Plan ist an bestimmte Vorgaben gekoppelt, die man als ökonomische oder politische Dimension der Forschung, also größtenteils als wissenschaftsexterne Parameter bezeichnen kann. Solche Parameter sind beispielsweise Kosten, Umweltverträglichkeit oder Patentneuheit.⁹¹ An diesen außerwissenschaftlichen Parametern hat sich auch die chemische Syntheseforschung zu orientieren. Das heißt, sind die Kosten, die Ökotoxizität etc. an einem oberen Limit und ist das Verfahren dadurch unrentabel oder unökonomisch, dann wird der Syntheseplan verworfen.

Der Plan, der am Anfang einer jeden Synthese steht, ist außerdem an seinen rationalen Umkehrprozess gekoppelt. Das bedeutet, dass das zu realisierende Produkt auch retrosynthetisch wieder zerlegbar sein muss. Die gesamte Synthese (bei der Mehrstufensynthese) wird ausgehend von der Zielverbindung in realistisch durchführbare Etappen zerlegt. Diese Retrosynthese muss selber nicht realisiert werden, sie dient nur dazu, dem Chemiker chemische Strukturen und Strukturelemente, die im Syntheseprozess eine Rolle spielen können, deutlich zu machen. „*Retrosynthetic analysis is a problem-solving technique for transforming the structure of a synthetic target (TGT) molecule to a sequence of progressively simple structures along a pathway which ultimately leads to simple or commercially available starting materials for a chemical synthesis.*“⁹²

⁹⁰ Vgl. Hoffmann (2006): Elemente der Syntheseplanung, S. VII.

⁹¹ Vgl. Ebd., S. VII.

⁹² Corey, Cheng (1995): The Logic of chemical Synthesis, S. 6.

Die Möglichkeit mehrere Synthesewege für ein Zielprodukt zu finden und jeweils bestimmte Parameter stärker zu berücksichtigen, existiert ebenfalls. Eine retrosynthetische Zerlegung soll hier von der Methode der Analyse unterschieden werden, auch wenn Gemeinsamkeiten wie Komplexes in einfachere Bestandteile zu zerlegen, existieren. Eine Retrosynthese ist quasi ein Gedankenspiel im Syntheseplan, das diesen unterstützt, wohingegen die Analyse in der Chemie die reale Praxis der Zerlegung ist, die instrumentell oder materiell eine chemische Verbindung zerlegt.

Dieser retrosynthetische Plan zusammen mit dem Vorhaben der Realisierung des Zielmoleküls zeigt für das Zielmolekül Folgendes auf: Der Chemiker kann noch kein Wissen davon besitzen, welche Eigenschaften seine Zielverbindung hat, oder überhaupt existieren kann, bevor sie nicht nachweisbar im Vollzug der ausgeführten Synthese realisiert wurde. Sein Wissen für diese Realisierung setzt sich aus dem Wissen bereits verwirklichter Reaktionen und der Interaktion zwischen chemischen funktionellen Gruppen zusammen. Es setzt sich weiterhin aus dem Denken mittels Analogien, der Übertragung bereits verifizierten Wissens auf neue Substanzen zusammen. Der Synthesechemiker lässt sich weiterhin leiten durch seine Erfahrung und präparativ-praktische Vorlieben.

Bei der Umsetzung des Synthesepfades, bei der praktischen Durchführung im Labor, sind für den Wissenschaftler drei Aspekte zu berücksichtigen: 1) das Molekülgerüst 2) die Art und Anordnung der funktionellen Gruppen und 3) die Art und Anordnung der stereogenen Zentren.⁹³ Diese Aspekte sind sowohl beim Syntheseprozess als auch bei einer retrosynthetischen Zerlegung des Prozesses in die Ausgangssubstanz von Bedeutung. Im retrosynthetischen Denkprozess wird das Zielmolekül schrittweise zerlegt. Dies kann 1) als ideale Zerlegung und 2) als reale Zerlegung erfolgen. Eine ideale Zerlegung ist ein rein rationales Konstrukt. Sie zeichnet sich durch ihre Unkompliziertheit aus und erfüllt gleichzeitig die Anforderungen *aller* externen Parameter. Sie ist jedoch nicht real, was bedeutet, dass sie nicht in der Praxis umgesetzt werden kann, weil diese Umsetzung mit den der Synthesechemie zur Verfügung stehenden Mitteln nicht möglich ist. Die realistische Zerlegung sucht hingegen einen praktikablen, im Labor umsetzbaren Weg, der zumindest möglichst viele der externen Parameter erfüllt. Sie ist außerdem an die bereits gesammelte Erfahrung

⁹³ Vgl. Hoffmann (2006): Elemente der Syntheseplanung, S. 1.

durch ähnliche Syntheseverfahren angekoppelt. Der Wissenschaftler sucht somit einen Weg, der der idealen Zerlegung möglichst nahe kommt, jedoch realistisch und somit umsetzbar bleibt. In der praktizierenden Chemie wird ein Kompromiss gesucht, der zwischen Idealisierung und Realisierung liegt.

Ein im Syntheseplan zu berücksichtigendes Element ist außerdem die Bindungsorientierung. Sie bezeichnet die potentiellen Bindungsknüpfungen innerhalb einer chemischen Verbindung, die zum gewünschten Zielmolekül führen. Hier wird berücksichtigt, an welchem Parameter sich der Chemiker orientiert, damit Bindungen im Syntheseprozess entstehen könnten. Diese Bindungsknüpfungen sind meistens nur über Umwege zu erreichen, d.h. durch vorläufige Bindungsknüpfungen, die im weiteren Syntheseprozess aufgelöst und umgeformt bzw. neu verknüpft werden. *„Die Kunst der Syntheseplanung besteht nun darin, die einzelnen Bindungen des Bindungssatzes und die Abfolge der Bindungsknüpfungen so auszuwählen, dass am Ende eine effiziente Synthese der Zielverbindung realisiert werden kann. Um dies zu erreichen, helfen Leitlinien für die Auswahl der Bindungen eines Bindungssatzes. Die Analyse einer größeren Zahl von ausgeführten Synthesen zeigt, dass die Bindungen eines Bindungssatzes*

- nach der Art und Anordnung der im Zielmolekül vorhandenen Funktionalitäten gewählt werden = FG-orientiert.

- nach den Eigenheiten des Gerüsts (Verzweigungen, Ringe) ausgewählt werden = Gerüst-orientiert.

- nach der Verfügbarkeit bestimmter, meist chiraler, Bausteine gewählt werden = Baustein-orientiert.

- oder sich aus einer in der Arbeitsgruppe vorhandenen Expertise mit bestimmten Verknüpfungs-Reaktionen ergeben = Methoden-orientiert.“⁹⁴

In der Realität des Laboralltags wird der Syntheseplan meist aus einer Kombination obiger vier Orientierungen zusammengesetzt.

„Logic can be seen to play a larger role in the more sophisticated modern synthesis than in earlier (and generally simpler) preparative sequences.“⁹⁵ In der gegenwärtigen Synthe-

⁹⁴ Ebd., S. 6.

⁹⁵ Corey, Cheng (1995): The Logic of chemical Synthesis, S. 2.

sechemie ist aufgrund ihres Umfangs und ihres angehäuften Wissens eine zuvor durchgeführte Auswahl möglicher Reaktionswege und Reaktanden, sowie eine Auswahl von Parametern, die das Reaktionsmedium beeinflussen, unerlässlich. Um adäquat und ökonomisch sowie zielorientiert zu arbeiten, müssen die Probleme, die sich in der Synthesechemie stellen, in einer Logik der Strukturen angegangen werden. Das heißt, die Parameter für den Syntheseprozess werden nach der herzustellenden Struktur gewählt, womit die Logik die im Syntheseplan vorherrscht, eine Logik ist, die sich, gepaart mit dem Wissen um erfolgreiche analoge Syntheseprozesse, auf die chemische Struktur bezieht. Somit kann man in der Synthesechemie von einer Strukturenlogik sprechen, einer Logik, die sich in der Synthesechemie an dem Wissen und der praktischen Umsetzung chemischer Strukturen orientiert.

Doch immer begleitet eine Idealvorstellung den Syntheseprozess. Diese Idealvorstellung ist allerdings rein rational und simuliert einen Syntheseprozess, der ohne Komplikationen, ohne Widerstände, die die Materie im Syntheseprozess offenbart, abläuft. Die ideale Synthese könnte man wie folgt definieren: „*An ideal synthesis is generally regarded as one, in which the target molecule is prepared from readily available, inexpensive starting materials in one, simple, safe environmentally acceptable, and resource-efficient operation that proceeds quickly and in quantitative yield.*“⁹⁶ Hier wird die Idealsynthese als die Eintopfreaktion charakterisiert, bei der alle Reaktanden gemischt werden und dann direkt zum Endprodukt führen. Eine solche Vorstellung ist beim heutigen Stand der Eintopfsynthese für die In-vitro-Synthese komplexer Zielmoleküle noch utopisch. Allerdings ist es wichtig zu erkennen, dass die In-vivo-Bio-Synthese aller Naturstoffe in der Zelle nach diesem Schema funktioniert.⁹⁷ Für komplexe Eintopf-Synthesen besitzt die Natur nach wie vor eine Vorbildfunktion, sowie eine Orientierungshilfe für die Umsetzung von Eintopfsynthesen im Labor der Synthesechemie.

An die Komplexität und die Anzahl parallel ablaufender Reaktionen, die bei biochemischen Vorgängen etwa in lebenden Zellen stattfinden, reichen chemische Syntheseprozesse im Labor jedoch bei weitem nicht heran. Schon hier offenbart sich in Bezug auf die Frage nach

⁹⁶ Hoffmann (2006): Elemente der Synthesepanung, S. 122.

⁹⁷ Vgl. Ebd., S. 122.

Natürlichkeit bzw. der Technisierung von Synthesen eine Diskrepanz zwischen der Vorbildfunktion, die biochemische Synthesen in der Natur nach wie vor für die Synthesechemie besitzen und den nicht in der Natur vorkommenden, im Labor jedoch herzustellenden, synthetisierten Substanzen.

Der Syntheseplan ist zuerst einmal rein imaginär, er wird konstruiert unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten, die das entsprechende Labor zur Verfügung hat. Betritt der Forscher nun aber das Labor mit dem Ziel der Umsetzung des Plans in die Praxis, dann begleiten häufig auch andere Einflüsse die Umsetzung seines rationalen Synthesepans. *„Für jeden, der eine Zielverbindung synthetisieren möchte, ist Syntheseplanung eine intellektuelle Herausforderung. Dennoch werden viele Schritte in Synthesefolgen eher intuitiv gewählt. Oft sind dem Chemiker die Schwächen und Stärken bestimmter Denkabfolgen gar nicht bewusst.“*⁹⁸ Intuition ist also ein essentielles Entscheidungskriterium im Syntheseplan und der Umsetzung von Synthesen im Labor. Folgen dieser Rolle der Intuition als Bestandteil bei der Synthesearbeit sind, dass das Unbewusste, sowie subjektive Einflüsse das Denken über Synthese in der Forschung beeinflussen. Eine Erklärungsmöglichkeit für den Zustand, dass die Intuition bei der Syntheseplanung bzw. Syntheseforschung eine Rolle spielt, ist, dass das retrosynthetische Denken nicht genügend bewusst und systematisch betrieben wird.⁹⁹ Hier scheint also ein Bruch zwischen dem Idealtyp der Syntheseplanung und der sich alltäglich im Labor ereignenden Syntheseplanung vorzuliegen.

2.3.3 Der Faktor der Komplexität in der Synthesechemie

Die Komplexität in der Synthesechemie bezieht sich hauptsächlich auf die molekulare Größe der Syntheseprodukte, sowie auf die Anzahl und die Schwierigkeit der Syntheseverfahren. Mit dem Faktor der Komplexität gelangt man innerhalb der Synthesechemie nicht nur an einen Punkt, wo natürliche Reaktionen und Synthesereaktionen im Labor miteinander

⁹⁸ Ebd., S. VII.

⁹⁹ Vgl. Ebd., S. VIII.

konform gehen sollen. Es wird angestrebt, dass Synthesereaktionen im Labor den natürlichen Reaktionen im Grade ihrer Komplexität entsprechen. Das heißt, letztlich ist es ein Ziel der Synthesechemie, immer mehr Reaktanden in möglichst unkomplizierten Reaktionsschritten zu immer komplexeren Molekülstrukturen zusammenzufügen.

Allerdings gibt es kein Maß für den Faktor der Komplexität, da dieser wissenschaftsintern nicht allgemein gültig definiert ist.¹⁰⁰ Das heißt, der Beginn von Komplexität ist selbst variabel und stellt insofern kein Maß dar, nach dem sich die Syntheseforschung richten könnte. Ob ein Syntheseprozess in seiner Verfahrensweise als komplex bezeichnet wird oder nicht, ist also nicht verallgemeinerbar und somit auch nur von relativer Bedeutung.

Für die Entwicklung neuer Synthesen und neuer Strukturen wird in der Synthesechemie folgender Zusammenhang zur Komplexität dargelegt: „[...]Less apparent, but of major significance in the development of new syntheses, is the value of understanding the roots of complexity in synthetic problem solving and the specific forms which that complexity takes. Molecular size, element and functional-group content, cyclic connectivity, stereocenter content, chemical reactivity and structural instability all contribute to molecular complexity in the synthetic sense.“¹⁰¹ All diese Aspekte, die Komplexität in der Synthesechemie bedeuten können und hier aufgeführt werden, sind Eigenschaften, die die molekulare Struktur treffen. Das heißt, Komplexität bezieht sich in der Synthesechemie wesentlich auf Aspekte der Struktur. Damit wird vermittels der Betonung von Komplexität die molekulare Struktur zum entscheidenden Kriterium, an dem sich die Synthesechemie orientieren muss. Mit der Komplexität steigt (oder fällt) auch der Wert, den ein Syntheseprodukt oder ein Syntheseweg für die weitere Forschung und die Anwendung haben kann. Hier sind die externen Parameter der Syntheseforschung, wie Kosten oder Umweltverträglichkeit entscheidend. Übersteigen beispielsweise die Kosten der Synthese ihren potentiellen Nutzen, dann wird sie allenfalls für die Grundlagenforschung interessant sein. Somit ist chemische Syntheseforschung meistens an den Nutzen – an eine Brauchbarkeit für Industrie oder Gesellschaft – gekoppelt, die sich dadurch zeigt, dass ein Syntheseprodukt oder eine neue Synthe-

¹⁰⁰ Vgl. Ebd., S. 125.

¹⁰¹ Corey, Cheng (1995): The Logic of chemical Synthesis, S. 2.

semethode das Labor verlässt und seinen Eingang in die Lebenswelt in Form von Medikamenten, Gebrauchsgegenständen oder einem industriellen Verfahren findet.

Für die Komplexität lässt sich folgende, allgemeine Regel ableiten: *„Je größer die Gesamtkomplexität, desto kleiner die Gesamtausbeute. Dies ist sicherlich kein Naturgesetz, aber eine wichtige Erfahrung. Man kann daraus ableiten, Reaktionsschritte zu vermeiden, vor allem Umfunktionalisierungsschritte, wenn die Zwischenstufen bereits eine hohe Komplexität erreicht haben.“*¹⁰² Diese und ähnliche Richtlinien und Erfahrungssätze leiten die Arbeit des Wissenschaftlers im Labor und bieten ihm eine Orientierungshilfe.

Das Einbinden von theoretischen Begründungszusammenhängen in den Syntheseplan zeigt sich jedoch in Bezug auf die Funktionalität des Synthesepplans. Die Theorie bzw. die Begründung durch Theorien bei der Forschungsarbeit dient hier zur Erklärung des Scheiterns oder führt gegebenenfalls zu einer Modifikation des Synthesepplans. *„Pläne, und damit Syntheseppläne sind anfällig gegenüber Fehlschlägen. Bei allen Synthesepplänen gibt es die Möglichkeit des Scheiterns. Insofern sollte man sich Gedanken über die Robustheit eines Synthesepplans machen.“*¹⁰³ Dieser Robustheit dient der Einbau von chemischen Schutzgruppen an reaktive Zentren oder der Versuch die Anzahl von Nebenreaktion einzuschränken. Die Berücksichtigung des Scheiterns kann die Komplexität ebenfalls erhöhen bzw. ein Einbau von Schutzgruppen etc. erhöht die Komplexität des Syntheseverfahrens. Trotz aller Versuche der Generalisierung beinhaltet die Syntheseforschung immer noch das Moment der Variabilität und stellt somit keineswegs ein geschlossenes Konstrukt dar. Hier muss ein Synthesepplan vielmehr offenbleiben und Veränderungen aufnehmen und einbinden. *„Da die wenigsten Synthesen am Ende so zum Ziel kommen, wie sie ursprünglich geplant worden sind, sollte man der Robustheit eines Synthesepplans große Aufmerksamkeit widmen. Und zum Schluss sollte man den Ratschlag beherzigen: Get the most done in the fewest steps and the highest yield.“*¹⁰⁴

Eine große Herausforderung in der Syntheseforschung ist es aus der großen Anzahl von möglichen Reaktionswegen, einen oder mehrere zielführende zu finden und zu realisieren. Die Zahl von bereits realisierten Molekülen und Synthesewegen ist mittlerweile so hoch,

¹⁰² Hoffmann (2006): Elemente der Synthesepplanung, S. 126.

¹⁰³ Ebd., S. 131.

¹⁰⁴ Ebd., S. 131.

dass eine Spezialisierung auf bestimmte Themengebiete auch innerhalb des Zweigs der chemischen Syntheseforschung unvermeidbar ist.¹⁰⁵

Eine Hilfe und strukturierende Unterstützung, sowohl für die Syntheseplanung als auch für die ungefähre Voraussage eines Reaktionsverlaufs, bieten seit circa 20 – 30 Jahren Computerprogramme wie EROS, WODCA oder SYNGEN. Diese Computerprogramme leisten die Aufgabe der Reduktion sinnvoller Synthesewege und steigern damit die Realisierbarkeit von möglichen Produkten im Vorfeld. Diese Programme zerlegen das Zielmolekül retrosynthetisch und berechnen dadurch die Anzahl von möglichen Reaktionswegen, um zu dem gewünschten Zielmolekül zu gelangen. So können Computerprogramme die Syntheseplanung erleichtern, jedoch bleiben sie bisher noch hinter den Erwartungen der Wissenschaftler zurück, was sich in ihrer geringen Benutzung in der Praxis zeigt. Dieses könnte sich ändern, wenn die Nutzerfreundlichkeit solcher Programme verbessert wird.¹⁰⁶ Doch momentan ist es fraglich, ob solche Computerprogramme die Syntheseforschung im Labor jemals ersetzen werden. Denn die Realisierung von Substanzen d. h. deren Herstellung und die Bestimmung ihrer Eigenschaften, deren Nachweis, kurz die der Existenz einer chemischen Verbindung, kommt in der Syntheseforschung eine essentielle Funktion zu. Durch diese materielle Realisierung chemischer Strukturen definiert sich die Synthesechemie überhaupt erst. Man kann sogar behaupten, dass ohne eine solche Realisierung, also der Fall eines rein hypothetisch existierenden Synthesewegs, von Wissenschaftlern nicht anerkannt wird. Eine chemische Struktur muss vielmehr nachweislich materiell existieren. Die Komplexität zeigt sich also auch in den Möglichkeiten, die der Syntheseforschung zur Verfügung stehen, anhand von Computerprogrammen. Dennoch ist letztlich die Komplexität eines Syntheseverfahrens an seine Realisierbarkeit gekoppelt.

¹⁰⁵ Vgl. Kap. Einführung in das Thema.

¹⁰⁶ Vgl. Hoffmann (2006): Elemente der Syntheseplanung, S. 135.

2.3.4 Die Produkte der Synthesechemie

Im Zuge der Entwicklung der organischen Chemie im 19. Jahrhundert und somit der ersten organischen Synthesen war das Kriterium des Nutzens zur Betreibung von Synthesen noch irrelevant. Hier ging es zunächst darum, die Möglichkeiten von Synthesen überhaupt, zu erfahren und zu erproben. Organische Chemiker haben zu dieser Zeit versucht, ohne den Gedanken an einen möglichen pharmazeutischen oder technischen Nutzen, aus Naturstoffen Substanzen zu isolieren, worin ein erster wichtiger Syntheseschritt bestanden hat.¹⁰⁷

Auch wenn die Synthesechemie sich über die Produktion und Isolierung von Naturstoffen weiterentwickelt hat und nun auch Substanzen herstellt, die in Lebewesen und der Ökosphäre nicht existieren, ist eine Orientierung an komplexen natürlichen Verbindungen nicht aus der Synthesechemie ausgeklammert worden. „*Natural product synthesis is probably the most obvious goal for an organic synthesis, but it is only one of many facts.*“¹⁰⁸ In Bezug auf die angestrebten Ziele, Interaktion und Kommunikation von Molekülen können bestimmte Bereiche der Natur noch immer als Wegweiser oder als Orientierungshilfe für die Herstellung von Syntheseprodukten im Labor charakterisiert werden. Ein Bereich ist beispielsweise die Interaktion zwischen Insekten und bestimmten Pflanzenarten, die mittels Pheromonen, also chemischen Lockstoffen, kommunizieren. Eine Kombinatorik von natürlichen und im Labor produzierten Substanzen bei der Synthese, eröffnet wiederum ein noch weiteres Feld für die Herstellung von synthetischen Produkten, deren Herstellungszweck in ihrer Anwendung liegen kann oder sich auf die bloße Möglichkeit von Herstellbarkeit überhaupt bezieht, wie es in der Grundlagenforschung der Fall ist.

Bereits im 19. Jahrhundert hat Marcellin Berthelot behauptet: „*Die Chemie schafft sich ihr Objekt selbst.*“¹⁰⁹ Damit meinte er vor allem die Syntheseprodukte, die nicht aus Naturprodukten isoliert wurden. Diese schöpferische Kraft der Chemie ist mittlerweile zur Normalität geworden, obwohl es den Objektstatus der Chemie und eine mögliche Definition desselben eher unklarer als klarer erscheinen lässt. Denn man hat es somit unter anderem mit einer Kategorie von Objekten zu tun, die de facto noch nicht als natürliche Realität vorliegen

¹⁰⁷ Vgl. Smit, Bochkov, Caple (1998): *Organic Synthesis – The science behind the art*, S. 5.

¹⁰⁸ Ebd., S. 15.

¹⁰⁹ Berthelot (1877): *Die chemische Synthese*, S. 293.

und die insofern den Status einer technischen Möglichkeit haben, in der man aktuell nur die Art ihrer Entstehung mit wahrscheinlichen Eigenschaften vorhersagen kann. Daher sind die chemische Synthese und eine allgemeine Charakterisierung ihrer Produkte in Bezug auf die Frage „Was ist das Objekt der Synthesechemie?“ schwierig. Das Objekt in der Synthesechemie erlangt erst durch seine nachgewiesene Realisierung seinen eigentlichen Objektstatus.¹¹⁰

Ein weiterer Punkt bei der chemischen Synthese ist, dass sie kein statisches und festgelegtes Verfahren zur Erzeugung von chemischen Verbindungen ist. Ebenso wie die Materie selber variiert, variabel und dynamisch ist, ist der Weg zur Herstellung von materiellen Produkten variabel. Diese Variabilität und Dynamik hängt von der Kreativität des Synthesechemikers bei der Genese von Prozessen und Prozesswegen ab. Insofern muss sich auch diese Dynamik und Variabilität in seinem Denken widerspiegeln. Dass die Dynamik weitgehend auf die schöpferische Kreativität des Chemikers zurückgeht, hängt auch damit zusammen, dass die Abbildungen von Molekülstrukturen (um die es bei der Synthese maßgeblich geht) eine gewisse Statik beinhalten, die dem dynamischen Prozess der Synthese nicht gerecht wird.¹¹¹ Die bereits erwähnten Computerprogramme können dabei helfen, Syntheseabläufe und synthetische Strukturen dynamischer erscheinen zu lassen.

2.4 Analytische Chemie

Will man über die synthetische Methode in der Chemie sprechen, dann kommt man fast zwangsläufig an den Punkt, an dem man sich auch mit der analytischen Chemie auseinandersetzen muss, obwohl sowohl analytische als auch synthetische Chemie ein je eigenständiges Fachgebiet innerhalb der chemischen Wissenschaft darstellen. Trotz ihrer gegenteiligen methodischen Ausrichtung – die Analyse zerlegt chemische Verbindung in ihre elementaren Bestandteile, die Synthese fügt chemische Strukturen zusammen – sind diese methodischen Herangehensweisen doch aufeinander angewiesen. Dafür gibt es sowohl in der

¹¹⁰ Eine ausführlichere Beschäftigung mit dieser Thematik erfolgt in Teil III dieser Arbeit.

¹¹¹ Vgl. Weißbach (1971): Strukturdenken in der organischen Chemie, S. 95.

Historie als auch in der gegenwärtigen Chemie Belege. In der Synthesechemie dienen analytische Methoden (wie Spektroskopie, Spektrometrie etc.) zur Aufklärung chemischer Strukturen. Die Synthese hingegen stellt für die analytische Chemie das Repertoire neuer Substanzen zu Verfügung, die analysiert werden müssen und für die die analytische Chemie die entsprechende Technik, entsprechende Verfahren und Apparaturen entwickeln muss, damit die Strukturaufklärung gelingen kann. Beide Gebiete sind mittlerweile aufgrund ihres Wissensstandes und der Anzahl unterschiedlicher Methode und Praktiken unübersichtlich, so dass eben jene Differenzierung in analytische und synthetische Chemie notwendig geworden ist. Zweifellos partizipieren beide am Wissen über Stoffe und Strukturen und dennoch gelten sie als komplementäre Bereiche in der Chemie, da sich ihr Fokus zum einen auf die Zerlegung, zum zweiten auf die Zusammensetzung richtet. Diese Spezialisierung innerhalb der Chemie bezieht sich nicht nur auf Methoden und Praktiken, sondern ebenso auf Personen. Der analytisch arbeitende Chemiker wird mit großer Wahrscheinlichkeit den Primat innerhalb der Chemie der Analyse einräumen, gleiches würde wohl der Synthesechemiker tun und beide werden weiterhin über ein beinahe nur rudimentäres Wissen des jeweils anderen Zweiges verfügen. Denn trotz der gegenseitigen methodischen und epistemologischen Abhängigkeit der Erkenntnisse von Analyse und Synthese überwiegt doch die Spezialisierung, was eine sich verbreiternde Spaltung für die Zukunft erwarten lässt. Diese Spaltung ist nicht gezeichnet von disziplininternen Differenzen, sie ist vielmehr eine Begleiterscheinung des Zuwachses an Wissen, der mit der fortschreitenden Forschung einhergeht. Diese Spezialisierung rechtfertigt hier eine differenziertere Betrachtung der beiden Wissenszweige der Chemie.

Die analytische Chemie beschäftigt sich als Teilgebiet der Chemie mit der Identifizierung und der Mengenbestimmung von chemischen Substanzen. Die Benennung und Beschreibung chemischer Substanzen ist eine der Hauptaufgaben der analytischen Chemie.¹¹² Eine aktuelle Definition von analytischer Chemie lautet: *„Die analytische Chemie ist definiert als eine eigenständige chemische Teildisziplin, welche Methoden und Instrumentarium zur Gewinnung von Informationen über die Zusammensetzung und die Struktur von stofflichen Systemen entwickelt und zur Verfügung stellt, speziell in Bezug auf Art, Zahl, energetischen*

¹¹² Malissa: Betrachtungen zur analytischen Chemie. In: *Analytica Chimica Acta* Vol. 100, Nr. 5 (1978), S.10.

*Zustand und geometrische Anordnung von Atomen und Molekülen insgesamt oder innerhalb eines gegebenen Probevolumens. Die moderne analytische Chemie kann auch als angewandte Chemie bezeichnet werden.*¹¹³

Eine erste Prägung des Begriffs Analyse in der Chemie wurde von Robert Boyle vorgenommen, der sie als chemische Reaktion charakterisierte, bei der komplizierte zusammengesetzte Reinstoffe/Teilchen, in einfachere Reinstoffe/Teilchen zerlegt werden.¹¹⁴ Im Sinne einer chemischen Stofftrennung wurde Analytik bereits seit Jahrtausenden in der Verarbeitung und Gewinnung von Metallen aus ihren Erzen betrieben.¹¹⁵ Die Gewinnung von Metallen umfasst den Bereich der Metallverhüttung, sowie das Lösen von Metallen aus den Erzen, bei der für jedes metallische Element spezifische analytische Verfahrensweisen eingesetzt werden.

In der Chemie ist die Analyse ein Sammelbegriff, unter dem sich subkategorisch verschiedene Verfahren zur Aufklärung von Substanzen und Substanzmengen vereinen.¹¹⁶

Eine erste Unterscheidung innerhalb der analytischen Chemie ist zwischen der qualitativen und der quantitativen Analyse vorzunehmen. Diese Unterscheidung von qualitativer und quantitativer Analyse in der Chemie wurde von Jöns Jakob Berzelius in seinem „Lehrbuch der Chemie“ (1841) vorgenommen, wobei er die Durchführung des Verfahrens der qualitativen Analyse zeitlich und logisch vor das der Durchführung der quantitativen Analyse setzte.¹¹⁷ Die Kopplung von Analysemethoden war also spätestens im 19. Jahrhundert in der Chemie geläufig.

Die qualitative Analyse hat die Aufgabe, die Substanzen zu bestimmen, die in einer Probe vorhanden sind. Es geht darum, eine Antwort auf die Frage nach dem *Was* zu finden. Lange bereits bekannte und angewandte Verfahren, wie die Bestimmung durch Flammenfärbung oder Fällungsreaktionen bei Ionen der Metalle und Nichtmetalle, fallen in den Bereich der qualitativen Analyse.

¹¹³ Schwedt (2008): Analytische Chemie, S. 3.

¹¹⁴ Vgl. Naumer, Heller (Hrsg.): Untersuchungsmethoden in der Chemie (2002), S. 3.

¹¹⁵ Vgl. Schwedt (2008): Analytische Chemie, S. 1.

¹¹⁶ Naumer, Heller (Hrsg.): Untersuchungsmethoden in der Chemie (2002), S. 3.

¹¹⁷ Ebd., S. 4.

Die quantitative Analyse fragt hingegen nach dem *Wieviel*, also nach der Menge einer oder mehrerer Substanzen in einer Probe. Die quantitative Analyse schließt somit den Parameter der Masse mit ein. Da bei der quantitativen Analyse genauere Angaben der Stoffmenge bzw. der Masse einer Verbindung das Ziel einer Untersuchung ist, ist dieses Verfahren abhängig von 1) dem Wissen um das Wiegen, der Atommasse, sowie der Kenntnis vom Aufbau der Materie und 2) von einer Kenntnis der Substanzen, die in der Probe enthalten sein könnten.

Eine weitere Analysekategorie hat sich auf die Aufklärung des Aufbaus von Substanzen spezialisiert. Diese Kategorie wird als Strukturanalyse bezeichnet und beschäftigt sich speziell mit der Aufklärung des Aufbaus von Materie im dreidimensionalen Raum.

Eine spezielle Methode, die unter die Kategorie der Strukturanalyse fällt, ist die Kristallstrukturanalyse, die durch Vermessung eines Kristalls mittels Röntgenstrahlung die Anordnung der Atome im Kristall bestimmt.

In der instrumentellen Analytik sind spektroskopische und spektrometrische Verfahren dominierend, die durch komplexe Apparaturen und aufbauend auf dem Wissen über Molekülbindungsschwingungen, Drehimpulse, Absorption oder Emission von elektromagnetischer Strahlung etc. angewandt werden. Einige Beispiele dafür sind die IR-Spektroskopie, NMR-Spektroskopie, Massenspektrometrie, UV/VIS-Spektroskopie, Gaschromatographie oder Hochleistungsflüssigkeitschromatographie.

Die letzte Kategorie, die hier anzuführen ist, ist die Verteilungs- und Oberflächenanalyse, bei der sich die zu analysierende Substanz in einer Probe befindet und in dieser lokalisiert wird.

Seit dem 19. Jahrhundert zeichnete sich in der analytischen Chemie ein Übergang ab, da es möglich wurde, mehr als nur eine Energieform für analytische Operationen zu nutzen. Man bediente sich zunächst ausschließlich der thermischen Energie, um Analytik zu betreiben, was bedeutet, dass man Substanzen voneinander trennte, indem man mittels thermischer Energie chemische Bindungen auflöste. Im 19. Jahrhundert wurde mit der Entdeckung der elektrischen Energie ein neues Mittel zur Trennung eingeführt, was die Möglichkeiten für

analytische Verfahren erweiterte.¹¹⁸ Die Nutzung elektrischer Energie half dabei, sowohl neue Verfahren für die Analyse zu entwickeln, als auch elektrische Phänomene an den Substanzen direkt zu untersuchen.

Die heutige Analytik ist von einer Ausrichtung auf Instrumente und Apparate geprägt. Anfängliche Apparaturen, zum Beispiel frühe pH-Meter, erforderten ein hohes Maß an Geschicklichkeit des Analytikers, sowie ein breites Verständnis der verwendeten Technik. Entsprechend kann man in dieser Phase eine hohe Spezialisierung der technischen Analyseapparaturen konstatieren. Die Entwicklung technischer Fertigkeiten in Anwendung und Modifikation solcher Spezialapparaturen gehört zum Fähigkeitsprofil eines guten Analytikers. Hier erfolgte eine Spezialisierung im Bereich analytischer Apparate und des Apparatebaus. Mittlerweile werden für die analytische Chemie viele Apparate entwickelt, die automatisch eigenständige Messungen durchführen, d. h. der Analysechemiker ist kein permanenter Bestandteil des Messprozesses mehr. Die Aufgabe des Überwachens fällt dem Analytiker zu, die eigentlich experimentelle Handlung übernimmt die Apparatur. Der Chemiker wird zum Wächter der Apparatur und nicht des experimentellen Prozesses an sich.

Durch eine gesteigerte Anwenderfreundlichkeit, einer breiteren Produktpalette auf dem Markt analytikbetreibender Geräte und den Fortschritten der Materialforschung zur Anwendung von analytischen Geräten, sowie einer Steigerung der Komplexierung der Technik in den Geräten konnte ein größerer Kreis von Nutzern die analytischen Apparaturen für chemische Untersuchungen anwenden.¹¹⁹ War früher handwerklich-technische Expertise im Sinne von Kunstfertigkeit erfordert, so ist nun der Laborchemiker weitgehend zum Nutzer einer vielfach als Fertigprodukt angebotenen Analysetechnik geworden. Das heißt, nicht nur die Entwickler bestimmter Geräte, die Spezialisten konnten sich mit den Messungen mit Hilfe analytischer Geräte befassen.

Ähnlich wie im Falle des Synthesplans spielt der Faktor der Robustheit in der Analytik eine immer größere Rolle. Verfahren sowie Messmethoden sollen eine möglichst große Toleranz gegenüber Störungen aufweisen. Trotzdem ist die Genauigkeit der Messung, also

¹¹⁸ Vgl. Naumer, Heller (Hrsg.): Untersuchungsmethoden in der Chemie (2002), S. 5.

¹¹⁹ Vgl. Camman (Hrsg.): Instrumentelle analytische Chemie (2001), S. VIII.

eine möglichst wahrheitsgemäße Aussage über den Inhalt einer Probe zu tätigen, das Ziel einer jeden analytischen Operation. Die Probe enthält (im analytischen Sinn) Stoff und Form, aus der die gesamte Information besteht, die der Analytiker zu erhalten wünscht.¹²⁰

Die wahrheitsgemäße Aussage über den Inhalt einer Probe ist aber trotz möglicher hoher Qualitäten des technischen Arrangements und der Messgenauigkeit der Apparaturen vom Analytiker abhängig. Erst ein Experte der analytischen Chemie kann das Potential der technischen Analysegeräte im ganzen Umfang nutzen.¹²¹ Man hat es also in der analytischen Chemie nicht mit einer rein von Messgeräten dominierten Subdisziplin zu tun, sondern mit einer kooperativen Disziplin, deren Fortschritt und Qualität ihrer Aussagen eben durch die Kooperation von Apparatur und Chemiker zustande kommen. In der analytischen Chemie ist insofern eine Synthese von handwerklichem und kreativem Können gefordert, dessen Anwendung das Wissen über technische Vollzüge und zugleich über materielle Strukturen steigert.¹²²

Die Wahl des analytischen Verfahrens hängt von der Fragestellung und der zu analysierenden Probe ab. Diese Parameter beeinflussen auch die Auswahl der Messgeräte, die im Prozess zum Einsatz kommen sollen. Ein mehrfacher Einsatz von verschiedenen Apparaturen gehört mittlerweile zum Standard in der analytischen Chemie, um deutliche Aussagen über Messdaten zu erzielen,¹²³ doch zugleich ist nicht jedes Messverfahren für jede Substanz bzw. einen speziellen Probenbestandteil gleichermaßen geeignet. Von daher ist es schwierig, ein standardisiertes Analyseverfahren zu konstatieren, was allen Punkten der chemischen Analytik gerecht zu werden vermag. Es ist jedoch möglich, ein verallgemeinerndes Schema anzugeben, was die einzelnen Verfahrensschritte der chemischen Analyse auflistet:

- 1) Am Anfang steht, wie bei jeder wissenschaftlichen Operation, eine Fragestellung.
- 2) Es folgt die Probennahme, sowie die Probenvorbereitung. Das heißt, die entsprechende Probe wird (chemisch) bearbeitet oder mit diversen Zusätzen angereichert, die das anschließende Analyseverfahren erleichtern und das Ergebnis verdeutlichen sollen. Dies gilt

¹²⁰ Vgl. Malissa: Betrachtungen zur analytischen Chemie. In: *Analytica Chimica Acta* Vol. 100, Nr. 5 (1978), S. 9.

¹²¹ Vgl. Camman (Hrsg.): *Instrumentelle analytische Chemie* (2001), S. 1f.

¹²² Vgl. Malissa: Betrachtungen zur analytischen Chemie. In: *Analytica Chimica Acta* Vol. 100, Nr. 5 (1978), S. 6.

¹²³ Vgl. Otto (2000): *Analytische Chemie*, S.25.

im Wesentlichen für ein apparatives Analyseverfahren, wie NMR-Spektroskopie oder Gas-Chromatographie.

3) Es folgen die Messungen der Probe.

4) Die Messungen werden im nächsten Schritt ausgewertet. Eine sich anschließende Erhebung statistischer Messdaten und die entsprechende Berichterstattung über den Messverlauf sind ebenfalls Bestandteil der vollständigen analytischen Untersuchung.¹²⁴ Der gesamte Analyseablauf besteht aus der Analysemethode und der Analysetechnik. Man unterscheidet also in der analytischen Chemie die Methode von der Technik. Die als eigentlich analytisch zu bezeichnende Methode umfasst die Probenvorbereitung, die Messung und die Auswertung. Die Analysetechnik bezieht sich auf die Messung. Der technische Aspekt ist also Bestandteil der Methode, bezieht sich aber direkt auf die Anwendung der eingesetzten Apparaturen und deren gewählte Messparameter.

Um der chemischen Analytik mit ihren heutigen Anforderungen der Praxis, wie die Genauigkeit bei der Probennahme, die Kenntnis der Messtechnik oder die Auswahl des richtigen Verfahrens gerecht zu werden, muss der Analytiker die sowohl vorhersagende sowie im Nachhinein reflektierende Frage nach dem *Wie* stellen.¹²⁵ Das heißt, es geht im Analyseprozess neben der Identifizierung von Substanzen ebenso um die Aufklärung von Analyseprozessen und Analyseverfahren.

Die Korrektheit eines Analyseverfahrens wird aus dem Vergleich von statistischen und systematischen Fehlern ermittelt.¹²⁶ Da in der analytischen Chemie kein Analyseverfahren zu 100 Prozent ein richtiges Ergebnis repräsentiert und auch die Kombination von Analyseverfahren nur näherungsweise an ein Gesamtergebnis heranreicht, was den genauen Inhalt einer Probe widerspiegelt, werden mehrere Proben der Ausgangssubstanz analysiert und so ein statistischer Mittelwert gebildet, der eine Verteilung der in der Probe enthaltenen Stoffe (bzw. ihrer Menge) wiedergibt. Wäge-, Mess- und Kalibrierfehler sind die wichtigsten und häufigsten systematischen Fehler, beziehen sich also auf die Handhabung und

¹²⁴ Vgl. Camman (Hrsg.): Instrumentelle analytische Chemie (2001), S. 2 f.

¹²⁵ Vgl. Malissa: Betrachtungen zur analytischen Chemie. In: Analytica Chimica Acta Vol. 100, Nr. 5 (1978), S. 7.

¹²⁶ Vgl. Schwedt (2008): Analytische Chemie, S. 32.

die Ausführung der jeweiligen Analyseverfahren.¹²⁷ Durch die Wiederholung von Messungen und der Berechnung der Abweichungen vom statistischen Mittelwert kann auch der Grad der Präzision des Analysevorgangs ermittelt werden.¹²⁸ Dabei gilt, je höher die Abweichungen, desto ungenauer die Messungen.

Die apparativen Verfahren der chemischen Analytik sind in ihrer Handhabung, dem Verfahren, der Darstellung und der Technik im eigentlich materiellen Sinne nicht mehr eine (Zer-)Teilung, eine Trennung oder eine Zerstörung. Das heißt, es finden nicht unbedingt chemische Umwandlungsprozesse wie Zersetzungen oder Reaktionen statt. Die zu vermessende und analysierende Substanz bleibt meistens erhalten, die Trennung des Untersuchungsgegenstandes findet auf dem Papier, also bei der anschließenden Auswertung statt. Der analytische Chemiker zerlegt die zu analysierende Substanz mit Hilfe der Messergebnisse vielmehr theoretisch. Bei nicht apparativen Verfahren (wie Fällungsreaktionen) werden die Substanzen hingegen verändert und chemisch umgewandelt. Das bedeutet, chemisch-analytische Methoden, die in Geräten wie Röntgendiffraktometern oder NMR-Analysegeräten etc. durchgeführt werden, sind eigentlich physikalische Methoden. Die Stoffe werden chemisch nicht umgewandelt bzw. verändert, sondern bleiben (soweit sie nicht unter Normalbedingungen instabil sind) trotz analytischen Eingriffs erhalten. Physikalische Messmethoden, wie NMR-Spektroskopie stellen eine Schnittstelle interdisziplinärer Kommunikation zwischen der Physik und der Chemie dar.¹²⁹

Die lückenlose Rekonstruktion des Verfahrens, wie ein analytisches Ergebnis entstanden ist, ist in der Chemie erforderlich. Doch es bedarf in der Regel keines erneuten Syntheseprozesses, um den zuvor zerlegten Untersuchungsgegenstand wiederherzustellen.¹³⁰ Vielmehr geht es bei der lückenlosen Rekonstruktion um die Durchsichtigkeit des Verfahrens, zur Verifikation des Gehalts und des Inhaltes der Probe. Aus der Durchsichtigkeit des Verfahrens durch Rekonstruktion können mögliche Fehlerquellen oder Störfaktoren in der Analyse eliminiert werden.

¹²⁷ Vgl. Ebd., S. 34.

¹²⁸ Vgl. Otto (2000): Analytische Chemie, S. 24.

¹²⁹ Vgl. Schwedt (2008): Analytische Chemie, S. 12.

¹³⁰ Vgl. Ebd., S. 27.

Die Methode der Analyse ist in ihrer Verfahrensweise von der Verfahrensweise der Synthese verschieden. Und dieses Faktum ist nicht nur bedingt durch die unterschiedlichen Vorgänge des Trennens oder des Verbindens, die sich durch die jeweiligen Forschungsziele ergibt, sondern ebenso durch den Einsatz spezifischer auf analytische oder synthetische Vorgänge abgestimmte Instrumente oder Apparaturen. Das Ziel der Steigerung und Verringerung der Komplexität von Materie bestimmt die jeweilige Verfahrensweise, worauf auch das jeweilige Forschungsequipment ausgerichtet ist. Das spezifische Wissen um den Forschungsgegenstand und die Verfahren, die speziellen Fragestellungen beider Bereiche und das entsprechende (technische) Equipment prägen sowohl die analytische Chemie als auch die Synthesechemie auf eine jeweils eigene Weise.

3. Resümee

Eine disziplinübergreifende Aufstellung von Synthesekategorien kann nur dann einen Sinn machen, wenn sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufzeigt. Als grundlegende Gemeinsamkeit aller Synthesekategorien kann man feststellen, dass die Synthese als Methode angewendet wird um so Erkenntnisse zu produzieren.

Die Unterschiede zeigen sich deutlich, sobald man das *Was* und das *Wie* betrachtet. Das *Was* bezeichnet dabei den Gegenstand der synthetischen Operation, also was synthetisiert wird. Das *Wie* bezeichnet die Vorgehensweise beim Synthetisieren, also wie die synthetische Operation umgesetzt wird. Spricht man vom *Gegenstand* der synthetischen Operation kann dieses Wort leicht in die Irre führen. Da man unter Gegenstand etwas sehr Konkretes zu erwarten glaubt, was zudem die Assoziation einer materiellen Verfasstheit beinhaltet, wird im Folgenden von Charakteristiken der jeweiligen Synthesekategorien gesprochen. Die Assoziation einer stets und für alle Formen von Synthese unterstellten materiellen Verfasstheit ist gerade in Bezug auf die Unterscheidung zwischen chemischer Synthese und den anderen Kategorien zu vermeiden.

Die hier aufgestellten Synthesekategorien lassen sich inhaltlich wie folgt zusammenfassen: Die Charakteristika der euklidischen Geometrie sind Logik und Form; hier liegt ein stringentes Gedankensystem vor, das für sich selbst beansprucht, ohne Werkzeuge und Gültigkeit formaler Überlegungen in der materiellen Welt seinen Wahrheitsanspruch zu erfüllen.

Bei der Synthese im kantischen System besteht die Synthese eben darin, reines Denken und Vorstellungen über die Bedingungen der materiellen Welt zusammenzubringen. Vernachlässigt man die diversen Subfunktionen, die die verschiedenen Formen der Synthese bei Kant auch erfüllen, ist dieses Zusammenfügen von Vorstellungen und Begriffen zu einer Erkenntnisleistung die wichtigste und gleichzeitig die hier für die Unterscheidung zu anderen Synthesekategorien bedeutsamste. Die Synthesis bezeichnet also die Verfahrensweise, durch die das Individuum Erkenntnisse über die Welt erlangt.

Bei Bachelard ist die Synthese zuallererst Methode. Das heißt, er untersucht nicht die Synthese selber, sondern wendet sie als Methode auf Naturwissenschaft und Philosophie an, um eine adäquate Philosophie der Naturwissenschaften zu entwickeln. Das philosophische Verfahren ist hier also selbst synthetisch und nach Bachelard die einzig adäquate Methode, um die zunehmende Komplexität in den Naturwissenschaften darzustellen, die die Wissenschaftsphilosophie berücksichtigen muss.

Die Synthese findet sich in der bachelardsche Philosophie noch auf eine zweite Weise, was in der wissenschaftlich-disziplinären Kategorie untersucht wurde. Auf die zweite Weise kann Synthese nicht methodisch, sondern vielmehr inhaltlich verstanden werden. Bachelard bedient sich in dieser zweiten Weise nicht der Methode der Synthese für seine Philosophie, sondern charakterisiert sie als ein Bestandteil der Naturwissenschaften des 20. Jahrhunderts. Phänomene der Naturwissenschaften, wie Welle und Teilchen, werden nicht mehr getrennt behandelt, sondern Phänomene werden zusammengedacht. Diese Entwicklung zeichnet nach Bachelard die Modernität der Physik und Chemie des 20. Jahrhunderts aus.

Schließlich ist die chemische Synthese eine wissenschaftliche Methode. Hier werden im Gegensatz zu allen anderen Synthesekategorien materielle Strukturen realisiert. Die Synthese arbeitet in der Chemie gleichsam auf die materielle Vielfalt hin. Materielle Strukturen, das heißt molekulare Strukturen, begleiten und formen den Prozess der Synthese in der Chemie.

Man sieht also, dass die Synthese sich hier in höchst unterschiedlichen Formen präsentiert. Man kann von der Vielfalt der Synthese sprechen, die sich daraus ergibt, dass unter unterschiedlichen Voraussetzungen sowohl materielle als auch immaterielle Objekte durch diese Methode zusammengesetzt werden können. In jeder Kategorie ist das Ziel, die Veränderung des jeweiligen Objektes, durch den Prozess des Zusammenfügens. Doch einzig in der Chemie dient die Synthese dazu, materielle Objekte zu verändern. Dies ist der offensichtlichste aber wichtigste Unterschied zwischen der chemischen Synthese und allen anderen Kategorien.

Es gibt dennoch Überschneidungen. Denkt man an den Synthesepfad in der Chemie, ist dieser ebenfalls formal. Er stellt die unerlässliche Vorstufe im Ablauf der chemischen Synthese dar, sein Ziel muss materiell verwirklicht werden. Erst dann kann im strengen Sinne von einer chemischen Synthese gesprochen werden, wenn Materie in den Syntheseprozess eingebunden wird.

Trotz der unterschiedlichen Präsentation der Formen von Synthese in den jeweiligen Kategorien verbindet sie eine feststellbare Gemeinsamkeit. Diese Gemeinsamkeit in allen Synthesekategorien ist, dass sie eine jeweilige Systematik besitzen, die die Methode der Synthese stützen. Systematik meint hier den spezifischen Aufbau, wie die synthetische Methode verwendet wird. Diese Systematiken sind nicht disziplinübergreifend einheitlich, sondern versuchen vielmehr, den wissenschaftsinternen Ansprüchen zu genügen. Die Systematik bei den mathematischen und philosophischen Synthesekategorien scheint – bis auf die Handhabung der Methode der Synthese bei Bachelard, die ganz klar Offenheit und Dynamik fordert – eher geschlossen. Bei Euklid ist die Systematik durch die strikte Festlegung der Vorgehensweise, der Vermeidung von geometrischen Hilfsmitteln wie Zirkel und Lineal und ihren Darstellungen im zweidimensionalen Raum als geschlossen zu bezeichnen. Bei Kant kann durch die klaren Definitionen der Funktionen der Synthesisformen ebenfalls eher von einer geschlossenen Systematik gesprochen werden. Diese Geschlossenheit ist bedingt durch eine Abgrenzung gegenüber Störungen und Einflüssen für die synthetische Methode.

Im Gegensatz dazu scheint die Synthese in der Chemie eher offen zu sein. Denn sie versucht gerade durch das Einbinden diverser Forschungsansätze, sowohl disziplinärer als auch interdisziplinärer, ihr Ziel, die Produktion einer neuen chemischen Verbindung oder

eines Syntheseweges umzusetzen. Die Bedingungen, unter denen dieses Ziel zu erreichen ist, sind bei der Methode der chemischen Synthese nicht beschränkt. Deshalb kann auch auf Ansätze aus anderen Disziplinen zugegriffen werden, ohne einen Stilbruch oder einen systemimmanenten Denkfehler zu begehen. Der Hauptaspekt dieser Offenheit zeigt sich dadurch, dass es zwar ein Ziel des Syntheseverfahrens gibt, was sich auf den Entwurf und die Umsetzung materieller Strukturen richtet, dennoch liegen die Regeln der Umsetzung bei der chemischen Synthese nicht im Denksystem der Synthesechemie selber, sondern sie kommen von außen. Denn die Regeln für die Realisierung materieller chemischer Strukturen lassen sich eben in dieser Umsetzung und am Produkt, das heißt am Molekül, festmachen. Daraus wie materielle Strukturen sich in der Praxis zusammenfügen und verbinden lassen, ergeben sich die Regeln, nach denen der Synthesechemiker in der Synthesechemie verfahren muss. Es geht also immer um ein *Außen*. Es geht darum, was die Materie, die chemische Struktur, dem Syntheseplan in seiner Umsetzung für Widerstände entgegensetzt. Widerstand im Prozess der chemischen Synthese kann als das gelten, was nicht zu realisieren ist, was die geplant-konkrete Umsetzung der Synthese behindert. Dieses sind die materiellen Strukturen und die Eigenschaften, die diese besitzen. Konkret können zu den Störgrößen zu große Spannungen innerhalb eines Moleküls (Ringspannung), Abstoßungskräfte, sterische Hinderungen etc. gehören. Es sind die strukturellen Eigenschaften der Moleküle, die dem Prozess der Umwandlungen, der Synthese Widerstände entgegensetzen und somit den Syntheseplan zu Abänderungen zwingen. Das in der Synthesechemie zu synthetisierende Produkt bestimmt maßgeblich die Methode, wohingegen in der euklidischen Geometrie beispielsweise sich die Methode bereits konstituiert, bevor sich das Objekt konstituieren kann. Im Denksystem, was den Syntheseplan und die vor der praktischen Umsetzung zu bestimmenden experimentellen Parameter formt, lassen sich nicht die Grenzen für materiell-synthetische Verfahren verorten. Die Grenzen werden vielmehr durch experimentelle Widerstände und die genannten Störgrößen gesetzt.

Das heißt, nach der oben erfolgten Darstellung des Entwurfs eines Syntheseplans und der Darstellung der chemischen Synthese kann letztere als denksystemunabhängig bezeichnet werden, weil nicht in ihr selbst die Grenzen für den Prozess der Synthese gezogen werden, sondern konkret in der Umsetzung des Syntheseplans, also dem Syntheseprozess selbst. Man führe sich zur Verdeutlichung der Verortung von Widerständen bei der chemischen

Synthese folgendes Szenario vor Augen: Ein Spezialist auf dem Gebiet der Synthesechemie ist ohne weiteres dazu in der Lage, einen konkreten Syntheseplan zu entwerfen, mit dessen Hilfe eine bisher unbekannte nicht existierende Struktur zu realisieren wäre. Dazu macht er sich seine bisherigen Erfahrungen zunutze, er greift auf sein chemisches Wissen zurück, gleicht dieses mit den vorhandenen Apparaten, Materialproben und Verfahrensmöglichkeiten in seinem Labor ab und nimmt möglicherweise noch die Hilfe von Computerprogrammen für seine Syntheseplanung in Anspruch. Der Syntheseplan wird dann im Labor umgesetzt und scheitert, d. h. die denkmögliche Realisierung erweist sich in der Praxis des Labors als nicht technisch umsetzbar. Das postulierte Produkt entsteht nicht. Der Syntheseplan wird modifiziert und scheitert wieder usw. Nach mehrmaliger Modifikation und dem Wechsel aller Reaktionsparameter, sowie der Beratung innerhalb der scientific community wird der Synthesechemiker zu dem Schluss kommen, dass die vorgegebene Zielstruktur nicht realisierbar ist, beispielsweise aufgrund intra- oder inter-molekularer Hinderungen, die zur Instabilität der Zielstruktur oder bereits der Vorstufen führen. Dies wäre die erste Möglichkeit. Die zweite Möglichkeit wäre, dass er die Nicht-Realisierbarkeit auf Defizite im vorhandenen Laborequipment zurückführt. Dennoch wurde seinen Ideen, seinem Syntheseplan und seinen Modifikationsversuchen die Nicht-Realisierbarkeit dadurch aufgezeigt, dass die Widerständigkeit im Syntheseprozess zu hoch war. Die Widerständigkeit im Syntheseprozess kann als das gelten, wenn die Substanz(en) im Kolben nicht mehr manipulierbar sind. Der Chemiker kontrolliert den Prozess nicht mehr, wenn der Widerstand zu groß ist. Eine Strukturformel auf dem Papier zu entwickeln und das Verfahren zur Herstellung im dazugehörigen Syntheseplan zu konkretisieren, ist möglich und das gilt für jede Strukturformel. Aber an der Realisierung kann der Synthesechemiker scheitern. Somit liegen die Grenzen der Methode der Synthese in der Chemie, in den molekularen Strukturen der Materie selbst begründet und nicht im Denksystem oder der Starrheit der Methode, weshalb sie als eine offene Methode bezeichnet werden kann.

Dies ist der wichtigste Unterschied zu den anderen hier aufgeführten Synthesekategorien. Keine beschäftigt sich derart intensiv mit materiellen Strukturen wie die Synthesechemie, somit wird aber auch keine dieser Kategorien so scharf durch sie begrenzt. Die anderen hier vorgestellten Synthesekategorien finden ihre Grenzen eher innerhalb ihres Denksystems. Scheitert die interne Logik, scheitern die Begründungszusammenhänge, dann scheitert das

System. Die Methode der Synthese würde das angestrebte Ziel nicht erreichen. Stimmt beispielsweise das logische Gerüst der euklidischen Geometrie nicht, dann kann dies, da kein primärer Bezug zur gegenständlichen Welt erforderlich ist, am Konstrukteur des geometrischen Systems liegen.

Ein weiterer Unterschied zwischen chemischer Synthese und den anderen Synthesekonzepten ist, dass man hier neben dem Aspekt der widerständigen Materie, den damit verbundenen Aspekt der Ausrichtung auf die Praxis berücksichtigen muss. Schließlich geht es um das Formen von Materie in der Praxis. Die Synthese in der Chemie ist praktikabel. Durch die starke Ausrichtung auf die Praxis offenbart sich eine weitere Grenze bei der Betrachtung der chemischen Synthese. Denn durch die Verbindung des Syntheseplans mit der Praxis findet eine Reduktion statt. Der Syntheseplan muss an die existierenden Bedingungen im Labor angepasst werden. Man spricht dabei von: „[...]the process of reducing the scheme to practice.“¹³¹ Diese Reduktion ist notwendig, damit eine Praktikabilität überhaupt gewährleistet ist. Der Grund für die Reduktion bezieht sich wiederum darauf, dass in der Praxis nicht alle im Syntheseplan zuvor erdachten Verfahren und Arbeitsschritte zur gewünschten Zielstruktur führen. „The time, effort and expense required to reduce a synthetic plan to practice are generally greater than are needed for the conception of the plan.“¹³² Die Kategorie der chemischen Synthese ist also auch von Reduktion gekennzeichnet. Ansatzpunkte einer Reduktion lassen sich in den anderen Synthesekategorien hingegen nicht entdecken.

Ein weiterer Unterschied zwischen der Kategorie der chemischen Synthese und den anderen Synthesekategorien ergibt sich auch daraus, dass bei der chemischen Synthese im Gegensatz zu anderen kein linearer Umkehrprozess (eine analytische Zerlegung) in genau gleichen Schritten mehr möglich ist. Was für ein formales Synthesemodell, allein für die Realisierung der Beweisführung, unerlässlich ist, kann in der materiellen Synthese nicht angesetzt werden. Hier müssen andere Nachweismethoden¹³³ genutzt werden. Eine materielle lineare Retrosynthese, bei der sich aus Produkten wieder entsprechende Edukte herstellen lassen, ist jedoch nicht möglich.

¹³¹ Corey, Cheng (1995): The Logic of chemical Synthesis, S. 2.

¹³² Ebd., S. 2.

¹³³ Vgl. Teil I: Kap. 5.3 Analytische Chemie.

Die chemische Synthese als Methode des Zusammenfügens materieller Strukturen unterscheidet sich daher von den anderen Kategorien vor allem dadurch, dass sie sich in der Praxis bewähren muss und dadurch ihre Grenzen *durch* die Praxis erfährt, indem molekulare Strukturen im Syntheseprozess den prognostischen Verfahrensabläufen materielle Widerstände entgegensetzen, die teilweise unüberwindbar sind, was die Nicht-Realisierung einer chemischen Struktur zur Folge hat. Damit ist die Kategorie der chemischen Synthese hinreichend von den anderen Synthesekategorien unterschieden worden, was gleichzeitig den Zweck der Bildung der Synthesekategorien erfüllt. Außerdem wurde anhand der Kategorien aufgezeigt, wie mit der Methode der Synthese verfahren werden kann und in welcher Weise sie anwendbar ist.

Teil II: Die Geschichte der chemischen Synthese

1. Eine Einführung in die Geschichte der Synthesechemie

Die Geschichte der chemischen Synthese ist bis heute noch nicht in einem Werk verfasst worden und wird an dieser Stelle aus der Geschichte der Chemie extrahiert. Die chemische Synthese wirkte in der Gesamthistorie der Chemie und stellt daher einen Teil der historischen Rekonstruktion der Chemie dar.

Bei der Rekonstruktion des geschichtlichen Entwicklungsganges der chemischen Synthese stellt sich zuerst die Frage nach dem Zeitpunkt ihres Beginns. Ab wann kann berechtigt von Synthesen in der Chemie gesprochen werden und welche Konzepte und Vollzüge sind damit gemeint? Eine Möglichkeit wäre es, die Geschichte der chemischen Synthese mit der Harnstoffsynthese von Friedrich Wöhler beginnen zu lassen, die manch einem Chemiehistoriker als Widerlegungsfaktum des *vis vitalis*-Konzeptes¹³⁴ galt. Natürlich kann in Bezug auf die Harnstoffsynthese von einer wichtigen Entdeckung für das Gebiet der organischen Chemie gesprochen werden, die durchaus als eine wesentliche und damit paradigmatische gelten könnte. Doch wie im Folgenden noch im Vollzuge des Fallbeispiels der Synthese im 19. Jahrhundert gezeigt wird, widerlegte die Harnstoffsynthese das Konzept der *vis vitalis* nicht. Es wäre nicht unberechtigt bei der Harnstoffsynthese zu beginnen, um mit dieser die Entwicklung der Synthesechemie zu erläutern, weil sich dieses Verfahren ab der Mitte des 19. Jahrhunderts wissenschaftlich in der Chemie etablierte. Somit war der Zeitabschnitt der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts durchaus formgebend für die heutige Synthesechemie, weil in dieser Zeit die ersten wissenschaftlich-chemischen Synthesen umgesetzt wurden. Ein Nachteil dieser Festlegung ist jedoch, dass man mögliche Vorformen der Synthesechemie außer Acht lassen würde. Es gibt nämlich durchaus Gründe auch bereits bei früheren Verfahren der Chemie von Synthese zu sprechen, selbst wenn diese vom heutigen Konzept – der heutigen Idee von Synthese in der Chemie sei es in der Theorie oder Praxis – noch abweichen. Das Nicht-Beachten möglicher Vorformen der Synthese könnte die Be-

¹³⁴ In der Konzeption des Vitalismus unterliegt Lebendiges einer Eigengesetzlichkeit, die eben auf eine besondere, unerforschbare, übermechanische Lebenskraft zurückzuführen sei. Seit Aristoteles existiert diese Lehrmeinung und hat bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts Bestand.

deutung der Rolle der Synthese in der Entwicklung der Chemie nicht komplett widerspiegeln. Berechtigt wäre das Auslassen der Vorformen von Synthese möglicherweise, wenn es sich bei dieser Darstellung allein um die Aufgabe einer Geschichte der chemisch-wissenschaftlichen Synthese handeln würde, bei der ausschließlich wissenschaftliche Konzepte behandelt werden. Will man in der Geschichte der Chemie nach unterschiedlichen Konzepten von Synthese suchen, dann ist es erforderlich, den verschiedenen Verwendungsformen des Begriffes von Zusammenfügen nachzugehen, um darauf aufbauend, frühe Synthesekonzeptionen zu finden.

Der Grund, nach den Anfängen chemischer Synthesekonzepte zu fragen, ergibt sich aus der Aufgabe, die Tatsachen (historische Fakten über die Synthese) als Ideen aufzufassen, die die gegenwärtige chemische Synthese mitformen. Diese Ideen sollten die Philosophie der Chemie, die auf dem Bestimmungsmerkmal der Synthese basiert, mitprägen. Denn die Ideen, die sich hinter chemischen Synthesekonzepten im Lauf der Historie verbergen, zeigen erstens die Komplexität, die sich hinter Materiekonzepten und hinter der dementsprechenden Herangehensweise an materielle Gegenstände in der Chemie verbirgt. Zweitens zeigen diese Ideen, wie die jeweiligen Synthesekonzepte die Entwicklung der Chemie mitgeprägt haben. Die Antwort kann sich also als wichtiger Bestandteil für eine Untersuchung der heutigen chemischen Synthese und ihre Verortung erweisen. Ihre Entstehung und ihre Herkunft gibt nämlich ebenso Aufschluss über das *Wesen* der chemischen Synthese, wie ihre Untersuchung in Abgrenzung zu anderen Syntheseformen. Der Sinn von Synthese erschließt sich demnach auch aus den jeweiligen historischen Konzepten.

Eine Berücksichtigung bzw. eine Untersuchung signifikanter Wendepunkte und wichtiger Phasen in der Entwicklung der Chemie ist dabei unerlässlich. Von daher werden eben jene wichtigen Phasen aus der Geschichte der Chemie aufgegriffen und anhand von Fallbeispielen erörtert.

Da hier die Geschichte des Untersuchungsgegenstandes in den Fokus rückt, wird die Gesamtuntersuchung gerade aufgrund der Einbindung der Wissenschaftsgeschichte der chemischen Synthese zu einer Epistemologie. Damit ist gemeint, dass nicht allein die Wissenschaftsphilosophie, sondern ebenfalls die Wissenschaftsgeschichte Erkenntnisse über den Untersuchungsgegenstand – die chemische Synthese – offenbaren soll. Das heißt auch, dass eine Geschichte der Erkenntnisirrtümer und der bestätigten Erkenntnisse in Bezug auf das

Konzept der Synthese mit eingebunden werden. Georges Canguilhem definiert treffend den philosophischen Grund, Wissenschaftsgeschichte zu betreiben, dadurch dass eine Theorie der Erkenntnis ohne Bezug auf die Epistemologie ein Meditieren ins Leere, und eine Epistemologie ohne Bezug auf die Geschichte der Wissenschaften eine überflüssige Verdopplung der Wissenschaft wäre.¹³⁵ Erkenntnisse über die chemische Synthese sind also weniger aussagekräftig, betrachtet man nicht die Entwicklung dessen, was man unter Synthese in der Chemie verstanden hat. Die Epistemologie betrachtet die Geschichte der überholten Erkenntnisse sowie der bis in die Gegenwart bestätigten Erkenntnisse und schreibt nach Canguilhem daher eigentlich zwei Geschichten des jeweiligen wissenschaftlichen Gegenstandes.¹³⁶ Dadurch wird es denkbar, die gegenwärtige Funktion, Ausübung und Bedeutung der Synthese in der Chemie mit möglichen Funktionen, Ausübungen und Bedeutungen der vergangenen Jahrhunderte in Beziehung zu setzen. Es lassen sich durch die Rekonstruktion der bestätigten Erkenntnisse und der Erkenntnisirrtümer auch jeweilige Konzeptionen des wissenschaftlichen Denkens ausfindig machen. Rückstände philosophischer Implikationen des wissenschaftlichen Denkens diverser Konzeptionen von chemischer Synthese in der Geschichte können dabei in der gegenwärtigen Konzeption entdeckt und analysiert werden. Dies ist der Grund eine Epistemologie der Synthesechemie zu verfassen.

Die Geschichte der Synthese in der Chemie beginnt mit der Alchemie, denn im Denkstil und der methodischen Konzeption der Alchemie lassen sich bereits synthetische Aspekte finden. Genau wie in der Chemie bildet sich in der Alchemie der Gedanke der Synthese, das Konzept des Formens und Gestaltens von Materie und der Herstellung neuer Produkte als wesentlicher Aspekt des Laborhandelns aus, allerdings wird dieser Gedanke in beiden Ansätzen ganz unterschiedlich ausgestaltet, was im Folgenden aufgezeigt wird.

Ein Vorteil, die Untersuchung der Synthese mit der Alchemie zu beginnen, besteht darin, synthetisches Denken im Kontaktschluss mit materiellen Umwandlungsprozessen selbst beginnen zu lassen. Denn im Gegensatz zu frühen mathematischen oder philosophischen Synthesekonzepten wird in der Alchemie mit Materie operiert. Obwohl sich mit der Bezeichnung Scheidekunst als Pseudonym für die Alchemie, bei einer wörtlich genommenen

¹³⁵ Vgl. Canguilhem (1979): Wissenschaftsgeschichte und Epistemologie, S. 24.

¹³⁶ Vgl. Ebd., S. 26.

Interpretation ein explizit analytischer Grundzug der Alchemie ergibt, ist doch angesichts der tatsächlich praktizierten Verfahren, die Alchemie selbst stets eine Form der Synthese gewesen.¹³⁷ Diese besondere Gewichtung der Synthese¹³⁸ scheint im Gegensatz zu einem der Leitsprüche der Alchemie zu stehen: *Solve et Coagula*.¹³⁹ Dieser Leitspruch scheint doch eher darauf zu verweisen, dass analytische und synthetische Aspekte in sich ergänzender und damit gleichwertiger Weise das Verfahren der Alchemie prägen. Dieser scheinbare Gegensatz ist allerdings auflösbar, wenn man sich bewusst macht, dass eines der wichtigsten Ziele der alchemistischen Bemühungen darin bestand, den *Lapis philosophorum*¹⁴⁰ herzustellen. Hierbei handelt es sich insgesamt gesehen um einen synthetischen Prozess. Denn eine alchemische Vervollkommnung wie der *Lapis philosophorum* war im Denken des Alchemisten nur durch den Prozess des Verbindens möglich. Sowohl das alchemistische Denken als auch die faktische materielle Umsetzung der Gedanken in alchemistischen Praxen verfolgten das wesentliche Ziel eines Zusammenfügens, um Vervollkommnung zu erlangen. Auch bilden das alchemistische Denken und die Praxen der Umwandlung von materiellen Objekten im Labor eine besondere Form der Synthese. Denn durch die Teilnahme an den praktischen Verfahren und durch die Vorstellungen der alchemistischen Lehre geleitet versucht auch der Alchemist sich selbst zu vervollkommen. Damit einhergehend soll auch die Natur vervollkommen werden.¹⁴¹ Man hat es in der Alchemie also mit einem mehrstufigen, verwobenen Prozess einer umfassenden Synthese zu tun: Konkret vollzieht der Alchemist im Labor Verfahren, die darin bestehen, aus Ausgangsstoffen ein vollkommeneres Produkt zu synthetisieren. Dieses Verfahren dient dazu, auch den Alchemisten aus einem ungeläuterten Zustand in einen höheren, geläuterten Zustand zu überfüh-

¹³⁷ Vgl. Ploss, Roosen-Runge, Schnipperges, Buntz (1970): *Alchimia*, S. 19.

¹³⁸ Weitere Werke, die die Synthese (oder im weiteren Sinne die Vereinigung) als eine wesentliche alchemistische Methode anführen, sind das „Rosarium philosophorum“ (1550) und „Amphitheatrum Sapientiae aeternae“ (1609).

¹³⁹ Löse und Verbinde

¹⁴⁰ Der Stein der Weisen, *Lapis* oder *Lapis philosophorum*, wird in der Alchemie als das Ergebnis monate- oder jahrelanger Arbeit erwartet. Dieser, auch als *Ultima materia* bezeichnet, soll in seinen stofflichen Eigenschaften ein schweres, dunkelrotes, fettglänzendes Pulver sein, das in großer Hitze schmilzt, beim Erkalten jedoch in seine ursprüngliche Form zurückfindet. Diesem wurde eine spezielle Heilkraft zugeschrieben. Dieser geht durch die Umwandlungen und experimentellen Praktiken des Alchemisten aus der „*Materia prima*“ hervor. Das Prinzip einer „*Materia prima*“ liegt in der aristotelischen Naturphilosophie begründet, in der selbiger ein letztes Zugrundliegendes für das Entstehen und Vergehen der Naturdinge voraussetzt.

¹⁴¹ Vgl. Eliade (1992): *Schmiede und Alchemisten*, S. 52.

ren. Die Vervollkommnung ist in der Alchemie nur durch die Synthese zu erreichen. Analyse hingegen bedeutet in den Augen des Alchemisten vor diesem Hintergrund eine Zerstörung der Natur. Als eine göttliche Schöpfung besitzt die Natur jedoch gerade eine Vorbildfunktion in der Alchemie. Analyse ist also durchaus negativ konnotiert und kann deshalb nicht als bestimmender Zug des alchemistischen Verfahrens gefasst werden.

Das Verhältnis von Chemie und Alchemie soll im Folgenden nicht im Sinne eines evoluti- onären Verhältnisses betrachtet werden, womit die Alchemie zu einer Vorstufe der Chemie würde, bzw. die Chemie sich in kontinuierlicher Weise aus der Alchemie entwickelt hätte. Zwischen beiden Konzepten besteht nur ein bedingt historisches Abhängigkeitsverhältnis, was sich vor allem an der Beschäftigung mit der praktischen Umwandlung von Stoffen zeigt. Beide Ansätze versuchen Materie nach ihren Maßstäben zu formen, aber die Alchemie sah in der zu formenden Materie auch eine metaphysische Komponente der zu vervoll- kommenden geistigen Wesenheit des Alchemisten. Dieses Verständnis erscheint aus der Perspektive der heutigen Chemie nahezu absurd. Doch eben aus den nicht auseinanderher- vorgehenden Entwicklungssträngen von Chemie und Alchemie lassen sich Parallelen, so- wie Unterschiede in Bezug auf den Aspekt der Synthese erkennen.¹⁴² Ein gewichtiger As- pekt für die Entwicklung der Chemie ist, dass die Chemie als Wissenschaft sich erst konsti- tuieren konnte, als sie die Stoffe ihrer Heiligkeit entkleidet hatte, wohingegen die Alchemie diese Heiligkeit als einen Grundsatz ihrer Lehre verstand.¹⁴³

Nach diesen einführenden Worten, warum die Alchemie an den Anfang der Rekonstruktion der Geschichte der chemischen Synthese gesetzt wird, folgen nun die methodischen Über- legungen für ihre Geschichte.

Die Geschichte der chemischen Synthese wird, wie bereits erwähnt, an Fallbeispielen re- konstruiert. Die Fallbeispiele werden chronologisch aufgearbeitet. Begonnen wird bei der Alchemie, es folgt die Rolle der Synthese bei Lavoisier im 18. Jahrhundert und führt weiter zu den Anfängen der frühen Synthesechemie des 19. Jahrhunderts. Es folgt die Darstellung der Entwicklung der Isolierung und Produktion von Naturstoffen in der Synthesechemie zu

¹⁴² Vgl. Ebd., S. 11.

¹⁴³ Vgl. Ebd., S. 11.

Beginn des 20. Jahrhunderts, bis schließlich die Herstellung von natürlichen und nicht-natürlichen Syntheseprodukten im 20. Jahrhundert an einem Fallbeispiel rekonstruiert wird. Signifikante Merkmale, die zur Entstehung der heutigen Syntheseforschung beigetragen haben, sollen in dieser historischen Rekonstruktion besonders herausgestellt werden. Ein weiteres Ziel ist es aufzuzeigen, welche praktischen und theoretischen Konzepte sich im Verlauf der historischen Entwicklung gehalten haben und bis heute in der modernen chemischen Syntheseforschung zu finden sind.

Die Aufarbeitung der Historie der chemischen Synthese an Fallbeispielen hat den Vorteil, dass direkt synthetische Arbeitsvorschriften, sowie die Umstände, unter denen solche entstanden sind, in die Untersuchung mit einbezogen werden können; diese also im jeweiligen Kontext des zeitgeschichtlichen Rahmens berücksichtigt und untersucht werden. Dieses Vorgehen kann auch in Kontrast und Ergänzung zum Vorgehen in Teil I gesehen werden, weil es nun zwar hintergründig weiter um die Konstruktion von Synthesechemie geht, jedoch in der nun vorgenommenen historischen Rekonstruktion stärker die materiellen Möglichkeiten berücksichtigt werden, die praktischen Fertigkeiten und apparativen Vermögen der einzelnen Epochen sowie der jeweiligen Vorstellungen und Gedankensysteme, die mit einer Umwandlung von Materie in Form eines als Synthese verstandenen Prozesses einhergehen.

Durch die Verwendung und Untersuchung von historischen Fallbeispielen, die teilweise direkt auf der Basis von Arbeitsvorschriften zur chemischen Synthese oder von Fachbüchern der jeweiligen Epochen stammen, rückt in Teil II der Arbeit die praktische Umsetzung von Synthesen, und die sich aus dieser Praxis ergebenden Entwicklungsschritte der Synthese in den Vordergrund. Bei diesen historischen Entwicklungsschritten darf man jedoch keinesfalls von einem evolutionären Fortschreiten der chemischen Synthese ausgehen. Das bedeutet, dass sich die einzelnen Synthesekonzepte nicht kontinuierlich auseinander entwickelt haben. Vielmehr kann an dieser Stelle von epistemologischen Brüchen gesprochen werden.¹⁴⁴ Nach Bachelard führt der epistemologische Bruch für eine Geschichte der Naturwissenschaften zu einer Geschichte aus Dialektiken und Diskontinuitäten, welche durch das Einbinden der neueren Erkenntnisse des jeweiligen Wissenschaftszweigs offen-

¹⁴⁴ Vgl. Bachelard (1993): Epistemologie, S. 207 ff.

sichtlich werden. Das heißt, es wird keine kontinuierliche Entwicklung der chemischen Synthese in der Chemie vorausgesetzt, sondern vielmehr eine stetige Variation der chemischen Synthese im historischen Kontext, die sich aus verschiedenen Konzeptionen sowie anhand neuer Wissensstände ergeben können.

Eine weitere Frage ergibt sich bei dem Versuch, die Geschichte der chemischen Synthese zu schreiben: Musste erst eine analytische Chemie entwickelt werden, um darauffolgend die Synthesechemie entwickeln zu können? Ist also die Analyse die notwendige historische Vorstufe der Synthese in der Chemie? Dieser Eindruck kann entstehen durch die im folgenden Fallbeispielen eingehaltene Chronologie. Als chemische Synthese im Labor durchgeführt wurden, die auch als solche erkannt und bestimmt wurden, war die analytische Ära Lavoisiers – wie sie Gaston Bachelard bezeichnet – bereits abgeschlossen. Dieses deutet womöglich auf die historische Abfolge zwischen Analyse und Synthese hin. Weil das Postulat einer solchen Folge bei jedem Versuch der Erstellung einer Geschichte der Synthesechemie (und implizit der Analyse) stets im Hintergrund steht, wird auch die Betrachtung der Chemie Lavoisiers berücksichtigt und in die Untersuchung einbezogen, um mögliche Konsequenzen für die Entwicklung der Synthesechemie im 19. Jahrhundert zu erfassen.

Ein Konzept von Synthese ist in der Chemie der verschiedenen Epochen unterschiedlich stark präsent. Gleichfalls variieren die Anwendung der Synthese sowie ihre Einbindung in den experimentellen Prozess. Dabei bleibt die Synthese als das Prinzip des Zusammenfügens jedoch grundsätzlich erhalten, was im Folgenden ersichtlich wird. Also ist nicht nur die Ausführung der methodischen Herangehensweise unter der Bezeichnung Synthese zu untersuchen, sondern gleichsam auch die konkreten Praktiken, die sich mit dieser Methode verbinden.

Da sich im Folgenden kein historisch überdauerndes einheitliches Konzept von Synthese finden lässt – es sei denn in Form einer beibehaltenen, ganz allgemeinen Bedeutung von Zusammenfügen – und die verschiedenen Arten und Ausformungen von Synthese innerhalb der Lehre von den Stoffen d. h. der Alchemie und der Chemie aufgezeigt werden, müssen die diversen Konzepte ersichtlich werden, sowie die Diskontinuitäten, die sich möglicherweise aus ihnen ergeben. Die verschiedenen Arten von Synthesen werden neben einem Fallbeispiel aus der Alchemie und Lavoisier, noch am Fallbeispiel Berthelot, an ei-

nem Fallbeispiel der Adrenalin synthese und einem Fallbeispiel der Nylonsynthese aufgezeigt.

2. Synthese in der Alchemie

2.1 Immaterielle und materielle Synthesen

Die Rolle der Synthese in der Alchemie unterscheidet sich in einigen Punkten von späteren Syntheseformen der Chemie. Dieses ist auf den Wissenschaftsstand der jeweiligen Lehre zurückzuführen und beinhaltet gleichzeitig auch eine jeweilige Sichtweise auf die Welt, ist also auch mit spezifischen Vorstellungen über Materie verbunden. Weiterhin spielen die Zielsetzungen der Alchemie eine entscheidende Rolle für die Ausprägung ihres Synthesekonzeptes. Die Zielsetzungen der Alchemie werden im Zusammenhang mit der Bedeutung der Synthese in der Alchemie erläutert.

An der Realität des Laboratoriums in der Alchemie, also Orten, wo Umwandlungen von materiellen Konstellationen erfolgten und konkrete Erfahrungen gewonnen wurden, ist – so wie in der Chemie – nicht zu zweifeln.¹⁴⁵ Diesbezüglich besteht also eine konkrete Nähe zwischen Chemie und Alchemie.¹⁴⁶

Ein übergeordneter Aspekt des Synthetischen – als Synthese von Wissensformen – findet sich in der Interdisziplinarität, die in der Alchemie vorherrschend ist. Diese Interdisziplinarität meint hier einen Zusammenschluss von Gebieten wie Religion, Philosophie (Ethik), Naturlehre (als eine frühe Konzeption von Naturwissenschaft) etc. Nach dem Verständnis des Alchemisten wird das Wissen um materielle Umwandlungen nicht von anderen Lehren, wie der religiösen oder esoterischen separiert. Die Alchemie wird von ihm vielmehr als ein Universalkonglomerat von eben jenen Gebieten und Lehrmeinungen begriffen, welches als ein Intermediat zwischen Theorie und Praxis, zwischen Wissenschaft und Kunst anzuneh-

¹⁴⁵ Vgl. Eliade (1992): Schmiede und Alchemisten, S. 147.

¹⁴⁶ Erfahrungen im experimentellen Prozess wurde vom Alchemisten jedoch im Sinne der holistischen Tradition nicht als analytische Prozesse, sondern vielmehr als synthetische Prozesse verstanden.

men ist.¹⁴⁷ Das heißt, es geht in der Alchemie darum, Wissen und Kenntnisse aus mehreren bis dato bekannten Zusammenhängen zu nutzen und keinem separatistischen Programm zu folgen. Ein im „Amphitheatrum Sapientiae Aeternae“ abgebildeter Kupferstich von Hans Fredemann de Vries zeigt diese Hybris von Wissenschaft, Kunst und Religion, sowie Theorie und Praxis.



Abbildung 1: „Das Laboratorium des Heinrich Kunrath“¹⁴⁸

In dem Kupferstich zeigt sich die Teilung in ein Laboratorium (rechts) und ein Oratorium (links), was als die Synthese von Gottesfurcht und experimenteller Arbeit verstanden wird.

¹⁴⁷ Vgl. Schmauderer (1973): Der Chemiker im Wandel der Zeiten, S. 14.

¹⁴⁸ Hans Fredemann de Vries (1609):http://blogs.ethz.ch/digital-collections/files/2011/01/Rar9441_Labor.jpg.

Die Nähe zwischen Kunst und Wissenschaft zeigt sich beispielsweise auf dem Experimentiertisch, wo sowohl Musikinstrumente, als auch Messgeräte, wie eine Waage, und ein Skalpell zu sehen sind. Der Ofen des Laboratoriums stützt sich auf zwei Säulen, dessen Inschriften auf der einen Säule *Ratio*, auf der anderen Säule *Experientia* lauten und damit zeigen, dass sowohl Praxis als auch Theorie Bestandteile der alchemistischen Laboratoriumsarbeit gewesen sind.¹⁴⁹ „Das Laboratorium des Heinrich Kunrath“, wie der Kupferstich betitelt ist, zeigt hier ein Laboratorium, das nicht als reiner Ort der Arbeit dargestellt wird. Vielmehr wird hier deutlich, dass man in der Alchemie keinem separatistischen Programm für einen Wissenszuwachs oder eine Selbsterkenntnis folgen sollte, was durch die Vereinigung von Oratorium und Laboratorium in einem Raum deutlich wird.

Eine weitere wichtige Unterscheidung für das Verständnis der späten Alchemie ist die Trennung von praktischer Experimentierkunst und Alchemie. Erstere behandelte Substanzen als reale Objekte, als Strukturen in der Natur und ist diesbezüglich von letzterer zu unterscheiden, die das reale Experiment und die in ihm verwendeten materiellen Komponenten nur als Repräsentanten eines übernatürlichen Geschehens versteht. Die wahre Synthese vollzieht sich in der Alchemie damit auf einer übergeordneten Wirklichkeitsebene und das Geschehen vor Ort ist nicht als materieller Vollzug bedeutsam, sondern als ein Ausgangspunkt für philosophische Spekulationen. Diese Unterscheidung zweier getrennter Vollzüge, des realen Eingriffs in ein materielles Geschehen im Labor und des idealen Vollzugs, kristallisierte sich jedoch erst mit der Entstehung der modernen Chemie heraus und kann als eine nachträgliche Deutung oder gar Uminterpretation vor dem Hintergrund eines nunmehr auf die materielle Ebene fokussierten Wissenschaftsverständnisses gesehen werden. In der Blütezeit der Alchemie im 16. Jahrhundert wurde zwischen praktischer Experimentierkunst und Alchemie nicht in dieser Form unterschieden.¹⁵⁰

Die Alchemie berührt stets Tieferliegendes sowohl an psychischen (des Unbewussten) als auch an physischen bis hin zu metaphysischen Aspekten. Das macht unter anderem ihre Faszination aus. Wandel und Dualismen bestimmen ihr Lehrgebäude und bewahren so eine Vielfältigkeit von experimentellen und theoretischen Konzepten, wo Wissenschaften Strin-

¹⁴⁹ Vgl. Biedermann (2006): *Materia Prima*, S. 82.

¹⁵⁰ Vgl. Fierz-David (1952): *Die Entwicklungsgeschichte der Chemie*, S. IX.

genz und Einheitlichkeit fordern.¹⁵¹ In diesem Verbinden von Dualismen kann ebenfalls ein synthetischer Aspekt gesehen werden.

Die Facette des Geheimnisvollen, die die Alchemie bis heute umgibt, ist auch auf den Vorwurf der Häresie seitens der Kirche zurückzuführen. Deshalb wurden synthetisch-alechemistische Prozesse in ideeller Hinsicht, also die Vollzüge einer Vergeistigung, ja letztlich Vergöttlichung der Materie und der diese Materie vervollkommnenden Alchemisten von den Alchemisten selbst als bloß natürliche Prozesse getarnt. Dies geschah, um dem Vorwurf seitens der Kirche zu entgehen, dass das Ziel eine Zerstörung und Entartung der göttlichen Schöpfung oder Hybris einer Vergöttlichung des Alchemisten sei. Dieser Versuch einer Tarnung des wirklichen Vorgehens im Sinne einer hermetischen Lehre, die nur den Adepten zugänglich ist, ist auch ein Grund für die vielfache und vielseitige Verwendung von Metaphern in Texten und Abbildungen der Alchemie.¹⁵² Es ist nicht ungewöhnlich, dass alchemistische Abhandlungen bebildert sind und Abbildungen enthalten, die die oftmals verschlüsselten Texte untermalen und den Prozess in Metaphern illustrieren. Dieses demonstriert beispielsweise das „Musaeum Hermeticum“ (1678), das eine Vielzahl alchemistischer Schriften (z. B. von Thomas Norton, Nicolas Flamel, Michael Sendivogius oder Basilius Valentinus) beinhaltet. Die Verschlüsselung alchemistischer Abhandlungen sollte nur den Alchemiekundigen, den sogenannten Adepten, vorbehalten sein. Die Bilder verdeutlichen deshalb auch nur dem Kundigen den wahren Sinn der Schrift.

Heutzutage hat man es bei der historischen Analyse alchemistischer Quellen mit den Folgen der damals vorgenommenen Chiffrierungen zu tun. Bei den Versuchen, die Synthesevorstellungen und deren Realisierung in der Alchemie zu rekonstruieren, ist man wegen dieser hermetischen Chiffrierung mit dem Problem der Ausdeutung von literarischen Quellen konfrontiert. Bei einer Vielzahl der erhaltenen alchemistischen Schriften ist ein Verfasser nicht zu identifizieren. Ebenso ist eine Vielzahl von bekannten Schriften überliefert, die unter Pseudonymen veröffentlicht wurden. Ein Beispiel dafür ist die Figur des Basilius Valentinus, dessen Name für das alchemistisch bedeutsame Werk „Die 12 Schlüssel des Ba-

¹⁵¹ Vgl. Hoffmann (1997): Sein und Schein – Reflexionen über die Chemie, S. 254.

¹⁵² Vgl. Schummer (2011): Das Gotteshandwerk, S. 132.

silius Valentinus“ Pate stand. Dieses Werk stellt eine Anleitung zur Herstellung des Lapis philosophorum bereit. Die wirkliche Identität des Verfassers ist unbekannt.

Ebenso existieren von einigen berühmten Alchemisten Doppelgänger, die in der Geschichtswissenschaft wie folgt unterschieden werden: Geber und Pseudo-Geber; Avicenna und Pseudo-Avicenna.¹⁵³

Im Folgenden wird „Die 12 Schlüssel des Basilius Valentinus“ genauer untersucht, um die Bedeutung von Synthese anhand eines Fallbeispiels zu identifizieren.

2.2 Die 12 Schlüssel des Basilius Valentinus

„Die 12 Schlüssel des Basilius Valentinus“¹⁵⁴ um 1599 n. Chr. stellt eine Abhandlung dar, die ein Verfahren aufzeigt, durch das stufenweise die Herstellung des Lapis philosophorum gelingen soll. Als Verfasser wird eben jener Basilius Valentinus genannt, dessen Identität jedoch historisch nicht spezifiziert werden kann und über dessen wirkliche Existenz keine Aussagen gemacht werden können. Als möglicher Verfasser gilt in der Sekundärliteratur der Herausgeber dieser Schrift Johann Thölde; eine Behauptung, für die jedoch ebenfalls keine eindeutigen Belege existieren.¹⁵⁵

Die Schriften des Basilius Valentinus kommen denen des Paracelsus am nächsten, was ein Indiz für eine im 16. Jahrhundert entstandene und mit den zu dieser Zeit herrschenden Ansichten konforme alchemistische Abhandlung ist.¹⁵⁶

In zwölf Textabschnitten wird in dieser Schrift ein Verfahren zur Herstellung des Lapis philosophorum vorgestellt, wobei jeder „Schlüssel“ einem experimentellen Prozessabschnitt entspricht, also eine in sich abgeschlossene Handlungsphase und zugleich ein entsprechendes Stadium des materiellen und ideellen Wandlungsgeschehens repräsentiert, welcher jeweils von einer Zeichnung begleitet wird, die die im Text vermittelte Prozedur illustriert.

¹⁵³ Vgl. Fierz-David (1952): Die Entwicklungsgeschichte der Chemie, S. 90.

¹⁵⁴ Im Folgenden mit „12 Schlüssel“ abgekürzt.

¹⁵⁵ Vgl. Biedermann (2006): Materia Prima, S. 138.

¹⁵⁶ Vgl. Schmauderer (1973): Der Chemiker im Wandel der Zeiten, S. 108.

Die Aufgabe, den Vorschriften der „12 Schlüssel“ zu folgen, entsprach keinesfalls einer kurzfristig umsetzbaren Kochanleitung oder den Handlungsregeln des modernen Laborgeschehens, sondern wurde als Lebensaufgabe begriffen, die einerseits die völlige Hingabe des Adepten an den Vorgang erforderte und womit andererseits eine lange Vorbereitungszeit einzuplanen war, die sich sowohl auf das Reinigen und die Beschaffung der Substanzen bezog, als auch auf die Läuterung und Reinigung der Seele des Adepten.

Eine erste oberflächliche Verbindung zwischen die „12 Schlüssel“ und modernen Synthesvorschriften besteht in der Stufung oder Untergliederung eines manipulativen Verfahrens in separate, systematisch aufeinanderfolgende Prozessabschnitte. Eine vorab festgelegte Zielverbindung soll laut Vorschrift in einem mehrstufigen Verfahren hergestellt werden. Die jeweiligen Prozessteile sind jedoch nicht – wie bei heutigen Syntheseprozessen – nach einem aufsteigenden Grad der Komplexität zu befolgen, die in jedem Schritt eine chemische Verbindung komplexer werden lässt, sondern die einzelnen Schlüssel stellen Reinigungsprozesse, Oxidationsreaktionen oder Putrefaktionsstadien dar, um nur einige Abläufe zu spezifizieren. Die Behauptung, der Grad der Komplexität würde im Synthesgeschehen ansteigen, könnte sich zum einen darauf beziehen, dass die nächsthöhere Stufe der materiellen Produkte tatsächlich jeweils komplexer ist, als die vorhergehende. In Bezug auf die in den „12 Schlüssel“ umzusetzende Materie ist dies nicht der Fall, denn entsprechende Oxidationsreaktionen und Reinigungsprozesse steigern nicht zwangsläufig die in den experimentellen Prozess eingebundene Materie. Zum anderen bezieht sich der Grad der Komplexität vielmehr auf die ideelle Ebene. Komplex meint in dieser zweiten Hinsicht, dass die Beziehung zwischen Alchemisten und der von ihm behandelten Materie inniger wird. Da neben materiellen Umwandlungen die Arbeit des Alchemisten ebenso im Meditieren, Beten und in der Läuterung seiner Seele sowie seines Körpers bestand, sollte durch diese Aktivitäten die Verbindung von materiellem Produkt und Alchemisten, aber auch die Verbindung von Alchemist zum Göttlichen gestärkt werden. Dieses entspricht einer Steigerung der Komplexität, die jedoch nicht materiell sondern vielmehr metaphysisch zu nennen ist. Es besteht also keine inhaltliche Verbindung zwischen dieser alchemistischen Vorschrift und heutigen Synthesanleitung, sondern eine oberflächlich-konzeptionelle Verbindung. Das bedeutet, die materiellen Umwandlungsprozesse, die in den „12 Schlüssel“ beschrieben werden, sind nicht komplexer in Bezug auf die chemischen Strukturen, die durch die Um-

wandlungsprozesse hergestellt werden, als in modernen Synthesevorschriften. Ebenso sind die beschriebenen präparativen Arbeitsvorgänge und Handlungsanleitungen in die „12 Schlüssel“ weniger komplex als in vielen modernen Synthesevorschriften. Erkennbar ist, dass bei die „12 Schlüssel“ der Grad der Komplexität in der Breite größer ist. Dadurch dass metaphysische Handlungsanweisungen und die Läuterung von Seele und Körper des Alchemisten nicht zu vernachlässigende Bestandteile des präparativen Arbeitens auch bei die „12 Schlüssel“ darstellen, kann man von einer Handlungsvielfalt sprechen, die sich im Umgang mit Materie und Spiritualität zeigt. Spirituelle Handlungen sind hingegen kein Bestandteil von modernen Synthesevorschriften. Daher kann man moderne Synthesevorschriften im Gegensatz zu alchemistischen in Bezug auf ihren chemischen Inhalt als komplexer bezeichnen, jedoch ist die Vielfalt der Einflüsse die Handlungen anleiten können wohl als geringer anzusehen, da metaphysische Komponenten entfallen.

Der Inhalt der „12 Schlüssel“ besteht – wie bereits erwähnt – im Ganzen aus einem Konglomerat von Handlungsanweisungen für den praktisch durchzuführenden Prozess, enthält aber ebenso Anweisungen zu der Lebensführung des Alchemisten, sowie instrumentelle Hinweise für die experimentelle Ausstattung. Dieses Konglomerat ist in Metaphern dargelegt, durch die Einbindung religiöser Aspekte legitimiert und von den alchemistischen Lehren der vier Elemente oder den drei Prinzipien von Sal, Sulphur und Mercurius¹⁵⁷ durchdrungen.

Generell kann man die „12 Schlüssel“ rekonstruierend so strukturieren, dass in Verbindung mit einem der alchemistischen Leitsprüche *Solve et Coagula*, die ersten sechs Schlüssel dem *Solve*, der Lösung und Trennung der Bestandteile, die letzten sechs dem *Coagula*, dem Verbinden und Zusammenfügen zugeordnet werden können.¹⁵⁸ Dieses verdeutlicht auch eine Grundannahme in der Alchemie, nämlich dass das Zielprodukt ein Zusammengesetztes

¹⁵⁷ Sal, Sulphur und Merkur stellen die drei alchemistischen Grundprinzipien dar. Sal stellt das Salz dar, dessen verfestigende Eigenschaft mit den Körpern korrespondiert. Sulphur ist gleichzusetzen mit (elementarem) Schwefel, dem in der Alchemie sowohl die Attribute männlich, ölig oder die Seele zugeordnet werden. Mercur ist gleichzusetzen mit dem Element Quecksilber, erhält aber in dieser Trinität auch die Attribute flüchtig, sublimierbar und verkörpert den Geist. Alle drei Grundprinzipien von Körper (Sal), Seele (Sulphur) und Geist (Mercur) müssen verbunden werden, um ein erfolversprechendes alchemistisches Werk zu vollführen. [Vgl. Roob (2006): Alchemie und Mystik, S. 28.]

¹⁵⁸ Vgl. Gebelein (2000): Alchemie, S. 49.

ist und damit durch Synthese erzeugt wird. Der Syntheseprozess ist hier der schaffende, erzeugende Vollzug.

Die „12 Schlüsse!“ operieren also auf der wesentlichen Basis eines verbindenden Prinzips. Dieses wird jedoch nicht in einem rein stofflichen Sinne verstanden. Vielmehr ist hier die materielle Ebene mit einer geistigen zu verbinden, was gleichzeitig den Adepten der Alchemie mit einschließt und diesen im materiellen und geistigen Prozess ebenso formt, wie die Materie selbst. Die Verbindung zeigt sich im Folgenden: Bereits der erste Schlüssel, durch den ein Reinigungsschritt der Materie vollzogen werden soll, beinhaltet eine Passage, die zugleich die Reinigung der Körper des Adepten fordert. *„[...]Also müssen auch unsere Körper gesegnet und purgirt werden/ von aller Unreinigkeit/ damit in unser Geburt die Vollkommenheit würcken kan/ Unsere Meister erfordern einen reinen unbefleckten Leib/ so mit keinem Mackel noch einiger frembder Vermischung bekleidet ist/[...]“*¹⁵⁹ Die Reinigung des Körpers wird hier als eine Voraussetzung ersichtlich, um den materiellen Umwandlungsprozess zum Lapis philosophorum zu beginnen. Die Reinigung soll den Körper des Adepten von jeglichen den Prozess störenden Einflüssen befreien.

Da die synthetischen Aspekte vor allem ab dem sechsten Schlüssel deutlich werden, wird nun mit selbigen fortgefahren. Das bereits erwähnte Prozessieren des *Coagula* tritt ab dem sechsten Schlüssel in den Vordergrund.

Der sechste Schlüssel beginnt mit dem Hinweis auf die eheliche Beiwohnung von Mann und Frau bzw. König und Königin, durch welche erst Vollkommenheit erlangt werden kann.¹⁶⁰ Die Metapher der materiellen Vermählung von König und Königin bedeutet im alchemischen Bildersystem eine Verbindung von mercurialischem und sulphurischem Prinzip, wobei der König auch ein Symbol für Gold darstellt.¹⁶¹ Die Prinzipien Sulphur und Mercurius stehen dann erstens für die Elemente Schwefel und Quecksilber, die zu den Zeiten, in denen Alchemie betrieben wurde, häufig in Form von Zinnober (HgS) in Prozessen Verwendung fanden. Zweitens wurde unter den Pseudonymen Sulphur und Mercurius auch andere materielle und geistige Wesenheiten behandelt, die wiederum verdeutlichen, dass in

¹⁵⁹ Valentinus (1976): Chymische Schriften – Erster Teil, S. 25.

¹⁶⁰ Vgl. Ebd., S. 43.

¹⁶¹ Vgl. Biedermann (2006): *Materia Prima*, S. 138.

der Alchemie keine einheitliche Bezeichnung von konkreten chemischen Substanzen existierte. Dieses bringt den Charakter der Vielheit in der hermetischen Philosophie zum Ausdruck.¹⁶² Der Charakter der Vielheit zeichnet sich dadurch aus, dass Begriffe mehrfach belegt sind und somit auf verschiedenen Bedeutungsebenen, wie der materiellen, der ideellen etc., mit Begriffen operiert wurde. Jenseits der materiellen Ebene gelten die beiden Konzepte zudem drittens als Prinzipien, die als Urstoffe verstanden werden und auch als Geist (Mercurius) und Seele (Sulphur) bezeichnet werden. Wegen dieser vielen Verwendungen liegt hier kein eindeutig zuordnbarer materieller Vorgang vor, der in seiner spezifischen Verfahrensweise als eine Zusammenfügung konkreter Stoffe oder Bestandteile erkannt werden könnte, oder aber der eine eindeutig zu identifizierende reale Handlungsfolge zum Ausdruck brächte. Der grundsätzliche Gedanke der Synthese im Sinne einer Verbindung zweier vormals getrennter Teile zu einer neuen Verbindung mit neuen Eigenschaften und neuen Entwicklungspotenzen kommt jedoch durch die Metapher der ehelichen Beiwohnung trotz dieser komplexen Deutungsprobleme zum Ausdruck. Ebenfalls ist gerade der Bezugsrahmen einer ehelichen Verbindung auch als ein Hinweis auf den Charakter der Ausgangselemente zu verstehen, die sich als Partner der Ehe bereits vor der erfolgten Synthese durch ihre Charakteristik zur Verbindung eignen (sich lieben) und nur diese spezifischen Eigenschaften den Erfolg der Synthese garantieren.

Der achte Schlüssel behandelt den Prozess der Verfaulung, was die Zerstörung der bisher im Prozess entstandenen Materie bedeutet. Nach der Zerstörung soll wiederum Neues entstehen, welches der Versuchsvorgang eröffnen soll. Der synthetische Aspekt im achten Schlüssel wird erkennbar, wenn die dort dargelegte Elementverknüpfung berücksichtigt wird. In diesem Fall besteht die Synthese weniger im Prozessgeschehen, als vielmehr in der alchemistischen Elementenlehre. Als Elemente werden in diesem Zusammenhang – wie in der Alchemie überhaupt – Feuer, Wasser, Erde und Luft bezeichnet. Diese verbinden sich im alchemistischen Prozess. Sie können aber auch durch Destillation getrennt werden. Die Putrefaction (Fäulung) kann laut dem achten Schlüssel nur durch die Elemente zustande kommen. „[...]welche Fäulung nun durch Hülffe der Elementen seine vollkommene Opera-

¹⁶² Vgl. Ebd., S. 14.

tion erreichen muß[...]“¹⁶³ Wein etwa soll gleichfalls in einem solchen Prozess durch Putrefaction zu Essig transmutiert werden. Demnach hat man es auch hier mit einer Umwandlung zu tun, die zwar streng genommen nicht im heutigen Sinne als synthetisch zu bezeichnen wäre, jedoch stellt auch dieser Schritt im Prozess eine weitere Etappe in Richtung auf Vervollkommnung dar. Die Vervollkommnung kann im Sinne der alchemistischen Lehre wiederum nur durch einen synthetischen Prozess, keinesfalls durch Analyse, welcher einem zerstörenden Prozess gleichkommt, erreicht werden. Die Putrefaction kann nur deswegen geduldet werden, weil durch die Zerstörung des Alten neues Leben entstehen wird.¹⁶⁴ In der Summe muss das Produkt letztlich synthetisch sein.

Die Transmutation im achten Schlüssel offenbart noch ein weiteres synthetisches Moment, welches bildlich dadurch charakterisiert wird, dass der irdische Leib durch das himmlische Wesen verzehrt wird und dadurch in dieses himmlische Wesen eingeht.¹⁶⁵ Neben dem hier offenbar angedeuteten Analogieschluss zum christlichen Prinzip der Erlösung vom irdischen Dasein in Form der Auferstehung verweist die Passage darauf, dass die Synthese in einer Vervollkommnung besteht und den Eingang der synthetischen Produkte ins Himmlische als einem übergeordneten Ganzen repräsentiert.

Im neunten Schlüssel wird direkt von der Conjugation bzw. Zusammenfügung gesprochen. Hier heißt es, der goldreiche Löwe soll der Jungfrau in den Schoß springen, wobei die zwölf Zeichen des Himmels, die Tierkreiszeichen, mit den sieben Gestirnen des Himmels – die Planeten und Gestirne Jupiter, Saturn, Merkur, Mars, Venus, Neptun, Sonne – in Verbindung zueinander gebracht werden, was nicht nur als Hinweis auf ein Zusammenfügen von Teilstrukturen, sondern auch auf den holistischen Charakter des Verfahrens gedeutet werden kann. Der holistische Charakter zeigt sich hier gerade dadurch, dass exterrestrische Himmelskörper in die Herstellung des Lapis philosophorum mit einfließen. Durch einen Wechsel der Farben der Substanzen in diesem Prozess – was aus heutiger Sicht eine typi-

¹⁶³ Valentinus (1976): Chymische Schriften – Erster Teil, S. 57.

¹⁶⁴ Vgl. Ploss, Roosen-Ruge, Schnipperges, Buntz (1970): Alchimia, S. 19.

¹⁶⁵ Valentinus (1976): Chymische Schriften – Erster Teil, S. 59.

sche Oxidationsreaktion von Metallen anzeigt – wird die Conjugation dem Alchemisten sichtbar.¹⁶⁶

Der elfte Schlüssel bezieht sich auf die Vermehrung des Lapis philosophorum. Es ist hier von einem Reproduktionsprozess, also von der Wiederholung des Verfahrens der Synthese die Rede.¹⁶⁷ Möchte man dieses auf die moderne Synthesechemie transferieren, dann könnte man an dieser Stelle von Reproduktion im Dienste der Quantifizierung gewünschter Materialien sprechen. Die Frage, ob es sich bei dem alchemischen Reproduktionsprozess um eine Quantifizierung oder eine Qualifizierung (das bedeutet hier eine Verbesserung der Qualität, die z. B. durch einen höheren Reinheitsgrad des Produktes gegeben ist) handelt, ist nicht eindeutig zu beantworten. Fest steht ja, dass in der Alchemie der Qualität mehr Gewicht beigemessen wurde, als der bloßen Quantität; das Ziel war nicht, größere Mengen an Substanz zu erzeugen, sondern beispielsweise einen höheren Grad an Reinheit zu erreichen, der sowohl durch die Läuterung von alchemischen Materialien als auch der Seele, des Bewusstseins des Alchemisten erreicht werden konnte. Reproduktion als ein Bestandteil oder besser ein Stadium von Synthese-(Chemie) findet sich also bereits in alchemistischen Experimentalvorschriften.

Der zwölfte Schlüssel handelt von der letztmaligen Umwandlung des Goldes, das mit dem Lapis philosophorum im Feuer zusammengefügt, den Brunnen der Gesundheit, also eine Form von Universalmedizin, ergibt. Das Gold bedarf einer Aufbereitung vor der Synthese mit dem Lapis philosophorum. Dazu wird es durch den Antimonium gegossen, woraufhin ein weiterer Reinigungsschritt folgt. Anschließend wird das Gold zusammen mit dem Lapis philosophorum dem Feuer für zwölf Stunden übergeben. Erst das purgierte Gold ermöglicht dann die therapeutische Wirkung des Steins als Universalmedizin. Somit kann man behaupten, dass das Gold, eine der am meisten geschätzten und wertvollsten Substanzen sowohl hinsichtlich seiner materiell-ökonomischen Bedeutung als auch seiner spirituellen Symbolik, mit dem Stein zusammengefügt, eine Synthese zu einem neuen, nun therapeu-

¹⁶⁶ Vgl. Ebd., S. 63.

¹⁶⁷ Vgl. Ebd., S. 67 f.

tisch wirksamen Produkt darstellt. Es handelt sich bei dem Verfahren des letzten Schlüssels, quasi im letzten Schritt des chemischen Experimentalverfahrens, um einen synthetischen Schritt.¹⁶⁸ Das letztendliche Ziel des gesamten Verfahrens ist damit die Synthese einer neuen Eigenschaft und eines neuen Produktes. Es geht darum, die Universalmedizin zu erhalten.

Vom Standpunkt der modernen Chemie aus betrachtet müsste man allerdings streng genommen hier den Begriff der Synthese in einer sehr weiten Bedeutung verwenden, um noch von einer chemischen Synthese reden zu können. Dass ein Zusammenfügen von Stoffen mit dem Ziel der Entwicklung eines neuen Stoffes mit neuen Stoffeigenschaften stattfindet, steht außer Frage, nur dass das Ergebnis der Synthese insofern aus heutiger Sicht nur schwer einzuordnen ist, als die chemische Identifikation des Lapis philosophorum nicht eindeutig ist. Dies ist ein Nachteil bei der Identifikation des Stoffes als einen Synthetischen. Die entstehende Verbindung wird jedoch vom Alchemisten als synthetisch und komplexer werdend angenommen. Ob sich die zusätzlichen Eigenschaften des Produktes als materiell manifestiert erweisen, insbesondere wenn man das Materieverständnis der heutigen Chemie anwendet, muss dahingestellt bleiben. Dass die Zielverbindung aber auch für den Alchemisten ein synthetisches Produkt sein muss, liegt an dessen Überzeugung, dass eine durch Analyseschritte hergestellte Verbindung einem Prozess der Trennung unterliegen würde und insofern das Produkt des Prozesses das Resultat einer Zerstörung wäre. Ein solches zerstörerisches Verfahren vermöchte keine Universalmedizin hervorzubringen.

Auch wenn die rein chemischen Abläufe, die beispielsweise Oxidationsreaktionen von Metallen oder das Verbrennen von Schwefel mit Metallen beinhaltet, nicht so komplex sind, wie heutige chemische Synthesereaktionen, ist der operative Aufwand und die Investition von Zeit sowie von technischem Know-how, aber auch die Komplexität und Schwierigkeit der Laborpraxis zur apparativen Umsetzung derartiger Vorschriften durchaus mit modernen chemischen Synthesen zu vergleichen, wie etwa der Chlorophyll-Synthese.¹⁶⁹ Man denke auch an die lange Vorbereitungszeit materieller Umsetzung, die für die Alchemie und die Chemie nötig waren bzw. sind.

¹⁶⁸ Vgl. Ebd., S. 72 f.

¹⁶⁹ Vgl. Schmauderer (1973): Der Chemiker im Wandel der Zeiten, S. 32.

Ein Aspekt der Denkweise des Alchemisten und des Ansatzes der Alchemie prägt immer noch die heutige Synthesechemie. In beiden Fällen scheint der Experimentator trotz schriftlich fixierter Anweisungen doch methodisch betrachtet eher intuitiv vorzugehen.¹⁷⁰ In Bezug auf die Alchemie ist dies dadurch zu erklären, dass der Alchemist nicht die heutige Auffassung von wissenschaftlichem Arbeiten und methodischem Vorgehen besaß, die heute vor allem aufgrund von Mittelbarkeit und Transparenz des experimentellen Prozesses gefordert wird. Intuition in der Alchemie ist nicht unwissenschaftlich, weil es überhaupt keinen Anspruch an Wissenschaftlichkeit, kein Ideal von Wissenschaftlichkeit gab. Da es in den experimentellen Prozessen der Alchemie immer auch um Selbstvervollkommnung des Experimentators ging, konnte dieser seinen Intuitionen folgen, da es methodisch nicht gefordert wurde, sich vom experimentellen Vorgang zu lösen. Als ein weiteres Motiv für die Intuition in der Alchemie und der Synthesechemie kann das von Michael Polanyi so genannte *tacit knowing* gelten. Bei diesem impliziten Wissen gilt, „*daß wir mehr wissen, als wir zu sagen wissen*“.¹⁷¹ Es geht bei diesem epistemischen Verfahren um die Verinnerlichung. Das heißt, wissenschaftliche Lehrmeinungen zu akzeptieren und sich mit ihnen zu identifizieren. Diese Verinnerlichung manifestiert sich auch in den Handlungen der Laborpraxis.¹⁷² Intuition in der Synthesechemie kann also quasi durch Verinnerlichung chemischer Lehren aufgrund dieses impliziten Wissens zustande kommen. Analoges gilt für die Alchemie, bei der man die chemischen Lehren durch alchemische Lehren zu ersetzen hat. Auch wenn der Intuition des Alchemisten in Hinsicht auf die spirituelle Bedeutung für das Verfahren der Synthese eine andere Bedeutung zukommen mag, lässt sich doch mit Blick auf die vom Laboranten für den Erfolg seiner Arbeit geforderte professionelle Haltung und die daraus resultierende Vorgehensweise zwischen der Praxis der Alchemie und der modernen Synthesechemie eine klare Gemeinsamkeit erkennen. Eine absolute Klarheit bleibt das Fallbeispiel an dieser Stelle schuldig und Begründungen für diese Hypothese müsste ein weiter gefasster Kontext bieten, der die historischen Studien zur Alchemie und philosophischen Publikationen zur Chemie umfasst. Erinnert man sich aber an dieser Stelle an den Synthesepan, bei dem laut der Literatur zur Synthesepanung die Intuition immer wieder in

¹⁷⁰ Vgl. Ebd., S. 26.

¹⁷¹ Polanyi (1985): Implizites Wissen, S. 14.

¹⁷² Vgl. Ebd., S. 24 f.

den Synthesepan eingreift, ein Bestandteil von selbigem ist, dann wird in Bezug auf eben jenen Faktor der Intuition eine Nähe zwischen Alchemie und moderner Synthesechemie deutlich.¹⁷³ Da in der Alchemie die Voraussetzung für jede Versuchsvorschrift die Existenz von Glauben und Spiritualität ist, kann hier die Intuition auch als Eingebung, als Kommunikation zwischen dem Alchemist und einem übernatürlichen Wesen angesehen werden. Der Alchemist fungiert damit gewissermaßen als Medium, das eine vollendete materielle Substanz hervorbringt. Intuition ist ein Bestandteil des Experimentalprozesses der Alchemie und der modernen Synthesechemie, könnte also als wichtiger Bestandteil des Operierens mit Materie gelten.

Vergleicht man die eingesetzten alchemischen Verfahren, dann muss man feststellen, dass es keine bzw. nur wenige Synthesetechniken im heutigen Sinne sind, die im Fall der Alchemie für das Vorhandensein von synthetischen Arbeitsschritten sprechen und die den Begriff Synthese auf die Alchemie anwenden lassen. Wenn hier von Synthese die Rede ist, dann bezieht sich dieses auf das grundsätzliche Vorhaben der Konstruktion vermittels des Zusammenfügens von verschiedenen Arten der Materie mit dem Ziel, durch das Kombinieren und Verschmelzen von vormalig getrennten Stoffen neue Stoffe mit neuen Eigenschaften zu erzeugen. Diese Herstellung von neuen Produkten wird zudem mit dem Gedanken der Höherentwicklung, das heißt der Ausbildung neuer Stufen der Komplexität, verbunden. Dabei verbleibt der alchemistische Ansatz allerdings nicht bei der Herstellung materieller Novitäten, sondern geht zudem davon aus, eine parallele Entwicklung spiritueller, geistiger Qualitäten realisieren zu können, die sich auch in den Vermögen der erzeugten Stoffe zeigt, wie im vorliegenden Fall der heilenden Kraft des Produkts. Dieses synthetische Anliegen steht deutlich im Fokus der Alchemie.

Aus den genannten Gründen eröffnet der Vorschlag, die Alchemie als *geistige Technik*¹⁷⁴ zu definieren und zu verstehen und somit auch den Syntheseaspekt nicht auf das Materielle zu beschränken, sondern ihn auf das geistige Terrain auszudehnen, einen vielversprechenden Ansatz zur Bestimmung der synthetischen Handlungen der Alchemie. Angesichts die-

¹⁷³ Vgl. Teil I: Kap. 5.2.2 Der Synthesepan.

¹⁷⁴ Vgl. Eliade (1992): Schmiede und Alchemisten, S. 135.

ser Erweiterungsoption ist zu berücksichtigen, dass die Synthese in der Alchemie nicht nur die Synthese von Stoffen oder die Synthese neuer spiritueller Qualitäten, sondern stets auch die Verbindung beider Aspekte umgreift, also eine Synthese neuer Abstraktionsstufe meint, insofern hier mit Synthese die Verbindung von geistigem und materiellem Prozessieren gemeint ist.

Der Synthesebegriff der Alchemie ist also deutlich weiter als in der heutigen Chemie gefasst. Umgekehrt kann aus der Sicht der heutigen Synthesechemie mit Blick auf die chemischen Verfahren also nur rudimentärerweise von wirklich durchgeführten chemisch-experimentellen Synthesen gesprochen werden. Das alchemistische Konzept der Synthese richtet sich also vielmehr auf einen Natur und Geist umgreifenden holistischen Prozess zur Erzeugung neuer Qualitäten und weniger auf die bloße Interaktion von Materie und Energie im Sinne der chemischen Reaktion von Stoffen. Der Unterschied zwischen der Synthese in der Alchemie und der heutigen Synthesechemie betrifft damit auch den Aspekt der Separiertheit. Die Synthese galt in der Alchemie als ein vereinigendes Verfahren der Höherentwicklung, das qualitativ vom Prozess der Analyse – als Zerstörung und Vernichtung – zu unterscheiden war, wenn man die normative Konnotation beider Vollzüge betrachtete und dass dennoch im grundsätzlichen Wechselspiel zwischen Gut und Böse aber auch von rein praktischen Prozessabläufen den Gegenpart von Synthese darstellte. Das heißt, beide für sich – die Analyse und die Synthese – werden nicht nur als Verfahren gesehen, mit denen man Materie formen kann, sondern jede für sich wird mit normativen Charakteristika belegt, die Analyse mit der zerstörenden Kraft und die Synthese mit der schaffenden Kraft. Trotz des Wechselspiels von Synthese und Analyse gelten beide in der Alchemie als individuell, weil ihnen gegensätzliche unvereinbare Eigenschaften zugeordnet werden. Dieses bedingt den Aspekt der Separiertheit, ein Voneinander-Geschieden-Sein trotz ihres Wechselspiels. Synthese und Analyse werden in der Alchemie separierter behandelt als in der heutigen Synthesechemie, weil hier Synthese und Analyse nicht nur als chemische Vollzüge mit gegenläufigen Prozessabläufen verstanden werden. In der heutigen Synthesechemie wird die Synthese als das Zusammenfügen, die Analyse als der trennende Vorgang begriffen. Jedoch gibt es in diesem Verständnis keine spirituelle Konnotation im Sinne einer Wertung der Prozesse von Synthese und Analyse. Hiermit ergibt sich ein struktureller Unterschied zur modernen Synthesechemie. Heute gilt die Synthese als ein rein chemisch zu

betrachtender Ablauf. Gleiches gilt für die Analyse. Hinsichtlich ihrer chemischen Funktion dient die Analyse häufig zur Überprüfung des Syntheseproduktes, sie wird als Nachweisverfahren eingesetzt. Sowohl in der Alchemie als auch in der heutigen Chemie stellt allerdings die Kenntnis über den Syntheseprozess und die technische Möglichkeit, mit diesem Verfahren neue Produkte oder Eigenschaften zu erschaffen und Materie umzuformen, ein exklusives Expertenwissen dar, das nicht dem Laien, sondern nur dem in einer bestimmten Tradition Unterwiesenen und Ausgebildeten, in den Termini der Hermeneutik, dem Eingeweihten der jeweiligen Lehre zugänglich ist. Ein solches Wissen ist nichts Gegebenes, sondern ein Tradiertes.¹⁷⁵ Hier unterscheiden sich Alchemie und Synthesechemie also kaum.

Als Resultat der Untersuchung ergibt sich, dass in der Alchemie ein Konzept von Synthese existiert. Dieses wurde jedoch nicht allein als experimentelle Methode aufgefasst, die Stoffe miteinander verbindet, ist also nicht streng an den methodischen Aspekt geknüpft. Die Synthese in der Alchemie erklärt vielmehr neben der methodisch-experimentellen Tätigkeit die enge Verbindung der Person des Alchemisten mit dem Göttlichen und der Natur. Das heißt erstens: Die Synthese ist eine experimentelle Methode, die vom Alchemisten als essentieller als die Analyse aufgefasst wird. Zweitens besteht die Synthese in der Alchemie darüber hinaus auf einer Metaebene. Auf dieser Metaebene müssen die Person des Alchemisten, die formbare Materie, spirituelle, religiöse und esoterische Kräfte¹⁷⁶ und die Natur miteinander verschmelzen, also synthetisch verbunden sein.

Somit ist die erste Syntheseform, die sich mit materiellen Umwandlungen beschäftigt, nicht rein materieller Art, sondern quasi vermittelt ihrer geistigen Anteile eine Synthese in der Synthese. Auf die alchemische Praxis bezogen bezeichnet Synthese somit auf der einen Seite das übergeordnete interdisziplinäre Ganze einer Verbindung von bestimmten Materie-

¹⁷⁵ In Anlehnung an Ludwik Fleck wird hier auf den Einfluss der sozialen Umwelt für das (wissenschaftliche) Denken verwiesen. Nach diesem Ansatz liegt die Quelle eines bestimmten wissenschaftlichen Denkstils nicht im Individuum, sondern in der sozialen Gemeinschaft, in der er existiert. [Vgl. Fleck (2012): Die Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache.]

¹⁷⁶ Eine Bewegung, die sich vor allem dem alchemistischen Gedankengut in spiritueller Weise verbunden fühlte, waren die Rosenkreuzer, deren Bruderschaft sich Anfang des 17. Jahrhunderts herauskristallisierte. Diese theosophische Bewegung sah die Ziele der Alchemie in der inneren Läuterung des Alchemisten und der materiellen Welt, um sie zum Göttlichen hinzuführen. [Vgl. Roob (2006): Alchemie und Mystik, S. 14.]

techniken im alchemischen Laboratorium, einer bestimmten Denkhaltung und Einstellung des alchemischen Laboranten und eines bestimmten geistigen Status des im alchemischen Prozess synthetisierten Laborprodukts. Auf der anderen Seite bezeichnet Synthese jedoch auch eine rudimentäre Form des in der heutigen Chemie geltenden chemischen Prozessgeschehens bei der Bildung neuer Endstoffe durch ein Verfahren der Verbindung von Ausgangsstoffen.

3. Das 18. Jahrhundert

3.1 Die Geburtsstunde der Chemie

Das 18. Jahrhundert zwischen Barock und Aufklärung wird allgemein als die Geburtsstunde der Chemie verstanden. Der Begriff Chemie setzt sich nur recht langsam von den begrifflichen Vorläufern der Alchimie, Alchemie oder Chymie ab. Die Veränderungen in der Begrifflichkeit werden gegen Ende des 18. Jahrhunderts deutlich. Die Auffassung darüber, was für Inhalte unter die Begrifflichkeit Chemie zu subsummieren sind, variiert und es bestehen zu dieser Zeit – und auch weit bis in das 19. Jahrhundert hinein – Überschneidungen zwischen Chemie und Alchemie. Eine Herauslösung des exakten chemisch-wissenschaftlichen Laborierens kombiniert mit dem Anspruch, eine naturwissenschaftliche Erklärung der Zusammensetzung der Eigenschaften und der Reaktionszusammenhänge von materiellen Strukturen – oder allgemeiner von Stoffen – zu finden, die auf konkreten Beobachtungen im Experiment basieren, prägt vor allem die zweite Hälfte des 18. Jahrhunderts.¹⁷⁷

Eine allgemeine Charakterisierung der Chemie des 18. Jahrhunderts besteht darin, sie als Kunst der Trennung und des Zusammenfügens von Stoffen zu bestimmen.¹⁷⁸ Der Leitspruch der Alchemie des *Solve et Coagula* hat sich also bis in das 18. Jahrhundert hinein gehalten, auch wenn sich der genaue Verfahrensablauf, wie man mit Materie experimen-

¹⁷⁷ Vgl. Schmauderer (1973): Der Chemiker im Wandel der Zeiten, S. 105.

¹⁷⁸ Vgl. Holmes (1989): 18th Century Chemistry as an investigative Enterprise, S. 62.

tiert, wesentlich geändert hat. Natürlich ist diese Charakterisierung noch relativ vage und weitgefasst. Hier ist davon auszugehen, dass im Lauf der historischen Entwicklung der Chemie als Wissenschaft auch eine Weiterentwicklung und Konkretisierung hinsichtlich dessen stattgefunden hat, was die Begriffe Trennung und Zusammenfügung genau bezeichnen. Eine solche Weiterentwicklung betrifft die Veränderung und Spezialisierung von Instrumenten,¹⁷⁹ mit denen dann wiederum neue Formen von Experimenten durchgeführt werden konnten, welche ihrerseits zu erweiterten Kenntnissen über die Zusammensetzung von den Stoffen und deren Umwandlungen führten. Diese Entwicklung im 18. Jahrhundert beinhaltet insbesondere auch eine Verschiebung hin zum analytischen Experimentieren, bei dem es vor allem darum ging, komplex aufgebaute Naturstoffe zu untersuchen, indem man deren Aufbau und Struktur über analytische Verfahren identifizieren wollte. Solche strukturanalytischen Experimente waren durch Destillationsprozesse bestimmt.¹⁸⁰ Damit verlagert sich im Wechselspiel von Synthese und Analyse das Gewicht auf die Analyse von Stoffen. Im Sinne eines elementaristischen Programms geht es nun vor allem darum, die Teile und elementaren Glieder von komplexen Stoffverbindungen zu identifizieren. Durch Experimentiertechniken wie die Destillation wurden auch das Auffangen und die darauffolgende Analyse von gasförmigen Stoffen gefördert. Die Methode der Destillation erlaubte gezielter eine Separation von Stoffen, so auch von Gasen. Gasförmige Stoffe, die bis dato kaum Gegenstand experimenteller chemischer Untersuchungen waren, wurden nun – neben den Aggregatzuständen fest und flüssig – als dritter Aggregatzustand stofflicher Existenz erfasst.

Es lässt sich die Frage stellen, warum die historische Rekonstruktion der Synthese in der Chemie einen Abschnitt über die Analyse beinhaltet. Trotz der besonderen Ausrichtung der chemischen Bemühungen im 18. Jahrhundert, die diesen Abschnitt angesichts des Augenmerks auf die Synthese möglicherweise als nicht einschlägig für dieses Thema erscheinen lässt, ist doch die Tatsache, dass sich die heutige Chemie in einem wesentlichen Sinne auf die Arbeiten von Antoine Laurent Lavoisier zurückführen lässt, dessen Konzept gegenüber

¹⁷⁹ Man denke an frühe Formen der Vakuumpumpe von Robert Boyle [Vgl. Shapin, Schaffer (1985): *Leviathan and the Air-pump*] oder auch eine frühe Form des „Gasometers“ von Lavoisier [Vgl. Lavoisier (2008): *System der antiphlogistischen Chemie* S. 218 ff.]

¹⁸⁰ Vgl. Holmes (1989): *18th Century Chemistry as an investigative Enterprise*, S. 62.

den Vorformen wie der Phlogistontheorie einen Paradigmenwechsel der chemischen Theorie darstellt,¹⁸¹ kaum verzichtbar, wenn man ein vollständiges Bild der Chemie und ihrer Entwicklung rekonstruieren möchte. Insofern ist auch die Würdigung dieses historischen Abschnittes unerlässlich, um das Gesamtgefüge darzustellen, in das die Synthese dann an ihren Platz einzufügen ist. Zudem sind synthetische Aspekte und Arbeitsschritte in der Ära Lavoisiers nicht gänzlich verschwunden, auch wenn ihnen nicht mehr das Hauptinteresse des Chemikers galt.

3.2 Die analytische Ära Lavoisier

Das Fallbeispiel behandelt die Arbeiten des französischen Chemikers Antoine Laurent Lavoisier. Dabei wird sein Werk „System der antiphlogistischen Chemie“ zur Rekonstruktion der synthetischen (sowie analytischen Aspekte) dieser Chemie herangezogen werden.

Der hier für das Fallbeispiel ausgewählte Titel ist rückführend auf Gaston Bachelards Aussage gewählt, der von der analytischen Ära Lavoisiers sprach und postulierte auf diese folge die synthetische Ära Mendeljevs.¹⁸² Diese Einschätzung Bachelards hat insofern Gewicht, als Lavoisiers Oxidationstheorie aus den Erkenntnissen seiner analytischen Arbeiten hervorgegangen und diese Theorie ein grundlegendes Element der chemischen Wissenschaft geblieben ist.¹⁸³ Speziell die Einführung der quantitativen Analyse als neue Vorgehensweise ermöglichte auch die Oxidationstheorie.¹⁸⁴ Das bedeutet, Lavoisier gewann durch präzises Auffangen, Wiegen und Messen von Stoffmengen – auch von Gasen – experimentelle Kenntnisse über die quantitativen Verhältnisse bei materiellen Veränderungen in chemischen Reaktionen. Das Qualitative der Stoffe, welches in der Alchemie noch eine immanente Bedeutung für die Deutung des Experimentalprozesses hatte und dessen Vervollkommnung das gesamte Verfahren verpflichtet war, spielt für Lavoisier kaum eine Rolle.

¹⁸¹ Vgl. Kuhn (1976): Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, S. 66 ff.

¹⁸² Vgl. Bachelard (1993): Epistemologie, S. 91.

¹⁸³ Vgl. Ströker (1982): Theoriewandel in der Wissenschaftsgeschichte, S. 218.

¹⁸⁴ Vgl. Ströker (1976): Denkwege der Chemie – Elemente ihrer Wissenschaftstheorie, S. 127.

Die neue analytische Vorgehensweise ist bei Lavoisier stark an eine instrumentelle Ausrichtung seiner Forschung geknüpft. Das heißt, der Einsatz von Apparaturen und Instrumenten, wie etwa des Gasometers, der Waage und anderen Spezialapparaturen, die eigens für die jeweiligen Experimente hergestellt wurden,¹⁸⁵ ermöglichten erst die chemische Praxis im Labor und erlaubten die Umsetzung der quantitativen Analyse. *„Es ist eine unvermeidliche Folge des Zustandes der Vollkommenheit, welchem sich die Chemie zu nähern anfängt, daß kostbare und complicirte Instrumente und Apparate erfordert werden. Ohne Zweifel muß man sie zu vereinfachen suchen, allein dies darf nicht auf Kosten ihrer Bequemlichkeit und vorzüglich ihrer Genauigkeit geschehen.“*¹⁸⁶

Die analytische Vorgehensweise Lavoisiers geht mit einer ständigen Kontrolle der eingesetzten und umgesetzten Verfahren und Experimente einher. Nun besteht diese Kontrolle jedoch nicht in einem komplementären synthetischen Überprüfungsprozess, also wieder einem praktisch-technischen Verfahren, sondern durch Anwendung einer theoretischen Vorgabe. Es ist das Gesetz von der Erhaltung der Masse, welches von Lavoisier durch seine Forschungen aufgefunden und definiert wurde, das als Kontrollinstanz für die errechneten und im chemischen Vollzug gewonnenen Produkte fungiert.¹⁸⁷ Durch das Wiegen aller Substanzen vor und nach der Reaktion wurde von Lavoisier geschlussfolgert, dass die Stoffe sich zwar umwandeln, aber die Masse aller Stoffe im Kollektiv dieselbe bleibt. Aus diesen experimentellen Befunden leitete er schließlich auch das Gesetz von der Erhaltung der Masse ab, welches bis heute für alle chemischen Reaktionen gilt. Das Gesetz von der Erhaltung der Masse war eine der ersten Gesetzmäßigkeiten der neuen Chemie und stellt somit einen wesentlichen Punkt ihres theoretischen Grundkonzeptes dar. Lavoisier verstand sich darauf, die Möglichkeit zu nutzen, empirisches Wissen aus seinen experimentellen Analysen abzuleiten und dadurch sein Konzept der Massenerhaltung zu konstituieren, das sich als auf alle chemischen Reaktionen übertragbar zeigte. Die Entwicklung des Gesetzes von der Erhaltung der Masse belegt die erfolgreiche Übertragung von empirischen Erkenntnissen in verallgemeinerbares theoretisches Wissen.¹⁸⁸

¹⁸⁵ Vgl. Holmes (1989): 18th Century Chemistry as an investigative Enterprise, S. 123.

¹⁸⁶ Lavoisier (2008): System der antiphlogistischen Chemie, S. 132.

¹⁸⁷ Vgl. Ströker (1976): Denkwege der Chemie – Elemente ihrer Wissenschaftstheorie, S. 135.

¹⁸⁸ Vgl. Ströker (1982): Theorienwandel in der Wissenschaftsgeschichte, S. 220.

Das Konzept der praktisch ausgerichteten Chemie Lavoisiers besteht aus folgenden Operationen: *„Die Chemie giebt uns überhaupt zwei Mittel an die Hand, die Natur der Bestandtheile eines Körpers zu bestimmen, nämlich die Zusammensetzung und die Zerlegung.“*¹⁸⁹

Im Gegensatz zu der obigen Betonung der Analyse im Bachelardschen Sinne macht diese Formulierung deutlich, dass Analyse und Synthese gemeinsam in Lavoisiers Wissenschaft die Basis für eine Bestimmung von Stoffen bilden. Seine chemische Praxis bestand hingegen wesentlich in dem Auffinden sowie der Identifikation von chemischen Substanzen. Vor allem die Methode der Analyse bot dazu eine adäquate Lösung, um die Vorstellung von Stoffen und Stoffumwandlungen zu konkretisieren und zu konzeptualisieren.

Doch steht die Analyse keinesfalls allein da. Sie wird durch die Synthese ergänzt. Ein weiterer Aspekt – man könnte von einem metasynthetischen Ziel im Konzept Lavoisiers sprechen – ist der der Vereinigung von Analyse und Synthese. *„[...] und überhaupt sollte man in der Chemie nicht eher ganz zufrieden seyn, als bis man diese beiden Prüfungsarten, hat vereinigen können.“*¹⁹⁰ Praktisch versuchte Lavoisier diese Vereinigung zweier chemischer Verfahrensabläufe durch umkehrbare chemische Reaktionen zu erreichen. Dabei geht es aus chemischer Sicht an dieser Stelle weniger darum, ob Lavoisier in seinen Experimenten tatsächlich exakt umkehrbare Reaktionen durchgeführt hat. Vielmehr zeigen die zitierten Passagen deutlich, dass Lavoisier die Analyse und die Synthese als zwei sich bedingende komplementäre Methoden der Chemie verstanden hat. Lavoisier spricht hier von Synthese und Analyse als zweier Prüfungsarten, was den beiden Ansätzen den Stellenwert sich gegenseitig bedingender Mittel zuweist.

Offensichtlich fällt der Synthese dennoch in diesem methodischen Wechselspiel eine eher untergeordnete Rolle zu. Dieses ist an mehreren Punkten festzustellen.

Erstens hat Lavoisier selbst hauptsächlich mit der Methode der quantitativen Analyse gearbeitet, die derart erfolgreich war, dass er auf der Basis dieses Verfahrens und der mit ihm gewonnenen Einsichten in die Verhältnisbeziehungen der Reaktionsprodukte unter Einbeziehung gasförmiger Stoffe, das Gesetz von der Erhaltung der Masse entwickeln konnte.

¹⁸⁹ Lavoisier (2008): System der antiphlogistischen Chemie, S. 50.

¹⁹⁰ Ebd., S. 50.

Zweitens richtete er einen Großteil seiner Apparaturen und Instrumente auf diese spezielle Methode aus, was gleichfalls einen Hinweis darauf gibt, wie zentral gerade die quantitative Analyse für ihn war. Die Messwerte aus der quantitativen Analyse fasste Lavoisier in summarischen Tabellen zusammen, so dass seine Methode nicht mathematischen, sondern vielmehr ökonomischen Charakter besaß. Diverse Rechnungen im Zuge der quantitativen Analyse bestanden bei Lavoisier nicht aus Formeln, in die Messwerte einzusetzen waren. Das bedeutet, ein mathematischer Anspruch ist hier weniger zu erkennen, dafür allerdings eine exakte Buchführung der experimentellen Ergebnisse, die Vergleiche unter chemischen Reaktionen ermöglichen und vereinfachen sollten.¹⁹¹

Die Frage stellt sich, ob Lavoisier die Begriffe Analyse und Synthese in einem Sinne verstanden hat, wie sie heute gebräuchlich sind.¹⁹² Man könnte vielmehr durch Lavoisiers praktische Arbeiten im Labor die Annahme bestätigt sehen, dass sich der Begriff der Analyse durch seine Forschung und unter seinen Forschungsstrategien maßgeblich verändert hat. Insbesondere entwickelte Lavoisier den Begriff der Analyse durch seine Methode der quantitativen Analyse weiter. Innerhalb der Chemie wurde der Begriff der Analyse quasi durch die Methode angefüllt, so dass er nun nicht mehr länger nur als ein Prinzip galt, sondern nun bestand der Inhalt dieses Prinzips in der experimentellen Durchführung der Analyse im Labor. Die Synthese hingegen blieb als Umkehrreaktion der Analyse bestehen. Schließlich ist hierbei zu bedenken, dass zwar die Begriffe von Analyse und Synthese mit ihrer simplen Bedeutung zur Bezeichnung eines Verfahrens als Trennung respektive Zusammenfügung von Stoffen auch von Lavoisier so verwendet wurden. Für das Verständnis von Chemie, bzw. dem was unter die Bezeichnung Chemie fällt, war durch diese Verwendung und das Ausfüllen des Begriffes der Analyse ein erweitertes Verständnis chemischer Sachverhalte entstanden, was wiederum der Chemie half, sich ein Selbstverständnis zu schaffen.

Lavoisier schlug eine Definition für den Begriff Element vor, die beinhaltet, dass ein Stoff, der mit den verfügbaren experimentellen Methoden nicht weiter zerlegt werden kann, als

¹⁹¹ Vgl. Ebd., S. 296.

¹⁹² Vgl. Ströker (1982): Theorienwandel in der Wissenschaftsgeschichte, S. 16.

Element definiert wird.¹⁹³ Diese Definition eines chemischen Elements gibt rückwirkend auch Auskunft über die Bedeutung der Methode der Analyse für Lavoisier, denn die Analyse wäre demnach die Methode, die mit den bisher verfügbaren Techniken den Nachweis dafür liefern kann, ob es sich um ein Element oder um eine Verbindung handelt. Damit erlangt die Analyse die Funktion, die Grundglieder des materiellen Geschehens in chemischen Prozessen auszuweisen, was ihren zentralen methodologischen Status hervorhebt. Nun ist belegt, dass die Analyse die experimentelle Grundsäule für die Wissenschaft der Chemie ist. Die Definition der Grundglieder chemischen Geschehens ist eng auf diese Methode abgestimmt.¹⁹⁴

Trotz dieser methodologisch fundierenden Rolle der Analyse hatte gerade die Synthese bei einer von Lavoisiers größten Entdeckungen eine wesentliche Funktion inne. Bei seinen Experimenten mit dem Sauerstoff und der Frage nach seiner Beziehung zu sauren Verbindungen zeigte Lavoisier in der *Académie française*¹⁹⁵ die thermische Zersetzung von Quecksilbernitrat mit der anschließenden synthetischen Umkehrreaktion zu salpetriger Säure.¹⁹⁶ Dieses Beispiel macht deutlich, dass die Synthese als zentraler empirischer Beleg zur Bestätigung der theoretischen Annahme der Existenz oxidhaltiger Säuren fungierte.¹⁹⁷ Die Synthese wird hier – wie bereits angedeutet – als eine Form der Umkehrreaktion behandelt. Das heißt, nach einer Zerlegungsreaktion versuchte Lavoisier eine Vereinigung, bei der nicht zwangsläufig das Edukt reproduziert werden musste, sondern durch die synthetische Reaktion sollte vielmehr die Existenz des Sauerstoffs in Säuren nachgewiesen werden. Diese Methode der Analyse und der anschließenden Synthese wurde für das Sauerstoffprinzip in den Säuren verwendet, um ihre genaue chemische Zusammensetzung zu entschlüsseln.

¹⁹³ Vgl. Lavoisier (2008): System der antiphlogistischen Chemie, S. 19.

¹⁹⁴ Kuhns quasimetaphysische Bindungen können hier das Verhältnis von Methode und "Element" (als letzte Glieder von Materie) beschreiben. Dieser Komplex von Bindungen besagt hier in metaphysischer Hinsicht, dass die Entitäten des Universums aus Teilchen (Elementen) bestehen, die mit den bislang vorhandenen Techniken nicht weiter zerlegbar sind. In methodologischer Hinsicht besagt er, wie Erklärungen und Maßnahmen beschaffen sein müssen, wie also durch Analyse zum elementaren Zustand gelangt werden kann. [Vgl. Kuhn (1976): Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, S. 55.]

¹⁹⁵ Da die *Académie française* die bedeutendste Vereinigung von Intellektuellen Frankreichs war, der die erfolgreichsten Gelehrten der jeweiligen Zeit angehörten, hatte Lavoisier es hier mit einem kritischen Fachpublikum zu tun.

¹⁹⁶ Vgl. Ströker (1982): Theorienwandel in der Wissenschaftsgeschichte, S. 239.

¹⁹⁷ Die Argumentation Lavoisiers nach dem Verum-Faktum-Prinzip nach Vico: Durch Anwendung der Methoden von Analyse und Synthese wird die Existenz der Säuren durch ihre Herstellung bewiesen.

Durch Metall-Säure-Reaktionen, also die Auflösung von Metallen in Säuren, versuchte Lavoisier zu zeigen, dass die Oxidation hier durch die Aufnahme von Sauerstoff des Metalls aus der Säure zustande kam. Dies versuchte er für alle Säuren zu belegen. Das bedeutet, Lavoisier nahm das *principe oxygine* für alle Säuren an, was er dadurch rechtfertigte, dass, nur wenn sich durch Analyse kein Sauerstoff finde ließe, wie dies bei der Salzsäure der Fall ist, er mit den vorhandenen Mitteln noch nicht freigesetzt worden war.¹⁹⁸ Hieraus lässt sich erkennen, dass für Lavoisier Analyse und die Umkehrreaktion (die Synthese) keine feststehenden bereits abgeschlossenen Verfahren sind. Der Gedanke, dass sie durch die Erweiterung des Arsenalen an methodischem Wissen und Techniken ebenfalls erweitert und präziser werden, prägte vor allem sein Denken über die Analyse, was die obige Argumentation zur Oxidationstheorie zeigt.

Im Hintergrund der praktischen Arbeiten Lavoisiers steht die Auffassung dessen, wie Wissenschaft möglich ist, eine Erkenntniskonzeption, die eng an die Mittelbarkeit durch Sprache gebunden ist. „*Die Unmöglichkeit, die Nomenklatur von einer Wissenschaft, und die Wissenschaft von der Nomenklatur abzusondern, hat ihren Grund darin, daß jede physische Wissenschaft, nothwendig aus drei Stücken zusammengesetzt ist [...].*“¹⁹⁹ Das erste Stück bilden die Tatsachen, also Fakten, die der Wissenschaft ihren Inhalt geben, das zweite Stück besteht aus den Vorstellungen, durch die wissenschaftliche Fakten be- und überdacht werden und schließlich ist das dritte Stück die Sprache, die die Tatsachen kommunizierbar macht. Die Sprache formt durch möglichst präzise Ausdrücke über den Akt der Vorstellung eine wissenschaftliche Tatsache. Das heißt, nur durch die Vervollkommnung der Sprache, durch präzise Begriffsbildung wird nach Lavoisier präzise Wissenschaft möglich. Umgekehrt kann präzise Wissenschaft aber auch dazu beitragen, die Sprache zu verbessern.^{200, 201} Auch die Sprache wird bei Lavoisier zu einem Instrument der Analyse, denn präzise Begriffe, also einfache, elementare Begriffe sollen hier wissenschaftlichen Fakten formen und fördern. Das heißt, in der experimentellen Analyse werden Stoffe zerlegt, doch auch der

¹⁹⁸ Vgl. Ströker (1982): Theorienwandel in der Wissenschaftsgeschichte, S. 241.

¹⁹⁹ Lavoisier (2008): System der antiphlogistischen Chemie, S. 13.

²⁰⁰ Vgl. Ebd., S. 14.

²⁰¹ Lavoisiers Auffassung geht zurück auf den anthropologisch begründeten Sensualismus von Étienne Bonnot de Condillac. Condillac hält den Ursprung der Sprache zugleich für den Ursprung des Denkens, was die Basis seines Ansatzes darstellt.

Denkstil, der sich durch Sprache formt, muss analytisch geprägt sein, um eine exaktere Begriffsbildung zu ermöglichen. Diese wiederum ermöglicht es zu wissenschaftlichen Tatsachen vorzustoßen. Somit ist sowohl auf experimenteller Ebene als auch auf einer Metaebene, die sich auf Denkansätze zum chemischen Arbeiten bezieht, der analytische Ansatz bei Lavoisier vorhanden.

Die Erkenntnisse, die Lavoisier durch seine praktischen Arbeiten erhielt, hatten Auswirkungen auf die theoretische Konstituierung der frühen Chemie. Das neue System der Verbrennung – die Oxidationstheorie – wurde jedoch nicht von vornherein in Chemikerkreisen des späten 18. Jahrhunderts akzeptiert. Dieses lag nicht ausschließlich und vordergründig an den Vorurteilen der Phlogistiker gegen den alternativen Erklärungsansatz, sondern vielmehr an den Irritationen, die die neue chemische Praxis hervorrief. Denn der Akzeptanz der Oxidationstheorie musste die Akzeptanz der neuen Methodik, der quantitativen Analyse und der daraus abgeleiteten Ergebnisse vorausgehen, damit die Oxidationstheorie sich im chemischen Theoriengebäude durchsetzen konnte. Die Chemiker kritisierten grundlegende Probleme mit den experimentellen Prozessen der Analyse und Synthese zu dieser Zeit, die darin bestanden, die bisher überall akzeptierte Phlogistontheorie zu verwerfen und einem von Grund auf neuen Ansatz als grundlegend in der Chemie zu begreifen. Damit zusammenhängend war gefordert, die neuen Instrumente (Waage, Gasometer etc.) und die durch diese gewonnene Präzision zu akzeptieren und diese in die eigenen Experimentalvorgänge einzubinden. Die Schwierigkeiten, Analysen und Synthesen in vergleichbarem Standard wie Lavoisier durchzuführen, waren maßgeblich durch ökonomische Aspekte bedingt. Einige Instrumente (wie das Gasometer) Lavoisiers waren derart teuer, dass für die meisten Chemiker in England, Frankreich oder den deutschen Territorialstaaten eine vergleichbare Laborausstattung unerschwinglich war. Für die Veranschaulichung, Durchsetzung und Überzeugungskraft der Theorien Lavoisiers waren diese Instrumente jedoch enorm bedeutsam und sind als eine Technik zur Validierung eben jener neuen chemischen Theorien zu verstehen.²⁰² Aufbauend auf den Erkenntnissen, die auf der experimentellen Ebene gewonnen wurden, bestanden auf der Theorieebene weitere Unstimmigkeiten zwischen Phlogistikern und Antiphlogistikern, die auf Lavoisiers Annahme beruhten, dass Wärme ebenfalls ein

²⁰² Vgl. Lavoisier (2008): System der antiphlogistischen Chemie, S. 220 ff.

Stoff, ein chemisches Element sei, was er auch experimentell zu beweisen versuchte. Das, was Lavoisier in seinen kalorimetrischen Messungen als Wärmestoff meinte, gemessen und bestimmt zu haben, war jedoch in seiner materiellen Beschaffenheit nicht klarer, als die Beschaffenheit des Phlogistons.²⁰³ Alle Hindernisse dieser Art konnten die zunehmende Verbreitung und Akzeptanz der Oxidationstheorie jedoch nicht aufhalten, denn durch die Theorie Lavoisiers wurden Metalle und Nichtmetalle nicht länger als Verbindungen mit Phlogiston angesehen, sondern sie wurden als Elemente identifiziert, während umgekehrt Säuren nicht mehr als elementare Stoffe erschienen, sondern als chemische Verbindungen. Diese neue Kapazität der eindeutigen Differenzierung zwischen elementaren chemischen Stoffen und chemischen Verbindungen bestimmte von da an auch die Praxis der neuen Chemie.²⁰⁴ Dieses kann auch als eine indirekte Konsequenz der Methode der quantitativen Analyse gesehen werden.

Man hat es seit Lavoisier in der frühen Chemie nicht nur mit einem Wechselspiel von Analyse und Synthese zu tun, sondern ebenfalls mit einem Wechselspiel von Theorie und Praxis, die einander formen. Das heißt, dass durch permanentes Fördern und Fordern dieser Wechselspiele gleichfalls eine neue Sicht auf die Prozesse von Analyse und Synthese im Labor entsteht, die dann auch Auswirkungen auf Hypothesen und deren theoretischen Annahmen hat. Insgesamt bleibt allerdings die eingangs geschilderte Verhältnisbestimmung charakteristisch: Die Synthese nimmt in Lavoisiers Wissenschaftsprogramm und ganz allgemein in der Chemie des 18. Jahrhunderts einen geringeren Stellenwert als die Analyse ein. Diese Feststellung verleitet zu der Annahme, dass die Synthese in ihrer gedanklichen und praktischen Ausführung gegenüber den Vorläuferkonzepten der vorhergehenden Jahrhunderte an Bedeutung verliert, um dann im 19. Jahrhundert wieder in neuer Form aufzuerstehen, wobei die Verwendung eines neuen Materiekonzepts und die Anwendung der Atomtheorie die Synthese zu einer experimentellen Methode im Labor werden ließ, die sich eben auf die Umwandlung von Materie durch Neukombination von Atomen konzentrierte.

²⁰³ Vgl. Ströker (1982): Theorienwandel in der Wissenschaftsgeschichte, S. 264 f.

²⁰⁴ Vgl. Ebd., S. 294 f.

4. Die Chemie im 19. Jahrhundert

4.1 Die Entwicklung von Synthese und Analyse

Im 19. Jahrhundert ist die naturwissenschaftliche Forschung geprägt vom Beginn und vom Fortschreiten der industriellen Revolution und ebenso von der Geisteshaltung, die romantische Naturvorstellungen in das Zentrum ihres Denkens stellte. Die Entwicklung der Chemie wird von ersterer bedeutend mitgeprägt. Durch die Industrialisierung erhält die chemische Forschung die neue Funktion, technisch-industrielle Prozesse zu unterstützen, theoretisch zu begleiten und in Form neuer industriell verwendbarer Materialien eine Anwendbarkeit zu gewährleisten. Die Rolle der Chemie im 19. Jahrhundert und ihre Entwicklung lässt sich anhand des Sammelbandes mit dem Titel „Betrachtungen zur Rolle der Chemie auf den Versammlungen Deutscher Naturforscher und Ärzte“ erkennen. Diese Betrachtung über die sich ereignende Entwicklung wird anhand des dort vorgetragenen Programms sichtbar und soll hier überblicksartig wiedergegeben werden. So ist im Jahr 1828 das Interesse der deutschen Chemiker an der organischen Chemie im Vergleich zu anorganischen Chemie relativ gering. In diesem Jahr sind vor allem Vorträge zu Untersuchungen über anorganische Aspekte im Rahmen geologischer Forschungen vertreten.²⁰⁵ In den vierziger Jahren wurden in dieser Vortragsreihe, Vorschläge zur zukünftigen Rolle des Chemikers angeführt, die darin besteht, ein enges Ineinandergreifen von Technik, Wissenschaft und Wirtschaft zu erwirken und zu fördern.²⁰⁶ Ebenso scheint es im Rahmen dieser Versammlungen ab den vierziger Jahren in den Vorträgen eine stärkere Berücksichtigung der experimentellen Praxis zu geben, die Vorrang vor theoretischen Themen hatte. Theoretische Thematiken wurden eher in den chemischen Journalen ausgetragen. Verantwortlich dafür ist möglicherweise eine Theorienfeindlichkeit bzw. Theorienmüdigkeit der deutschen Chemiker gewesen. Dieser Trend zog sich bis in die späten siebziger Jahre des 19. Jahrhunderts hin.²⁰⁷ Durch den vielfachen Anwendungsbezug in Form industrieller Prozesse

²⁰⁵ Vgl. Krätz: Betrachtungen zur Rolle der Chemie auf den Versammlungen Deutscher Naturforscher und Ärzte bis zur Gründung der Deutschen Chemischen Gesellschaft. In: Querner, Schnipperges (Hrsg.): Wege der Naturforschung 1822 – 1972 (1972), S.139.

²⁰⁶ Vgl. Ebd., S.141.

²⁰⁷ Vgl. Ebd., S.142 f.

erweiterte sich das Gebiet der chemischen Wissenschaft derart, dass sich mehr und mehr Fachgesellschaften für die einzelnen chemischen Bereiche herausbildeten, außerdem wurde 1867 die *Deutsche Chemische Gesellschaft* gegründet, die die entsprechenden Impulse für Wissenschaft und Forschung mitbestimmte.²⁰⁸

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts lassen sich noch Verknüpfungen zwischen der Chemie und der romantischen Naturphilosophie erkennen.²⁰⁹ Einer der bedeutendsten Chemiker der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, Justus Liebig, kam im Laufe seines Studiums mit der Schellingschen Naturphilosophie in Kontakt, obwohl diese ihn nach anfänglicher Begeisterung entsetzte,²¹⁰ zeigt sein Beispiel doch auch, dass im 19. Jahrhundert die Ausbildung von Chemikern – deren Berufsbild sich in dieser Phase erst herauskristallisiert – kaum als eigenständige Berufsausbildung zu bezeichnen ist. Da die Universitäten in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts ihre Aufgabe eher im Sammeln und Vermitteln von theoretischem Wissen sahen und sich erst in der zweiten Hälfte nach dem Humboldtschen Bildungsideal eine Einheit von Forschung und Lehre herauskristallisierte, wird deutlich, warum eine praxisorientierte universitäre chemische Ausbildung, die sich vor allem durch die Arbeit im Laboratorium auszeichnete, nur langsam Einzug in die Universitäten fand. Zur Durchsetzung ihrer Interessen und zur Etablierung ihrer Disziplin im Fächerkanon der Universitäten intervenierten wiederum Personen wie Liebig mit dem Ziel, das Studium der Chemie, ergänzt durch eine praktische Ausbildung im Laboratorium, zu erneuern und es nicht durch Veranstaltungen anderer Fakultäten, wie der philosophischen Fakultät, seines Fokus – dem Studium der Materie – berauben zu lassen. Das bedeutet mit dem Fortschreiten der Chemie, ihrem Versuch einer Verwissenschaftlichung und akademischen Einbindung, war auch eine Veränderung der universitären Ausbildung der Chemiker verbunden. Zugleich kam es durch die sozialen und politischen Bedingungen der Industrialisierung zu

²⁰⁸ Vgl. Ebd., S.144.

²⁰⁹ Ein Physiker und Chemiker, der in diesem Kontext zu nennen ist, ist Hans Christian Oerstedt. Er entdeckte, dass eine Kompassnadel (ein magnetischer Pol) abgelenkt wird, sobald parallel dazu ein elektrischer Strom, ein elektrischer Leiter fließt. Diese Entdeckung brachte Elektrizität und Magnetismus in Verbindung und erhielt in Forscherkreisen die entsprechende Resonanz. Außerdem studierte Oerstedt bei Schelling Naturphilosophie und hing der Überzeugung an, dass die Natur systematisch aufgebaut ist und hinter allen vorstellbaren Dingen eine Einheitlichkeit steckt.

²¹⁰ Vgl. Strube (2005): Justus Liebig – Eine Biographie, S. 30.

einer wirtschaftlichen Ausrichtung der Chemie und zur Ausbildung eines vielseitigeren Anwendungsfeldes für ihre Verfahren und Produktionsweisen.^{211,212}

Das Verhältnis von Analyse und Synthese bzw. die Rolle der Synthese im 19. Jahrhundert wird nicht nur innerhalb der Naturwissenschaften weiterentwickelt, sondern sie stößt ebenfalls in der Literatur auf Interesse. Das bekannteste Beispiel dafür sind „Die Wahlverwandtschaften“ (1809) von Johann Wolfgang von Goethe. Goethe hat in seinem Werk, das in der Sekundärliteratur als eine Metapher für die Theorie der chemischen Bindung interpretiert wird, die Bedeutung der Synthese im Dialog zwischen Charlotte und Eduard hervorgehoben: *„Die Verwandtschaften werden erst interessant, wenn sie Scheidungen bewirken. Kommt das traurige Wort, rief Charlotte, das man leider in der Welt jetzt so oft hört, auch in der Naturlehre vor?“*

Allerdings, erwiderte Eduard. Es war sogar ein bezeichnender Ehrentitel der Chemiker, daß man sie Scheidekünstler nannte.

Das thut man also nicht mehr, versetzte Charlotte, und thut sehr wohl daran. Das Vereinigen ist eine größere Kunst, ein größerer Verdienst. Ein Einigungskünstler wäre in jedem Fache der ganzen Welt willkommen.“²¹³

Die hier erfolgte Hervorhebung der Kunst des Vereinigens vor der Scheidekunst – also implizit die Betonung der Synthese gegen die übliche Betonung der Analyse – zeigt bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts die Bedeutung der Synthese für materielle Verwandtschaftsbeziehungen. Obwohl die Analyse nach dem dargestellten Ideal der Forschung Lavoisiers noch im Mittelpunkt chemischer Untersuchungen stand, zeigt Goethes Reflexion angesichts der dann folgenden Entwicklungen des 19. Jahrhunderts großen Weitblick. Eingeschränkt wird diese Einsicht allerdings dadurch, dass sie durch den Kontext der Wahlverwandtschaft-

²¹¹ Siehe hierzu inhaltlich die Vorträge der 40er Jahre des 18. Jahrhunderts im Rahmen der Versammlungen deutscher Naturforscher und Ärzte, die zeigen, dass Karl Wilhelm Gottlob Kastner in diesem Zeitraum eine anwendungsbezogene Lehre für die Chemie fordert, die sowohl in der Schule als auch an Universitäten angestrebt werden sollte.

²¹² Vgl. Krätz: Betrachtungen zur Rolle der Chemie auf den Versammlungen Deutscher Naturforscher und Ärzte bis zur Gründung der Deutschen Chemischen Gesellschaft. In: Querner, Schnipperges (Hrsg.): Wege der Naturforschung 1822 – 1972 (1972), S. 141.

²¹³ Goethe (1982): Die Wahlverwandtschaften, S. 42.

ten in literarischer Form geäußert wird und den Status einer Metapher für menschliche Beziehungen hat und damit nicht dem Anspruch einer wissenschaftlichen Wahrheit genügt.²¹⁴ Im Gegensatz zum Weitblick Goethes auf der literarischen Ebene beginnt das Wechselspiel von Synthese und Analyse im 19. Jahrhundert sich erst zu konstituieren und sich dadurch an den Universitäten und in diversen Bereichen der Industrie zu etablieren. Somit ist das komplementäre Methodenarsenal der Chemie von Analyse und Synthese weder ausgereift, noch in ein Gleichgewicht gebracht. Dieses gilt zumindest für die Zeit bis 1860. In diesem Jahr erschien das systematische (Lehr-)Buch über die chemischen Synthesen organischer Verbindungen von Marcellin Berthelot,²¹⁵ welches als ein Faktum dafür interpretiert werden kann, dass das synthetisch-methodische Vorgehen in der Chemie nun zu einem essentiellen Bestandteil der Wissenschaft der Stoffe geworden ist. Die Untersuchung der Rolle der chemischen Synthese im 19. Jahrhundert wird aus diesem Grund an der Studie „Die chemische Synthese“ von Berthelot durchgeführt.

Auffällig ist, dass die Chemiker der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, die die ersten wichtigen und die Bezeichnung verdienenden Synthesen der Chemie – allen voran der frühen organischen Chemie – umsetzten, sich im großen Umfang und zeitlich durchaus vor ihren Synthesen, auch mit Analytik beschäftigten. Die hier einschlägigen Wissenschaftler sind Justus Liebig sowie Friedrich Wöhler und Jöns Jacob Berzelius. Die bekannteste Synthese-

²¹⁴ Das vielschichtige naturwissenschaftliche Interesse Goethes richtete sich neben der Farbenlehre auf die Entdeckung der „Urpflanze“ und des Zwischenkieferrknochens. Sein Interesse richtete sich eher auf die physikalische und biologische Naturforschung. Er war jedoch kein Spezialist auf dem Gebiet der analytischen und synthetischen Chemie.

²¹⁵ Marcellin Berthelot (1827 - 1907) war ein französischer Chemiker und Politiker. Liste der Werke im Originaltitel: 1854 Combinaison de la glycérine avec les acides et reproduction des corps gras naturels; 1858 Nouvelles recherches sur les corps analogues au sucre de canne; 1860 Traité de chimie organique, 2 vol.; 1862 Leçons sur les principes sucrés (professées devant la Société chimique de Paris); 1863 Leçons sur l'isométrie; 1864 Leçons sur les méthodes générales de synthèse en chimie organique (professées au Collège de France); 1872 Traité élémentaire de chimie organique, 2 vol.; 1873 Vérification de l'aéromètre de Baumé; 1875 La synthèse chimique; 1879 Essai de mécanique chimique fondée sur la thermochimie, 2 vol.; 1883 De la force de la poudre et des matières explosives d'après la thermochimie, 2 vol.; 1885 Les origines de l'alchimie; 1886 Science et philosophie; 1887 Collection des anciens alchimistes grecs, 3 vol.; 1889 Introduction à l'étude de la chimie des Anciens et du Moyen Âge; 1890 La révolution chimique : Lavoisier ; 1893 Histoire des Sciences. La chimie au Moyen Âge, 3 vol.; 1893 Traité pratique de calorimétrie chimique; 1897 Thermochimie, Données et lois numériques, 2 vol.; 1897 Science et morale; 1899 Chimie végétale et agricole. Station et chimie végétale de Meudon, 4 vol.; 1901 Les carbures d'hydrogène; 1901 Recherches expérimentales, 3 vol.; 1901 Science et éducation; 1905 Science et libre pensée; 1906 Archéologie et histoire des sciences; 1906 Traité pratique de l'analyse du gaz.

leistung in diesem Kontext ist die von Friedrich Wöhler konzipierte Harnstoffsynthese. Wöhler führt an, dass die kristallisierte, weiße Substanz am besten zu erhalten wäre, wenn cyansaures Silberoxid durch Salmiak-Auflösung oder cyansaures Bleioxid durch flüssiges Ammoniak zersetzt wird.²¹⁶ Dabei schied sich der Harnstoff als farblose, klare oft mehr als zolllange Kristalle ab.²¹⁷ Wöhler untersuchte diesen kristallinen Stoff in seinem Verhalten in Reaktionen mit sauren und basischen Stoffen, wie Kalk und Salpetersäure und kam zu dem Schluss, dass aufgrund des Verhaltens gegenüber der Säuren und Basen, es sich um eine organische Substanz handeln könnte. Dass die hergestellte Substanz identisch mit Harnstoff war, erkannte Wöhler durch vergleichende Versuche mit aus Urin abgediebstem, reinem Harnstoff. Diese Vergleichsprobe zeigte, dass beide Stoffe identische Eigenschaften besaßen, worauf Wöhler schloss, dass die von ihm produzierte Substanz tatsächlich Harnstoff war.²¹⁸ Diese Synthese wurde von vielen als Widerlegung des Prinzips der *vis vitalis* verstanden, erfüllt jedoch bei einer Detailanalyse diese Funktion nicht.²¹⁹ Dieser Mythos der Harnstoffsynthese hält sich jedoch teilweise hartnäckig in der Wissenschaftsgeschichte der Chemie. Zur Zeit der Harnstoffsynthese nahmen allerdings viele Chemiker – darunter auch Berzelius und Liebig – noch ein spezifisches Organisationsprinzip pflanzlicher und tierischer Organismen respektive die Existenz von vitalistischen Prinzipien oder Kräften an.²²⁰ Man stand hier am Beginn des neuen Zweiges der Synthesechemie, doch maß man diesem noch nicht die Bedeutung zu, die er später erhalten sollte. Den analytischen Arbeiten der Zeit, die parallel zu den ersten Synthesen erfolgten, wurde in Chemikerkreisen ein größeres Interesse entgegengebracht, was sich auch daran zeigt, dass die chemischen Forscher in dieser historischen Phase die Analyse durchaus höher als die Synthese bewerteten. Beispielsweise findet sich in Berzelius „Lehrbuch der Chemie“ (1825) ein Anhang über Analysen, jedoch kein eigenständiger Teil über Synthesen.²²¹ Zwar geht es bereits in den Forschungen von den drei führenden Chemikern der Zeit – Liebig, Wöhler

²¹⁶ Nettoreaktionsgleichung: $2 \text{NH}_3 + 2(\text{CN})_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4\text{CN} + (\text{NH}_2)_2\text{CO}$.

²¹⁷ Vgl. Dämmgen, Demuth, Kober (1983): Quellentexte Chemie, S. 13.

²¹⁸ Vgl. Ebd., S. 13 f.

²¹⁹ Vgl. Teil II: Kap. 1. Eine Einführung in die Geschichte der Synthesechemie.

²²⁰ Vgl. Schummer (2011): Das Gotteshandwerk S. 71. Siehe hierzu auch: Bieganski: Neo-Vitalismus in der modernen Biologie. In: Ostwald (Hrsg.): Annalen der Naturphilosophie, Bd. 4 (1905), S. 47 – 101.

²²¹ Vgl. Fierz-David (1952): Die Entwicklungsgeschichte der Chemie, S. 216.

und Berzelius – durchaus um zusammengesetzte chemische Verbindungen, jedoch ist die maßgebliche Methode, die auf die Verbindungen angesetzt wird und die Verfahren der genannten Forscher bestimmt, die Analyse. Dieses wird auch wieder ersichtlich, sobald man den Briefwechsel zwischen Liebig und Berzelius untersucht. In der folgenden Zusammenfassung beispielhafter Passagen dieses Briefwechsels geht es um apparative, substantielle und methodische Ansätze zur Analyse: Liebig an Berzelius 8. Januar 1831: neue Apparaturen zur Bestimmung substantieller Zusammensetzungen, Analyse von Harnstoff, Traubensäure und Salicin u. a.; Liebig an Berzelius 4. August 1831: Elementaranalyse von Wachsen (u. a. Bienenwachs) Austausch von Analyseproben; Berzelius an Liebig 2. März 1832: Analysen und Eigenschaften von Tellurverbindungen; Liebig an Berzelius 6. November 1832: Analyse von zitronensauren Salzen und Steinöl; Berzelius an Liebig 21. Mai 1833: Vergleich der Analysen von Weinschwefelsäure, Weinphosphorsäure und Etherschwefelsäure, Analyse des Naphtalins; 25. März 1834 Liebig an Berzelius: Untersuchung und Zusammensetzung des Nelkenöls; Liebig an Berzelius 20. Juli 1836: Analyse von Kohlensäureäther, Analyse von Methylenhydrat; Berzelius an Liebig 19. Mai 1837: Untersuchungen über die Zusammensetzung von Isethionsäure.²²²

Der Briefwechsel, in dem sich Liebig und Berzelius in weitem Umfang über ihre analytischen Arbeiten in Kenntnis setzen, währt bis zum Jahr 1841.²²³ Die hier angeführten Beispiele ermöglichen zwar nur einen schlaglichtartigen Einblick in das Verhältnis von Analyse und Synthese bzw. die Rolle der Synthese in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, jedoch handelt es sich um einen schriftlichen Gedankenaustausch zwischen zwei wichtigen Mitgliedern der führenden Forschergeneration jener Zeit, was wiederum ein wichtiges Indiz für die Rolle der Synthese ist, die in diesen Briefwechseln keine Rolle spielt und dem Austausch über Erkenntnisse zu analytischen Arbeiten weichen muss.

Das Zusammengesetzte ist bei Liebig und Berzelius nur unter dem Aspekt seiner Zerlegung interessant und das Ziel chemischer Forschung ist es, Wege und Mechanismen der Trennung zu entwickeln. Die Korrespondenzen der Forscher machen dieses deutlich, denn sie handeln hauptsächlich von der Untersuchung der Zusammensetzung der Körper mittels

²²² Vgl. Reschke (Hrsg.): Berzelius und Liebig. Ihre Briefe von 1831 – 1845 (1978), S. 3 – 129.

²²³ Vgl. Ebd., S. 230 ff.

bestimmter Verfahren der Analyse. Liebig, Berzelius und andere investierten somit große Teile ihrer Forschungsenergie in die Untersuchung komplexer, organischer Verbindungen und suchten nach der Aufklärung über deren atomare Zusammensetzung.

Die Resonanz auf die chemische Synthese war also bis in die vierziger Jahre des 19. Jahrhunderts relativ gering. Der Grund für diese Fokussierung auf die analytische Methode könnte darin liegen, dass zunächst einmal theoretisch fundierte und empirisch abgesicherte Kenntnisse über das Verhalten, der für die chemischen Fragestellungen relevanten Stoffe erworben und eine zuverlässige Analysemethode entwickelt werden musste, die es erlaubte, das Prinzip der Zusammensetzung komplexer Stoffverbindungen zu reproduzieren. Das Werkzeug, um die Methode für dieses Anliegen durchzuführen, war der Fünf-Kugel-Apparat²²⁴ von Justus Liebig.

Auf diesem Verfahren aufbauend war es möglich, das komplexe Gebäude der Synthesechemie zu errichten. Denn ohne die Analyse und den durch sie vermittelten Kenntnissen über Materie hätte die Synthesechemie ein Gebäude ohne Fundament werden können, die in ihrer praktischen Umsetzung zwar möglich, jedoch weitaus weniger erfolgreich wäre, als sie es dann tatsächlich geworden ist. Die bildhafte Analogie des Gebäudes steht hier für die Chemie, wobei das Fundament, die Erkenntnisse experimenteller Analysen, chemischer Theorien (wie das Massenwirkungsgesetz, die Oxidationstheorie), das Wissen um Elemente und Verbindungen, sowie die entsprechenden Begrifflichkeiten zur Unterscheidung materieller Klassen darstellt. Der sichtbare Teil des Gebäudes stellt in dieser Metapher die Synthesechemie dar, da das Gebäude sich ähnlich wie die Entwicklung der Menge an Substanzen in die Höhe oder Breite entwickelt. Man brauchte das theoretische Konzept sowie eine empirisch fundierte Vorstellung von Elementen und von Verbindungen, sowie vom Aufbau und Zusammenhalt der Materie, um erfassen und erklären zu können, dass und wie chemi-

²²⁴ Der Fünf-Kugel-Apparat ist eine Vorrichtung zur Elementaranalyse organischer Substanzen. Das heißt, hiermit kann festgestellt werden, welche chemischen Elemente (insbesondere Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff) in einer chemischen Verbindung vorhanden sind. Hierbei dient der Fünf-Kugel-Apparat zum Auffangen und Binden des Kohlendioxids, das bei der Verbrennung der zu untersuchenden Probe entsteht. Hierzu wird der Apparat mit konzentrierter Kalilauge gefüllt und der Massenzuwachs durch die Bildung von Kaliumcarbonat mittels Wägung ermittelt (Reaktionsgleichung: $2 \text{KOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$). Hieraus lässt sich der Gehalt an Kohlenstoff in der Probe berechnen. Der Apparat wurde so kompakt und leicht konstruiert, dass die Wägung des gesamten Apparats ohne Aufarbeitung der enthaltenen Lösung erfolgen konnte, was die Zeitdauer einer Elementaranalyse erheblich verkürzte.

sche Verbindungen ineinander nach spezifischen Gesetzen unter gegebenen Bedingungen umwandelbar oder in ihre Glieder auflösbar sind. Die Möglichkeit für diese Einsicht bietet eben nur die Analyse, deren Einsatz vor allem die Entwicklung der Praxis und des theoretischen Verständnisses der Synthese erlaubte und die wissenschaftliche Chemie zu einer Synthesechemie veränderte.

Es wäre dennoch falsch oder würde eine bloß einseitige Vorstellung von der tatsächlichen Entwicklung vermitteln, an dieser Stelle von einem Hervorbringen oder einem Entwickeln der Synthese aus der Analyse zu sprechen, denn die Synthese war – siehe die vorhergehenden zwei Fallbeispiele – immer schon im komplementären Methodenkanon als wesentlicher Bestandteil der Chemie enthalten. Die Möglichkeiten der Synthesemethode zu begreifen, ihr Potential auszuschöpfen und ihre Anwendbarkeit im Labor zu erkennen, dafür waren die Bedingungen allerdings erst Mitte des 19. Jahrhunderts gegeben und hierzu war ein bestimmter Entwicklungsstand der Analytik notwendig. Dieses Faktum reicht jedoch nicht aus, um die Chemie des 19. Jahrhunderts allein mit Rücksicht auf die Analyse zu charakterisieren und eben damit der Analyse einen Vorrang vor der Synthese einzuräumen, denn hinsichtlich ihrer wissenschaftlichen Bedeutung hat letztere die Analyse schnell eingeholt, was die rasche und erfolgreiche Entwicklung der Synthesechemie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zeigt. Ebenso kann man auch deshalb nicht von einem Primat der Analyse sprechen, weil diese der Synthese zeitlich vorangeht. Die Analyse verhalf der organischen Chemie dazu das theoretische Fundament ihrer Arbeit zu etablieren, insofern sie sich über die Grundkonzepte und Grundstrukturen ihres Arbeitsfeldes klar wurde. Mit der Synthese hingegen hatte die organische Chemie eine Methode an der Hand, durch die sie ihre Substanzklassen aufstellen und ihre Verbindungen untereinander verstehen konnte. Außerdem entstand durch die Synthese eine inhaltliche Verbindung von anorganischer und organischer Chemie, weil für beide chemischen Gebiete die gleichen Gesetze angenommen wurden, denen Materie unterworfen war.

Die Grundkenntnisse über den Aufbau und die Zusammensetzung von Stoffen mussten durch eine Theorie im Sinne eines allgemeinen Ordnungs- und Klassifikationssystems der Stoffe gestützt werden. Dieses Ordnungs- und Klassifikationssystem findet seine allgemeine und endgültige Form im Periodensystem der Elemente. Dessen Entwicklung und Optimierung im 19. Jahrhundert wurde begleitet von der Entdeckung neuer chemischer Elementen-

te. An der Entwicklung dieses Klassifikationssystems der Elemente waren (chronologisch) Gmelin, Döbereiner, Béguyer de Chancourtois, Newlands, Odlings, Meyer und Mendelejew beteiligt.²²⁵ Das Ordnungssystem musste aussagekräftig genug sein, um die immer größer werdende Zahl chemischer Verbindungen und Stoffklassen, die man im Zuge der Untersuchungen fand, nach einheitlichen Ordnungsgesichtspunkten zu charakterisieren und zu sortieren.²²⁶ Erst damit waren die technische Nutzung und die nachvollziehbare Durchführung von Synthesereaktionen in der praktischen Forschung möglich.²²⁷

Um die chemische Synthese in ihrer Bedeutung für die Geschichte der Chemie angemessen würdigen zu können, muss man sich also verstärkt der nächsten Generation von Chemikern nach Liebig zuwenden. Bei ihnen nahm die Synthese eine zentralere Bedeutung ein als bei ihrem Lehrer.²²⁸ Das bedeutet nicht, dass Liebig der Synthese keinen Wert beigemessen hätte, doch sie wurde von ihm nicht als ein besonderes Verfahren herausgestellt, d. h. ihre Besonderheiten wurden nicht erkannt und entsprechend nicht berücksichtigt. Dieses geht wiederum aus Liebigs Briefwechsel mit Berzelius und Wöhler hervor, in dem synthetische Versuchsvorschriften zwar erwähnt, doch nicht als gesonderte Ansätze behandelt werden. Sie fügen sich eher wie selbstverständlich als Teil der analytischen Laboratoriumsarbeit ein, sobald bestimmte Substanzen hergestellt werden und diese dann in ihrer Zusammensetzung und ihren Reaktionsmöglichkeiten untersucht werden. Die Forschergeneration nach Liebig kommunizierte die Synthese hingegen als eigenständige Methode des Erkenntnis-

²²⁵ Vgl. Dämmgen, Demuth, Kober (1983): Quellentexte Chemie, S. 33 ff.

²²⁶ Vgl. Berthelot (1877): Die chemische Synthese, S. 216.

²²⁷ Vgl. Ebd., S. 227.

²²⁸ Ein bekannter Schüler Liebigs war Charles Adolphe Wurtz. Er synthetisierte erstmals das Ethylamin. Die Idee zu dieser Synthese wurde entwickelt durch die Überlegungen zu der Typentheorie von 1839 von Charles Frédéric Gerhardt und Auguste Laurent, wonach die Elemente eines chemischen Körpers durch andere Elemente ersetzt werden können. Durch die Einführung von Ammoniak (NH_3) im Jahre 1849 in entsprechend neu zu synthetisierenden chemischen Verbindungen synthetisierte Wurtz eine Serie von chemischen Körpern, das Ethylamin ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$), das Diethylamin ($(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}$) und letztlich das Triethylamin ($(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$). Er entdeckte das Ethylenglycol und das Phosphoroxychlorid. Nach ihm und nach Rudolph Fittig ist die Wurtz-Fittig-Synthese benannt, bei der aus Halogenalkanen durch Einwirkung von Alkalimetallen Kohlenwasserstoffe entstehen.

Ein anderer Schüler Liebigs namens Adolf Strecker beschäftigte sich mit der Analyse, Strukturaufklärung und Synthese zahlreicher Naturstoffe. Sein besonderes Interesse galt der Verbindungsklasse der Aminosäuren und Farbstoffen wie Alizarin, sowie anderen stickstoffhaltigen Stoffgruppen. Nach ihm ist die Strecker-Synthese für Aminosäuren aus Aldehyden, Ammoniak und Blausäure benannt und der Strecker-Abbau von α -Aminosäuren zu Aldehyden, Ammoniak und Wasser.

gewinns über chemische Stoffe und sie erkannte, dass durch diese Verfahren zahlreiche Naturprodukte und Stoffe im Labor nachgebaut werden konnten.²²⁹

Die Phase der Entwicklung der Synthese als chemische Methode ist erstens geprägt durch das vermehrte Interesse an der organischen Chemie. Zweitens beginnt mit der Industrialisierung eine engere Zusammenarbeit zwischen chemischer Forschung und industriellen Fertigungsprozessen. Der Anwendungsbezug synthetischer Produkte, wie Farbstoffe, im industriellen Rahmen förderte das Forschungsinteresse an synthetischen Verfahren. Die Nähe zwischen Industrie und chemischer Forschung erklärt sich zudem aus der Tatsache, dass viele führende Chemiker des 19. Jahrhunderts ihre Rolle als Hochschullehrer und Privatdozenten ausübten, und gleichzeitig Mitarbeiter und Entwickler von Firmen waren, die (neue) chemische Produkte auf den Markt brachten.^{230,231}

Ein weiterer Punkt, der die Entwicklung der Synthesechemie im 19. Jahrhundert gefördert hat, war die Strukturtheorie von August Kekulé, die für die praktische Umsetzung der chemischen Synthese eine der wichtigsten theoretischen Voraussetzungen darstellte und insofern auch die mit der Synthesechemie in Verbindung stehende Voraussetzung für die Weiterentwicklung der organischen Chemie befördert hat. Als solche Voraussetzungen für die Ausbildung der Strukturtheorie sind die Vereinheitlichung von Theorien im Allgemeinen, die Einigung auf molekulare und atomare Massen – also eine einheitliche Skala, die festlegte, welche Zahlenwerte das Gewicht von Atomen beschreibt und wie diese Massen sich in Molekülen zusammensetzen – sowie die Entwicklung der Valenztheorie zu nennen.²³²

Das heißt, die Entwicklung der organischen Chemie ist nicht allein auf experimentelle Neuerungen oder neue praktisch-chemische Verfahren zurückzuführen, sondern mindestens

²²⁹ Vgl. Schummer (2011): Das Gotteshandwerk, S. 72.

²³⁰ Vgl. Schmauderer (1973): Der Chemiker im Wandel der Zeiten, S. 276 ff.

²³¹ Ein Beispiel dafür ist neben Justus Liebig, der intensiv an Düngemittel im festen Aggregatzustand forschte, auch Emil Erlenmeyer. Erlenmeyer wurde in Wiesbaden 1857 Privatdozent und betrieb nebenher ein privates Beratungslabor für die Düngemittelindustrie. Nach 1863 bekam er den Ruf auf die Professur für Chemie an die Polytechnische Schule München und war dort gleichzeitig Berater verschiedener Chemie-Unternehmen, u. a. der Chemischen Fabrik Heufeld in Oberbayern. Er erforschte intensiv die Struktur organischer Verbindungen und fand die richtige Struktur von Naphthalin, Guanidin und Tyrosin. Für die beiden letzteren entwickelte er auch Synthesemethoden. Nach ihm ist die Erlenmeyer-Synthese zur Herstellung von Azlactonen als Ausgangsmaterial für α -Ketosäuren und α -Aminosäuren benannt.

²³² Kekulé brachte als einer der ersten Chemiker die Verschiedenheit der Valenzen von Elementaratomen zum Ausdruck. Er postulierte, dass es ein- und mehrbasische Elementaratome gebe. Dies ist ein Grundstein der Valenztheorie. [Vgl. Ramberg (2003): Chemical Structure, spatial Arrangement, S. 21.]

ebenso auf neue theoretische Konzepte über den Aufbau der Materie. Diese Konzepte konnten rückwirkend die Syntheseforschung unterstützen, weil sie adäquate, erfolgreiche Richtungen der Forschung reflektierten und anleiteten. Durch Kekulé's Ansatz wurde das sich im Laufe des 19. Jahrhunderts sukzessive entwickelnde Theoriengerüst, das aus verschiedenen teilweise für unvereinbar gehaltenen Theoriestücken und Binnenkonzepten bestand, vereinheitlicht. Dieses Geflecht von Theorienstücken, welches aufgrund des atomistischen Ansatzes auch Aspekte des physikalischen Theoriengeflechts mit einschließt, wird von Schwegler, der sich am Beispiel der heutigen Physik orientiert und diese im Zusammenhang mit den angrenzenden Naturwissenschaften betrachtet, als ein *Patchwork* bezeichnet. Dieses Patchwork definiert sich durch einen Komplex zahlreicher miteinander verbundener Bereichstheorien unterschiedlicher Breite und Allgemeinheit.²³³ Die Konsequenz aus dieser Patchwork-Struktur der Theorie, die sich in alle Nachbardisziplinen der Physik fortsetzt, ist, dass es keine disziplinären Grenzen mehr gibt.^{234,235} Analog zu den Überlegungen von Schwegler kann diese Patchwork-Struktur auch auf den Ansatz Kekulé übertragen werden.²³⁶ Denn Kekulé nutzte Ansätze aus der Physik, der physikalischen Chemie sowie der Chemie, um eine einheitliche Strukturtheorie für die organische Chemie zu konstruieren. Man könnte im Fall von Kekulé's Konzept von einer theoretischen Synthese sprechen, einer Metasynthese von vorher unverbundenen Theoriestücken zu einer einheitlichen Theorie mit Hilfe disziplinenübergreifender Erklärungsansätze, die gegenüber den Teilkonzepten neue Qualitäten der Erklärungskraft besaß. Als Resultat dieser theoretischen Synthese folgt auch eine Ausweitung des Einsatzes der praktisch-technischen Synthesen im Labor. Diese Betrachtung der Herausbildung von Synthese in der neuen Chemie lässt auch die engen Beziehungen zwischen Theorie und Praxis deutlich werden.

²³³ Vgl. Schwegler: Reduktionismen und Physikalismen. In: Pauen, Roth (Hrsg.): Neurowissenschaften und Philosophie (2001), S. 70.

²³⁴ Vgl. Ebd., S. 79.

²³⁵ In diesem Zusammenhang wird auch von einer Reduzierbarkeit der Nachbardisziplinen auf die Physik gesprochen und somit ein Reduktionismus vertreten. Dieser Reduktionismus kann im Fall von Kekulé nicht gelten. Vielmehr soll Schwegler's Ansatz der Patchwork-Struktur das Format verdeutlichen, in dem Kekulé's Theorie entstanden ist.

²³⁶ Vgl. Ramberg (2003): Chemical Structure, spatial Arrangement, S. 21.

Neben einer Identifikation der Elementarzusammensetzung war ab 1830 die Entwicklung von Strukturformeln von entscheidender Bedeutung. Strukturformeln wurden seitdem nicht mehr nur als Strategien zur Überzeugung der scientific community genutzt, sondern stellten gleichfalls Werkzeuge am Schreibtisch (*paper-tools*) dar.^{237,238} Die Ausbildung solcher formalisierter Strukturkonzepte zeigte ein neues Verständnis über die Mechanismen, den Aufbau und die Bedingungen des Zusammenfügens bzw. Zusammengefügt-Seins der Syntheseprodukte an.²³⁹ Die Formulierung solcher standardisierter Strukturverhältnisse führte den Chemiker, bildlich gesprochen hier aus dem Labor hinaus hin zum Schreibtisch, eine Verlagerung von praktischer Handlung zu theoretischer Konzeption bei gleichzeitiger Verlagerung der Räume der Forschung,²⁴⁰ wo eben jene Strukturformeln mit den realen Stoffstrukturen in eine Verbindung gebracht werden mussten, indem die Ergebnisse von experimentellen Handlungen vor dem Hintergrund theoretischer Modelle in ein überzeugendes Ordnungssystem überführt wurden.²⁴¹ Die bereits im Kolben des Chemikers existierende Substanz wurde über eine Formstruktur rationalisiert, wodurch praktisch erzielte Ergebnisse theoretisch untermauert wurden. Diese Nutzung von Strukturen in der Theorie vermittelte in besonderer Art eine chemische Realität, die in gewissen Hinsichten jenseits der bloß physikalischen Realität (der Realität des Reaktionsgefäßes im Labor) lag, und die die Chemie in den Augen mancher Chemiker, wie Kekulé, dazu befähigte, wirkliche Konstitutionen von Molekülen aufzustellen.²⁴²

Ein weiteres Synthesemoment findet sich in der Chemie des 19. Jahrhunderts in Form der Ausbildung und Entwicklung von Molekülmodellen für chemische Strukturverhältnisse. Die als Kulturobjekte – und keinesfalls als Naturobjekte – zu charakterisierenden Modelle waren beispielsweise für den Chemiker August Wilhelm Hofmann so entwickelt worden,

²³⁷ Vgl. Klein (1997): Nineteenth-Century Chemistry: It's Experiments, Paper-Tools and epistemological Characteristics, S. 27ff.

²³⁸ Literatur hierzu: August Kekulé: Lehrbuch der organischen Chemie. Bände 1 – 4 (1861 - 1887). Auch in Kekulé's Werk finden sich die methodischen Ansätze, wie mit organisch-chemischen Strukturformeln allein auf theoretischer Ebene verfahren werden kann.

²³⁹ Vgl. Ramberg (2003): Chemical Structure, spatial Arrangement, S.30.

²⁴⁰ Dieser historischen Entwicklung ähnlich beschreibt Bruno Latour ein Szenario der Verlagerung von Orten der Forschung in „Die Hoffnung der Pandora“, bei dem der Wechsel des Forschungsortes im Rahmen eines Feldforschungsprojektes von Wald- bzw. Steppenboden zwischen Dschungel, Schreibtisch und „Forschungscamp“ stattfindet. [Vgl. Latour (2002): Die Hoffnung der Pandora.]

²⁴¹ Vgl. Ramberg (2003): Chemical Structure, spatial Arrangement, S. 30.

²⁴² Vgl. Ebd., S. 52.

dass sie in einer öffentlichen Vorlesung die Chemie als synthetische Wissenschaft charakterisieren, die ihre Materie nach ihrem eigenen Willen zu formen versteht.²⁴³

Somit sind in der Chemie des 19. Jahrhunderts abseits der Methode im Sinne eines technischen Verfahrens der Chemie viele synthetische Aspekte der Methodologie zu finden. Diese Aspekte betreffen sowohl die Interaktion von Theorie und Praxis, das Zusammenwachsen von chemischer (Synthese-)Forschung und Industrie und die inhaltliche Verständigung zwischen Teilgebieten wie der organischen und der anorganischen Chemie.

4.2 Die chemische Synthese bei Marcellin Berthelot

Die Rolle der chemischen Synthese ab 1850 wird ersichtlich, wenn man eines der für die Synthesechemie bedeutendsten Werke dieser Zeit untersucht. „Die chemische Synthese“ von Marcellin Berthelot zeigt detailliert den Wissensstand zur Synthesechemie auf und dient im Folgenden als Fallbeispiel.

In der Sekundärliteratur wird Berthelot als linksgerichteter Materialist und Positivist beschrieben.²⁴⁴ Nach dieser Beschreibung kann man davon ausgehen, dass Berthelots chemische Arbeiten sich in erster Linie an experimentellen Tatsachen und weniger an metaphysischen Spekulationen orientierten. Der wissenschaftliche Denkstil von Berthelot wurde vor allem durch empiristische Einflüsse geprägt. Erfahrungen und Experimente aus seiner eigenen Forschung spielten für ihn eine weitaus gewichtigere Rolle, als die spekulativen theoretischen Ideen, die zur Konstituierung der Chemie als Wissenschaft in zeitgenössischen Debatten vorgelegt wurden.^{245, 246}

Ab dem 19. Jahrhundert ist bezüglich der Synthese in der Chemie zwischen zwei Auffassungen zu unterscheiden. Zum einen versteht man Synthese als den Gegenpart oder die komplementäre Methode zur Analyse. In diesem Sinne wurde die Synthese bereits in den

²⁴³ Vgl. Ramberg (2003): Chemical Structure, spatial Arrangement, S. 38.

²⁴⁴ Vgl. Rocke (2001): Nationalizing Science, S. 259.

²⁴⁵ Vgl. Ebd., S. 241.

²⁴⁶ Literatur zeitgenössischer theoretischer Debatten stellt beispielsweise von Lothar Meyer „Die modernen Theorien der Chemie und ihre Bedeutung für die chemische Statik“ (1864) dar.

obigen Darstellungen in der Alchemie und bei Lavoisier behandelt. Diese Auffassung war bis zur Hälfte des 19. Jahrhunderts weitverbreitet. Zum anderen jedoch versteht man Synthese auch als einen Vorgang zur Herstellung komplexer organischer Molekülverbindungen aus einfach gebauten anorganischen oder organischen Verbindungen.²⁴⁷ Diese zweite Definition trifft auch auf die Harnstoffsynthese von Friedrich Wöhler zu.²⁴⁸

Wie bereits deutlich wurde, versuchte die Generation der Chemiker ab 1850 die metaphysische Frage nach einer *vis vitalis* mit Hilfe der Methode der chemischen Synthese zu entscheiden. Zu diesen Versuchen zählt auch die Arbeit von Marcellin Berthelot.²⁴⁹ Berthelot nimmt hierzu Stellung, indem er die Vermischung von organischer Chemie und Physiologie seiner Zeit kritisiert und diese als Ursache dafür angibt, dass organische Körper und anorganische Substanzen nicht den gleichen Gesetzen folgen würden. Darauf aufbauend kritisierte er die Schlussfolgerungen anderer Wissenschaftler, dass eine Lebenskraft existieren müsse. *„Man darf nicht a priori die Tragweite künftiger Kenntnisse einschränken und nicht absolute Grenzen aufstellen, die nur ein Ausdruck der gegenwärtigen Unwissenheit sind. [...] Indem man so die absolute Unmöglichkeit aussprach, organische Verbindungen hervorzubringen, hatte man zwei Dinge miteinander vermengt, die Darstellung der chemischen Substanzen, deren Vereinigung die organisirten Wesen bilden, und die Bildung der organisirten Wesen selbst. Dieses letztere Problem gehört nicht in das Gebiet der Chemie. Der Chemiker wird niemals in seinem Laboratorium ein Blatt, eine Frucht, einen Muskel, ein Organ darstellen wollen. Solche Fragen gehören in das Gebiet der Physiologie.“*²⁵⁰ Berthelot wandte sich in positivistischer Manier gegen die metaphysische Konzeption einer *vis vitalis* und definierte das Aufgabengebiet der Chemie in Abgrenzung zur physiologischen Richtung.

Marcellin Berthelot hat mit „Die chemische Synthese“ eine umfangreiche experimentelle und theoretische Abhandlung über die Bedeutung der chemischen Synthese für die Chemie verfasst. Berthelot konzipierte sein Werk als einer der ersten Chemiker so, dass die Be-

²⁴⁷ Vgl. Rocke (2001): *Nationalizing Science*, S. 244.

²⁴⁸ Vgl. Ebd., S. 245.

²⁴⁹ Schummer (2011): *Das Gotteshandwerk*, S. 72.

²⁵⁰ Berthelot (1877): *Die chemische Synthese*, S. 287 f.

stimmung der Chemie, ihre Vorgehensweise und ihre Zielsetzung in zentralen Punkten auf der Synthese gründeten; ein Ansatz, der durch die eigenen Syntheseerfolge im Labor²⁵¹ gestützt wurde.²⁵² Gerade durch die Schwerpunktsetzung auf die synthetische Vorgehensweise wollte Berthelot die Chemie als Naturwissenschaft von anderen Wissenschaften – wie etwa der Physik – abgrenzen und ihre methodische Autonomie begründen.²⁵³ Die Chemie sollte durch die Methode der Synthese als maßgebliches Laboratoriumsverfahren eine Eigendynamik entwickeln, um sich gegen andere Wissenschaften abzugrenzen und als eigenständige Disziplin zu etablieren.

Berthelot formulierte die Idee einer Totalsynthese, der die meisten Chemiker seiner Zeit schließlich folgten. Die Totalsynthese wird nach Berthelot so definiert, dass sie eine Synthese organischer Stoffe ist und aus den Elementen hergestellt wird. Sie stellt somit den Gipfelpunkt aller partiellen Synthesen dar.²⁵⁴ Partielle Synthesen werden nach Berthelot so definiert, dass zwei organische Grundstoffe zu einer neuen Verbindung zusammengefügt werden, die komplizierter als die Stoffe ist, aus denen sie aufgebaut wurde.²⁵⁵ Die partielle Synthese schließt sich an analytische Untersuchungen an: *„Die Ausführung dieser Art von Synthesen ist die unmittelbare Konsequenz der analytischen Untersuchungen. Oft ergibt sich nämlich aus der Analyse einer natürlichen Verbindung die Möglichkeit, dieselbe in zwei neue Körper zu theilen, die einfacher sind, als die erzeugende Substanz. In vielen solchen Fällen ist die Theilung eine constante und regelmässige: Infolge aller Reactionen erhält man diese beiden Verbindungen oder ihre Zersetzungsproducte.“*²⁵⁶ Somit kann die partielle Synthese als Fortsetzung von analytischen Arbeiten aufgefasst werden. Schon vor der Veröffentlichung dieses Verständnisses von chemischer Synthese gelang es Hermann Kolbe im Labor die Totalsynthese von Essigsäure im Zeitraum von 1843 bis 1845 umzu-

²⁵¹ Seit 1860 beschäftigte sich Berthelot mit der Synthese von organischen Verbindungen. Er stellte Ethanol aus Ethylen und Methanol aus Methan her. Auch entwickelte er eine Methode, um Ameisensäure aus Kohlenmonoxid zu gewinnen, sowie eine Synthese von Acetylen im Kohlelichtbogen bei Zusatz von Wasserstoff.

²⁵² Vgl. Rocke (2001): *Nationalizing Science*, S. 251.

²⁵³ Vgl. Ebd., S. 254.

²⁵⁴ Vgl. Berthelot (1877): *Die chemische Synthese*, S. 228.

²⁵⁵ Vgl. Ebd., S. 222 f.

²⁵⁶ Ebd., S. 223.

setzen. Andere Chemiker synthetisierten organische Stoffe wie Alanin.²⁵⁷ Doch dies waren noch vereinzelte und zufällige Erfolge. Erst in den sechziger Jahren des 19. Jahrhunderts, also parallel zur ersten Entwicklung eines theoretischen Synthesekonzepts durch Berthelot, wurde das Verfahren standardisierter und planbarer. Erfolgreiche Synthesen wurden nun beinahe zu alltäglichen Ereignissen der neuen Chemie.²⁵⁸ In dieser Hochzeit erfolgreicher Synthesepaxis begann Berthelot ab 1854, ein mehrere Stoffklassen umfassendes Synthesekonzept auszuarbeiten.²⁵⁹ Ein Ziel der synthetischen Chemie war die Synthese organischer Moleküle direkt aus anorganischen Vorstufen. Das Konzept sollte ein umfassendes Klassifikationssystem für die organische Chemie darstellen. Gleichzeitig sollte das Ziel des Konzeptes – die Synthese organischer Moleküle aus anorganischen Vorstufen – praktisch durchführbar sein.²⁶⁰ Da aus elementaren Materiebausteinen quasi von Grund auf komplexe Verbindungen künstlich hergestellt werden sollten, das Ideal einer *bottom up*-Fertigung im Labor, steht Synthese hier für den Inbegriff einer Totalsynthese.

Mit Berthelots Arbeiten war eine revolutionäre Wende verbunden, denn nicht einmal 20 Jahre vor Berthelots Veröffentlichung entsprach das genannte prioritäre Verhältnis der Analyse vor der Synthese auch in Frankreich dem Grundkonzept von Chemie. Auch in diesen Fällen wurde der Analyse der Vorrang eingeräumt, weil ihre Verfahren methodisch bereits verstanden wurden, während das Synthesegeschehen unverstanden war. Dadurch dass allgemein anerkannt wurde, dass die Analyse die Methode ist, die chemische Verbindungen in ihre Elemente oder einfache Moleküle, wie H₂O, CO₂ oder einfache Salze, verwandelt und man gleichzeitig eine Definition für Element sowie Kenntnisse über einfache Moleküle besaß, war die Analyse händelbar. Chemiker des 19. Jahrhunderts besaßen sowohl eine Kenntnis davon, wie diese Methode praktisch anzuwenden ist, als auch ein theoretisches Grundgerüst, um die Experimentalergebnisse zu interpretieren. Die Analyse war

²⁵⁷ Die Aminosäure wurde von Adolph Strecker erstmals 1850 synthetisiert und benannt. Der Name ist auf den Begriff Aldehyd zurückzuführen, da Strecker Alanin aus Acetaldehyd über die nach ihm benannte Strecker-Synthese herstellte. [Vgl. Strecker: Über eine neue Bildungsweise des Aethylamins. In: Justus Liebigs Annalen der Chemie Bd. 75 (1850), S. 46 – 51.]

²⁵⁸ Vgl. Rocke (2001): Nationalizing Science, S. 245.

²⁵⁹ Vgl. Ebd., S. 246.

²⁶⁰ Vgl. Ebd., S. 247.

somit ein rationales und rationalisierbares Geschehen, das auf ein über Jahrzehnte routinier-tes experimentelles Vorgehen zurückgriff und die mit dieser Routine verbundene Sicherheit der Umsetzung – die Standardisierung der Handlungsabläufe, die Prognosesicherheit der Ergebnisse, die technische Planbarkeit des Reaktionsablaufs und die Normierung der Produkte – garantierte. Sowohl unter wissenschaftlichen Vorgaben, wie denen der Prognosesi-cherheit und Erklärungskompetenz, als auch unter technischen Vorgaben, wie denen der Standardisierung und Normierung von Handlungsabläufen und Produktionsketten, musste deshalb insbesondere die Analyse als wesentlich für die Chemie gelten.

Einen Einwand zur analytischen Verfahrensweise und ihrer Vorrangstellung in der Chemie des 19. Jahrhunderts kommt von Charles Gerhardt, der die Tätigkeit des Chemikers als ge-gensätzlich zu den Abläufen der Natur charakterisiert, da der Chemiker die Natur analysiert und sie damit zerstört.²⁶¹ Nur die natürliche Lebenskraft hingegen wirke synthetisch und könne die Zerstörungen, die im Zuge der Analyse entstehen, auch wieder beheben. Den-noch kommt der Analyse für die chemische Wissenschaft eine wichtige Rolle zu, die darin besteht, dass eine Klassifikation der Stoffe nach Gerhardt nur auf die Zersetzungsprodukte der Körper gegründet wird.²⁶² Das heißt, die Analyse ist hiernach notwendig, um vor allem in der organischen Chemie eine Ordnung der Stoffe zu schaffen, weil diese Ordnung bzw. dieses Klassifizierungssystem auf kleinen organischen Verbindungen sowie den Zerset-zungsprodukten organischer Verbindungen aufbauen sollte. Die Aussage Gerhardts belegt, dass der Mythos einer *vis vitalis* noch keinesfalls widerlegt ist und die zeitgenössische Chemie des Berthelot durchaus noch prägt. Sie zeigt auch, dass die Bedeutung einer sol-chen Schöpferkraft der Natur eng mit der Fähigkeit des Synthetisierens verbunden wurde. Nur die Natur ist demnach in der Lage, wegen einer spezifisch nur ihr zukommenden Kraft, aus elementaren Bausteinen komplexe Verbindungen herzustellen. Diese Einsicht bedeutet auch, dass eine Neubewertung des Potentials der Synthese im Labor erst entstehen konnte, als die spezifische Ehrfurcht vor der Autonomie und Unverfügbarkeit kreativer Naturpro-zesse und ihrem schöpferischen Potential abnahm und durch ein Nachfragen und Experi-mentieren abgelöst wurde.

²⁶¹ Hier lässt sich eine Nähe zur Auffassung der Analyse in der Alchemie erkennen, die analytische Arbeiten an der Natur ebenfalls als Zerstörung ansah.

²⁶² Vgl. Berthelot (1877): Die chemische Synthese, S. 162.

Mitte des 19. Jahrhunderts befindet man sich also in Bezug auf die konzeptionelle Bestimmung der Methoden der Analyse und Synthese immer noch in einer Übergangsphase, in der zwar bereits eine klare Unterscheidung beider Verfahren existiert, doch das praktische und theoretische Potential beider Methoden für die Wissenschaft Chemie weder vollkommen ausgereift, noch vollkommen erfasst ist. So können sich Chemiker noch auf die *vis vitalis* berufen und ihr allein die Fähigkeit zur Synthese zubilligen. Die praktisch-technische Fähigkeit der Laborchemie, solche Umwandlungen von Stoffen auch künstlich umzusetzen, ist noch nicht ausgereift. Trotz des Erfolges und der Hochschätzung der analytischen Methode muss dann umgekehrt die Analyse, angesichts der Betonung synthetischer Vermögen der Natur von entsprechenden Chemikern, als eine Methode der Zerstörung begriffen werden. Dies ist eine negative Konnotation des chemischen Standardverfahrens, die letztlich darauf hinausläuft, die gesamte Chemie zu einer zerstörenden Wissenschaft zu degradieren. Vor diesem Hintergrund hat dann der Nachweis einer erfolgreichen Synthese auch durch den Menschen im Labor durchaus ambivalente, wenn nicht gar dialektische Konsequenzen. Einerseits kommt es zu einem Verlust an der Besonderheit der Natur, die nun nicht mehr die einzige Entität ist, der schöpferisches Vermögen zukommt. Andererseits erlangt die schöpferische Fähigkeit der Chemiker, sich äußernd in der Möglichkeit, chemische Verbindungen im Labor zu synthetisieren, nun ihrerseits die Weihe eines vormals allein der Natur zukommenden vollkommenen Vermögens.

Erste erfolgreiche, zielgerichtete und als solche anerkannte Synthesen der Chemie waren somit Synthesen von organischen Verbindungen. Die Entwicklung der organischen Chemie, die auch auf das spezifische chemische Verhalten des Kohlenstoffs zurückgeführt werden kann, wurde durch die Syntheseforschung und die dadurch entstehenden Zweifel an der *vis vitalis* angetrieben. Aus dieser Tatsache und aus der Widerlegung der *vis vitalis*-Theorie resultierte somit zunächst eine Spaltung des Gegenstandsfeldes der diesbezüglichen chemischen Handlungspraxen und Theorien, aber schließlich auch der institutionalisierten akademischen Strukturen in zwei Bereiche: Die organische und die anorganische Chemie. Andererseits förderte jedoch gerade diese Entwicklung, durch die besondere Rolle der Synthesechemie, das Methodenarsenal und die aus den neuen Methoden ableitbaren Erklärungsprinzipien.

Berthelot geht in seiner Argumentation in „Die chemische Synthese“ noch weiter: Gerade durch die Etablierung der chemischen Synthese als Verfahren wird die Vorstellung einer *vis vitalis* widerlegt. Die Synthese eines Naturstoffes zeigt nicht nur eine Möglichkeit zur Widerlegung der *vis vitalis*, sondern erlaubt gleichzeitig eine theoretische Erfassung von Reaktionen, solange diese in kleinen systematischen Schritten ablaufen.²⁶³ Berechtigterweise führt diese Behauptung zu der Aussage Gerhardts zurück, die Analyse als das Zerstörende zu begreifen, die Natur hingegen als das Schaffende, Synthetisierende. Gelingt es nun dem Chemiker im Labor ebenfalls, einen Stoff der Natur mittels synthetischer Verfahren zu erzeugen und damit nicht nur ein Artefakt herzustellen, sondern zugleich Naturprodukte zu reproduzieren, dann ist nicht nur das Konzept der *vis vitalis* widerlegt, sondern es ist auch die Auffassung Berthelots zutreffend, die Synthese werde die Chemie zu einer Wissenschaft machen, die nicht nur zerstört, sondern ebenfalls eine schöpferische Kraft besitzt. *„Die Chemie besitzt die Kraft in einem noch höhern Grade, als die übrigen Wissenschaften, weil sie tiefer in das Wesen der Naturkörper eindringt und bis zu den Elementen derselben fortschreitet. Sie schafft nicht nur Erscheinungen, sondern sie ist auch im Stande, das, was sie zerstört hat, wieder herzustellen, sie ist auch im Stande, eine Menge künstlicher Körper hervorzubringen, welche den natürlichen ähnlich sind und alle Eigenschaften derselben besitzen.“*²⁶⁴ Dass die Widerlegung der *vis vitalis* im Grunde genommen schon mit der Harnstoffsynthese von Friedrich Wöhler erreicht wurde, ist eine Einsicht, die erst nachträglich entstand, so dass die Rolle der Wöhlerschen Harnstoffsynthese eher im Kontext der Wissenschaftsgeschichtsschreibung der Chemie diskutiert wurde und wie die Beispiele zeigen, die Auffassung damaliger Chemiker nicht widerspiegelt.

Das System der organischen Synthesechemie nach Berthelot stützt sich auf die Kenntnis der allgemeinen Eigenschaften organischer Verbindungen und ist andererseits auch eine Bestätigung theoretischer Vorstellungen über sie. Die spezifischen Eigenschaften dieser chemischen Bildungen sind für Berthelot bereits Funktionen ihrer chemischen Struktu-

²⁶³ Schummer (2011): Das Gotteshandwerk, S. 73.

²⁶⁴ Berthelot (1877): Die chemische Synthese, S. 294.

ren.²⁶⁵ Ein immanenter Punkt beim Berthelot'schen System ist, dass sich selbiges an den Funktionen der (organischen) Verbindungsklassen orientiert. Das heißt, die Funktion der chemischen Verbindungen wird hier zum Kriterium der Systematik.

Seine Systematik der organischen Verbindungen und deren Syntheseverfahren beginnt Berthelot mit der am einfachsten aufgebauten organischen Verbindungsklasse: den Alkanen, gefolgt von den Alkoholen.²⁶⁶ Die Synthese der Alkane bildet die Basis der organischen Chemie. So wird es möglich, durch das Verfahren sukzessiver Synthesen, die organische Chemie wie die anorganische zu behandeln, ohne die Strenge und Abstraktionsforderung der Wissenschaft einzuschränken und zugleich die Anbindung an die experimentelle Erfahrung zu gewährleisten.²⁶⁷ Das bedeutet, dass mittels der Synthese eine Vereinigung der scheinbar getrennten Gebiete der organischen und der anorganischen Chemie zu einer einheitlichen Chemie mit einheitlichen Prinzipien gelingt. So kann die Chemie im 19. Jahrhundert durch eine Erweiterung ihres Methodenarsenals zu einer einheitlichen Disziplin werden, die zusammenführt, was vormals als getrennt wahrgenommen wurde. Man könnte diesbezüglich von einer übergeordneten Synthese auf der Ebene der Disziplin, ihres Theoriegebäudes und ihrer Gegenstandskonzepte sprechen, die ihrerseits über die Synthese als chemisches Verfahren der Verbindung und Zusammenfügung realisiert wurde. Diese (Meta-)Synthese vermittelte der Synthese bewirkte eine Vervollständigung der Chemie, die sowohl auf der Ebene der Stoffprinzipien und der sie erfassenden Theorien als auch auf der Ebene der Methodik erfolgte.

Berthelot nimmt noch eine weitere Aufgliederung der organischen Chemie vor, in dem er zwischen den allgemeinen Wirkungen chemischer Verbindungen und deren Eigenschaften einerseits und der Erzeugung und Darstellung neuer, so in der Natur nicht vorkommender Verbindungen andererseits unterscheidet.²⁶⁸ Auch diese Feindifferenzierung ist ein Hinweis darauf, wie fortgeschritten die Überlegungen Berthelots in Bezug auf die Synthese bereits waren und welches Potential er dieser Methode zuschrieb. Gleichzeitig zeugt die Darstellung Berthelots von einem Weitblick, der auf zukünftige Forschungsergebnisse vorauswies

²⁶⁵ Vgl. Ebd., S. 230.

²⁶⁶ Vgl. Ebd., S. 233 ff.

²⁶⁷ Vgl. Ebd., S. 283.

²⁶⁸ Vgl. Ebd., S. 289 f.

– auch wenn die tatsächliche Umsetzung dieser Forschung bei weitem noch nicht absehbar war. Indem er die Herstellung künstlicher Verbindungen nennt, die so in der Natur nicht vorkommen, verweist er auf Verfahrensformen, die für die späteren Entwicklungen enorm bedeutsam wurden und zeigt, dass sich diese Entwicklungen bereits im 19. Jahrhundert ankündigten.

Ebenso weist Berthelot darauf hin, dass für die synthetische Methode ein Überblick über beinahe sämtliche Wirkungen und Ursachen nötig ist, die das Verhalten der (organischen) Körper bestimmen.²⁶⁹ Das zeigt, wie komplex die Voraussetzungen für das Durchführen von experimentellen Synthesen im Labor bereits im 19. Jahrhundert waren.

Abschließend bringt folgendes Zitat die Gewichtung von Synthese und Analyse in der Chemie von Berthelot zum Ausdruck, wobei die Synthese, wie gezeigt wurde, schwerer wiegt. *„Diese Definition [die Definition Chemie sei die Wissenschaft der Analyse (A. d. V.)] ist indessen unvollständig, sie bringt nur die eine Seite des Problems zum Ausdruck. Denn sind wir auf dem Wege der wiederholten Zerlegungen in das Wesen der Körper eingedrungen, so bietet sich uns von selbst die weitere Aufgabe, das getrennte wieder zusammenzufügen, das Zerstörte wieder herzustellen. Erst diese Möglichkeit des synthetischen Verfahrens verleiht der Chemie ihren wahren Charakter; sie unterscheidet dieselbe von den übrigen ausschliesslich auf Zergliederung begründeten naturwissenschaftlichen Disciplinen und sichert ihren Ergebnissen einen höhern Grad von Zuverlässigkeit. Ist es daher allerdings richtig, dass die Analyse den Ausgangspunkt der Chemie bildet, so bezeichnet sie dagegen nicht gleichzeitig ihr Ziel und ihre Bestimmung. Die Chemie ist vielmehr ebenso sehr die Wissenschaft der Synthese. Eine vollkommene chemische Kenntnis der Natur kann nur durch die Vereinigung der entgegenstehenden Methoden, der Analyse und Synthese, erreicht werden.“*²⁷⁰ Es mag so erscheinen, als ob Berthelot hier Analyse und Synthese gleichwertig behandelt. Dennoch muss man berücksichtigen, dass die Vereinigung, die Verbindung von Analyse und Synthese in der Chemie, wieder eine Synthese für die chemische Wissenschaft bedeuten würde. Von daher sollte die Konstituierung der Wissenschaft synthetisch sein. Weiterhin lässt sich deutlich erkennen, dass eine analytische

²⁶⁹ Vgl. Ebd., S. 291.

²⁷⁰ Ebd., S. 1f.

Wissenschaft zu einseitig und ihre Ergebnisse zu unvollständig und unsicher sind. Der Synthesecharakter der Chemie im 19. Jahrhundert verleiht selbiger nach Berthelot also eine Vollkommenheit, den wissenschaftlichen Ansprüchen in höherem Maße zu genügen. Somit ist die Synthese hier bereits als wesentlicher Bestandteil wissenschaftlicher Tätigkeit zu verstehen, der gleichzeitig das Ziel der Chemie darstellt.

5. Der Beginn des 20. Jahrhunderts

5.1 Naturstoffsynthesen

Mit dem Beginn des 20. Jahrhunderts wird die Rolle der Synthese innerhalb des Methodenarsenals der Chemie nicht mehr generell hinterfragt. Sie hat sich als Methode etabliert, wodurch die Chemie mehr und mehr als ein produktiver Wissenschaftszweig in Erscheinung tritt.

Nach der Schlussfolgerung aus den drei vorangegangenen Fallbeispielen, dass die Synthese seit der Alchemie Bestandteil des chemischen Methodenarsenals gewesen ist, muss man wegen der Etablierung der Synthese im Methodenarsenal der Chemie, weniger nach der Existenz der Synthese fragen, sondern vielmehr danach, wie sich die Synthese in der Chemie entwickelte und ausformte. Es besteht also zu Ende des 19. Jahrhunderts und dem Anfang des 20. Jahrhunderts keine Notwendigkeit mehr, die Synthese als Methode und grundlegendes Prinzip der chemischen Wissenschaft umfänglich zu rechtfertigen. Vielmehr muss nun die Art und Weise, wie sie die Chemie prägt und mitgestaltet, gewürdigt werden, um zu sehen, wie unverzichtbar die Synthese nun mittlerweile geworden ist.

Man befindet sich mit dem Beginn des 20. Jahrhunderts an einem Punkt der Ausgestaltung der Chemie, an dem einzelne ausgereifte Synthesewege für spezifische Verbindungen existieren. Das belegen historische Quellen, wie die Adrenalin synthese bei der Firma Hoechst. Durch die Kenntnis über die Zusammensetzung der chemischen Verbindungen, sowie über die Regeln, nach denen sie sich verbinden bzw. verbinden lassen, war die Basis für eine detailreiche Ausgestaltung des chemisch-synthetischen Gebäudes gelegt.

Neben den Gebieten der organischen und anorganischen Chemie etablierte sich im 19. Jahrhundert auch das Gebiet der physikalischen Chemie, dessen Inhalte aus der Anwendung physikalischer Methoden auf das Gebiet der Chemie, sowie einer theoretischen Beschreibung chemischer Sachverhalte mittels physikalischer Ansätze bestehen.²⁷¹ Die Entwicklung des eigenständigen Gebietes der physikalischen Chemie bedeutet trotz einer Überschneidung der zu untersuchenden Phänomene mit der Physik einen weiteren Schritt der Verselbstständigung der Chemie als Wissenschaft. Die Ausbildung der Gebiete der Thermodynamik, der chemischen Kinetik und damit zusammenhängender der Katalyse sowie der Elektrochemie bestimmte ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ebenso den Fortschritt in der Chemie wie die stetige Erweiterung der Stoffpalette durch die Methode der Synthese.²⁷² Physikalisch-chemische Erklärungen konnten darüber hinaus die Wahl der experimentellen Parameter in Syntheseprozessen beeinflussen, da man durch diese Erklärungen einen größeren Einblick in experimentelle Prozesse gewann.

Im späten 19. Jahrhundert entwickelte sich die Chemie in die Breite und in die Tiefe, wobei die Synthese dabei das neue Aufgabengebiet der Chemie wesentlich mitbestimmte. Die Besonderheit der Entwicklung der Chemie seit dem späten 19. Jahrhundert ist, dass ihr Aufgabengebiet gerade durch die Synthese und die Produktion und Reproduktion von chemischen Verbindungen nicht auf einfache Erklärungen von Phänomenen und dadurch auf ein reduziertes Maß an Gesetzmäßigkeiten zurückgeführt worden ist, sondern dass gerade in dieser neuen Komplexität, die die Synthesechemie offenbarte, die Aufgabe der Umsetzungen und Interaktion der Stoffe gesehen und verfolgt wurde.

In der organischen Chemie des späten 19. Jahrhunderts ist die Laborpraxis mit der Synthese bzw. mit der Leistung, die diese hervorgebracht hat, auf das Innigste verbunden. Doch neben den Leistungen der Synthesechemie, Stoffe zu reproduzieren, fokussierten sich Chemiker noch bis in das späte 19. Jahrhundert auf das Isolieren und Identifizieren von chemischen Substanzen. Die Syntheseleistung und ihr Vermögen der Produktion von (neuen) Stoffen existierten bereits, doch wurde ihr Potential nicht ausgeschöpft.²⁷³ Am Übergang

²⁷¹ Vgl. Teil II: Kap. 4.1 Die Entwicklung von Synthese und Analyse. Erinnert sei in diesem Zusammenhang an die Generierung der Strukturtheorie Kekulés.

²⁷² Vgl. Fierz-David (1952): Die Entwicklungsgeschichte der Chemie., S. 264 – 299.

²⁷³ Vgl. Ramberg (2003): Chemical Structure, spatial Arrangement, S.28 f.

zum 20. Jahrhundert sind die maßgeblichen Tätigkeiten in der Synthesechemie die Reproduktion, die Isolation und die Identifikation, was im folgenden Fallbeispiel deutlich wird.

5.2 Die Synthese des Adrenalins bei der Firma Hoechst

Eine ausführliche Dokumentation des „ersten Hormons aus der Retorte“ von der Firma Hoechst zeigt deutlich, welche Rolle die Methode der Synthese bei der Naturstoffreproduktion gespielt hat. Darüber hinaus zeigt es auch, in welchem gesellschaftlich-historischen Rahmen die Synthesechemie zu Beginn des 20. Jahrhunderts steht und welche Aufgabe der Syntheseforschung zukommt.

Das Adrenalin war das erste Hormon, das chemisch-synthetisch reproduziert wurde. Für die Untersuchung der Periode der Reproduktion von Naturstoffen eignet es sich daher als Fallbeispiel, weil es die Zusammenarbeit der Anwendungsgebiete von Chemie und Pharmazie sowie der Medizin verdeutlicht. Zudem wird damit auch deutlich, dass eine vermehrte Betrachtung der Synthesechemie unter der Frage nach dem Nutzen für die Gesellschaft bei dieser historischen Untersuchung an Relevanz gewinnt.

Adrenalin war schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts die substantielle Grundlage der Kreislaufmittel, Antidepressiva und Neuroleptika in der Arzneimittelforschung. Die medizinische Bedeutung dieses Hormons auf den Organismus war bereits hinreichend bekannt. Der Nachweis für die Relevanz und die Funktionen von Adrenalin in physiologischen Prozessen führte zu der Einsicht, dass ein tierischer Organismus zur Regulation und Koordination seiner Funktionen wohldefinierte Botenstoffe produziert und verwendet.²⁷⁴

Vor dem Gelingen der künstlichen Produktion von Adrenalin mittels chemischer Syntheseverfahren wurde der Stoff aus dem Drüsenmaterial von Rindern gewonnen.²⁷⁵ Man hatte es also mit dem Verfahren der Naturstoffisolierung zu tun. Bei der Naturstoffisolierung wer-

²⁷⁴ Vgl. Weisser (1984): Das erste Hormon aus der Retorte. Arbeiten am synthetischen Adrenalin bei Hoechst 1900 – 1908, S. 9.

²⁷⁵ Vgl. Ebd., S. 9.

den natürlich-vorkommende Materialien mittels Extraktion als Rohprodukt der gewünschten Substanz gewonnen. Ein Produkt, das nicht als chemisch rein gilt, benötigt im Anschluss meist noch weitere Schritte der Aufarbeitung durch chemische Verfahren.²⁷⁶

Gerade beim Adrenalin ging es vor der Erprobung eines geeigneten Produktionsverfahrens um die chemische Frage, *was* produziert werden soll. Denn bevor man sich der Entwicklung eines erfolgreichen Syntheseverfahrens für die Herstellung des Adrenalins zuwenden konnte, musste erst einmal die richtige Summenformel des Adrenalins durch Analyseverfahren ermittelt werden, um anschließend mit der bekannten Summenformel mittels eines Synthesepfades ein Verfahren zur Herstellung von Adrenalin zu entwickeln. Dieses Unterfangen war gerade beim Adrenalin – welches gegenüber Umwelteinflüssen empfindlich ist und bereits mit Luftsauerstoff oxidieren kann – schwierig, da die Elementaranalysen ungleichmäßig ausfielen und mit den ermittelten Summenformeln auf dem Papier zu Anfang nicht übereinstimmten. Den richtigen Ansatz zur analytischen Aufklärung des Adrenalins entwickelte Otto von Fürth im Jahr 1903, woraufhin unwesentlich später mit der Synthese des Stoffes als einem Reproduktionsverfahren begonnen wurde.²⁷⁷

Diverse Chemiker versuchten sich an einer Synthese des Adrenalins. Im Hintergrund standen dabei sowohl pharmakologisch-wissenschaftliche als auch wirtschaftliche Interessen.²⁷⁸

Denn die Naturstoffisolierung aus Rindschlachtabfällen war verhältnismäßig teuer, da die anfallenden Nebenprodukte nur mit der Genehmigung der Eigentümer verkauft werden durften. So kostete die Beschaffung der Nebennieren für die Naturstoffisolierung um die Jahrhundertwende 2,5 bis 3,5 Pfening pro Stück. Für 100 Gramm Rohadrenalin waren 8850 Rindernebennieren nötig, was auf eine Durchschnittssumme von 265,50 Mark führte. Nach dem Gelingen der Produktion von Adrenalin durch chemische Synthese beliefen sich die Kosten für ein Kilogramm reinen Adrenalins auf 318 Mark.²⁷⁹ Die Bedeutung, die die Kosten für den höchst seltenen Naturstoff im Prozess der Pharmakaherstellung haben, zeigt

²⁷⁶ Ein Beispiel dafür ist der Prozess des Umkristallisierens bei Feststoffen.

²⁷⁷ Vgl. Weisser (1984): Das erste Hormon aus der Retorte. Arbeiten am synthetischen Adrenalin bei Hoechst 1900 – 1908, S. 11.

²⁷⁸ Vgl. Ebd., S. 11.

²⁷⁹ Vgl. Ebd., S. 11.

deutlich, dass das Interesse sich mit chemischer Synthese zu beschäftigen, auch ökonomische Ursprünge hat.

Der verantwortliche Laborleiter bei der Firma Hoechst, unter dessen Regie die Adrenalin-synthese letztlich gelang, war Friedrich Stolz. Formal gesehen wurde von der Ausgangssubstanz Brenzkatechin in einem 4-Stufen-Prozess Adrenalin gewonnen. Gerade der letzte Syntheseschritt vom Methylaminoacetylbrenzkatechin zum Adrenalin bildet leicht Zersetzungsprodukte, wodurch dieser Reaktionsschritt erschwert ist.²⁸⁰

Ein Problem in der Produktion des Adrenalins war auch das Auffinden der korrekten Konstitutionsformel. Hier gab es zwei mögliche Varianten. Neben Stolz, der sich für die richtige Variante aussprach, votierte ein weiterer Chemiker namens Hermann Pauly hingegen für die zweite Variante. Zum damaligen Zeitpunkt konnte dieser wissenschaftliche Konflikt nur durch die Synthese beider Produkte geklärt werden.²⁸¹ Diese Auffassung, den Streit zwischen Stolz und Pauly mit dem entsprechenden Auffinden der korrekten Konstitutionsformel durch die Methode der Synthese zu entscheiden, zeigt, dass die Synthese hier nicht nur Reproduktionsverfahren, sondern gleichzeitig als Beweisverfahren angewendet wurde. Aufgrund der Instabilität des Adrenalins waren damalige Analysemethoden ungeeignet, um eine korrekte Konstitutionsformel zu ermitteln. Durch die Synthese konnte die Reproduktion und somit das Feststellen der stofflichen Eigenschaften des gesuchten Produktes gezielt verfolgt werden. Man kann also feststellen, dass die Synthese nicht nur in ihrer Funktion als Methode des Zusammenfügens gesehen und genutzt wurde, sondern ebenfalls – als Beweisverfahren für die richtige Konstitutionsformel – als eine Methode, die intramolekulare Strukturelemente aufzuklären vermag. Hieran kann man sehen, dass die Methode der Synthese gleichzeitig zu einem Verfahren der Chemie wird, um in der Tiefe der chemischen Strukturen zu operieren.

Im April 1906 gelang nun die Synthese des reinen, kristallinen Adrenalins. An dem experimentellen Prozess und somit an den erfolgreichen Ergebnissen war vor allem ein Mitarbeiter von Stolz, der Chemiker und Pharmazeut Franz Flaecher, beteiligt. Stolz als Labor-

²⁸⁰ Vgl. Ebd., S. 12.

²⁸¹ Vgl. Ebd., S. 13.

leiter führte die Oberaufsicht und referierte über neue Ergebnisse, wohingegen Flaecher derjenige war, der das reine und kristalline Adrenalin im Labor synthetisierte.²⁸²

Die Produktion von reinem, kristallinem Adrenalin offenbarte ein weiteres in chemischer Sicht höchst markantes Detail chemischer Strukturen. Das Naturprodukt des Adrenalins besitzt zu dem synthetisch gewonnenen Adrenalin einen – aus chemischer Sicht – wichtigen Unterschied. Synthetisch gewonnenes Adrenalin besitzt im Gegensatz zu dem Natürlichen keine optische Aktivität, ist also nicht racemisch. Durch die Methode der chemischen Synthese kann also das Wahrscheinlichkeitskriterium der Bildung von linksdrehenden und rechtsdrehenden Strukturen des Adrenalins beeinflusst werden.²⁸³ Damit wird an dieser Stelle eine dritte Funktion erkennbar, die die chemische Synthese ab Anfang des 20. Jahrhunderts erhielt. Neben den Funktionen, eine Methode des Zusammenfügens und eine Methode der Beweisführung zu sein, tritt nun die Methode der Synthese als ein aktiv die Strukturen beeinflussendes Verfahren auf. Das bedeutet, spätestens ab dem Beginn des 20. Jahrhunderts war offensichtlich, dass durch Synthese aktiv chemische Strukturen bzw. deren Bildungspotential beeinflussbar waren. Somit ist ab dieser Zeit das Manipulationspotential durch die Methode der Synthese offensichtlich. Diese Erkenntnis, aktiv die Struktur- bildung beeinflussen zu können, bestimmt maßgeblich den Umgang mit der chemischen Synthese im 20. Jahrhundert und nimmt schon zu Beginn dieses Jahrhunderts seinen Anfang.

Die von Stolz und Flaecher entwickelte Synthesemethode zur Gewinnung des Adrenalins war das Hauptanliegen ihrer Forschung. Bei der Entwicklung dieses Synthesewegs wurden auch andere Synthesepfade erprobt, die wiederum zu anderen Ergebnissen führten. Diese anderen Synthesepfade stellten gleichsam eine Absicherung für die Adrenalinsynthese dar, weil analoge Synthesereaktionen die systematische Kenntnis über Verbindungstypen erweitern konnten.²⁸⁴ So ergaben sich aus dieser ökonomisch und medizinisch interessanten Synthese auch wissenschaftsintern neue Impulse, um Synthesepfade für die Hormonforschung auszubauen, wodurch Synthesemethoden auch untereinander verknüpft werden konnten.

²⁸² Vgl. Ebd., S. 15.

²⁸³ Vgl. Ebd., S. 17.

²⁸⁴ Vgl. Ebd., S. 17.

Die Adrenalin synthese zeigt exemplarisch, dass die Synthesemethode in der Chemie im 20. Jahrhundert mehrere Funktionen in sich vereinte. Diese Funktionen waren nicht nur für die chemische Wissenschaft relevant, sondern ebenfalls für die pharmazeutisch-medizinische Forschung, was wiederum an ökonomische Faktoren gekoppelt war. Die Adrenalin synthese ist ein Beispiel dafür, dass die Methode der synthetischen Gewinnung einer Substanz die Naturstoffisolierung dieses Stoffes ablöste. Im Hintergrund diese Synthesemethode zu fördern, standen dabei vor allem finanzielle, sowie wirtschaftliche Interessen. Weiterhin zeigt sich durch die Ablösung von Naturstoffisolierungen explizit, wie stark Synthesemethoden dieser Zeit bereits an andere Disziplinen und deren Forschungen gekoppelt waren. Somit ist es schwierig, die chemische Synthesemethode als isoliertes wissenschaftliches Verfahren zu betrachten, da eben jene anderen Disziplinen wie Pharmazie, Medizin, Farbstoffindustrie etc. Forschungsinteressen der Synthesechemie mit anleiteten. Deshalb kann man in Bezug auf die chemische Synthese des frühen 20. Jahrhunderts auch von einer Förderung der Interdisziplinarität sprechen. Die chemische Synthesemethode fungiert hier gewissermaßen als ein Motor für die Interdisziplinarität, da durch sie Forschungsinteressen diverser Forschungsbereiche zusammengeführt und Lösungswege für gemeinsame Probleme ermittelt wurden.

Doch das Fallbeispiel zeigt auch, dass sich innerhalb der chemischen Wissenschaft in dieser Zeit die bereits aufgeführten Charakteristika von Synthese feststellen lassen, die zu Fortschritten in der Syntheseforschung selber führten. Dazu gehört die Verwendung der Synthese als ein Beweisverfahren für die Existenz einer chemischen Verbindung und kann in diesem Punkt das analytische Verfahren ersetzen. Eine weitere Funktion zeigt sich in dem Fallbeispiel, als die Synthese hier als Methode fungiert, die intramolekulare Faktoren beeinflussen und in ihrem Prozess verändern kann. Es wird also ersichtlich, dass die Methode der Synthese im 20. Jahrhundert nicht nur immer komplexere Moleküle herstellt, sondern dass auch ihre Funktionen immer vielfältiger und komplexer werden. Die Adrenalin synthese ist ein Beispiel dafür.

6. Das 20. Jahrhundert

6.1 Techniksynthesen

Im 20. Jahrhundert befindet sich die Synthesechemie schon im Stadium der Produktion von Materialien, die in der Natur nicht vorkommen. Die Chemie ist durch ihre Anwendungsbezogenheit zu einem Wirtschaftsfaktor geworden, dessen Potential von Industrie und Gesellschaft, von Staaten und der Wirtschaft gleichermaßen genutzt wird. Diese Nutzung bedeutet jedoch nicht nur ein friedliches Fortschreiten, in die die Produkte der Synthesechemie eingebunden werden. Dass dieses Faktum nicht allein auf den Gebrauch, sondern gleichfalls auch auf einen Missbrauch hinausläuft, zeigt der Einsatz chemischer Kampfstoffe deutlich, sowie die Kriegsführung mit ihren Materialschlachten im Ersten und Zweiten Weltkrieg.²⁸⁵

Die Chemie befindet sich nunmehr trotz der stets gegebenen Möglichkeit des *dual use* in der Phase der Produktion, die auf die Phase der Reproduktion folgt. Als Reproduktion wird dabei das im vorigen Fallbeispiel dargestellte Vorgehen der Synthesechemie definiert, das Strukturen, die bereits aus der Natur bekannt waren, mittels Syntheseverfahren nachbaut, also reproduziert. Mit Produktion ist nun das alternative Vorgehen gemeint, bei dem die Chemie mittels Syntheseverfahren Strukturen herstellt, die in der Natur gänzlich unbekannt sind. Das folgende Fallbeispiel beschreibt eine derartige Struktur und seinen Entstehungsprozess.

Bedenkenswert ist an dieser Stelle, dass diese beiden Verfahren auch heute noch einen Beitrag zur Synthesechemie leisten, demnach auch nicht abgeschlossen sind. Dennoch stellt der Beginn der Erzeugung von nicht-natürlichen Materialien, eine Neuerung für die Chemie dar. Um dieses zu belegen, wird das folgende Fallbeispiel aus dem Kontext der Kunststoffe herangezogen. Kunststoffe, die auch als Plastiken bezeichnet werden, betreffen ein auch in der Chemie weites Feld an Substanzen, die sich als organische polymere Festkörper beschreiben lassen, welche aus Monomeren aufgebaut sind und mittels Syntheseverfahren

²⁸⁵ Man denke in diesem Kontext beispielsweise an Phosgen, ein Derivat des Harnstoffs, war für den Großteil der etwa 90.000 Gas-Toten des Ersten Weltkriegs verantwortlich war.

entstehen. Im Folgenden wird die Nylonsynthese als ein Beispiel der Kunststoffe näher betrachtet.

6.2 Nylon – Vielseitigkeit durch Synthese

Seit den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts wurde die Möglichkeit immer offensichtlicher, durch Syntheseverfahren die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Substanzen zu variieren und zu kombinieren. Die Nutzung dieser Entdeckung in der Praxis steigerte das Interesse an der Forschung und an der Produktion nicht-natürlicher chemischer Verbindungen. Chemische Eigenschaften werden mit dieser Phase der Synthesechemie zunehmend variabel. Auch Nylon zeichnete sich durch diese Variabilität gewünschter Eigenschaften aus, die bisher in keinem Naturstoff aufgefunden werden konnte.

Die chemische Kunstfaser Nylon wurde 1935 vom amerikanischen Chemiker Wallace Hume Carothers synthetisiert und von der Firma DuPont anschließend vermarktet.²⁸⁶ Nylon wurde über die Chemie hinaus für die Industrie dadurch interessant, dass diese Substanz sich durch hohe Festigkeit und chemische Beständigkeit, sowie durch Beständigkeit bei Temperaturen von bis zu 150° Celsius auszeichnet.

Für die Syntheseforschung eröffnet sich mit der Produktion von Nylon das Forschungsfeld der Kunstfasern, dem durch Rekombination von amidbindungsfähigen Substanzen auf Nylon andere Faserstoffe, wie Perlon oder die Aramide folgen. In der Kombination von Eigenschaften der Kunstfasern sah die Industrie einen für sie nutzbaren Vorteil der Synthesechemie.²⁸⁷

Im Jahr 1937 erfolgte die Patentierung dieses Kunststoffes. Hierbei zeigt sich ein direkter Zusammenhang zwischen industriellen bzw. wirtschaftlichen Interessen auf der einen Seite und der Syntheseforschung auf der anderen Seite. Die Patentierung zeigt deutlich, dass es bei der Herstellung und Erforschung von Nylon (neben zahlreichen anderen Kunststoffen) nicht nur um das reine Forschungsinteresse ging, sondern dass mit der Entwicklung eines

²⁸⁶ Vgl. Gratzler (2009): Giant Molecules – From Nylon to Nanotubes, S. 124 f.

²⁸⁷ Vgl. Ebd., S. 121.

Kunststoffes immer auch der Anwendungskontext eine erhebliche Rolle spielt. Mit der Patentierung rückten ökonomische Interessen stärker in den Fokus der Forschung und der Zweig der Grundlagenforschung wurde von der sich stetig erweiternden anwendungsbezogenen Synthesechemie mit geprägt.

Nylon gehört zur chemischen Stoffklasse der Polyamide. Diese entstehen durch die Kondensation von Dicarbonsäuren mit Diaminen, genauer aus den chemischen Verbindungen Adipinsäure mit Hexamethyldiamin. Diese Faser wird aus dem Schmelzfluss nach dem Trockenspinnverfahren gewonnen. Nach dem Erkalten muss die Faser um circa 400 % gestreckt werden. Die Begründung dafür liegt innerhalb der chemischen Struktur.

Das Polyamid Nylon zählt innerhalb der Chemie zu der übergeordneten Stoffkategorie der Polymere, das heißt, chemische Verbindungen mit hoher molekularer Masse. Nylon entsteht durch Polykondensationsreaktionen, was von Carothers entdeckt wurde. Damit eröffnet sich gleichfalls das Gebiet der makromolekularen Chemie.²⁸⁸

Nylon wird auch als *engineering thermoplastic* bezeichnet, eine Verbindung, die gleichwertige oder bessere Werkstoffeigenschaften als manche Metalle besitzt.²⁸⁹ Gleichzeitig gehen auch im Fall des Nylons die ökonomischen Parameter der Herstellung in den Erfolg der Produktion des Stoffes mit ein. Gerade durch die Vergleichbarkeit mit und die Verfügbarkeit von Metallen ist die Produktion einer stabilen, hitzeresistenten Kunstfaser vielversprechend, denn die Reindarstellung von Metallen erfordert nach wie vor einen hohen Energieaufwand und teilweise aufwendige Verfahren.²⁹⁰ Die Kondensationsreaktion des Nylons hingegen ist äußerst simpel, sodass auch vom ökonomischen Standpunkt aus betrachtet das Vorantreiben der Forschung an Kunstfasern sowie die Produktion selbiger sinnvoll und vielversprechend erschienen.

Im Jahr 1938 wurde Nylon der amerikanischen Öffentlichkeit vorgestellt, als eine vollständig synthetische Faser aus Luft, Wasser und Kohle. Auf einem stark reduzierten Niveau trifft dieser Slogan durchaus zu, er vermittelt jedoch der Öffentlichkeit zugleich den Ein-

²⁸⁸ Vgl. Kohan (Hrsg.): Nylon Plastics Handbook (1992), S. 2.

²⁸⁹ Vgl. Ebd., S. 2.

²⁹⁰ Siehe dazu die Herstellung von Stahl im Hochofenprozess oder Aluminium durch die Aufbereitung von Bauxit mittels Elektrolyse.

druck der chemischen Kunstfertigkeit, die noch von Natürlichkeit geprägt ist, was dem Laien seine Skepsis gegenüber der nicht-natürlichen Faser nehmen sollte. Die simple Behauptung, Nylon bestehe aus Luft, Wasser und Kohle ist einerseits zutreffend, wenn man aus einer unreflektierten Stoffperspektive die Faser betrachtet. Nylon besteht aus Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff. Unter strukturellen Gesichtspunkten ist die öffentlichkeitswirksame Bestimmung jedoch schlicht falsch. Aus struktureller Sicht ist vielmehr die Bildung der Amidbindung und die damit verbundene Kettenbildung sowie die Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen von Bedeutung. Diese sind für die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Nylons verantwortlich. Weder Luft, Wasser noch Kohle sind zur Bildung von Amidbindungen befähigt, also zur hochmolekularen Kettenbildung. Lediglich Wasser ist aufgrund seines Dipolcharakters dazu in der Lage, Wasserstoffbrückenbindungen auszubilden. Vom chemischen Standpunkt aus sind also in dem erwähnten Slogan die für die Bildung der Nylonstruktur gerade bedeutsamen Aspekte nicht thematisiert.

Nylon ist eine Beispielsubstanz dafür, wie eng Grundlagenforschung und Anwendungsbezug nebeneinander liegen können. Die Relevanz von Nylon in den USA als wichtiges Material im Zweiten Weltkrieg für die Herstellung von Fallschirmen sowie die zuvor stark nachgefragte Produktion von Damenstrümpfen zeigen die Bedeutung dieses Syntheseprodukts im gesellschaftlichen Rahmen der dreißiger und vierziger Jahre des 20. Jahrhunderts. Synthetische Produkte sind also in einem viel größeren und vielseitigeren Maße in gesellschaftlichen Kontexten eingebunden, da nicht nur die Eigenschaften der Kunststoffe selbst, sondern auch deren gesellschaftlicher Nutzen extrem variabel sind.

Nach der erfolgreichen Vermarktung von Nylon wurde seit den 30er Jahren in der Synthesechemie weiter an Kunstfasern geforscht, wodurch neue Kunstfasern mit spezifischen Eigenschaften, wie Hitzebeständigkeit oder resistentes Verhalten gegenüber Säuren, Basen und Lösungsmitteln entstanden.²⁹¹ Daran ist zu erkennen, dass mit der Entstehung der Subdisziplin der Polymerchemie auch innerhalb der Synthesechemie der Beginn für Spezialisierungen des noch jungen Teilgebietes der Chemie gelegt worden ist.

²⁹¹ Ein Beispiel dafür ist Perlon, eine 1938 für die I. G.-Farbenindustrie AG entwickelte Kunststofffaser.

Anhand des Fallbeispiels der Nylonsynthese lässt sich außerdem belegen, dass das Wissen um Synthesereaktionen in dieser Phase bereits so weit vorangeschritten war, dass Substanzen produziert und nicht mehr nur reproduziert wurden. Diese fanden in der Industrie und der Gesellschaft vielseitige Verwendungsgebiete und etablierten sich durch ihre Gebrauchseigenschaften und ihren Komfort. Man sieht also, dass chemische Synthese und viel mehr noch ihre hervorgebrachten Produkte gesellschaftsrelevant und damit in einem größerem Kontext als in dem der Chemie als Wissenschaft betrachtet werden müssen. Neben ihrer Bedeutung für Industrie und Wirtschaft waren Syntheseprodukte im 20. Jahrhundert ebenso für Kriegsführung, Mobilität oder im Alltag relevant.

7. Resümee

Wie die vorangegangenen Fallbeispiele gezeigt haben, lassen sich innerhalb von 350 Jahren der Geschichte der Chemie fünf verschiedene Konzepte von Synthese in Bezug auf die Umwandlung von Materie feststellen. Eine Rekapitulation wird die Konzepte und ihre Bedeutung zusammenfassen.

In der Alchemie versteht man unter Synthese nicht nur das Verbinden von materiellen Substanzen, sondern auch eine Verbindung auf einer spirituellen Ebene, die den Alchemisten sowohl mit seinem Experiment als auch mit dem Göttlichen in Verbindung bringen soll. Die Synthese reicht hier also über materielle Umsetzungen weit hinaus und stellt ein grundlegendes Materie und Geist überspannendes Prinzip der gesamten Alchemie dar.

In der Chemie Lavoisiers erweist sich die Synthese als ein der Analyse untergeordnetes Verfahren, das als eine Überprüfungsmöglichkeit eingesetzt wird, um Elementaranalysen zu bestätigen. Dennoch muss für Lavoisier die vollkommene Chemie beide Methoden von Analyse und Synthese vereinigen.

Ähnliches äußert sich auch im dritten Fallbeispiel von Berthelot. Hier ist die chemische Synthese insoweit eine eigenständige chemische Methode, als sie ihr Objekt erschafft und somit aus dem Schatten der Analyse herauszutreten vermag. Die Synthese macht die Chemie nach Berthelot erst zu einer Wissenschaft. Für Berthelot ist die Synthese als Methode der Schlüssel, um die Chemie als eine eigenständige Wissenschaft – ohne Abhängigkeit

von den Nachbardisziplinen, insbesondere der Physik – zu etablieren. Die Synthese wird hier zum zentralen Anker der Wissenschaft.

Anhand des vierten Fallbeispiels der Adrenalinsynthese wird ersichtlich, dass sich die Methode der Synthese nun bereits etabliert hat und komplexere Naturstoffe reproduziert werden. Dadurch wachsen auch die Bereiche der Chemie, der Industrie, der Pharmazie und der Medizin enger zusammen. Die Synthese etabliert sich also methodisch interdisziplinär. Gleichzeitig wird hier ersichtlich, dass sie mehrere Funktionen inne hat. Sie dient neben der Reproduktion von Naturstoffen, auch als Beweisverfahren zur Aufklärung chemischer Strukturen sowie der Ausweitung eines tieferen Verständnisses molekularer Interaktionen. Damit einhergehend wird offensichtlich, dass man mit der Methode der Synthese aktiv die Bildung diverser chemischer Strukturen beeinflussen kann. Über den Prozess der Reproduktion hinausgehend befähigt die Methode der Synthese den Synthesechemiker also auch zur Manipulation chemischer Strukturen.

Am Fallbeispiel der Nylonsynthese wird schließlich deutlich, dass mittels der chemischen Synthese in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts Substanzen produziert werden, die in der Natur in dieser Form nicht vorkommen. Durch die Methode der chemischen Synthese können also Artefakte fabriziert werden, deren Produktion nach der Kombination gewünschter chemischer Eigenschaften vorgenommen wird. Die praktische Anwendbarkeit dieser Artefakte zeigt sich ebenfalls am Beispiel der Nylonsynthese. Indem sie ihre Anwendbarkeit in der Gesellschaft unter Beweis stellen, wird ihr praktischer Nutzen zum Antrieb für weitere Forschung an synthetischen Artefakten. Der Artefaktcharakter, der nun durch Synthese produzierten Stoffe entsteht – aus chemischer Sicht – durch eine Veränderung der Verknüpfungsreihenfolge von Atomen, sprich durch eine Veränderung der Struktur der Substanzen. Allgemein stellt man nach der Betrachtung dieser Fallbeispiele fest, dass die Methode der Synthese schon seit mindestens 350 Jahren²⁹² ein fester Bestandteil des chemischen Methodenarsenals war. Die Synthese ist demnach für die Entwicklungsgeschichte der Chemie ein wichtiger Faktor und Motor eben jener Entwicklung. Außerdem rechtfertigt diese Feststellung gleichfalls, die Synthese als eine für die Chemie und ihre Entwicklung immanente

²⁹² Dies ist der Zeitraum seit der Veröffentlichung von „Die 12 Schlüssel des Basilius Valentinus“ bis etwa 1950.

Methode zu verstehen, was zusätzlich den Ansatz einer Philosophie der Chemie rechtfertigt, die auf dem Konzept der Synthese basiert.

Die Feststellung der historischen Konstanz des Konzeptes der Synthese in den chemischen Lehren schließt allerdings nicht aus, dass die Bedeutung des Konzeptes der Synthese jeweils variabel ist. Dieses zeigen die Fallbeispiele. So wird etwa bei Lavoisier die Synthese als Gegenpart zur Analyse charakterisiert, während im Zuge der Adrenalin-synthese die Beweisfähigkeit durch Synthesereaktionen, die aktive Beeinflussung der Produktbildung durch Synthese oder aber Synthese als Förderinstrument für die Entstehung interdisziplinärer Strukturen in den Vordergrund rücken. Man erkennt also durch die Fallbeispiele, dass die Synthese in ihrer Entwicklungsgeschichte variierende Funktionen annimmt. Die grundlegende Funktion der Synthese ist jedoch immer die des Zusammenfügens, des Verbindens. Doch darüber hinaus werden anhand der Fallbeispiele die bereits aufgezählten Unterfunktionen deutlich. Das heißt, die Synthese ist eine Methode, die mehrere Funktionen in sich vereint. Das belegt ihre Vielseitigkeit. Diese Vielseitigkeit ist nicht materiell bedingt. Es sind vielmehr Synthesen in ihren methodischen Ansätzen, die eine vielseitige Funktionalität aufweisen. Die Funktionen, die die Synthese in ihrer Entwicklungsgeschichte zeigt, sind durch die Fallbeispiele als solche der methodischen Variabilität zu finden. Sie gründen sich weniger auf der Vielfältigkeit der Formen der Materie, die die chemische Synthese zweifelsohne ebenfalls hervorbringt, was die Anzahl bis heute bereits realisierter Verbindungen beweist. Die hier dargestellten Fallbeispiele belegen also eine Vielfältigkeit der Synthese als ein Beweisverfahren, als Differenzierungsmethode in der Stereochemie, als ein Universalprinzip, als ein gesellschaftsrelevantes Produktionsprinzip, oder als disziplinenübergreifender Motor der Wissenschaftsorganisation. Diese eben aufgezählten Funktionen, die die Synthese in ihrer Entwicklungsgeschichte erfüllte, betreffen keine materielle Vielfalt, sondern offenbaren vielmehr eine Vielfältigkeit im Handlungs- und Denkstil. Diverse Handlungs- und Denkstile werden in den Fallbeispielen deutlich und sie prägen auch die dort aufgezeigten Charakteristika, die die chemische Synthese jeweils besitzt. Daher ist diese Geschichte der chemischen Synthese keine Begriffsgeschichte, sondern vor allem eine Geschichte der Methode, eine Geschichte sich verändernder Praxen und Handlungsvollzüge, eine Geschichte sich wandelnder Rollen eben dieser Praxen im Gesamtkontext der Chemie. Unter Berücksichtigung dieser Wandelbarkeit des Konzeptes der Synthese

unter der Beibehaltung des Begriffs muss auch der epistemologische Wert der chemischen Synthese beurteilt werden.

Diese Konzepte der chemischen Synthese wurden durch die wechselnden Ideen angeleitet, darüber wie man sich das Zusammenfügen von Materie (und später strukturellen Einheiten) vorzustellen hat und wie das Konzept für die Praxis inhaltlich auszustatten ist. Und jede neue Idee eines Synthesekonzeptes leitet die Praxis in neuer Weise an. „*Die Idee gehört nicht der Erinnerung an, sie gehört vielmehr dem Vorherwissen an. Die Idee ist kein Ergebnis, sie ist vielmehr Programm.*“²⁹³ Es sind die Ideen der Synthesekonzepte, die selbige prägen und die gleichfalls mit den Fallbeispielen untersucht wurden. Denkt man beispielsweise an Berthelot und seine Ideen, dann sind die Feststellungen, die Chemie schaffe sich ihr Objekt selbst, und damit verbunden die Überwindung des vis vitalis-Konzeptes die Motivation, die seine Forschungen angeleitet haben und Synthesechemie vor allem in der Praxis zu betreiben. Diese neuen Ideen und damit das Überwinden alter oder unstimmiger Ideen prägen die Ausführung in der Praxis. Diese Unterscheidung von Idee und Umsetzung in die Praxis leitet ebenfalls die epistemologische Arbeit an. „*Der Historiker muss die Ideen als Tatsachen nehmen, der Epistemologe muss die Tatsachen als Ideen nehmen, in dem er sie in ein Denksystem einfügt.*“²⁹⁴ Zweifelsohne finden sich einige dieser Ideen im heutigen chemischen Synthesekonzept wieder. Eine dieser Ideen ist, dass sich die Chemie durch die Synthese ihr Objekt selber schaffen kann. Weiterhin hat die Produktion die Reproduktion von natürlichen Syntheseprodukten (die Naturstoffisolierung) weitestgehend abgelöst. Dies zeigt sich bei der Nylonsynthese.

Man kann bei der Geschichte der chemischen Synthese von einer sich wieder und wieder ereignenden Genese des Gegenstandes unter Beibehaltung der Begrifflichkeit sprechen. Das heißt, der Begriff der Synthese für den Aspekt des Zusammenfügens von Materie ist seit der Alchemie präsent, das inhaltliche Konzept dieses Begriffes unterliegt jedoch der Variation. Von daher ist es sinnvoll, wenn man in der Geschichte der Chemie im Allgemeinen oder Speziellen das Zusammenfügen, die Methode des Verbindens von Stoffen oder Strukturen bezeichnen möchte, von *Synthesen* und nicht von *Synthese* zu sprechen. Erst

²⁹³ Bachelard (1993): Epistemologie, S. 33.

²⁹⁴ Bachelard (1987): Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes, S. 51.

diese beinahe triviale Änderung des Singulars in den Plural wird der Geschichte der chemischen Synthesen wirklich gerecht.

Was helfen der systematisierende Blick auf die Geschichte der chemischen Synthese, sowie deren Rekonstruktion? Schließlich geht es nicht darum, einen rückwärtsgerichteten Ansatz einer Philosophie der vergangenen Chemie zu finden, die auf Synthese basiert, sondern es soll vielmehr der gegenwärtige Stand der Wissenschaften mit eben einer adäquaten (zeitgemäßen) Philosophie in Verbindung gebracht werden. Und doch besteht eben der Sinn jener historischen Rückschau darin, diese Verbindung zwischen Philosophie und Chemie zu fordern und fördern, denn gerade an der Geschichte der Synthese in der chemischen Wissenschaft, als der Lehre von den Stoffen, ist zu ersehen, wie wandelbar das Konstrukt der Synthese allein in der Chemie ist. Ebenso tritt die Synthese heute als wissenschaftliches Konstrukt in vielerlei Facetten in Erscheinung. Der Blick in die Geschichte entfaltet nicht nur die chemische Methode der Synthese in der Breite, sondern er erlaubt so auch eine Einsicht nicht nur in die Wandelbarkeit dieses Begriffs, sondern ebenso in seine wissenschaftliche Komplexität. Weiterhin hilft die Geschichte dabei, den Blick für die Vielfältigkeit der Synthese zu bewahren. Synthese in der Chemie zeigt keinen stringenten historischen Verlauf, ebenso ist die heutige Syntheseforschung keineswegs stringent. Der Synthese ist im Fortgang der Geschichte eine inhaltliche permanente Wandelbarkeit eigen.

Eine weitere Schlussfolgerung kann man aus den Fallbeispielen skizzieren. Diese betrifft das Verhältnis von Synthesen und Analyse. Wenn man eine Geschichte der chemischen Synthese schreiben will, dann bemerkt man, dass man gezwungen ist, gleichzeitig einen Auszug aus der Geschichte der chemischen Analytik mitzuschreiben. Denn häufig ist erst aus dem Verhältnis der Synthese zur Analyse, die Rolle der ersten angemessen zu würdigen. Dies erkennt man beispielsweise am Fallbeispiel Lavoisiers. Dessen Studien zur analytischen Chemie sind weitaus umfangreicher, aber gerade durch die Rolle der Analyse, als maßgebliche Methode zur Gewinnung von Reinstoffen, wird die neue Rolle der Synthese als Überprüfungsmethode analytischer Reaktionen erkennbar. Weiterhin zeigt die Vorgeschichte zum Fallbeispiel Berthelots, wie wichtig die analytischen Arbeiten Berzelius, Liebig's und Wöhlers waren, wovon auch die Arbeiten der Synthesechemie beeinflusst wurden, da die analytischen Arbeiten des 19. Jahrhunderts die Systematik der Stoffklassen mitbe-

gründeten. Die Synthesearbeiten führten im 19. Jahrhundert dazu, die Systematik der Stoffklassen mit dem Methodenarsenal der Chemie in Verbindung zu bringen, indem sie produziert werden konnten. Sowohl Analyse als auch Synthese bedingen sich also im Verlauf der Geschichte der Chemie gegenseitig.

Man kann an den hier aufgeführten Fallbeispielen ebenfalls feststellen, dass sowohl Analyse als auch Synthese immer in Verbindung mit dem Verändern von materiellen Substanzen standen. Die Rolle, die man der Analyse oder der Synthese zuschrieb, variierte dabei. War die Analyse in der Alchemie der Prozess der Zerstörung, so galt die Analyse im 19. Jahrhundert trotz dieser Zerstörung als maßgebliches wissenschaftliches Verfahren. Rudolf Virchow beschreibt die erste Aufgabe des Naturforschers in seinem Vortrag „Atome und Individuen“ von 1862 als die der Analyse. Erst im darauffolgenden Schritt kann die Zusammensetzung, die Synthese, geleistet werden. Die Analyse stellt für Virchow den einzigen Weg des Forschens dar, auch wenn dieser Weg ein Zerstörungsmoment beinhaltet, da das bereits Zerlegte insbesondere in Virchows biomedizinischen Beispielen, nicht wieder in seine ursprüngliche Form zusammengefügt werden kann. Doch nur aus den Teilen lässt sich die Gemeinschaft erkennen.²⁹⁵ Damit wird zeitgleich zum Betherlot'schen Ansatz deutlich, die Synthese der Analyse in der Chemie vorrangig zu behandeln, welche Rolle die Analyse gegenüber der Synthese im gesamten Wissenschaftsgebäude des 19. Jahrhunderts einnimmt. Verstärkt wird die Aussage Virchows durch die Überlegungen Hans-Jörg Rheinbergers, nach dem sich die positiven Wissenschaften des ausgehenden 19. Jahrhunderts nicht synthetisch, sondern mechanisch-analytisch definierten.²⁹⁶ Man kann also als die primäre Methode für die Wissenschaften des 19. Jahrhunderts die Methode der Analyse ansehen und dennoch, und möglicherweise gerade deshalb, entwickelte sich die Methode der Synthese als eine eigenständige Verfahrensweise innerhalb der Chemie. Eine Erklärung für dieses methodische Auseinanderstreben, der Entwicklungen der Naturwissenschaften im Allgemeinen auf der einen Seite und der Etablierung der Synthesechemie auf der anderen Seite in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, ist weder offensichtlich noch leicht zu finden und wird daher nur als hypothetische Bedingung formuliert. Eine spezielle Untersu-

²⁹⁵ Vgl. Virchow: *Atome und Individuen*. In: Virchow: *Vier Reden über Leben und Kranksein* (1862), S. 51 f.

²⁹⁶ Vgl. Rheinberger (2006): *Epistemologie des Konkreten – Studien zur Geschichte der modernen Biologie*, S. 23.

chung, die ihren Fokus auf die Verbindungen von allgemeinen naturwissenschaftlichen Entwicklungen mit solchen der Synthesechemie im 19. Jahrhundert legt, könnte hier Aufschluss geben.

Das Verhältnis von Synthese und Analyse in der Geschichte der Chemie lässt sich wie folgt zusammenfassen: Ab der Mitte des 19. Jahrhunderts ist die Synthese in der Chemie mit der Analyse als ebenbürtig zu betrachten. Beide Methoden bringen ein jeweils spezifisches Wissen hervor. Und trotz der Tatsache, dass weiterhin beide Verfahren sich in einer Abhängigkeit voneinander in Bezug auf eine Überprüfung ihrer Resultate befinden, ist in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts mit der Synthesechemie ein eigenständiger Wissenschaftszweig entstanden.

Ein weiteres Faktum zeichnet sich ab dem 20. Jahrhundert ab. Es ist der Faktor der Manipulation und der sich daraus ergebende Anwendungsbezug synthetischer Produkte, die den Verlauf der Synthese bedeutend mitprägten, was die Fallbeispiele der Adrenalin- und der Nylonsynthese beide auf je verschiedene Arten zeigen. Durch die erfolgreiche und sich ausweitende Nutzung der Methode der Synthese in der Chemie wird der Faktor der Manipulation von Stoffen und deren Eigenschaften bedeutender. Diese Befähigung zur Manipulation vermittelt der chemischen Synthese ist eng verbunden mit der sich daraus ergebenden Anwendungsbezogenheit. In der Anwendung zeigt sich ihr Potential. Ein Potential, das man im 20. Jahrhundert auf vielfältige Weise zu nutzen lernt.²⁹⁷

²⁹⁷ Vgl. Schummer (2011): Das Gotteshandwerk, S. 141.

Teil III: Die Praxis der Synthesechemie

1. Einleitung zur Synthesechemie in der Praxis

„Chemistry is by far today's most active science with regard to bibliometrical indicators.“²⁹⁸ Der Blick auf die steigende Zahl von Publikationen zeigt die Produktivität der heutigen Chemie, die sich zu großen Teilen mit Synthese in Bezug auf neue Produkte oder neue Verfahren beschäftigt. Die Entwicklung dieser Verfahren und Produkte, die gleichzeitig die aktive Seite der Synthesechemie repräsentieren, wird in Laboratorien realisiert.

Welche Aussagen lassen sich über die Synthese im Laborkontext treffen? Welche Ziele werden bei der Synthese im Chemielabor verfolgt? „*Synthesis: Since the increase of substances is a main characteristic of chemistry, the improvement of preparative methods is also likely to be an important aim of preparative research. Synthesis relevance is registered (a) if the new substance is recommended for further synthesis (as starting substance, reagent, catalyst etc.), (b) if the new substance is exemplarily produced by a new method which is recommended for further analogy preparation or (c) if the new substance is gained as a side-product in the course of developing a new reaction mechanism by chemical methods in order to enlarge preparative methods on theoretical level. Synthesis relevance is also registered, if the new substance was gained in the course of systematic reactivity analysis of important reagents.*“²⁹⁹ Dieses Zitat macht deutlich: Synthesechemie ist zuallererst als präparative Forschung zu betrachten. Dabei kann diese präparative Syntheseforschung in eine Grundlagenrichtung und eine angewandte Richtung eingeteilt werden. Gerade für die Synthese erweist sich diese Einteilung als sinnvoll, weil dadurch Forschungsziele und Forschungsmotive unterschieden werden können. Beiden ist gemein, dass sie durch die Methode der Synthese das chemische Struktur-Netzwerk im Rahmen des Materiell-Möglichen erweitern. Das bedeutet, in beiden Bereichen ist das Hervorbringen neuer chemischer Strukturen das Ziel der Syntheseforschung. Die angewandte Forschung unterscheidet sich in dem Punkt insofern von der Grundlagenforschung, als sie versucht, Synthe-

²⁹⁸ Schummer: Scientometric Studies in Chemistry II: Aims and Methods of producing new chemical Substances. In: Scientometrics Vol. 39, Nr. 1 (1997), S. 125.

²⁹⁹ Ebd., S. 129.

seprodukte und Verfahren unter dem Aspekt eines bestimmten außerwissenschaftlichen Nutzens zu fertigen. Dieser Nutzen betrifft vor allem die Bereiche von Industrie, Pharmazie, Werkstofftechnik, kurz alle Bereiche, die ein besonders hohes Interesse an neuen Wirk- und Werkstoffen für die Verfertigung von Produkten haben und deren Programm vor allem von ökonomischen und finanziellen Interessen geleitet ist. Im Wesentlichen geht es also um die Maximierung von Kapitalerträgen. Der Nutzen wird hier zum zentralen Motiv der Forschung und leitet diese an. Die Grundlagenforschung kann hingegen das Materiell-Mögliche selbst fokussieren, die Forschungsbestrebungen beruhen auf Defiziten in der gegenwärtigen Forschung der Synthesechemie. Hier sollen in erster Linie Lücken im methodisch-praktischen Bereich und in theoretischer Erklärungsleistung geschlossen werden, indem neue Synthesewege erprobt oder neue Strukturen realisiert werden. Das Interesse besteht hier im experimentellen Probieren, um Wissensdefizite der Forschung zu beheben. Diese Unterteilung, deren maßgebliches Kriterium in der Ausrichtung des Forschungsinteresses besteht, ist jedoch nicht strikt, sondern vielmehr permeabel. Die Permeabilität äußert sich darin, dass Produkte aus der Grundlagenforschung für eine bestimmte Anwendung (beispielsweise als Medikamentenwirkstoff) positiv getestet werden, somit also das Attribut des Anwendbaren erhalten. Umgekehrt kann es passieren, dass Produkte oder Synthesewege sich in der angewandten Forschung als unrentabel und daher trotz eines potentiellen Nutzens als unökonomisch erweisen, der Kapitalertrag ist zu gering.

„Notice that some 95% of all known substances are artifacts, i. e. you cannot find them in nature.”³⁰⁰ Diese hohe Anzahl an Artefakten wurde zu einem Großteil durch Syntheseverfahren in chemischen Laboratorien hergestellt. Neben der Produktivität, die sich hier indirekt durch das Verfahren der Synthese offenbart, wird gleichzeitig deutlich, warum das Syntheselabor als Produktionsstätte von Artefakten so bedeutsam ist. Gleichzeitig wird damit auch die Produktivität der Synthesechemie erkennbar. Die Synthesechemie ist schaffend und aktiv. „Faßt man die experimentelle Tätigkeit des Wissenschaftlers als Arbeit auf, so ergibt sich daraus notwendig die Schlußfolgerung, daß die Resultate der experimentel-

³⁰⁰ Schummer: Challenging Standard Distinction between Science and Technology In: HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry Vol. 3 (1997), S. 83.

len Tätigkeit, die empirischen Tatsachen, nicht einfach vorgefunden, sondern produziert werden.“³⁰¹

Im Folgenden werden die experimentellen Tätigkeiten der Synthesechemie gepaart mit dem Ort ihres Wirkens – dem Syntheselabor – differenzierter dargelegt.

2. Die Vorannahmen und die methodische Herangehensweise

Der Aspekt der Syntheseplanung wurde bereits im Teil I dargelegt. Da dieser jedoch derjenige Aspekt ist, der vor der Schaffung von Artefakten die höchste Geltung für sich beansprucht, wird er im Folgenden wieder aufgegriffen und mit weiteren kontextabhängigen Aspekten der Synthesechemie im Labor verbunden. Diese reichen von der Betrachtung des Labors selber, über die Materialien, Apparaturen und Geräte, sowie die Rolle des Experimentators bis hin zu Theorien und der Entstehung und Zielsetzung von Syntheseprodukten. Es geht darum, das Konglomerat der praktischen Syntheseforschung zu erhellen.

Für die hier anstehende Untersuchung des Syntheselabors wird als Grundlage Literatur aus der Wissenschaftsforschung und Wissenschaftsphilosophie des 20. Jahrhunderts herangezogen. Bereits existierende wissenschaftsphilosophische (und auch wissenschaftshistorische) Studien, die sich mit den *laboratory science*³⁰² – wenn auch in diesem Zusammenhang nur wenig mit der chemischen Wissenschaft³⁰³ – beschäftigen, werden hier verwendet.

³⁰¹ Bayertz: Zum Verhältnis von erkenntnistheoretischen und ontologischen Aspekten der materialistischen Naturdialektik. In: Plath, Sandkühler (Hrsg.): Theorie und Labor (1978), S. 46.

³⁰² Dazu gehören jene Wissenschaften, die ihre experimentellen Studien in einem speziell dafür ausgebauten Forschungsraum, sprich Laboratorium betreiben. Literatur zu dieser Thematik siehe: Knorr-Cetina: Wissenskulturen – Ein Vergleich naturwissenschaftlicher Wissensformen (2002); Köchy, Schiemann (Hrsg.): *Philosophia Naturalis* Bd. 43/1 (2006).

³⁰³ Vgl. Brakel: Über die Vernachlässigung der Philosophie der Chemie. In: Psarros, Ruthenberg, Schummer (Hrsg.): Philosophie der Chemie – Bestandsaufnahme und Ausblick (1996), S. 13 – 26.

Auch die Wissenschaftsforschung, die sich unter der Bezeichnung des *practical turns*³⁰⁴ entwickelt hat, bezieht sich kaum auf die Chemie, obwohl diese Wissenschaft als eine Laborwissenschaft par excellence bezeichnet werden kann. Die Frage danach, welche Gründe diese bisherige Nicht-Beachtung der Chemie haben könnte, werden hier nur peripher behandelt, viel wichtiger für eine Philosophie der Chemie, die auf dem Bestimmungsmerkmal der Synthese basiert, ist an dieser Stelle, den Gegenstand des Syntheselabors und der Praxis selbst zu untersuchen. Das Repertoire an Quellen, das hierzu zu Rate gezogen wird, besteht wesentlich aus den Studien von Bruno Latour, Hans-Jörg Rheinberger und Gaston Bachelard. Der Grund für die Wahl der drei Autoren besteht in der Ausrichtung auf den Laborkontext in den historischen und wissenschaftsphilosophischen Studien von Rheinberger und Latour. Die von beiden vorgenommene Untersuchung biologischer und bio-chemischer Fallbeispiele³⁰⁵ verspricht eine gewisse Verwendbarkeit ihrer Einsichten auch zur Bestimmung des Syntheselabors der Chemie. Die Anwendbarkeit der Ansätze beider Autoren auf die Synthesechemie resultiert aus einer Gemeinsamkeit, die darin gründet, dass die jeweiligen Forschungen sich in dem Bereich von „Arbeitsbank-Laboratorien“³⁰⁶ bewegen. Ebenso bestehen Parallelen bezüglich des jeweiligen Untersuchungsgegenstandes, wenn man ihn unter dem Aspekt des Verhältnisses von Natur und Artefakt, der Frage nach dem Widerstand oder dem Gesichtspunkt des Experimentalsystems betrachtet. Auf diese Aspekte wird in der folgenden Untersuchung noch eingegangen.

Darüber hinaus bildet die Wissenschaftsphilosophie Gaston Bachelards einen wichtigen Anhaltspunkt. Neben den synthetischen Aspekten seiner Wissenschaftsphilosophie³⁰⁷ enthält diese Wissenschaftsphilosophie auch fruchtbare Hinweise für eine Philosophie der Chemie, die auf einer Bestimmung der Synthese basiert. Die Chemie stellt sich für Ba-

³⁰⁴ In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts rücken die praktischen Dimensionen der Wissenschaften stärker in den Fokus von reflexiven Untersuchungen in der Philosophie, Soziologie oder der Geschichtswissenschaft, mit ihren Objekten, Repräsentationen und Instrumenten sowie mit den sozialen Dimensionen der wissenschaftlichen Praxis, speziell mit Laborwissenschaften auseinandersetzt. Literatur zu dieser Thematik: Pickering (Hrsg.): *Science as Practice and Culture* (1992).

³⁰⁵ Das Fallbeispiel von Rheinberger behandelt die Forschungen Paul Charles Zamecniks zur Proteinsynthese in In-Vitro-Systemen. Das Fallbeispiel von Latour handelt von Louis Pasteur und seinen Forschungen zum Milchsäureferment.

³⁰⁶ Vgl. Knorr-Cetina (2002): *Wissenskulturen*, S. 124 ff.

³⁰⁷ Vgl. Teil I: Kap. 2.3.4 Eine methodologische Synthesekategorie und 2.3.5 Eine wissenschaftsdisziplinäre Kategorie. Hier werden die wichtigsten Elemente der bachelardschen Wissenschaftsphilosophie dargelegt.

cheland trotz ihrer starken Praxisausrichtung als eine rationale Wissenschaft dar. Gleichzeitig hebt Bachelard den artifiziellen Charakter der Chemie für sein Konzept von Wissenschaftsphilosophie hervor. Mit Bachelard besteht eine Berücksichtigung theoretischer Aspekte der Chemie, die dennoch stark an die Praxisausrichtung gekoppelt sind, weil sie gerade den Artefaktcharakter fokussiert, der durch die Produktion im Labor zustande kommt. Ein weiterer Ansatz, um den Experimentalkontext für eine Philosophie der Chemie zu nutzen, ist die Berücksichtigung des Faktums, dass die Hervorbringung jener synthetischen Produkte, gerade der nicht-natürlichen, durch das Labor hergestellten, eben nicht durch reine Theorie oder das Jonglieren mit Begriffen und mathematischen Gleichungen hervorbracht werden. Ein in der Chemie vorherrschendes empiristisches Denkkollektiv³⁰⁸ ist also eher geeignet, um den Status der Herstellung von synthetischen Artefakten zu untersuchen, weil somit ein Praxisbezug impliziert wird.

Mit der Wahl dieser drei Sekundärquellen geht gleichfalls die Absicht einher, den Pfad der traditionellen Wissenschaftstheorie – im Sinne positivistischer, neo- oder post-positivistischer Ansätze, die sich ebenso wie deren kritisch-rationalistische Alternativen, durch eine starke Theoriefokussierung auszeichnen – zu verlassen, um Ansätzen das Feld zu überlassen, die sich nicht auf die Formung und das Wesen von wissenschaftlichen Theorien oder die Fokussierung auf ein Sprachsystem beschränkt, sondern die versucht, auf allen Ebenen der wissenschaftlichen Methodologien zu operieren, die die Synthesechemie im Labor ausmacht. In diesem Sinne merkt auch Rheinberger – für die biologische Forschung – an, dass jede experimentelle Forschung mit der Wahl eines Systems beginnt und weniger mit der Wahl eines theoretischen Bezugsrahmens.³⁰⁹ Für eine Experimentalwissenschaft, als welche die gesamte Chemie zu charakterisieren ist, muss dieses erst recht gelten. Hier muss die Strecke eines revolutionären Weges³¹⁰ zurückgelegt werden, der als Zielpunkt eine Philosophie der Chemie anstrebt, die auf dem Konzept der chemischen Synthese ba-

³⁰⁸ Diese Begrifflichkeit ist in Anlehnung an Ludwik Fleck zu verstehen. [Vgl. Fleck (2012): Die Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache, S. 54 ff.]

³⁰⁹ Vgl. Rheinberger (2001): Experimentalsysteme und epistemische Dinge, S. 22.

³¹⁰ Mit dem revolutionären Weg wird auf das im ersten Teil dargelegte Szenario angespielt, bei dem revolutionär, alternative philosophische Positionen und deren Kombination meinen. Ansätze dazu lassen sich in den Sekundärquellen von Bachelard, Latour und Rheinberger finden. Im Kontrast dazu sind mit dem evolutionären Weg die philosophischen Positionen des logischen Empirismus, des kritischen Rationalismus bzw. allgemein die Ansätze der analytischen Philosophie gemeint.

siert. Bachelard, Latour und Rheinberger bilden einen Teil dieses revolutionären Streckenabschnitts für die Untersuchung des Laborkontextes, der aber dann doch verlassen werden muss, um sich abseits des Weges – die alternative Revolution suchend – im Dickicht der philosophischen Reflexion von Synthesechemie einen eigenen Weg zu bahnen. Denn, was bereits Erwähnung fand, ist, dass sich der Laborkontext bei Latour und Rheinberger auf Fallstudien im Rahmen der Biologie bezieht. Die Chemie und damit auch die Synthesechemie stehen in deren Analyse nicht im Mittelpunkt. Das ist der offensichtlichste Grund, warum man den so eingeschlagenen und bereits geebneten Streckenabschnitt für diese Studie der Chemie verlassen muss. Denn die Parameter für den Kontext eines chemischen Syntheselabors müssen andere sein, als die der biologisch-(historischen) Fallbeispiele.

Was soll diese Methodik, die hier gewählte Vorgehensweise, verdeutlichen? Bedenkt man die Feststellung Schummers, dass die chemische Synthese in keines der herkömmlichen wissenschaftstheoretischen Bilder passt und dass dieses Defizit hier durch den Lösungsansatz der Verbindung eines evolutionären und eines revolutionären Weges behoben werden soll, dann besteht die Evolution in diesem Fall in der Übertragung bestehender philosophischer und epistemologischer Laborstudien auf den Fall der Synthesechemie. Die Evolution wird zur Revolution an den Punkten, wo man versucht, die hier gewählten Parameter, den Ort des Labors und die dort ablaufenden Prozesse auf eine eigene Weise zu bestimmen, die chemische Synthese also durch eine anders geartete Konstituierung des Forschungsortes – beides geht wohl Hand in Hand – mitzubestimmen. Die Methode der Synthese ist dabei von ihrem Forschungsort – dem Syntheselabor – abhängig, ebenso das Labor von den jeweiligen chemischen Verfahrensweisen.

Was unterscheidet die Objekte der biologischen Forschung von denen der Synthesechemie? In den heutigen Zeiten der interdisziplinären Forschungsgruppen, der disziplinübergreifenden Methodenarsenale und der *offenen Orte* der Forschung könnte eine Vereinheitlichung von Forschungsfragen und Gegenstandsfeldern in der Chemie und der Biologie naheliegend sein, finden sich doch vielfältige Überschneidungen beider Bereiche, wie die Disziplinen der Biochemie oder der biophysikalischen Chemie deutlich machen. Dennoch ist trotz der Entwicklung der synthetischen Biologie und einer dadurch potentiell beginnenden Überschneidung synthetischer Artefakte aus der Chemie und der Biologie, eine Trennung zwischen biologischen Laboratorien und Laboratorien der Synthesechemie sinnvoll, wie

sich im Nachfolgenden zeigen wird. Die Aspekte, die die Arbeit in Syntheselaboratorien ausmachen, müssen allein schon aufgrund der unterschiedlichen Größe der Organisationseinheiten der Objekte – in der Synthesechemie sind dies Moleküle, in der synthetischen Biologie organismische Einheiten – anders bemessen werden.

Es ist von Vorteil, gerade wenn man sich mit Synthesechemie beschäftigt, die Abläufe in einem Labor zu kennen und zwar nicht nur durch die Reflexion und Untersuchung von Labortagebüchern oder das Beobachten von Forschern im Labor,³¹¹ beides ausgewiesene passive Beschäftigungen mit experimentellen Methoden und dem Laboralltag. Die aktive Tätigkeit im Labor, das Erproben naturwissenschaftlicher Methodik und die damit verbundene Kommunikation wissenschaftsinterner Problematiken und Ziele erlauben bei einer wissenschaftsphilosophischen Reflexion sowohl die Einnahme einer Außenperspektive als auch der Innenperspektive. Die eigene Durchführung experimenteller Techniken und die Anwendung naturwissenschaftlichen Know-Hows erlauben es für die Vertiefung der philosophischen Reflexion Indikatoren zu erstellen, und dieses eben gerade aufgrund der Innenansicht vermittelt der Ausübung wissenschaftlicher Praxis. Es wird hier also gefordert, dass nicht nur der externe Blick des Philosophen auf das Labor entscheidet, sondern quasi ebenso der interne Blick des Synthesechemikers auf die Synthesechemie. Beide, externer und interner Blick sind von Bedeutung, wenn möglich sollten sie synthetisch vereint sein. Letztlich ist diese Forderung der Einnahme beider Blickwinkel eine Forderung nach einer umfassenden Betrachtung und soll Einseitigkeit und Passivität vermeiden.

Diese Untersuchung knüpft wie bereits erwähnt an den in Teil I dargestellten Aspekt des Syntheseplans an. Der Grund dafür, den Syntheseplan von dem übrigen Vorgehen der Synthese im Labor zu trennen, besteht darin, dass der Syntheseplan bereits vorliegen muss, wenn der Chemiker das Labor betritt. Erst die Umsetzung, Verfertigung und Verifizierung des Syntheseplans erfolgt im Syntheselabor. Der Syntheseplan ist die Voraussetzung für die Umsetzung einer Synthese. Nach welchen Kriterien er entworfen wird, wurde bereits geschildert. Mit dem Betreten des Laboratoriums und dem Ziel der Umsetzung des Syntheseplans verblasst auch das Unterscheidungskriterium, ob der Syntheseplan von einem Men-

³¹¹ Literatur zu dieser Thematik: Knorr-Cetina: Wissenskulturen – Ein Vergleich naturwissenschaftlicher Wissensformen (2002); Latour: Die Hoffnung der Pandora (2002).

schen oder von einer Maschine entwickelt wurde, ob also der Chemiker aufgrund von Datenbanken oder Publikationslisten den Synthesepan verfertigt hat oder ob spezielle Computerprogramme der Synthese den bestmöglichen Synthesepan gefunden haben. Denn an diesem Punkt schreitet man in der Syntheseforschung von dem theoretischen Pan zur Praxis, quasi zum *Denken mit den Händen*.³¹² Die Frage, wie die Umsetzung dieses Plans erfolgt, wie die Methode der Synthese in der Praxis angewandt wird und welche Veränderungen der Pan bei der Übertragung in die Praxis erfährt, wird einen Teil der folgenden Untersuchung darstellen.

Zunächst wird jedoch eine Arbeitsdefinition von Syntheselabor gegeben. Dieses ist notwendig, um das Spezifikum des Syntheselabors zu akzentuieren und gleich zu Beginn zu verdeutlichen, wie sich das Syntheselabor der Chemie von anderen Formen von Laboratorien abgrenzt. Hier ist vor allem der Aspekt des Konstruierens, des Schaffens von immer komplexer werdenden molekularen Einheiten hervorzuheben.

Der Definition folgt dann eine Aufzählung und Erklärung spezifischer Parameter, die die Forschung im Syntheselabor anleiten. Diese Parameter setzen sich zusammen aus: Offenheit, Dynamik, Kreativität, Funktionalität, Pragmatik, Intuition, Variation/Varianz, Komplexität und Ungewissheit.

Eine Problematik dieser Liste von Parametern ist, dass es Überschneidungen bei der inhaltlichen Darstellung der einzelnen Parameter gibt. Denn oftmals sind Handlungen und das Geschehen in einem Syntheselabor zu komplex, um alle Aspekte der Syntheseforschung vollständig voneinander separieren zu können.

Mit Hilfe dieser Parameter wird schließlich versucht, auf die Beziehung von Subjekt und Objekt in der Synthesechemie einzugehen.

³¹² Dieses „Denken mit den Händen“ wird ebenfalls von Kovac aufgegriffen, als er feststellt: „[...] *chemists must „think with their hands“ more than other scientists.*“ [Kovac: Theoretical and practical reasoning in chemistry. In: Foundations of Chemistry Vol. 4, Is. 2 (2002), S. 164.]

3. Eine Definition des Syntheselabors

Die Einschränkung, die gleichzeitig mit einer Definition von Syntheselabor unternommen wird, ist, dass eine Verallgemeinerung von Syntheselabor sinnlos ist. Zu groß sind innerhalb des Bereichs der Synthesechemie die Facetten, bezüglich der Forschungsziele, der Ausstattung, der Produktionsmaßstäbe etc. und somit den Wirkbereich des Labors direkt betreffen. Damit einhergehend kann man genau genommen differenzieren, zwischen den diversen chemischen Fachgebieten, wie organisches Syntheselabor, metallorganisches Syntheselabor, makromolekulares Syntheselabor, anorganisches Syntheselabor etc. Ein Syntheselabor ist also immer ein Ort *von etwas*. Dieses *von etwas* konstituiert sich also aus subdisziplinären Spezialgebieten, die unter der Bezeichnung der Synthesechemie zusammengefasst werden können. Nimmt man den Produktivitätsmaßstab als Kriterium, wäre das Syntheselabor in erster Linie eine Produktionsstätte der organischen Chemie. Man kann nämlich beispielsweise bei einer Zweiteilung in Organik und Anorganik in Bezug auf die Syntheseaktivität feststellen, dass die Relevanz der Synthese und die Produktivität neuer Substanzen in der organischen Chemie ab spätestens 1980 höher ist, als in der Anorganik.³¹³ Diese Tendenz hat jedoch einen eher allgemeinen Charakter und ist nicht weiter spezifiziert. Das Syntheselabor ist also ein konstruierter Gegenstand. Der Plural Syntheselaboratorien zeigt die Vielschichtigkeit von praktischen Handlungsorten der Synthesechemie. Konkrete Gegenstände, Arbeitsabläufe, Vorgehensweisen, forschungsrelevante Besonderheiten etc. können bei diesem konstruktiven Charakter festgestellt werden. Im Folgenden wird aus Gründen der Einfachheit dennoch von Syntheselabor gesprochen, was das Kollektiv der Syntheselaboratorien aller chemischen Subdisziplinen meint. Dieses gilt auch für folgende Definition des Syntheselabors.

Die Definition des Syntheselabors lautet: Ein chemisches Syntheselabor ist der Ort, an dem sich das Materiell-Mögliche konstituieren lässt.

Diese Definition für das chemische Syntheselabor knüpft an die von Joachim Schummer geprägte Formulierung an, die die moderne präparative Chemie als die Wissenschaft vom

³¹³ Vgl. Schummer: *Scientometric Studies on Chemistry I: The Exponential Growth of Chemical Substances, 1800 – 1995*, *Scientometrics* Vol. 39, Nr. 1 (1997), 132 ff.

Reich der möglichen Stoffe definiert.³¹⁴ Das Reich der möglichen Stoffe ist von Schummer eng an die Methode des Synthetisierens gebunden. Die zur Realisierung gebrachten Stoffe fügen sich weiterhin in ein relationales Netz ein, wodurch sich die chemische Ordnung der Stoffe konstituiert.³¹⁵ Die Theorienbildung der Wissenschaft vom Reich der möglichen Stoffe erfolgt über die Bedingungen der Molekülstrukturebene in ständiger Rückübersetzung und Kontrolle mit den experimentellen Möglichkeiten.³¹⁶ Nach diesem Ansatz ist die chemische Theorie durch die stetig sich erweiternde Kenntnis auf der Molekülstrukturebene im Rahmen ihrer experimentellen Möglichkeiten an den Ort des Syntheselabors gekoppelt, der sich ja nach der hier vorgenommenen Definition durch eine Konstituierung des Materiell-Möglichen auszeichnet. Das theoretische Wissen hängt in der Chemie mit der experimentellen Methode eng zusammen, beide können durch die Verschiebung der Grenzen des Materiell-Möglichen das chemische Wissen erweitern. Der Ort der Möglichkeit der Erweiterung chemischen Wissens ist das Syntheselabor.

Diese Definition knüpft ebenfalls an die Aussage Berthelots an, die (Synthese-)Chemie schaffe sich ihr Objekt selbst und berücksichtige in erster Linie den Aspekt der Erzeugung von nicht-natürlichen chemischen Verbindungen.³¹⁷ Obwohl die hier formulierte Definition vorrangig für das moderne Syntheselabor gilt, lässt sich mit Berthelots Einsicht auch die Konstanz dieser Charakteristiken – der Objekterschaffung – bei der chemischen Synthese erkennen.

Die Bestimmung von dem Syntheselabor muss neben der Methode der Synthese allerdings weitere experimentelle Tätigkeiten und Operationen umfassen, die ebenfalls den Syntheseprozess tragen. *Synthese* bezeichnet nur die wichtigste Tätigkeit im Syntheselabor, bildet aber gleichzeitig einen Oberbegriff für alle anderen experimental-technischen Verfahren unter diesen Forschungsbedingungen. Wie es folgend anklingt, sind die Tätigkeiten, die unter dem Begriff Syntheselabor zusammengefasst werden, vielfältig und facettenreich: „*True, chemists continue performing actual material operations on substances. Besides the*

³¹⁴ Vgl. Schummer: Die Rolle des Experiments in der Chemie. In: Janich, Psarros (Hrsg.): Philosophische Perspektiven der Chemie (1994), S. 47.

³¹⁵ Vgl. Ebd., S. 45.

³¹⁶ Vgl. Ebd., S. 47.

³¹⁷ Vgl. Teil II: Kap. 4.2 Die chemische Synthese bei Marcellin Berthelot.

*most important, their synthesis, they also do their isolation, purification, or yet various modifications aiming at improving, say crystallisation, or, in another sphere, that of biological activity, the ability to serve as an efficient drug.*³¹⁸

Die hier getätigte Definition beinhaltet noch keine Parameter, durch die das Syntheselabor differenzierter charakterisiert werden kann.³¹⁹ Sie bezieht sich vielmehr auf die charakteristischste Eigenschaft der Synthesechemie bzw. auf den Ort, an dem diese charakteristischste Eigenschaft praktiziert wird. Unter die Definition lassen sich diverse Parameter subsumieren. Sie lässt Raum für differenziertere Parameter, leitet die Untersuchung aber in die Richtung des Entdeckens, Kreierens und Konstruierens, welche unwiderruflich mit dem Syntheselabor verbunden ist.

„Experimentell gewonnene Tatsachen haben – zumindest in ihrer schließlich resultierenden Form – vorher gar nicht existiert, sondern wurden im Experiment produziert. Hier zeigt sich, daß die Wissenschaft nicht nur materiell bereits existierende Sachverhalte zu finden hat, sondern schöpferisch neue Möglichkeiten erschließt, neue Tatsachen schafft, die von der Natur nicht spontan hervorgebracht wurden. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die Produktion von Naturgesetzen an die objektiv-real existierenden Naturgesetze gebunden bleibt; die Produktion von Tatsachen ist keine Produktion von Naturgesetzen [...].“³²⁰

Dieses bildet eine Einschränkung des experimentellen Arbeitens, der sich das Syntheselabor nicht entziehen kann und somit eine Einschränkung des Materiell-Möglichen ist. Die Beschränkung durch die Naturgesetze muss auch in der Definition von Syntheselabor Berücksichtigung finden. Durch den Begriff der Möglichkeit ist diese Einschränkung versteckt bereits enthalten. Das Materiell-Mögliche erfährt durch die Naturgesetze Begrenzung, schließlich funktioniert die chemische Synthesemethode nicht als willkürliches Umgruppieren und Zusammenfügen von Atomen oder Molekülen, sondern stellt vielmehr das

³¹⁸ Laszlo: Chemical Analysis as Dematerialization. In: Hyle – An International Journal for the Philosophy of Chemistry Vol. 4, No. 1 (1998), S. 35.

³¹⁹ Unter Parameter werden hier kennzeichnende Größen verstanden, mit deren Hilfe Aussagen über die Art der experimentellen Arbeit im chemischen Syntheselabor, sowie Motivationen und Motive dieser Arbeit aufgezeigt werden sollen.

³²⁰ Bayertz: Zum Verhältnis von erkenntnistheoretischen und ontologischen Aspekten der materialistischen Naturdialektik. In: Plath, Sandkühler (Hrsg.): Theorie und Labor (1978), S. 47.

Wissen um die Möglichkeiten diverser Wege des Zusammensetzens dar, was auch die Verfahrensweisen im Syntheselabor anleitet.

4. Relevante Parameter der Syntheseforschung im Laborkontext

Im Folgenden sollen nun für die Synthesechemie in der Praxis und für das Syntheselabor spezifische Parameter, die die Forschung begleiten und anleiten, aufgezeigt werden. Gleichfalls sollen die Parameter dabei helfen, Tendenzen zu erkennen, nach denen das Syntheselabor zu charakterisieren ist und die der philosophischen Reflexion einen begrifflichen Zugang zu ermöglichen. Es ist der Versuch einer differenzierten Darstellung der chemischen Synthesepaxis der Gegenwart.

4.1 Offenheit

Das Syntheselabor ist ein Ort, der sich durch Offenheit auszeichnet. Offenheit meint in diesem Zusammenhang zunächst, dass eine Transparenz der Forschung gewährleistet ist. Offenheit ist also eine epistemische oder methodologische Kategorie und keine räumliche. Laboratorien sind weiterhin räumlich geschlossene Orte, die die Prägnanz ihrer Fertigung gerade durch diese Abgeschlossenheit gewinnen. Darüber hinaus werden diese räumlich fixierten Bedingungen dadurch aufgehoben, dass ihre Erkenntnisse und Techniken prinzipiell an jedem Ort gelten sollen.³²¹ Das bedeutet eine Offenheit gegenüber Kooperationen mit anderen Forschungsgruppen, die sowohl disziplinär als auch interdisziplinär realisiert werden kann.

³²¹ Robert Kohler spricht in diesem Zusammenhang auch von Laboratorien als „placeless places“. Diese Bezeichnung spielt auf die Bedingung an, dass die in einem Labor produzierten Ergebnisse und Erkenntnisse in jedem anderen Labor reproduzierbar sein müssen. [Vgl. Kohler: Labsapes: Naturalizing the Lab. In: Science History Publications Ltd. (2002), S. 473 – 501.]

Die Offenheit macht den Forschungs- bzw. Laborstil eines jeden Laboratoriums zugänglich für die Wissenschaftsgemeinde. Nur durch diese Offenheit kann ein Labor konkurrenzfähig sein, denn sie erlaubt die Kommunikation über Wissen und damit die Verifikation der im Labor produzierten Ergebnisse und des dadurch generierten Wissens.

Die Offenheit des Syntheselabors existiert also zum Ersten gegenüber Personen und der scientific community im Sinne des Austauschs und der Kommunikation über wissenschaftliche Verfahren und Forschungsergebnisse.

Zum Zweiten existiert eine interdisziplinäre Offenheit, was bedeutet, die Synthesechemie erweist sich als offen für Einflüsse aus anderen Disziplinen, wie beispielsweise der Physik. Dieses kann man daran erkennen, dass physikalische Messmethoden, wie NMR- oder IR-Spektroskopie, in der Synthesechemie bedeutsam geworden sind und die Verfahren der Synthesechemie unterstützen.

Zum Dritten muss eine Offenheit gegenüber Forschungsergebnissen gewährleistet sein, damit diese für den wissenschaftlichen Diskurs nachvollziehbar sind und reproduziert werden können. Durch die Offenheit findet eine Etablierung der Forschung und des Laborstils statt.

Die Offenheit kann jedoch andererseits nicht vollkommen sein, denn durch eine vollkommene Transparenz der im Labor angewandten Methoden, des kompletten Laborstils, in allen Einzelheiten und hinsichtlich aller Einzelheiten der Laborjournale, würde das Labor nicht mehr konkurrenzfähig sein. Vollkommene Offenheit würde ein Labor in die Bedeutungslosigkeit stürzen, es überflüssig machen. Somit ist Offenheit einerseits eine wichtige Voraussetzung für Kommunikation, ein zu umfängliches Sich-Öffnen birgt jedoch andererseits das Risiko der Irrelevanz des einzelnen Laboratoriums.

4.2 Systematik

Die Synthesechemie sowie der Vorgang der Synthese sind systematisch aufgebaut. Das bedeutet, das Verfahren, nach dem in der Synthesechemie vorgegangen wird, folgt gewissen Ordnungsprinzipien. Es ist ein methodisches Verfahren.

Das interne Ordnungsprinzip besteht aus dem, vor der praktischen Umsetzung der Synthese entworfenen Synthesepfad. Hier wird durch das Wissen um die möglichen Interaktionen und Reaktionsfähigkeiten funktioneller Gruppen und um die experimentellen Bedingungen, unter denen sich molekulare Einheiten zusammenfügen, der jeweilige systematische Ablauf für die praktische Umsetzung ausgearbeitet.

Diese Systematik ist jedoch keineswegs geschlossen. Denn würde sie als geschlossen gelten, dann würde eines der Hauptcharakteristiken dieser Systematik unberücksichtigt bleiben: Durch die Entwicklung neuer synthetischer Strukturen werden die Klassen funktionaler Gruppen stetig erweitert. Der Problematik, dass man in der Folge daran nicht gleichzeitig ihre Systematik jeweils komplett verändern muss, bzw. immer neue Stoffgruppen konstituieren muss, entgeht man dadurch, dass man Verbindungsklassen nach ihren chemischen Funktionalitäten ordnet. Die Kategorisierung aller chemischen Verbindungen nach ihrer Funktionalität (d. h. des Aufbaus bestimmter molekularer Strukturelemente und deren Reaktionsverhalten) erzeugt jene Systematik in der Synthesechemie, die durch ihre Offenheit gerade das Einbinden neuer Substanzen ermöglicht.

Nach Rheinberger sind die Arbeitseinheiten der Forschung die von ihm so betitelten Experimentalsysteme.³²² In diesen sind Wissensobjekte und die technischen Bedingungen ihrer Generierung miteinander verwoben. Diese Experimentalsysteme müssen, wenn sie zur Produktion von wissenschaftlichen Neuerungen beitragen sollen, zur differentiellen Reproduktion befähigt sein. In Experimentalsystemen werden die Signifikanten der Wissenschaft produziert, die ihre Bedeutung in Repräsentationsräumen entfalten. Es werden also wissenschaftlich bedeutende Zeichen generiert, die nach außen – d. h. außerhalb des Labors – durch Kontextualisierung ihre Wirkung zeigen. Einzelne Experimentalsysteme werden schließlich in größere Experimentalzusammenhänge oder Experimentalkulturen hineingestellt.³²³ Inwieweit hilft eine Klassifizierung der chemischen Synthese als Experimentalsystem, selbiges im Kontext seines Entstehungsortes – dem Syntheselabor – zu verorten? Auch in der Synthesechemie werden neue chemische Strukturen oder Verfahren zu Wissensobjekten, die in einem Experimentalsystem mit den technischen Bedingungen ihrer Entste-

³²² Folgende Literatur von Rheinberger behandelt den Kontext der Experimentalsysteme: Experimentalsysteme und epistemische Dinge (2001), Epistemologie des Konkreten (2006), Iterationen (2005).

³²³ Vgl. Rheinberger (2001): Experimentalsysteme und epistemische Dinge, S. 9 f.

hung verwoben sind. Denn die chemische Synthese erschafft durch den Faktor von Technik im planmäßigen Experiment ein Wissen um dieses Experiment und seine Ergebnisse.

Rheinberger belegt sein Konzept der Experimentalsysteme ausführlich mit dem historischen Fallbeispiel der Proteinsynthese im Reagenzglas. Diese Studie Rheinbergers zur Proteinsynthese könnte als Ansatzpunkt dazu dienen, um das Konzept der Experimentalsysteme auf die Untersuchungen zur chemischen Synthese, sowie den damit verwobenen Kontext – Materialien, Labor und methodische Herangehensweisen – zu übertragen, weil sich beide mit der methodischen Verfahrensweise der Synthese beschäftigen. Doch der Einwand der gegen eine vollständige Übertragung von Rheinbergers Konzept auf die Untersuchungen der chemischen Synthese vorgebracht werden muss, resultiert aus einer Berücksichtigung der Bedingungen der jeweiligen Forschungsgegenstände in ihren Details. Mit der Proteinsynthese bewegt man sich an einer Schnittstelle zwischen biologischem und chemischem Wissen. Das bedeutet, man befindet sich hier im interdisziplinären Forschungsfeld, was einerseits für die Modernität des Konzepts der Experimentalsysteme spricht, andererseits jedoch soll in dieser Untersuchung die Berücksichtigung der chemischen Synthese Priorität behalten. Chemische Synthese im Labor und Proteinsynthese unterscheiden sich allein schon in Bezug auf ihren Komplexitätsgrad, der bei der Proteinsynthese aufgrund ihres Potentials der Selbstorganisation von Strukturen deutlich höher ist. Nach Mittaschs bereits Anfang des 20. Jahrhunderts angestellten Reflexionen zur chemischen Katalyseforschung könnte man chemische und Proteinsynthese in Bezug auf den Ganzheitsaspekt in *Chemische Ganzheit* und *Organische Ganzheit* unterteilen. Zwar fasst Mittasch dabei beide Ganzheitsbereiche unter der Beschreibung: Das Ganze ist mehr und anders als die Summe seiner Teile, legt aber dennoch eine Hierarchie der Komplexität nahe, die dadurch begründet wird, dass bei der organischen Ganzheit das Moment der Belebtheit hinzutritt.³²⁴ Dieser Aspekt der Belebtheit, den Mittasch anführt, unterscheidet den Forschungsgegenstand der chemischen Synthese von der Proteinsynthese und verhindert auch eine komplette Übereinstimmung der vorliegenden Untersuchung mit Rheinbergers Studien. Deshalb werden die Experimentalsysteme zwar als wichtiger Wegweiser zur Bestimmung und Verortung der Synthese im wissenschaftlichen Gefüge verwendet, führen jedoch nicht an das Ziel. Unbe-

³²⁴ Vgl. Mittasch (1948): Von der Chemie zur Philosophie, S. 302 f.

nommen davon gelten einige der von Rheinberger aufgestellten Charakterisierungspunkte der Experimentalsysteme allerdings auch für chemische Syntheseexperimente.

Die technischen Bedingungen eines Experimentalsystems zeichnen sich dadurch aus, dass sie disziplinäre oder lokale Traditionen verkörpern, sei es durch Messgeräte oder durch Bevorzugung spezifischer Materialien, laborspezifischer Praktiken etc. Diese technischen Bedingungen bilden die Umgebung für ein Experimentalsystem und begrenzen es zugleich.³²⁵ Die chemische Synthese bzw. die durch sie hervorgebrachten Produkte sind offensichtlich an den Ort ihrer Entstehung – an das Labor – gebunden, können teilweise nur dort existieren, weil sie sich beispielsweise durch Oxidationsreaktionen mit Luftsauerstoff oder unter dem Einfluss von Raum- bzw. Außentemperaturen zersetzen würden. Dieses zeigt die Abhängigkeit synthetischer Produkte von den technischen Bedingungen, die sie einerseits formen und hervorbringen, die andererseits jedoch ihr Dasein in Abhängigkeit der Technik betonen.

Eine weitere Parallele zwischen der chemischen Synthese und einem Experimentalsystem existiert hinsichtlich des Aspekts, dass beide keine Anordnungen zur Überprüfung und Erteilung von Antworten darstellen, sondern sich eher durch die Materialisierung von Fragen konstituieren.³²⁶ Bedenkt man, dass das Syntheseprodukt erst in seiner Entstehung ein Gegenstand der Forschung werden kann, dann ist die chemische Synthese auch mit Blick auf diesen Punkt als ein Experimentalsystem aufzufassen.

Das System bzw. die Systematik der Synthesechemie zeigt nicht nur eine Erweiterung in der Breite. Das Einfügen neuer chemischer Substanzen in das Netzwerk der chemischen Strukturen ermöglicht gleichfalls durch das Experiment ein Operieren in die Tiefe. Die Begriffe von Tiefe und Breite sind in den Studien Bachelards zu finden. „Denn schließlich bedeutet die Tiefe der Objektivität, wie die zeitgenössische Wissenschaft sie erforscht, bei jeder Entdeckung eine Ausweitung der Rationalität. Die Erklärungskraft nimmt zu. Je tiefer das Experiment vordringt, desto systematischer organisiert sich das Wissen.“³²⁷ Als Tiefe kann man nach Bachelard eine zunehmende Abstrahierung, Mathematisierung sowie Tech-

³²⁵ Vgl. Rheinberger (2001): Experimentalsysteme und epistemische Dinge, S. 29.

³²⁶ Vgl. Ebd., S. 25.

³²⁷ Bachelard (1993): Epistemologie, S. 82.

nisierung des experimentellen bzw. naturwissenschaftlichen Wissens verstehen. Als Breite gilt in diesem Zusammenhang ein ebenfalls experimentelles Wissen, was jedoch nicht in Bezug auf die Abstrahierung, Mathematisierung oder Technisierung gesteigert wird, sondern Phänomene untersucht, die in Bezug auf die drei genannten Kriterien auf einem Niveau verbleiben. Nach Bachelard ist diese Ausweitung der Rationalität durch die fortlaufende Technisierung des Experimentes gewährleistet, die ebenfalls eine bedeutende Rolle bei chemischen Syntheseexperimenten spielt. Durch die Vernetzungen der Forschungsprozesse, die durch das immer tiefergreifende Wissen erzeugt werden, weitet sich die Systematik in der Synthesechemie aus. Die Tiefe bestätigt die Systematik, durch die Systematik wird die Tiefe gefördert, in der die Forschung arbeiten kann. Diese Tiefe, in der die Naturwissenschaft sowie die Synthesechemie hier operiert, ist eine Tiefe der Technik bzw. eine Tiefe, die durch Technik geprägt ist.

Letztlich gibt es neben dem oben beschriebenen internen Ordnungsprinzip auch ein externes, was den systematischen Charakter der Synthesechemie in einen weiteren Rahmen einbindet. Unter dem externen Ordnungsprinzip sind soziale Strukturelemente der Forschung in der Synthesechemie zu verstehen, wie Arbeitsteilung und hierarchische Organisationsformen von Personengruppierungen.³²⁸ Auch im Syntheselabor unterweist der Wissende den Handlanger. Der Professor, der Arbeitsgruppenleiter, der erfahrene Synthesechemiker, entwirft durch sein theoretisches sowie praktisches Wissen den Syntheseplan; der Laborant, der Lernende, führt diesen Plan aus. Der Wissende befiehlt, der in der Praxis Bewanderte setzt den Befehl um. Diese Zweiteilung lässt sich sicher auch im Syntheselabor finden und müsste im Rahmen soziologischer Studien differenzierter untersucht werden.

³²⁸ Siehe zu dieser Thematik die ausführliche Studie von Karin Knorr-Cetina: Die Fabrikation von Erkenntnis (2002). Hier werden das soziale Gefüge und die Hierarchisierungsprozesse in Experimentalwissenschaften untersucht.

4.3 Dynamik

Ein weiterer Parameter, der der Syntheseforschung zu eigen ist, lässt sich unter dem Begriff der Dynamik fassen. Unter Dynamik wird hier alles gefasst, was einen Wissenschaftszweig, eine Methode, das Wissenschaftsgefüge einer Disziplin nicht erstarren lässt, also in Bewegung hält.

Der Synthesevorgang selber besitzt eine implizite Dynamik. Die Synthese bzw. die in einer chemischen Synthesereaktion interagierenden Substanzen sind einer ständigen Veränderung unterworfen. Angesichts dieser Bedeutung von Wandelbarkeit und Veränderung hat für die Synthesechemie stärker das Werden als das Sein eine Bedeutung. Denn genau darum geht es im Prozess der Synthese: Die ständige Umwandlung der Stoffe geschieht gerade durch die Methode der Synthese. Die Methode der Synthese beinhaltet den Aspekt des Werdens und somit auch die Dynamik, die dieses Werden antreiben muss.³²⁹ Die Eigendynamik des Reaktionsprozesses ist auf der Molekülebene ungerichtet. Bei geeigneten energetischen Bedingungen kann die Reaktion prinzipiell in beide Richtungen erfolgen oder eben nicht erfolgen. Der Chemiker versucht jedoch diese Eigendynamik zu nutzen, um ihr eine eindeutige Richtung zu geben, um die gewünschte neuartige Verbindung zu produzieren. Das heißt, die moleküleigene Dynamik wird vom Chemiker genutzt, indem er ihr eine für ihn adäquate Richtung verleiht. Auch das Labor gibt dieser Dynamik eine Richtung, indem es sie im Sinne der im Labor vorhandenen technischen Möglichkeiten, d. h. die dort vorhandenen Instrumente, Apparaturen sowie den Laborstil nutzt.

Eine solche Betonung der Dynamik der Forschung findet sich auch bei Bachelard, für den das wissenschaftliche Denken in einer Rektifizierung des Wissens besteht.³³⁰ Dieses beinhaltet die Vorannahme einer Dynamik des Geistes, die diese Rektifizierung des Wissens überhaupt erst ermöglichen kann. Für die Synthesechemie kann diese Rektifizierung im Auffinden eines neuen Syntheseweges oder einer neuen Substanz bestehen, denn beides erweitert das Wissen und gibt Anlass zu einer Erweiterung der bis dahin bestehenden wissenschaftlichen Klassifizierung der Synthesechemie. Der neue Syntheseweg und die Sub-

³²⁹ Dies beinhaltet die gegenteilige Annahme, dass Statik für die Forschung Stillstand bedeutet.

³³⁰ Vgl. Bachelard (1988): *Der neue wissenschaftliche Geist*, S. 173.

stanz sind dazu in der Lage, das bisher gesicherte Wissen zu verwerfen. Die Chemie im Allgemeinen entgeht den Gefahren, die die ständige Option der Verwerfung bestehenden Wissens beinhaltet dadurch, dass sie sich im Laboralltag eher an allgemeiner verfassten Faustregeln, wie „Gleiches löst sich in Gleichem“ orientiert und nicht an exakten mathematischen Ergebnissen.

Bachelard propagiert auch, dass Konzepte und Methoden von der Erfahrung abhängen. Somit muss sich das wissenschaftliche Denken mit einer neuen Erfahrung verändern.³³¹ Die Synthese als wissenschaftliche Methode der Chemie ist also mit jeder neuen Verbindung, mit jedem neuen Syntheseweg einem Wandel ausgesetzt, der in der Folge auch das wissenschaftliche Denken verändern könnte. Demnach existiert ebenfalls eine Dynamik in der Rektifizierung der wissenschaftlichen Erfahrung, was wiederum eine Dynamik des Geistes voraussetzt. Für die Synthesechemie ist dies ein wichtiges Kriterium.

Speziell die Synthesechemie schafft sich ihr Objekt selbst, kann also vom Beginn an nicht allein auf eine gerichtete Beobachtung ihres Forschungsobjektes ausgehen. *„Allein die Vernunft verleiht der Forschung Dynamik, denn nur sie führt über die alltägliche (unmittelbare und trügerische) Erfahrung hinaus zur (vermittelten und fruchtbaren) wissenschaftlichen Erfahrung.“*³³² Die Dynamik setzt also dort ein, wo es darum geht, die Idee einer neuen chemischen Verbindung oder eines Syntheseweges zu produzieren, also in der theoretischen, potentiellen Dynamik eines Synthesepfades. Sie setzt sich dann jedoch in der Umsetzung dieses Synthesepfades fort, indem die physikalische Dynamik der Moleküle nun zielgerichtet genutzt wird.

Ein weiterer Punkt die Dynamik betreffend ist, dass selbige dem Fortschreiten in der Praxis zu eigen sein muss. Bei Latour heißt es: *„Es führt nie sehr weit, wenn man sagt, ein Wissenschaftler nehme einen Standpunkt ein, denn sobald er ein Instrument anwendet, geht er sogleich zu einem anderen über. Wissenschaftler stehen nie auf ihrem Standpunkt.“*³³³ Die Dynamik kann so auch in dem Wechsel des Standpunktes der Wissenschaftler bestehen. Durch die Anwendung neuer Techniken, Methoden oder Instrumente in der Synthesechemie ist der methodologische Standpunkt variabel, denn neue Instrumente etc. können ande-

³³¹ Vgl. Bachelard (1988): Der neue wissenschaftliche Geist, S. 68.

³³² Bachelard (1987): Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes, S. 51.

³³³ Latour (2002): Die Hoffnung der Pandora, S. 81.

re, neue Ideen, die zu neuen Ergebnissen führen, entstehen lassen. Diese Ideen der Synthesechemie sind gerade hier so wichtig, da sie ihren Gegenstand konstruieren und immer wieder aufs Neue konstruieren müssen.

*„Wo werden wir [...] die Fakten finden, die nach unserer Meinung auf den nicht-lavoisierschen Aspekt der verallgemeinerten Chemie verweisen? Beim Begriff der Dynamisierung der chemischen Substanz. Wenn wir diese Dynamisierung näher ansehen, werden wir feststellen, dass die lavoisiersche Chemie des vergangenen Jahrhunderts einen wesentlichen Aspekt des chemischen Phänomens beiseite gelassen und sich so auf eine besondere Phänomenologie eingelassen hatte. Diese besondere Phänomenologie musste sicherlich zunächst einmal erforscht werden. Sie muß jetzt aber in eine allgemeinere Phänomenologie und folglich in eine nicht-lavoisiersche Chemie eingegliedert werden.“*³³⁴ Der nicht-lavoisiersche Aspekt der Chemie ist hier der synthetische Aspekt. Die Methode der Synthese konstruiert erst die Substanzen. Die Phänomenologie der lavoisierschen Chemie konstruierte die Phänomene nicht, sondern fand sie vor und analysierte sie (wie im Fall Lavoisiers den Sauerstoff), wodurch die Phänomenologie dieser Chemie, eine Phänomenologie der vorgefundenen Objekte war, die nur im vorwissenschaftlichen Denken Bestand haben können. Dieses ist die bachelardsche Argumentation. Die Dynamisierung der chemischen Substanz zeigt sich darin, dass Substanzen als chemische Strukturen erkannt werden, die wiederum durch das Umstrukturieren von funktionellen Gruppen variabel und somit zielgerichtet verändert, sprich dynamisiert werden können. Für den Ort des Syntheselabors bedeutet dies wiederum, dass seine Einrichtung, das apparative Equipment und die dort verwendeten Materialien auf die Dynamisierung der Struktur von Substanzen, die synthetisch entstehen sollen, ausgerichtet sein müssen. Mit Bachelard lässt sich hier auch zusätzlich eine Dynamik in der Chemiehistorie erkennen, die er mit der Veränderung der Phänomenologie in der Chemie begründet.

³³⁴ Bachelard (1980): Die Philosophie des Nein, S. 80.

4.4 Kreativität

Wenn man den Begriff der Kreativität auf die Synthesechemie und das Syntheselabor anwendet, dann muss deutlich sein, was unter Kreativität verstanden werden soll. Kreativität meint in diesem Fall den Schaffensdrang, strukturelle Vielfalt zu erzeugen. In diesem Sinne ist Kreativität eine Motivation oder eine Fähigkeit, die zur Umsetzung einer Motivation etwas Neues schaffen zu wollen, notwendig ist.

Kreativität setzt auch im experimentellen Prozess der Synthese an, ist also nicht nur Voraussetzung dafür, dass ein Experimentalkontext entsteht bzw. das Experiment durchgeführt wird. Kreativität ist auch dann von Bedeutung, wenn es um das Überwinden von experimentellen Widerständen geht.³³⁵ Die Widerstände lassen die Kreativität erst in den Verlauf der Synthese einfließen, denn dort, wo Widerstände entstehen, müssen Alternativen gefunden werden. An der Arbeitsbank des Laboratoriums wird somit durch die Offenheit, Alternativen der Umsetzung in den Forschungsprozess mit einfließen zu lassen, diesen Widerständen entgegengewirkt, indem die Praxis über Umwege, die sich auf Kreativität gründen, ihre Ziele zu erreichen sucht. Diese Abweichungen von einer im Voraus erdachten Versuchsvorschrift können in einer neuen Zusammenführung der Reaktanden oder in der Wahl eines zuvor als ungeeignet erachteten Lösungsmittels bestehen etc. Es sind diese Abweichungen, diese Non-Stringenz, die die Praxis der Synthesechemie vorantreiben und somit ein Fortschreiten der Forschung erlauben.

„It has been pointed out that the distinguishing feature of (pure) chemistry is that it creates the objects it deals with. This is of course true. However, that is not tantamount to reducing chemistry to a moulding technique through which matter would be freely manipulated at the molecular level. Assembling a molecule is first of all a cognitive act. Any chemical synthesis bears evidence of a formal disposition inherent in matter independently of human thought or will. A molecule can at the most be ‘invited’ to follow a given reaction pathway, i.e. placed under a set of conditions known to predispose other compounds to that process, but not ‘forced’ to undergo it. The fact that chemical compounds do not always react according to our hypotheses is in part attributable to the simplified nature of current chemi-

³³⁵ Vgl. Teil I: Kap. 6. Resümee.

*cal representations. Were such representations more sophisticated, we would certainly be better at devising the experimental conditions by choosing, for example, a better catalyst.*³³⁶ Der Chemiker kann die Widerstände, die die Materie ihm entgegenbringt, überwinden, indem er neue Reaktionswege, andere Materialien und neue Synthesewege erprobt, was gleichzeitig sein Wissen über chemische Strukturen erweitert. Darüber hinaus können mit einer Zunahme des Wissens über die chemische Synthese die experimentellen Parameter der Synthese besser, d. h. signifikanter gewählt werden, um die Substanzen zu ihrem Entstehen zu überreden.

*„Die chemische Formel ist ein rationales Substitut, das ein klares Inventar von Möglichkeiten für das Experiment gibt. So gibt es chemische Experimente, die sich a priori als unmöglich darbieten, weil die chemischen Formeln sie ausschließen. Im Bereich der Phänomene würden die Eigenschaften der Substanzen solche Ausschließungen in keiner Weise anzeigen. Umgekehrt gibt es Experimente, auf die man nie verfallen wäre, wenn man sie aufgrund der chemischen Formeln nicht a priori als möglich vorausgesehen hätte. Man räsontiert über eine chemische Substanz, sobald man eine Formel von ihr aufgestellt hat.*³³⁷

Bachelard platziert mit dieser Überlegung quasi ein rationales Element in das chemisch-synthetischen Experiment. Diese Rationalität in der Synthese bezieht sich auf das Generieren von Strukturformeln und dem Syntheseplan. Die Rationalität der Planung im Sinne eines methodischen Logos kann auch von Kreativität, im Sinne eines freien Umgangs mit dieser Methode, begleitet werden. Dabei darf man den Aspekt der Kreativität nicht als rein intuitiven und irrationalen Charakter missverstehen, denn Kreativität und Rationalität können bei der chemischen Synthese Hand in Hand gehen, sich auf sinnvolle Weise ergänzen und im Sinne eines einheitlichen, gezielten Schaffensdrangs verstanden werden. Kreativität im Sinne der Unterstützung von Rationalität zu verstehen bedeutet, sie als Aspekt der methodischen Überwindung von experimentellen Widerständen bei der Synthese aufzufassen. Die Erfindungsgabe bei der chemischen Synthese bezieht sich dann darauf, den Pfad konventioneller Synthesevorschriften zu verlassen und durch – auch unkonventionelle – Ver-

³³⁶ Tontini: On the Limit on chemical Knowledge. In: HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry Vol. 10, No. 1 (2004), S. 31.

³³⁷ Bachelard (1980): Die Philosophie des Nein, S. 75 f.

änderungen der experimentellen Parameter den experimentellen Ansatz gegen Widerstände zum Erfolg zu führen. Kreativität kann als ein Aspekt verstanden werden, der das rationale Substitut zu realisieren hilft, indem sie durch ihr freies methodisches Potential Lösungen für experimentelle Widerstände findet.

Kreativität bedeutet weiterhin, aktiv am Forschungsprozess teilzunehmen, in diesen einzugreifen und ihn bzw. die experimentelle Anordnung spontan zu verändern. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dieser freie Eingriff dem methodischen Ideal des stets nur regelgeleiteten Eingriffs entgegensteht, der im Dienste wissenschaftlicher Neutralität und Objektivität steht. Dieses konkurrierende methodische Ideal kann jedoch nur bei der erfolgreichen Routine eines ungehinderten Umsetzens in vollem Umfang gelten. Sobald in der Synthesechemie die Produktion eines Syntheseprodukts das vorausgesetzte Ziel der Forschung ist und dieses gesetzte Ziel wegen unvorhergesehener Widerstände auf dem prognostizierten Weg nicht erreicht werden kann, ist offensichtlich eine Abweichung vom Ideal der stets nur regelgeleiteten Eingriffe erfolgversprechend. Ob hier die gänzlich ungerichtete Kreativität oder aber eine ihrerseits eigenen Regeln folgende Form der Kreativität geboten ist, ist vermutlich eher eine strategisch-heuristische Frage. Kreativ zu sein bedeutet in allen genannten Alternativen, das Syntheseexperiment aktiv zu begleiten. Diese Aktivität, in die chemische Synthese einzugreifen, kann dann auch einen gesteigerten Widerstand des Syntheseexperimentes bedeuten, und schließt in diesem Fall eine Steigerung der Aktivität des Experimentators mit ein. Wie auch Latour in Bezug auf seine Studien über Louis Pasteur und das Milchsäureferment vermerkt: „*Im Gegenteil, je mehr Aktivität von einem kommt, desto mehr Aktivität spielt sich beim anderen ab. Je mehr Pasteur in seinem Laboratorium arbeitet, desto autonomer wird sein Ferment.*“³³⁸ Diese Wechselwirkung zwischen Akteur und Aktant wird durch die Kreativität insoweit beeinflusst, als selbige die Richtung, in die das Experiment verlaufen soll, aktiv zu beeinflussen vermag. Für die chemische Synthese heißt das, dass für jede Synthesestufe in einem Mehrstufenexperiment neue Aktivität, neue Widerstände und wiederum neue Aktivität zur Überwindung der Widerstände vorhanden sein können, was ein neues Maß an Kreativität erfordert.

³³⁸ Latour (2002): Die Hoffnung der Pandora, S. 177.

Kreativität bei der Synthesechemie bezieht sich also auf den im Labor durchgeführten Prozess des Experimentes, der die Entstehung des entworfenen Syntheseproduktes beeinflussen kann. Kreativität ist ein entscheidender Faktor, um den Rahmen des Materiell-Möglichen bei der praktischen Realisierung von Syntheseprodukten im Labor zu erweitern.

4.5 Funktionalität

Ein weiterer Parameter, der sich im Laborkontext der Synthesechemie als wichtig erweist, ist der der Funktion bzw. Funktionalität. Da in der Synthesechemie nach den Funktionen ihrer Verbindungen kategorisiert wird, wird der gedankliche Herstellungsprozess vor der Realisierung im Labor eben durch jene Verknüpfung und Entstehung der funktionellen Gruppen angeleitet. Das Denken in bzw. von Funktionalität der Substanzen begleitet nicht nur die Vorstellungen über das chemische Produkt, sondern muss den Prozess der Herstellung begleiten. Die Herstellung immer neuer chemischer Substanzen, die durch ihre Kategorisierung im Parameter der Funktionalität Homogenität erfahren, unterliegt dem Aspekt der Ausweitung von Substanzen, was nach Bachelard zu einer Fruchtbarkeit jenes Syntheseprozesses führt. Der Versuch, chemische Substanzen zu differenzieren sollte vor dem Versuch Vorrang haben, ihre unmittelbaren Aspekte zu generalisieren.³³⁹ Eine Differenzierung der chemischen Substanz wird durch ihre Funktionalitäten gewährleistet, weil sie in verschiedenen funktionalen Kontexten, wie Struktur, Anwendungsgebiet oder chemischen Eigenschaften geordnet werden können.

In der Chemie und besonders in der Synthesechemie ist der Aspekt der Funktion eng mit dem Aspekt der Struktur eines Moleküls verbunden. Funktion im molekülinternen Sinne ist gleichfalls derjenige Aspekt, der forschungsintern vorausgesagt werden soll, ohne dass gesichert ist, dass die Voraussage zutreffend ist. „*The most fundamental variable for determining function is the structure of the molecule.*“³⁴⁰ Moleküle sollen nach dem Grad ihrer

³³⁹ Vgl. Bachelard (1993): Epistemologie, S. 85.

³⁴⁰ Smit, Bochkov, Caple (1998): Organic Synthesis – The Science behind the Art, S. 32.

Funktionalität entworfen und gebaut werden. Dies gilt insbesondere für die angewandte präparative Chemie. Dabei müssen die Struktur, das Zusammenwirken und die Interaktion funktioneller Gruppen besondere Berücksichtigung erfahren. Funktion ist also einerseits die Voraussetzung, nach der sich die Methode der Synthese richten muss, um erfolgreich zu sein, andererseits ist sie auch das Ziel, welches erst durch die Durchführung, den experimentellen Prozess erreicht werden kann, indem die Funktion eines Moleküls durch Realisierung sichtbar wird.

Die Herstellung eines Konglomerates von funktionellen Gruppen in einem Molekül wird wiederum begleitet von einer Technisierung des Prozesses. Diese Technisierung formt gleichermaßen die Methode durch die Möglichkeiten der technischen Umsetzung von Reaktionsfolgen, wie auch die Produkte der Synthese. Auch die Technik im Syntheselabor lässt sich im Sinne der Funktionalität begreifen. Die Technik in einem Syntheselabor funktionalisiert dieses gleichsam.

Der Aspekt der Funktion bzw. Funktionalität in der Synthesechemie bezieht sich also in einer bestimmten Verwendungsweise auf die Kategorisierung chemischer Substanzen in funktionelle Gruppen. Funktionalität lässt sich jedoch zudem auch allgemein in diversen Formen von Arbeitsbanklaboratorien finden, in denen man die ungeläuterten Skripte der Forschung finden kann, wozu Laborprotokolle etc. gehören, welche Rheinberger in folgender Weise charakterisiert: *„Das Forschungslabor ist ein Ort, an dem neues Wissen entsteht; hier bleiben ins Unreine formulierte Notizen, Kritzeleien und überschriebene Protokolle zurück, die Einblick in konkrete Wissensbildungsprozesse geben.“* [...] *„Die Zettel und die Kritzelei sind aber noch keine gedruckten Mitteilungen an die Wissenschaftlergemeinschaft, sie sind Funktionen des experimentellen Engagements. Sie gehören zum Erkenntnisregime des Labors.“*³⁴¹ Notizen und Protokolle sind also ebenfalls Funktionen im Rahmen der experimentellen Tätigkeit der Wissenschaftler. Dies gilt auch für den Synthesechemiker, da die Darstellung des Forschungslabors nach Rheinberger ebenso Vorgänge des Syntheselabors betrifft. Rheinbergers Darstellung steht stellvertretend für jedes Arbeitsbanklaboratorium. Jeder Wissenschaftler wird seine Notizen über experimentelle Vorgänge als einen begleitenden Prozess seiner Forschungsarbeit ansehen. In der Synthesechemie stellen

³⁴¹ Rheinberger (2006): Epistemologie des Konkreten, S. 350 f.

diese Notizen den eigentlichen Verlauf des experimentellen Prozesses dar, der in der gedruckten Mitteilung an die Wissenschaftlergemeinschaft idealisiert sein kann. Bestimmte, die Syntheseforschung begleitende – aus einer Zufälligkeit heraus entstandene – Handlungsabläufe, die letztlich zu einem erfolgreichen Ergebnis und somit zur Publikation beitragen, erscheinen dennoch in Publikationen nicht, sondern werden durch einen adäquaten Arbeitsschritt ersetzt. Zufälle im Arbeitsprozess verlassen das Syntheselabor selten. Gemeint ist damit, dass für eine Publikation, die das Syntheselabor verlässt, also eine dem *context of justification* entsprechende Rekonstruktion des Forschungsergebnisses, das Funktionieren Priorität besitzt. Eine Synthesevorschrift sowie ein Syntheseprodukt muss das Labor als Funktionselement verlassen. Das bedeutet, diese Funktionalität darf keine Zufälle beinhalten.

4.6 Pragmatik

Ein weiterer der Synthesechemie zugehöriger Parameter ist der der Pragmatik. „*Ein Forschungsprozess ist ein Vorgang, in dem sich Dinge ereignen können, die in der Regel weder im Rahmen eines theoretischen Systems vorherzusagen sind noch zwangsläufig aus dem praktischen System des Experimentierens hervorzugehen brauchen. Dementsprechend ist der Entwurf von Experimenten nicht notwendig durch Theorie determiniert, aber der Entwurf von Theorien nicht notwendig durch Experimente beschränkt.*“³⁴² Mit diesem Zitat von Rheinberger wird auch der Status der Synthesechemie als eine Experimentalwissenschaft untermauert. Sie zeigt, dass naturwissenschaftliche Forschung nicht allein auf die Generierung von Theorien abzielt. Auch die Synthesechemie zielt nicht notwendig auf die Ausweitung von Theorien oder die theoriengeleitete Beobachtung ab, sondern vielmehr auf die praktische Umsetzung des Materiell-Möglichen, wobei sie in dieser Umsetzung besonders erfolgreich ist. Diese praktischen Umsetzungen bzw. die Handlungen im Labor sind von einer gewissen Pragmatik begleitet. Die Orientierung auf das Nützliche mag gerade in

³⁴² Rheinberger (2001): Experimentalsysteme und epistemische Dinge, S. 64.

der anwendungsbezogenen präparativen Forschung zweifelsfrei anerkannt werden, denn hier ist das Ziel der praktische Nutzen von synthetischen Verbindungen oder der Synthesemethode.

Auch die Grundlagenforschung organisiert sich pragmatisch, indem sie das Nützliche im Anschluss an die Überprüfung der Synthese einbezieht, indem sie die Möglichkeit ihrer Umsetzung im Auge behält. Das heißt, die Pragmatik unterscheidet sich in der Grundlagen- und der angewandten Forschung eher in temporärer Hinsicht.

Nach Latour kann keine Wissenschaft aus dem Netz ihrer Praxis (ihrer standardisierten Praktiken) heraustreten.³⁴³ Dieses gilt für die Synthesechemie in gleicher Weise, jedoch ist es hier sinnvoller, das Verhältnis einer Wissenschaft zu ihrer Praxis von einer anderen Seite anzugehen. Würde die Synthesechemie aus ihrer Praxis heraustreten, würde sie sich gleichzeitig ihrer Basis entziehen, die gerade darin besteht, Strukturen im Labor zu realisieren.

Die Pragmatik im Syntheselabor umfasst das Handeln des Synthesechemikers, deren Ziel es ist, ein Syntheseprodukt, einen neuen Syntheseweg umzusetzen: „*Beim Handeln geht es nicht um Beherrschung. Nicht um einen Hammer und Scherben, sondern um Verzweigungen, Ereignisse, Umstände.*“³⁴⁴ Wie reagiert der Chemiker im Experiment auf diese Umstände, Verzweigungen und Ereignisse? Der Chemiker beherrscht bei der Synthese die Materie insoweit, als er sie zu formen vermag, indem er neue Substanzen produziert. Doch das Beherrschungsmotiv steht auch hier nicht im Vordergrund, sondern das Wissen, um die Möglichkeit Materie zu formen. Beherrschung ist also kein Selbstzweck, sondern eher eine Maßnahme zur Erreichung des eigentlichen Ziels der Produktion neuer Substanzen. Was sind nun diese Verzweigungen, Ereignisse und Umstände bei Handlungen im Synthesechemielabor? Handlungen werden hier im weitesten Sinne als experimentelle Handlungen verstanden, die auf einen Nutzen des Produkts oder die Erweiterung des Materiell-Möglichen abzielen. Umstände, Verzweigungen und Ereignisse bilden in der Synthesechemie den Rahmen, um das Materiell-Mögliche einzubetten und in seiner Komplexität und Vielfalt zu steigern. Umstände können dabei unvorhergesehene Widerstände in einer Mehrstufen-Synthese sein oder ungewollte bzw. störende Rückstände in einer Probe, die aufge-

³⁴³ Vgl. Latour (2008): Wir sind nie modern gewesen, S. 36.

³⁴⁴ Latour (2002): Die Hoffnung der Pandora, S. 346.

reinholt werden muss. Ereignisse können sowohl die gelungene Synthese als auch das zu erwartende Endprodukt, als auch unerwartete Substanzen im Syntheseverlauf sein. Die Verzweigung wäre in dem Fall – auf die chemische Synthese bezogen – eine Potenzierung der Komplexität innerhalb des synthetischen Vorgangs. Das bedeutet, statt des einen erwarteten Syntheseprodukts erlangt man mehrere. *„Aber in der Praxis gelangt man niemals direkt von den Dingen zu den Worten, von der Referenz zum Zeichen, sondern immer nur über riskante Zwischenschritte.“*³⁴⁵ Zwischenschritte sind durch Widerstände initiiert, die sich in der Synthese offenbaren und für die der Synthesechemiker pragmatische Lösungen finden muss. Riskante Zwischenschritte sind durch Kreativität angeleitete Umsetzungen beim Experimentieren im Labor, die zu unverhofften Ergebnissen in der Synthesechemie führen können.

4.7 Intuition

Die Intuition ist ein nicht-reflexives unmittelbares Erkennen eines Vorgangs, was letztlich als nicht begründbar gilt. Die Intuition im Syntheselabor bedeutet, die Fähigkeit Reaktionsschritte und Handlungsfolgen erfolgreich umzusetzen, ohne dass diese diskursiv eindeutig sind.

Die Intuition kann dazu beitragen, dass der Synthesechemiker sich relativ störungsfrei an diesem Ort der Forschung bewegen kann. Er besitzt das Vermögen mit den Funktionen in einer Wechselwirkung zu stehen, die dieser Ort zu bieten hat. Durch die Intuition kommen die stillschweigenden Annahmen des Experimentes in das Labor hinein. Experimentelle Vorgänge in der Synthesechemie sind zuweilen sehr komplex in ihrer Handlungsabfolge, sodass allein aus Erfahrung beispielsweise diverse auch unbewusste Handlungen bei der Synthese vollzogen werden. Dieses Handlungsmuster kann dann als intuitiv bezeichnet werden.

³⁴⁵ Ebd., S. 53.

Der Einfluss von Intuition ist im Verlauf des Synthetisierens nicht planbar und findet bisweilen unbewusst Eingang in den Verlauf. Intuition kann also spontan in ein Experiment eindringen und die Entscheidungen des Synthesechemikers und somit den Verlauf der Synthese in unvorhersehbarer Weise beeinflussen.

Die Intuition kann dem Chemiker auch helfen, Entscheidungen zu treffen, die sich im Anschluss mit Blick auf das Forschungsergebnis als fruchtbar erweisen. Intuition spielt eine spontane oder eine durch individuelle Erfahrung beeinflusste Rolle im Syntheseprozess. In Verbindung mit dieser durch individuelle Erfahrung beeinflussten Intuition steht das implizite Wissen. Unterschwellige Wahrnehmungen und Einsichten können auch in der Syntheseforschung nicht eliminiert werden und bekräftigen die Annahme, dass man mehr weiß, als man zu sagen weiß.^{346,347} Intuition im Syntheselabor basiert auf bereits erworbenem Wissen, weil synthetische Handlungen immer ein Wissen voraussetzen, denn das Experiment im Syntheselabor ist nicht blind.

Doch in dieser Verbindung von Intuition und implizitem Wissen zeigt sich auch gleichzeitig ein Problem für die Forschung im Syntheselabor. Weil das intuitive Handeln mehr weiß, als man über sein Handeln zu sagen weiß, sind experimentelle Handlungen während des Syntheseverlaufs im Syntheselabor nicht durchgängig transparent. Intuition ist ein Inhibitor der Transparenz und steht somit der vollständigen Vermittlung, Mittelbarkeit und dem Diskurs mit anderen Wissenschaftlern entgegen. Die Intuition verlässt das Syntheselabor nicht; sie erscheint nicht in den wissenschaftlichen Publikationen, weil ihr jegliche Mittelbarkeit fehlt.

Ein Experimentalsystem zwingt den Experimentator zum Herumtasten, was von Rheinberger mit einem Labyrinth verglichen wird. Die Wände des Labyrinthes werden gleich den Parametern eines Experimentalsystems nach und nach aufgebaut. Dieses sich Schritt für Schritt ereignende Hinzufügen bestimmt den Forscher dazu, keinem unveränderlichen Prinzip zu folgen, das ihn in seiner Forschung anleitet.³⁴⁸ Dieses Herumtasten in einem Experimentalsystem erfordert vom Experimentator Erfahrungheit. Erfahrungheit ist hier –

³⁴⁶ Vgl. Polanyi (1985): Implizites Wissen, S. 17.

³⁴⁷ Vgl. Teil II: Kap. 2. Die Synthese in der Alchemie.

³⁴⁸ Vgl. Rheinberger (2001): Experimentalsysteme und epistemische Dinge, S. 89.

rekurrierend auf Ludwik Fleck³⁴⁹ – die Form der Tätigkeit des Experimentalwissenschaftlers, in der sich das Vermögen zum intuitiven Urteilen zeigt. Im Falle des Synthesechemikers fließt das intuitive Urteilen in den Syntheseprozess im Labor ein, das sich auch auf Handgriffe im Experimentalprozess, also rein praktische Arbeiten beziehen kann.

Intuition im Syntheselabor ist ein Indikator für die Treffsicherheit richtiger oder wichtiger Entscheidungen im Syntheseprozess, ohne dass diesen Entscheidungen ein Plan bzw. eine feste Absicht zu Grunde lag. Das Wissen um den Syntheseprozess ist nicht absolut. Das heißt, auch wenn Intuition mit einem Wissen um die Bedingungen und Anforderungen des Syntheseprozesses einhergeht, bleibt noch Platz für spontane Ereignisse und Überraschungen, die weder vorhergesehen wurden, noch vorhersagbar sind, und die durch Intuition des Forschers im Syntheseprozess initiiert wurden. Der Vorgang des Synthetisierens im Labor ist kein statischer, sondern ein dynamischer Prozess, bei dem trotz eines Syntheseplans unvorhersehbare Entscheidungen genauso zum Laboralltag gehören, wie die Überraschungen, die der Syntheseprozess oder das Experiment selber zu offenbaren vermögen.

4.8 Variation/Varianz

Der Parameter der Variation bzw. der Varianz kommt beim Syntheselabor ins Spiel, wenn die Vergleichbarkeit von chemischen Syntheseprodukten und die Wiederholung von Experimenten in der Synthesechemie im Mittelpunkt stehen. Dabei steht der Begriff der Variation eher für die Vergleichbarkeit chemischer Syntheseprodukte, der Begriff der Varianz für die Wiederholungen des Experimentes in der Synthesechemie.

Die Wissenschaft von der Materie muss in ihrer Vielheit aufgefasst werden.³⁵⁰ Die chemische Synthese ist die Methode, die strukturelle Vielheit erzeugt. Sie erzeugt strukturelle Variationen. Diese strukturellen Variationen der Synthesechemie lassen sich anhand einer relationalen Matrix chemischer Strukturen zeigen. Das bedeutet, die Vielzahl chemischer Strukturen lassen sich in einem Netzwerk anordnen, bei dem chemische Strukturen selber

³⁴⁹ Vgl. Fleck (2012): Die Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache, S. 125 f.

³⁵⁰ Vgl. Bachelard (1993): Epistemologie, S. 82.

die Knotenpunkte darstellen, die Verbindungen werden durch die Relationen der Strukturen untereinander (strukturelle Eigenschaften) gebildet.³⁵¹ Auch diese Matrix muss sich variabel gestalten lassen, damit sie offen für das Einbinden neuer Substanzen ist, die chemisch-synthetisch erzeugt werden. Dieses Variieren in der Forschung bedenkt Latour bei der Entstehung von Objekten: „*Wenn Objekte bloß als unbewegliche Ziele der Korrespondenz gelten, haben sie keine Möglichkeit, aufzutauchen und zu verschwinden, d.h. zu variieren.*“³⁵² Das Variieren ist auch den Syntheseprodukten bzw. Verfahren zu eigen, wodurch auch sie nach Latour das Potential zum Auftauchen und zum Verschwinden besitzen.

Der Parameter der Varianz zeichnet sich in Verbindung mit Rheinbergers Konzept des Experimentalsystems folgendermaßen ab. Experimentalsysteme sind Kerne der Distribution von Differenz.³⁵³ Differenzen können sich im experimentellen Gefüge der Vielzahl möglicher Syntheseexperimente verteilen und werden durch den Vorgang der Wiederholung im Raum koexistent. Wiederholungen erzeugen Differenzen, die aber gerade aufgrund ihrer Varianz – kein wissenschaftlicher Vorgang gleicht exakt dem anderen – in einem Nebeneinander bestehen können. Gerade dies bedeutet für die chemische Synthese, dass sie sich im Akt der Wiederholung unter dem Aspekt der Varianz und in ihrer Variabilität bestätigt und zu fortschreitenden Erkenntnissen, das heißt, neuen Reaktionswegen wie neuen Produkten führen kann. Gerade die Wiederholung einer Synthese im Labor ist schwerlich exakt identisch durchzuführen. Zu viele Faktoren bestimmen den Prozess und die Arbeitsvorgänge, die eben nicht identisch sein können. Dieses resultiert aus nicht oder kaum beeinflussbaren Faktoren, wie der gleichen Reinheit von Ausgangssubstanzen, exakt gleichen Druckverhältnissen, Konzentrationsunterschieden etc. Die Reproduktion muss bei der chemischen Synthese durch diverse Grade von Varianzen ersetzt werden. Diese Grade der Varianz lassen sich je nach Komplexität des Synthesevorgangs unterscheiden. Dabei gilt: Je komplexer eine Synthese ist und je mehr Arbeitsschritte sie enthält, desto schwerer ist sie zu reproduzieren. Dies bedeutet folglich: Mit Zunahme der Komplexität einer Synthese wächst gleichfalls die Varianz im experimentellen Gefüge.

³⁵¹ Vgl. Schummer (1996): Realismus und Chemie, S. 216.

³⁵² Latour (2002): Die Hoffnung der Pandora, S. 180.

³⁵³ Vgl. Rheinberger (2001): Experimentalsysteme und epistemische Dinge, S. 96.

4.9 Komplexität

Anknüpfend an den Parameter der Varianz spielt die Komplexität im Syntheselabor ebenfalls eine Rolle. Angemessener als von Komplexität sollte man in Bezug auf die Synthesechemie und das Syntheselabor von Komplexitäten sprechen. Der Parameter der Komplexitäten zeigt sich nämlich auf mehreren Ebenen.

Die erste Ebene der Komplexität betrifft die Ebene des Moleküls. Das heißt, auf molekularer Ebene werden immer komplexer werdende Substanzen im Labor produziert, die Komplexität des molekularen Aufbaus nimmt zu. Man erinnere sich daran, dass in der Synthesechemie aus einfacheren Molekülen komplexere Moleküle aufgebaut werden, was sich vor allem in der Komplexität der chemischen Struktur zeigt. *„From the viewpoint of chemical synthesis the factors which conspire to make a synthesis difficult to plan and to execute are those which give rise to structural complexity, a point which is important, even if obvious.“*³⁵⁴

Die zweite Ebene der Komplexität, die an die molekulare Ebene anknüpft, betrifft die Ebene der technischen Komplexität. Der Anstieg der Komplexität auf molekular-struktureller Ebene kann nur erreicht werden, wenn im Syntheselabor die entsprechenden Techniken und Instrumente bereitstehen. Das heißt, chronologisch gesehen muss auch die Komplexität in methodisch-technischer Hinsicht zunehmen, um die Komplexität auf molekularer Ebene zu ermöglichen. Komplexität ist dann als eine Vervielfältigung und Zunahme der Möglichkeiten von Techniken und technischen Arrangements im Syntheselabor zu verstehen.

Die dritte Ebene der Komplexität ist die des Denkens im Rahmen des chemisch-synthetischen Fortschreitens. Das Wissen der Synthesechemie wächst in die Breite mit der Anzahl neu synthetisierter chemischer Strukturen, sowie neuer Verfahren zur Herstellung neuer Strukturen. Das Wissen wird komplexer, denn durch die Ausweitung des chemischen Wissens und die damit einhergehenden Festlegungen der Grenzen beim Formen von Strukturen kann das Wissen über die Synthese auch in die Tiefe wachsen. Die Zunahme der Komplexität des Wissens der Synthesechemie in der Breite und Tiefe zwingt den Synthetiker, sich mehr und mehr darauf einzulassen, sich in dieser Komplexität zu bewegen. Das

³⁵⁴ Corey, Cheng (1995): The Logic of Chemical Synthesis, S. 2.

heißt, neben der Variabilität des Denkens werden die Kenntnisse und Gedankenverknüpfungen über die Möglichkeiten, Materie zu formen mit dem Fortschreiten der Technik gesteigert.

Die vierte Ebene der Komplexität umfasst speziell die Anzahl der verschiedenen Verfahrenswege im Syntheselabor. „*Da das Objekt von Wissenschaft immer in gewisser Weise ein neuer Gegenstand ist, begreift man sogleich, daß die ersten Bestimmungen beinahe unausweichlich untauglich sind. Es bedarf eingehender Untersuchungen, bis sich in einem neuen Phänomen die passende Variable abzeichnet.*“³⁵⁵ Mit dem Produkt der Synthese findet man einen neuen Gegenstand vor. Grundlegend wird das Netzwerk der chemischen Substanzen immer komplexer. Die Verfahren zur Herstellung der Vielfalt an chemischen Strukturen werden ebenfalls zahlreicher und in sich komplexer. Es muss deshalb auch in Bezug auf die Variablen im chemischen Syntheseprozess der Forschung die Anzahl selbiger zunehmen. Variablen können verschiedene Verläufe eines Syntheseexperimentes darstellen. Das heißt, mehrere Reaktionswege werden durchgeführt, die an dasselbe Ziel führen sollen. Weiterhin können diverse Parameter in einem Experiment verändert werden, was sich sowohl auf die Auswahl eines Lösungsmittels als auch auf den Einsatz verschiedener Katalysatoren etc. beziehen kann. Komplexität ist der Synthese als Methode wesentlich zu eigen, genau wie ihrer Produkte.

Die fünfte Ebene der Komplexität stellt eigentlich eine Ebene der Minimierung von Komplexität dar und führt auf das Konzept des Experimentalsystems zurück. Rheinberger spricht in Bezug auf Experimentalsysteme auch von Maschinen zur Reduktion von Komplexität.³⁵⁶ In Bezug auf die Greifbarkeit des Experimentes für den Experimentator ist dies richtig. Er kann kein Experimentalsystem entwerfen, was er selber nicht fassen kann. Das würde sämtliche Ansätze in der experimentellen Forschung dekonstruieren. Jedoch nimmt neben dieser Minimierung auf der anderen Seite in der Syntheseforschung, sowie in der gesamten Chemie, gerade durch die Experimentalsysteme der Forschung die Komplexität zu. Diesem Komplexitätsanstieg begegnet der Synthesechemiker, indem er chemische Strukturen nach einer Hierarchie der funktionellen Gruppen klassifiziert. Die Offenheit der

³⁵⁵ Bachelard (1987): Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes, S. 306.

³⁵⁶ Vgl. Rheinberger (2001): Experimentalsysteme und epistemische Dinge, S. 285.

Syntheseforschung verlangt gerade das Gegenteil einer Reduktion. Nur durch die Komplexität und eine komplexer werdende Forschung können neue Substanzen und Synthesewege gewonnen werden.

Schließlich bezieht sich die sechste Ebene der Komplexität auf die chemische Formelsprache und Symbolik. „*Der Chemiker macht seine Symbole nicht nach Herzenslust komplizierter, sondern er weiß, daß er sie seiner Wissenschaft adäquat machen muß, die in ihrem Fortschreiten immer komplizierter wird.*“³⁵⁷ Die Sprache der Chemie hat sich in Formeln und Reaktionsmechanismen konstituiert. Bachelard formuliert in seiner obigen Überlegung zurecht, wenn der Chemiker – allen voran der Synthesechemiker – sich durch eine adäquate Sprache mit seinem Forschungsgegenstand auseinandersetzen will, dann muss diese Sprache entsprechend seinem Denken über den Forschungsgegenstand komplexer werden. Die Syntheseforschung bewegt sich ebenfalls in die Tiefe der Strukturen, was heißt, dass nun die elektronische Struktur von Atomen und Molekülen fokussiert wird, um aus dieser elektronischen Struktur Rückschlüsse auf die Molekülstruktur ziehen zu können. Allein durch die vermehrte Betrachtung der subatomaren Strukturen synthetischer Verbindungen unter der Zuhilfenahme von elektronischen Theorien zur Erklärung der molekularen Strukturen gewinnt auch die entsprechende Symbolik, Formelsprache und Darstellung von Strukturen auf Molekül- und subatomarer Ebene an Komplexität.

4.10 Ungewissheit

Der Parameter der Ungewissheit ist ein weiterer Charakterzug der Laborforschung. Im Labor der Synthesechemie trifft dies in besonderer Weise zu, da sich die chemische Synthese ihr Forschungsobjekt selbst realisiert. Mit der Realisierung eines Forschungsobjekts geht immer die Ungewissheit über das Gelingen dieses Projekts einher. Das heißt, wird im Labor eine chemische Synthese durchgeführt, dann ist von vornherein, die Ungewissheit in-

³⁵⁷ Bachelard (1993): Epistemologie, S. 102.

begriffen, da nicht exakt vorhersehbar ist, ob das Ziel des Synthesepfanes überhaupt realisierbar ist.

Die Ungewissheit ist konnotativ in jedem Syntheseverfahren der Chemie enthalten. Das heißt, es ist stets vorhandener Bestandteil des Verfahrens, dennoch nicht immer vordergründig oder offensichtlich. Gleichzeitig wird mit jedem Erfolg, der in einem Syntheseprozess zu verzeichnen ist, aus der Ungewissheit ein Stück Gewissheit. Doch auf die Gewissheit über die Umsetzung der Synthese bzw. der Verfertigung ihres Zielproduktes folgt wiederum eine Ungewissheit über Eigenschaften, Verwendungsmöglichkeiten oder Entstehung einer bisher nicht bekannten chemischen Verbindung. Daher kann Syntheseforschung mit dem Parameter der Ungewissheit in permanente Verbindung gebracht werden. Erst wenn die Reaktion durch Wiederholung des Verfahrens in der Praxis eine Akzeptanz in Form einer Publikation für die Forschergemeinde erfahren hat und mit diesen Wiederholungen ein Verständnis des Synthesevorgangs einhergegangen ist, sowie der Synthesevorgang und das entstandene Produkt kategorisiert werden konnten, dann ist der Faktor der Ungewissheit weitgehend eliminiert. Rheinberger merkt dazu an, dass Forschungssysteme in standardisierte Vorrichtungen verfallen können, wenn sie zu starr werden.³⁵⁸ Diese Systeme sind nicht mehr dazu geeignet, Überraschungen zu erzeugen und dienen eher der Replikation des Bekannten. In der Synthesechemie finden sich diese Forschungssysteme als Vorstufen der Produktion bereits bekannter chemischer Strukturen und vielfach erprobter Syntheseverfahren.

Die Forschung wird allerdings nicht nur durch den Erfolg ihrer experimentell gelungenen Methoden geleitet. Ebenso prägen die Rückschläge, die Verfehlungen, die Misserfolge, der als unüberwindlich sich ereignende Widerstand die Forschung.³⁵⁹ Nicht zu realisierende Synthesewege zeigen dem Raum des Materiell-Möglichen seine Grenzen und formen so die Richtung der Forschung. Diese prägen zwar einerseits den Ort, sowie das Geschehen der Forschung, führen jedoch andererseits erst über die Ungewissheit zur Gewissheit. Syntheseverfahren werden – mit dem gleichen Ziel – viele Male wiederholt, die einzelnen experimentellen Parameter (pH-Wert, Lösungsmittel, Temperatur, etc.) werden dabei variiert.

³⁵⁸ Vgl. Rheinberger (2001): Experimentalsysteme und epistemische Dinge, S. 98.

³⁵⁹ Vgl. Ebd., S. 157.

Erst wenn die Gewissheit über eine Nicht-Realisierbarkeit des Plans überhandnimmt, wird die Ungewissheit über den Erfolg oder Misserfolg zur Gewissheit.

Der Ungewissheit versucht der Synthesechemiker entgegenzuwirken, indem er seine experimentellen Tätigkeiten zu unterstützen weiß. Hinter die Ebene des Syntheseexperimentes setzt er die Ebene der Strukturen bzw. Strukturformeln, die dabei hilft, das Wissen über die Möglichkeiten und Unmöglichkeiten einer Synthese zu generieren. Die Strukturformel bzw. das vernünftige Reden über Strukturformeln kann dem Parameter der Ungewissheit seine Relevanz nehmen. Durch einen noumenalen Charakter der chemischen Substanz gelangt man auch in der Synthesechemie auf die Ebene der Abstraktion. Das heißt, die Möglichkeit zur Abstraktion bietet der Synthesechemie bis zu ihrer Realisierung im Labor einen Weg, der Ungewissheit entgegenzuwirken. Nach Bachelard kann man der Ungewissheit entgegenwirken, indem die Synthesechemie versucht, ihre Experimente im Labor zu technisieren, indem sie sie von den ersten Erkenntnissen, den unmittelbaren Erfahrungen befreit. Der Ungewissheit kann hiernach durch Technik entgegengewirkt werden.³⁶⁰

4.11 Realisierung

Der Parameter der Realisierung im Syntheselabor meint die gezielte Verwirklichung chemischer Strukturen durch Syntheseverfahren. Realisierung ist ein wesentlicher Bestandteil der Syntheseforschung. Man könnte sogar soweit gehen und behaupten, dass man erst mit Blick auf die Realisierung das Syntheselabor in seiner wahren wissenschaftlichen Bestimmung sehen kann. Das Syntheselabor stellt überhaupt erst die Möglichkeiten für die Realisierung neuer chemischer Strukturen bereit. Der Zusammenhang zwischen Realisierung und Syntheselabor zeigt sich wie folgt: *„This could be stated as follows: the more compounds we prepare and study, the greater are the chances to discover new reactions and the greater is our ability to prepare still further compounds, which again can widen the number of feasible chemical transformations. The growth of substances made in chemical*

³⁶⁰ Bachelard (1993): Epistemologie, S. 82.

*laboratories has a propagating structure. Importantly, such exponential proliferation of new substances goes along with a vigorous refinement of the theoretical equipment of the chemist, since the greater the number of compounds available for reactive experiments, the greater the probability to incur results[...]*³⁶¹ Realisierungen neuer chemischer Strukturen formen ebenfalls das theoretische Wissen über synthetische Möglichkeiten durch diese Realisierungen und zeigen so eine Vielzahl von Möglichkeiten auf neue Reaktionswege zu erproben.

Die Betonung der Bedeutung von Realisierung im Syntheselabor ist allerdings abzugrenzen von der Einnahme einer realistischen Position in epistemologischer Hinsicht. Die Realisierung von Produkten durch den Prozess der Synthese ist gerade etwas anderes als die Behauptung der Herstellung der Erkenntnisprodukte eines Chemikers im Kontext experimenteller Handlungen. Wo der Syntheseprozess unter dem Aspekt der Realisierung unter konstruktiven Vorzeichen die Überführung vom Modus der Möglichkeit zum Modus der Wirklichkeit meint, steht die realistische Position in konstruktiver Hinsicht unter der Frage nach Übereinstimmung oder Nicht-Übereinstimmung von Wirklichkeit und Erkenntnis.³⁶² Häufig impliziert die Durchführung von chemischen Experimenten die Annahme einer unabhängigen, für sich existierenden Außenwelt. Das Experiment bildet gleichsam die Vermittlungsinstanz um Gesetze, Befunde und Resultate über diese Außenwelt zu erlangen. Wenige Chemiker werden bewusst eine andere Position als die des Realisten wählen, wenn sie das Syntheselabor betreten. Eine Lösung für diese Realismus-Realisierungsproblematik kann man finden, indem man den Realismus an der analytischen Chemie festmacht, der Synthesechemie hingegen den Part der Realisierung zuordnet. Für die analytische Chemie kann man resümieren, dass sie die Substanzen, die sie analysieren will, bereits – und unabhängig von einem Solipsismus – vorfinden muss, wohingegen die Synthesechemie ihre Substanzen erst realisieren muss, um sie dann vorzufinden. Während in der analytischen

³⁶¹ Tontini: On the Limits of Chemical Knowledge. *Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry* Vol. 10, No. 1 (2004), S. 29.

³⁶² Siehe zu dieser Thematik: Hacking: Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften (1996). Bei Ian Hacking werden speziell Bewirkungs- bzw. Eingriffshandlungen der experimentellen Forschungen berücksichtigt.

Chemie der Moment der Entdeckung im Vordergrund zu stehen scheint, ist die Synthesechemie durch den Moment der Erfindung gekennzeichnet.

Der Aspekt, an dem diese Zuordnung von Analyse und Synthese allerdings nicht mehr standhält, ist der laborinterne Faktor der Reinheit chemischer Substanzen. Hier rangiert die Realisierung auch in der analytischen Chemie vor der Realität, denn in einem hohen Reinheitsgrad, in der der analytische Chemiker seine Laborproben untersucht, liegen chemische Substanzen in der Regel nicht vor. Sie entstehen bzw. existieren nicht unabhängig vom Analytiker. Das heißt, es bedarf der Aufbereitung, der Reinigung einer Substanz, bevor der Chemiker sie analysieren kann. Dieser Aspekt der Reinigung, das Erreichen eines hohen Reinheitsgrads chemischer Substanzen muss ebenfalls erst realisiert werden, unterliegt also dem Parameter der Realisierung, die erst durch die Verfahren in chemischen Laboratorien erreicht werden kann.

Was für ein Forschungslabor Geltung beansprucht, ist, dass in diesen Räumen experimentelle Spuren gelegt und verfolgt, sowie materielle Gegenstände zu einem Wissenschaftswirklichen werden.³⁶³ Nach diesem Verständnis konstituiert die Realisierung erst die Synthesechemie im Allgemeinen und untermauert so ihren Status als Laborwissenschaft. Das Wissenschaftswirkliche der Synthesechemie sind bereits realisierte chemische Strukturformeln. In der Synthesechemie werden nicht allein materielle Gegenstände, sondern ebenso ideelle Gegenstände zu einem Wissenschaftswirklichen, zu Gegenständen der Forschung. Die Realisierung ist dabei der Akt der Umsetzung, der Motor von der Idee zum Gegenstand, vom Abstrakten zum Konkreten. Dieser Akt der Umsetzung muss von den technischen Möglichkeiten des Syntheselabors unterstützt werden.

Bachelard geht davon aus, dass chemische Substanzen durch die technischen Arrangements im Labor deutlich gemacht werden: „*Wir treten mit der Chemie in das Reich der deutlichen Substanzen ein, in das Reich der Substanzen, die von der Technik deutlich gemacht wurden, indem ihnen eine totale Homogenität gegeben wurde.*“³⁶⁴ Auf der Grundlage der Technik und durch diese können chemische Substanzen realisiert werden. Die Realisierung chemi-

³⁶³ Vgl. Rheinberger (2001): Experimentalsysteme und epistemische Dinge, S. 38.

³⁶⁴ Bachelard (1993): Epistemologie, S. 105.

scher Strukturen erlangt Homogenität durch die Vermittlungsinstanz der Technik, weil sie durch diese erst erzeugt werden können. Diese Strukturen sind wiederum mit einem Grad der chemischen Reinheit versehen, der einzig durch technische Maßnahmen hervorgebracht werden kann, was im Kontrast zu den meisten natürlichen Substanzen steht. *„Doch gibt es einen Zug, auf dem wir unablässig bestehen müssen: Die Phänomenologie der homogenen Substanzen, mag sie auch, wie es scheint, Beispiele unter den natürlichen Substanzen finden, ist einer Phänomenotechnik verpflichtet. Es ist eine dirigierte Phänomenologie.“*³⁶⁵

Vielmehr noch als eine Technik geht Bachelard von der bereits erwähnten Phänomenotechnik³⁶⁶ für chemische Substanzen aus, die die experimentellen Phänomene und auch die Substanzen hervorzubringen vermag. Der Ort des Syntheselabors wird nunmehr durch die Realisierung von Substanzen zu einem Ort, einer Werkstätte der Phänomenotechnik.

Diese Werkstätte zeichnet sich nicht nur dadurch aus, dass sie Substanzen realisiert, sondern das Substitut der Substanz ist die wissenschaftliche Methode: *„Die Substanzen sind ersetzt worden durch den Schwung der Methode. Sie sind Konkretisierungen jeweils bestimmter Anwendungen eines allgemeinen Gesetzes. Ein gewaltiges a priori leitet die Erfahrung. Das Reale ist nunmehr nur eine Realisierung.“*³⁶⁷ Die Methode als Konkretisierung der Realisierung wird nach Bachelard von einem a priori geleitet. Das heißt, die Konkretisierung der Methode wirkt dem bloßen Heruntappen im Labor entgegen. Gerade in der Synthesechemie ist die Anwendung der Methode der Synthese mithilfe der Technik die Konkretisierung einer ideellen Strukturformel. Dieses a priori kann mittlerweile im Syntheselabor durch die bereits angesprochenen Computerprogramme zur Syntheseplanung unterstützt werden, sowie durch das Aufstellen von Strukturformeln, die noch nicht im Labor realisiert wurden.

Doch auch der Realisierung sind Grenzen gesetzt, auch das Syntheselabor kann weder gegen die Naturgesetze verstoßen, noch sie ignorieren. Das Syntheselabor war nie eine alchemistische Hexenküche. Der Realisierung sind auch im Labor Grenzen gesetzt, wodurch es wiederum den Rahmen des Materiell-Möglichen absteckt. Die Realisierung wird geleitet

³⁶⁵ Bachelard (1993): Epistemologie, S. 105.

³⁶⁶ Vgl. Teil I: Kap. 4.5.2 Die methodologische Kategorie.

³⁶⁷ Bachelard (1980): Die Philosophie des Nein, S. 73 f.

durch ein chemisches Referenznetz der Substanzen und der Synthesewege, die als möglich gelten, bis sie realisiert und verifiziert wurden. Eben diese Einschränkung der Realisierung ist beim Plan der Synthese zu berücksichtigen. „*Not only the number, but also the type, or, to be more technical, the structural diversity, of the compounds that at a given point in time we have at our disposal to perform chemical experiments is circumscribed. It would be, in fact, erroneous to think of contemporary synthetic chemistry as a technique enabling one to build molecules with any desirable or imaginable structure. In the chemical network, there are node-to-node links which cannot be concretized, and consequently, synthetic routes which cannot be followed. Any chemically plausible transformation can, of course, be imaged, can take shape in your mind as a chemical equation.*”³⁶⁸ Die Zahl der realisierbaren Strukturformeln ist nicht identisch mit der Zahl der ideellen, oder als möglich-gedachten Strukturformeln. Im Akt der Realisierung kommen beide zusammen, die zu synthetisierende Idee nimmt Gestalt an.

5. Der Status der Objektivität

Redet man über das naturwissenschaftliche Experimentieren, über Realisierungen von Phänomenen oder wie in diesem Fall von chemischen Strukturen oder von Interventionen im naturwissenschaftlichen Laboratorium, dann gelangt man beinahe zwangsläufig zur Rolle bzw. dem Status der Objektivität, der für die gesamte naturwissenschaftliche Forschung den Charakter des Idealen und Wahrhaftigen besitzt.

Der Status und die Rolle der Objektivität in Bezug auf die chemische Synthese weicht grundlegend vom klassischen Ideal der reinen Beobachterrolle des Forschers im Experiment ab, da die beinahe permanente Intervention des Forschers in den experimentellen Prozess die Voraussetzung für den Ablauf und das Gelingen des chemisch-synthetischen Reaktionsvorgangs darstellt. Die Beobachtung ist beim experimentellen Syntheseprozess eine zu

³⁶⁸ Tontini: On the Limits of Chemical Knowledge. In: Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry Vol. 10, No. 1 (2004), S. 30.

vernachlässigende Tätigkeit. An die Stelle der Beobachtung tritt vielmehr die Intervention durch experimentelles Handeln mit dem Ziel der Realisierung chemischer Strukturen.

Doch damit die Synthesechemie als Wissenschaft gelten kann und ihre Erkenntnisse und ihr Wissen über die Materie wissenschaftlich anerkannt werden, muss die Objektivität in der synthetisch-chemischen Forschung existieren. Über die Art, wie Objektivität in der Synthesechemie und im experimentellen Vorgang im Labor garantiert wird, existieren allerdings unterschiedliche Auffassungen.

Eine Form der Objektivität in den Experimentalwissenschaften wurde definiert als jene, bei der das Objektivitätsideal der Nicht-Intervention als nahezu erreicht galt, wenn Maschinen das Experiment anleiteten. „*Unter mechanischer Objektivität verstehen wir das entschlossene Bestreben, willentliche Einmischungen des Autors/Künstlers zu unterdrücken und stattdessen eine Kombination von Verfahren einzusetzen, um die Natur, wenn nicht automatisch, dann mit Hilfe eines strengen Protokolls sozusagen aufs Papier zu bringen.*“ [...] „*Maschinen verkörperten, selbst wenn sie versagten, das negative Ideal der nichtintervenerenden Objektivität.*“ [...] „*Gegen Ende des neunzehnten Jahrhunderts hatte sich die mechanische Objektivität in vielen Disziplinen als ein, wenn nicht das Leitideal wissenschaftlicher Darstellung fest etabliert.*“³⁶⁹ Daston und Galison definieren den Zeitrahmen der mechanischen Objektivität von 1860 bis 1880. Die in diesem Zeitraum bereits bestehenden (wie die Physik) oder sich entwickelnden Disziplinen (wie die Physiologie) sind mit der Synthesechemie schwerlich zu vergleichen. Erinnert man sich an das Fallbeispiel Berthelot, war im Zeitraum von 1860 bis 1880 das Konzept der *vis vitalis* noch nicht vollständig verschwunden, ebenso war das Potential synthetische Moleküle, ohne eine permanente Einmischung des Chemikers herzustellen, nicht vorhanden. Die Synthesechemie entwickelte sich in diesem Zeitraum vielmehr unter der Prämisse der permanenten Intervention des Chemikers mit seiner Substanz. Die in diesem Zeitraum hergestellten natürlichen Substanzen wären allein durch eine Beobachterperspektive, durch eine Unterdrückung der Einmischung, niemals entstanden. Die Intervention des Chemikers in sein Syntheseexperiment war seit Ende des 19. Jahrhunderts bis heute erforderlich und ist Bestandteil der Syn-

³⁶⁹ Daston, Galison (2007): Objektivität, S. 127 f.

theseforschung, um die bereits geschilderten Widerstände im Syntheseverfahren zu überwinden. Eine mechanische Objektivität wird aufgrund der Intervention, aufgrund des Eingreifens des Forschenden in der Synthesechemie kaum zu verorten sein, weder im 19. Jahrhundert noch heute. Objektivität in Bezug auf die chemische Synthese muss sich also anders zeigen, was die Frage nach dem Objektivitätsideal der Synthese durch die Jahrzehnte bis heute aufgibt. Objektivität in Bezug auf die Disziplin der Synthesechemie muss sich also unter Berücksichtigung des Faktors der Intervention definieren lassen.

Neben der Berücksichtigung des Kriteriums der Intervention ist der Rahmen für den Status der Objektivität in der Synthesechemie bereits abgesteckt. Die Objektivität muss anhand der bereits dargestellten Parameter untersucht werden, die das Syntheselabor ausmachen, denn im Rahmen des Labors sind die Objekte existent, die die Synthesechemie sich selber schafft.

*„Alle Wissenschaften müssen Objekte auswählen und festlegen, mit denen sich arbeiten läßt, „Arbeitsobjekte“ im Gegensatz zu den allzu reichhaltigen und unterschiedlichen natürlichen Objekten. Arbeitsobjekte können Atlasbilder, typische Musterexemplare oder Laborprozesse sein – alles, was überschaubar, mitteilbar und repräsentativ für den Ausschnitt der Natur ist, der untersucht werden soll.“*³⁷⁰ Für die Synthesechemie liegt zu dem obigen Zitat dahingehend eine Diskrepanz vor, die sich daraus ergibt, dass sie sich in den letzten Jahrzehnten nur noch bedingt dadurch konstituiert, Ausschnitte der Natur zu untersuchen. Ihre Arbeitsobjekte konstituieren sich vielmehr dadurch, dass sie sich eben von natürlichen chemischen Substanzen unterscheiden, dass die Natur sie gerade nicht hervorbringt, sondern sie im Labor hergestellt werden. Dieses gilt für den größten Teil der Syntheseforschung. Davon abgesehen gibt es aber auch die Arbeit mit Naturstoffen im synthetisch-chemischen Laborprozess.

Objektivität wird nicht mehr allein als reine Isolation des Subjektes vom Objekt aufgefasst, der Forscher nicht als reiner Beobachter seines Experimentes. Es wurde erkannt, dass Subjekt und Objekt auf andere Weise miteinander kommunizieren können, die Objektivität also auf andere Weise bestimmt werden kann. Studien, wie die von Daston und Galison, wissenschaftsphilosophische Ansätze, wie die von Latour oder Bachelard, haben zu einer neu-

³⁷⁰ Ebd., S. 22.

en bzw. anderen Bestimmung von Objektivität in den Wissenschaften beigetragen und bieten auch für eine Untersuchung der Objektivität in der Synthesechemie wichtige Ansätze. „Die Illusion der Moderne lag im Glauben, mit zunehmendem Wachstum würden Subjektivität und Objektivität mehr und mehr voneinander geschieden und so eine von unserer Vergangenheit radikal verschiedene Zukunft geschaffen. Nach dem Paradigmenwechsel in unserer Konzeption von Wissenschaft und Technik wissen wir, daß dies nie der Fall sein wird, auch noch nie der Fall gewesen ist. Objektivität und Subjektivität stehen einander nicht gegenüber, sie wachsen zusammen, und zwar irreversibel.“³⁷¹ Latour bietet mit dieser Überlegung einen Ansatz, der sich auch für die Synthesechemie als sinnvoll erweist. Dadurch dass Latour kein Geschieden-Sein von Objekt und Subjekt fordert, kommt dies einer Disziplin wie der Synthesechemie entgegen. Denn durch den Faktor der Intervention, die den Synthesechemiker an sein Syntheseexperiment bindet, ist ein Geschieden-Sein beider kaum möglich. Die Überlegung von Latour legt hier dar, dass ein Geschieden-Sein von Objekten und Subjekten nicht erforderlich ist, um einen Status von Objektivität zu haben. Das Abhängigkeitsverhältnis von Subjekt und Objekt zeigt sich in der Synthesechemie derart offensichtlich, dass es fast schon trivial erscheinen mag, es zu erwähnen: Ohne die Subjekte gibt es keine konstruierten Objekte, die Objekte wiederum verhelfen der Synthesechemie sowie dem Synthetiker zum Fortschreiten und Fortbestehen seiner Forschung und formen bzw. verformen die Entwicklung der Synthesechemie.

Was also ohne große Mühe deutlich erkennbar wird, ist, dass ein Objekt in der Synthesechemie kaum zu finden ist, das vom Subjekt separiert oder zumindest weitestgehend als unterscheidbar gilt. „Objektiv sein heißt, auf ein Wissen auszusein, das keine Spuren des Wissenden trägt – ein von Vorurteil oder Geschicklichkeit, Phantasievorstellungen oder Urteil, Wünschen oder Ambitionen unberührtes Wissen. Objektivität ist Blindsehen.“³⁷² Nach diesem Zitat von Daston und Galison definiert sich *objektiv sein* als absolut spurenfrei, also unbelastet. Synthetisch hergestellte Laborprodukte erfüllen die zuvor genannte Forderung nicht, denn Syntheseprodukte erfüllen gerade in der angewandten Forschung nahezu immer die Wünsche und Ambitionen eines oder mehrerer Subjekte. Daher trägt der

³⁷¹ Latour (2002): Die Hoffnung der Pandora, S. 263.

³⁷² Daston, Galison (2007): Objektivität, S. 17.

Herstellungsprozess stets Spuren auch des Wissenden, also des Chemikers. Wünsche oder Ambitionen sind vielmehr häufig die Initiatoren des Wissens über synthetische Verfahren oder Produkte. Nimmt man sich jedoch den Begriff von Daston und Galison des *unberührten Wissens* vor, kann dieser in einer bestimmten Weise an künstliche Syntheseprodukte herangetragen werden, der eine Verbindung des obigen Zitats mit der Synthesechemie erkennen lässt und diese Disziplin nicht etwa in den bloßen Status einer *systematischen Kunst*³⁷³ degradiert. Ein künstliches Syntheseprodukt zeigt sich als Objekt dort, wo der Parameter des Nicht-Wissens greift, also am neuen gerade entstandenen Produkt. Dadurch dass der Synthesechemiker zu Beginn über kein Wissen vom Produkt verfügt, kann es als unberührt gelten. Der Unterschied zu Dastons und Galisons Darstellung ist, dass in der Synthesechemie nicht das Wissen unberührt ist, denn es gibt noch kein Wissen um das Syntheseprodukt kurz nach seiner Entstehung. Dadurch dass es unberührt ist, wird es zum Objekt. Der Syntheseprozess im Labor vermag Forschungsgegenstände hervorzubringen, die durch ihr Nicht-Wissen den Anspruch einer Objektwerdung erfüllen. Man muss also vielmehr in bzw. für die Synthesechemie nicht von vorneherein von einer Objektivität der Methode sprechen, sondern die Methode ist vielmehr der Weg hin zu den Objekten. Daher sollte man von der Methode der Synthese selber nicht als eine objektive Methode, sondern vielmehr als einer objektivierenden Methode reden. Das heißt, ein Objekt oder auch eine Objektivität ist nicht von vorneherein in der Synthesechemie gegeben, bildet also keine Voraussetzung sondern entsteht nach obiger Argumentation mit einem Artefakt. Demnach kann man an dieser Stelle weniger von Objektivität in der Synthesechemie sprechen, sondern vielmehr von einer Objektivierung. Mit Objektivierung ist an dieser Stelle die aktive Methode gemeint, die ein Objekt Wirklichkeit werden lässt. Die Objektivierung ist die Form der Objektivität in der Synthesechemie.

Das Nicht-Wissen, was mit der Produktion einer (neuen) und deshalb prima facie unbekanntem chemischen Substanz einhergeht, wird durch die Analyse dieser neuen Substanz (NMR-Spektroskopie, Kristallstrukturanalyse etc.) und die erneute Umsetzung dieser Substanz mit anderen chemischen Strukturen überwunden. Einen objektiven Charakter behält das synthetische Produkt trotz der Überwindung des Nicht-Wissens bei, weil die Substanz

³⁷³ Vgl. Kant (1997): *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, S. 7.

selbst einer kritischen Betrachtung unterliegt, dadurch dass sie immer wieder aufs Neue kontextualisiert wird. Das bedeutet, jede neu entstandene Struktur wird der theoretischen und experimentellen Kritik unterworfen, indem sie sich in neuen Kontexten, wie der Reaktionsfähigkeit, elektrischer Leitfähigkeit oder Hitzebeständigkeit zu bewähren hat.

Bereits beim Vorgang des Synthetisierens spielen technische Geräte und Instrumente zur Realisierung des Materiell-Möglichen eine große Rolle. Hinsichtlich dieses Aspekts kann der Forscher aus seiner Rolle des Intervenierenden zurücktreten, obwohl er sie nicht ganz aufgeben kann. Die Intervention wird eben vom Instrument übernommen. *„Die Erkenntnis wird in dem Maße objektiv, wie sie durch Instrumente vermittelt ist.“*³⁷⁴ Das Instrument übernimmt in dem Augenblick, in dem es in den Synthesevorgang eingreift, die aktive Rolle des Synthetikers und verdrängt ihn somit für diesen Zeitraum in die Rolle des Wächters, des stillen Teilhabers am Syntheseprozess. Die Objektivierung kann sich also, solange der Forscher das Instrument als Substitut seiner selbst benutzt, in dem Maße konstituieren, indem der Forscher sich in der Passivität des Überwachens eines zunehmend über Instrumente vermittelten Vorgangs übt. Dies ist eine weitere Form, um die Objektivität in der Synthesechemie zu verorten und ihren Status zu definieren.

Welchen Status hat nun die Objektivität in der Chemie? Welche Funktion besitzt sie für die chemische Synthese bzw. deren Durchführung im chemischen Laboratorium? Es ist eine Tatsache, dass sich die Objektivität mit den Gegebenheiten und Charakteristika des chemischen Laboratoriums arrangieren muss, was dazu führt, dass die Objektivität keinen Bestand hat und vielmehr – Bachelard folgend – in eine Objektivierung umgewandelt werden muss. Diese Objektivierung geht im Sinne einer Prozessierung – dem Prozess der Synthese – vonstatten. Was bleibt dann noch von der Objektivität?

„So erlebt denn die Chemie, die lange Zeit als die substantialistische Naturwissenschaft par excellence galt, wie das Wissen um ihre Stoffe immer subtiler wird. Beurteilt man das Objekt nach den Beweisen seiner Objektivität, so muß man sagen, das Objekt mathematisiert sich zunehmend und zeigt eine einzigartige Annäherung von experimentellem und ma-

³⁷⁴ Bachelard (1987): Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes, S. 315.

*thematischem Beweis.*³⁷⁵ Nach dieser Überlegung bekommt das Objekt, die Objektivierung noch einen zusätzlichen Aspekt, der hinzugedacht werden muss. Insofern die Objektivierung mathematisierbar ist, gewinnt der Syntheseprozess an Verifikationspotential. Diese Mathematisierbarkeit bezieht sich in der Synthesechemie hauptsächlich auf Bindungsparameter, wie Bindungslängen, Bindungsstärken etc. Nichtsdestotrotz bleibt in der Synthesechemie das Ziel die Realisierung von Synthesewegen und synthetischen Substanzen. Eine reine Mathematisierung, die Möglichkeit, rein rechnerisch eine Substanz herzustellen, ist und bleibt deshalb ungenügend. Sie kann zur Objektivierung beitragen, steht aber in keiner direkten Verbindung zur Realisierung im Laboratorium.

6. Resümee

Der Versuch, wie man das Labor der Synthesechemie als einen Ort der Forschung charakterisieren kann, erfolgte in zwei Schritten: Der erste Schritt bestand in einer Definition des Syntheselabors, die das Charakteristikum der Herstellung von Artefakten in den Mittelpunkt stellte und das Syntheselabor als den Ort des Materiell-Möglichen charakterisierte. Diese allgemeine Definition wurde im zweiten Schritt verfeinert, indem einzelne Parameter aufgezeigt wurden, die die Syntheseforschung der Chemie und den Ort des Syntheselabors charakterisieren. Die Parameter von Offenheit, Systematik, Dynamik, Kreativität, Funktionalität, Pragmatik, Intuition, Variation, Komplexität, Ungewissheit und Realisierung zeigen einzelne Bereiche und Kriterien der Syntheseforschung in der Praxis. Da hier gerade der Aspekt der Praxis der Synthesechemie in den Vordergrund rückt, sind diese für eine zeitgemäße Philosophie der Synthesechemie bedeutend.

Man hat im Zuge der Untersuchung des Syntheselabors gesehen, dass Faktoren wie Variabilität, der Bereich des Möglichen und im Zuge dessen der Realisierungsaspekt oder die Ungewissheit eine große Rolle spielen und die Arbeit im Syntheselabor anleiten. Kann man somit das Unstete, die Veränderung als Motor für die praktische Syntheseforschung

³⁷⁵ Bachelard (1988): Der neue wissenschaftliche Geist, S. 84.

betrachten? Beantwortet man die Frage vorläufig mit *Ja*, dann wäre dies ein Erklärungsansatz für Schummers Behauptung, die Synthesechemie passe in keines der herkömmlichen wissenschaftstheoretischen Schemata, die Variabilität nehme einen zu großen Platz ein, da in der Synthesechemie eher in Richtung auf Vielheit und Steigerung der Komplexität der chemischen Strukturen agiert wird und nicht auf die Vereinheitlichung und Entwicklung von Theorien. Denn der Erfolg der Synthesechemie zeigt sich in ihrer Produktivität. Die stetige Erweiterung chemischer Stoffklassen durch chemische Strukturen spiegelt sich, wie eingangs erwähnt,³⁷⁶ in der Anzahl der Publikationen über die Herstellung dieser Strukturen wieder. Dieses Ziel der Herstellung, einer fortlaufenden Produktivität, muss man also bei der Untersuchung des Labors der Synthesechemie berücksichtigen und es zeigt gleichfalls, warum der Aspekt der Realisierung und der Bereich des Möglichen eine so bedeutende Rolle spielen. Die Motive für die enorme Produktivität der Synthesechemie vor allem im 20. Jahrhundert liegen in dem gesellschaftlichen und industriellen Bedarf, was auch bereits die Geschichte der Synthesechemie ab dem späten 19. Jahrhundert zeigt. Ebenso werden durch die herausragende Produktionskraft der Synthesechemie Synthesestrukturen dazu genutzt, theoretische Fragestellungen, Modelle sowie Bestätigungs- und Widerlegungsfälle für bestimmte Theorien zu entwickeln und zu klären.³⁷⁷ Die Produktivität berührt also nicht nur die Praxis der Synthesechemie, sondern ebenso das Theoriegeflecht.

Zu Beginn dieser Betrachtung des Syntheselabors wurde das Strukturen-Netzwerk, die chemische Matrix erwähnt. Analog zu Schummers Referenznetz der Chemie³⁷⁸ ist die Idee des Strukturen-Netzwerkes, eine Art chemischer Landkarte, entstanden. Jedoch ist das hier angenommene Strukturen-Netzwerk in erster Linie ein Ausdruck mit weiter Bedeutung. Er steht für a) die im Syntheselabor produzierten Artefakte und b) bedeutet Netzwerk, dass die chemischen Strukturen untereinander in Verbindung stehen und durch gleiche, ähnliche oder vergleichbare Eigenschaften untereinander in Beziehung zu setzen sind. Stellt man sich also eine dreidimensionale Netzstruktur vor, dann sind die Knoten chemische Struktu-

³⁷⁶ Vgl. Teil III: Kap. I. Einleitung zur Synthesechemie in der Praxis.

³⁷⁷ Vgl. Schummer: Ist die Chemie eine schöne Kunst? Ein Beitrag zum Verhältnis von Kunst und Wissenschaft. In: Zeitschrift für Ästhetik und allgemeine Kunstwissenschaft Vol. 40/ 2 (1995), S. 153.

³⁷⁸ Vgl. Schummer (1996): Realismus und Chemie, S. 232 ff.

ren und die Linien, die die Knoten miteinander verbinden, vergleichende Eigenschaften chemischer Strukturen (wie ihr chemisches Verhalten, ihre Reaktionsfähigkeit, ihre Säurebeständigkeit etc.). Diese Netzstruktur kann als ein Fahrplan für die Beschäftigung mit chemischen Strukturen gesehen werden.

Dieses Netzwerk, die Matrix, wie man sie auch aufgrund ihrer dreidimensionalen Eigenschaft nennen kann, kann ebenfalls als ein Werkzeug für die Arbeiten im chemischen Syntheselaboratorium angesehen werden. Die Funktion dieses Werkzeugs besteht darin, Ergebnisse, die im Syntheselabor produziert werden, für neue Substanzen nutzbar zu machen, die dann wieder im Labor realisiert werden sollen. Die Funktion zeigt sich im Aufstellen von Relationen zwischen chemischen Strukturen und Syntheseverfahren. Dieses Werkzeug ist unerlässlich für die Konstituierung des Materiell-Möglichen. Man kann also als ein weiteres Kriterium von Synthesechemie und Syntheselabor das Strukturen-Netzwerk anführen. Dieses Strukturen-Netzwerk weist zu Schummers Konzept den gewichtigen Unterschied auf, dass in dem hier getätigten Vorschlag Strukturen und nicht Stoffe im Vordergrund stehen.³⁷⁹

Das hier nicht von Stoff im Allgemeinen die Rede ist, sondern die Struktur in erster Linie unter dem Oberbegriff des Materiell-Möglichen verstanden wird, hängt auch mit den Syntheseverfahren zusammen, wie sie in der Chemie praktiziert werden. Denn im Syntheseplan, im Postulieren eines Zielmoleküls, in den Kontrollen des Syntheseverfahrens, in den einzelnen Stufen einer Mehrstufensynthese lässt sich vielmehr die Fokussierung auf die Struktur feststellen und nicht auf den allgemeinen Begriff des Stoffes. Zu einem späteren Zeitpunkt wird der Stoff-Struktur-Aspekt wieder aufgegriffen werden. Die Laborparameter wie Funktionalität, Systematik, Realisierung oder Komplexität mit dem Strukturbegriff lassen sich sinnvoller füllen, als mit dem Stoffbegriff und mit diesem Ansatz wurden die zuvor aufgezählten Parameter auch diskutiert.

³⁷⁹ Schummer geht in seinen philosophischen Reflexionen zur Chemie von der Stoffperspektive aus und versucht diese Stoffperspektive für eine Philosophie der Chemie auszubauen. Den seit der Antike bestehenden Dualismus von Stoff und Form entscheidet Schummer zugunsten des Stoffes für eine Philosophie der Chemie und baut seine Argumentation aus Sicht der Stoffperspektive auf. [Vgl. Schummer: Die Rolle des Experiments in der Chemie. In: Janich, Psarros: Philosophische Perspektiven der Chemie (1994), S. 45.]

Die Definition des Syntheselabors als Ort der Konstituierung des Materiell-Möglichen hat sich durch die Parameter insoweit bestätigt, als beispielsweise Realisierung, Offenheit, Dynamik, Kreativität, Variation und Ungewissheit die Forschung der Synthesechemie offenbar mitgestalten. Diese Parameter zeigen, dass die Konstituierung des Materiell-Möglichen auf offene Grenzen trifft. Das heißt, die Syntheseforschung im Labor zeichnet sich weniger durch ein bestehendes starres Forschungsgefüge aus, sondern vielmehr durch das Potential der Erweiterung von bereits existierenden Forschungsansätzen. Man kann also konstatieren: Mit dem Zuwachs an chemischen Strukturen, mit dem Anstieg des Materiell-Möglichen wachsen auch die Möglichkeiten, die das Syntheselabor für die Forschung bietet und eröffnen damit die Möglichkeit, das Syntheselabor in einem weiten Kontext zu interpretieren. Hier herrscht kein allzu strenges Protokoll der Forschung. Die Forschung im Syntheselabor ist vielmehr offen für neue Ansätze. Dennoch verläuft die Forschung nicht unsystematisch, was die Parameter Systematik, Funktionalität und Komplexität zeigen. Diese Parameter belegen den wissenschaftlichen Anspruch, den die Synthesechemie und die Syntheseforschung im Labor an sich selbst stellt und der den Geltungsanspruch innerhalb der Wissenschaftlergemeinschaft aufrecht erhält und bestätigt.

Als letzter Punkt nimmt auch die Rolle der Objektivität in der Synthesechemie eine spezifische Rolle ein. Man kann aufgrund der spezifischen Parameter die Praxis der Synthesechemie erkennen, die kontinuierliche Interventionsmomente zwischen Forschendem und Forschung offenbaren und damit die Rolle des Chemikers als bloßer Beobachter des Experiments vermissen lassen. An die Stelle der Objektivität tritt in der Synthesechemie die Objektivierung. In der Synthesechemie objektiviert man durch das Verfahren der Synthese neue unbekannte chemische Strukturen. Diese zeichnen sich zuerst durch ein Nicht-Wissen über ihre Eigenschaften aus. Die damit offenbar werdenden Bereiche des Nicht-Wissens sind somit vom Subjekt zu lösen. Diese Erreichung des Zustandes der Objektivierung geht einher mit der Realisierung des Ergebnisses des Syntheseprozesses. Subjekt und Objekt sind in der Synthesechemie kaum voneinander zu trennen, da beide ihre unerlässliche Rolle für die Realisierung chemischer Strukturen spielen. Die Vermittlung zwischen beiden übernimmt in der Synthesechemie die Objektivierung. Die Grenzen für den Syntheseprozess und somit für eine Realisierung wie für eine Objektivierung sind identisch mit den Naturgesetzen, da das Syntheselabor zwar weniger zur Erforschung selbiger beiträgt, jedoch trotz

der Realisierung neuer chemischer Strukturen keine Zauberküche ist, sondern vielmehr ein Ort des naturwissenschaftlichen Wissens und Nicht-Wissens, ein Ort der naturwissenschaftlichen Arbeit und der Forschung, ein Ort des Denkens und des Handelns über und mit chemischen Strukturen.

Teil IV: Die Philosophie der Synthesechemie

1. Voraussetzungen

Im Vorhergehenden wurde sich der chemischen Synthese auf verschiedene Weisen genähert. Dieses geschah zunächst als Abgrenzung der Synthese in der Chemie gegenüber anderen Disziplinen, die sich der Methode der Synthese bedienen. Die zweite Annäherung war die Aufarbeitung der Geschichte der chemischen Synthese. Die dritte Annäherung schließlich bestand in einer möglichst aktuellen Beschreibung der Anwendung der chemischen Synthese im Rahmen des Chemielabors, also in Form eines internen Blicks in die chemische Syntheseforschung.

Deutlich wurde die gemeinsame Intention der drei Zugänge, nämlich aufzuzeigen, dass und warum die Synthese für die Chemie bedeutsam war und ist. Es wurde gezeigt, dass die Synthese für eben die Entwicklungsgeschichte der Chemie einen der zentralen Parameter darstellte und diese konstituierende Rolle auch in der modernen Chemie noch inne hat. Das zweite Ziel bestand darin, genau diese Immanenz der Synthese in der und für die Chemie zu nutzen, um auch eine wissenschaftsphilosophische Relevanz der Synthesechemie zu unterstellen und auf diese Basis eine Wissenschaftsphilosophie der Chemie ausgehend von dem Synthesekonzept und dem Ansatz der Synthesechemie zu rekonstruieren.

Im Folgenden soll deshalb der Versuch unternommen werden, die Synthese in das Zentrum der Wissenschaftsphilosophie zu stellen und dieses theoretische Konzept dann in der Anwendung zu überprüfen. Zur Entfaltung des theoretischen Modells gilt es die einschlägigen Positionen im philosophischen Diskurs zu würdigen. Die Überprüfung der Anwendbarkeit wird in Bezugnahme der Synthesechemie auf die Frage nach dem Verhältnis von Natur und Technik erfolgen.

Wie lässt sich nun aus den drei bisherigen Abschnitten der Untersuchung, die alle das Ziel hatten, eine Beschreibung und eine Erklärung der chemischen Synthese zu sein, eine Philosophie der Chemie entwickeln, die genau die Synthese als ihre Basis hat? Der erste Schritt besteht in der Rekapitulation der drei Teile, also der Sammlung und Strukturierung der Informationen zur chemischen Synthese, die unerlässlich für diese Philosophie der Chemie sein werden.

Gleichfalls wird durch die Berücksichtigung der historischen Entwicklung des Konzeptes der chemischen Synthese die Möglichkeit eröffnet, die Philosophie der Synthesechemie als eine Epistemologie darzustellen. Die Betrachtung der Veränderungen, die das Konzept der chemischen Synthese durch die Jahrhunderte erfahren hat, ist ein Beweis für die jahrhundertelange Existenz des Konzeptes selber.

Zusammengefasst wird es hier also als ein Vorteil begriffen, wenn man einen neuen Philosophiezweig ausbauen möchte, diesen auf eine möglichst breite Basis zu stellen und auch methodisch derartig vorzugehen, dass mehrere Bereiche, mehrere disziplinäre Ansätze der Synthesechemie miteinander verbunden werden. Denn die so entworfene Philosophie der Chemie soll nicht einseitig sein, sie soll sich nicht durch eine schmale, zu eng gesteckte Basis, ihres eigenen Fundamentes berauben. Damit einher geht jedoch nicht nur die Vielfalt und Fülle der Basis, die Quantität, die Breite des Fundamentes, sondern gleichfalls ergibt sich durch die Betrachtung der Synthese aus mehreren Blickwinkeln eine Steigerung der Qualität. Dadurch soll die Philosophie der Synthesechemie auf weniger Widerstände, weniger Kritik bei Wissenschaftlern und Philosophen stoßen, wenn sie von mehreren Seiten aus betrachtet wird.

Im weitesten Sinne wird somit dieser Versuch einer Philosophie der Chemie eine Epistemologie sein, der Versuch einer Wissenschaftsphilosophie, die die Entwicklung ihres Gegenstandes (die chemische Synthese) mit einschließt. Diese Epistemologie soll dennoch aktuell sein, was die Berücksichtigung des Laborkontextes gewährt. Sie soll die chemische Synthese als eine eigenständige wissenschaftliche Methode präsentieren, auf deren Grundlage es möglich ist, eine Philosophie der Chemie basieren zu lassen.

Der Inhalt dieser Philosophie der Chemie soll nun, analog zur Methode der Synthese in der Chemie, vom Einfachen zum Komplexen fortschreiten. Dieses Merkmal ist der Synthese als Methode insgesamt zu eigen. Es soll sich einmal dadurch zeigen, dass die bereits erwähnten und bisher sukzessiv dargestellten drei Teile nun miteinander verbunden, sprich zusammengefügt werden. Der Inhalt dieser Teile soll gleichfalls vom Einfachen zu komplexeren Inhalten fortschreiten, sodass sich aus dem Konglomerat aus Definitionen, Informationen und Denkansätzen zur Synthesechemie eine einheitliche Philosophie der Chemie entwickelt.

Von dieser Philosophie ist gefordert, dass sie bestimmte Voraussetzungen erfüllt. Sie muss bestimmten Anforderungen genügen, um als eine Philosophie der Synthesechemie anerkannt zu werden und sie muss das Ziel haben, die Chemie auf reflexiver und erkenntnistheoretischer Ebene zu präsentieren. Im Folgenden werden nun diese Anforderungen und Voraussetzungen aufgezeigt.

Es wäre paradox, diese zukünftige Philosophie der Synthesechemie durch Analyse in ihre Eigenschaften und Bestandteile zu zerlegen, denn sie muss erst wachsen. Sie muss entstehen. Sie muss sich erst durch ihre Entstehung die Möglichkeit ihrer Bewahrheitung erringen, ihren Wert durch eine entstehende Gesamtkonstruktion beweisen, die Vollständigkeit zu erlangen sucht.

Was bedeutet der hier dargestellte Teil I, in dem die verschiedenen disziplinären Ansätze von Synthesemethoden dargelegt worden sind? Der Grund für diese komparative Untersuchung ist einfach und dadurch beinahe selbstverständlich: Hier wurde gezeigt, dass sich durch die Fokussierung von Materie in der Methode der Synthese andere Implikationen sowie Komplikationen als bei geistigen oder logischen Syntheseformen ergeben. Durch den sich unterscheidenden Inhalt dessen, was Gegenstand der Synthesemethode ist (nämlich Materie oder logische oder gedankliche Konstruktionen) werden die jeweils verschiedenen inhaltlichen Bedingungen hervorgehoben, unter denen das formal analoge methodische Vorgehen der Synthese, der Zusammenfügung praktiziert wird. Bei der chemischen Synthese müssen im Gegensatz zu allen anderen Formen der Synthese die Spezifika und Widerstände, die Materie bietet, berücksichtigt werden. Im Gegensatz dazu müssen beispielsweise bei der geometrischen Synthese lediglich vorläufige Grenzen des Denkens Berücksichtigung finden. Das Aufzeigen der Differenzen zwischen den Syntheseformen hilft also auch die materielle (chemische) Synthese von immateriellen Formen abzugrenzen und aufzuzeigen, auf welche Weise sie sich abgrenzt. Damit ist die erste Stufe geleistet, die darin bestand, noch einmal herauszustellen, was an der chemischen (materiellen) Synthese anders ist als an der Anwendung von der Synthesis bei Kant, der wissenschaftstheoretischen Synthese Bachelards oder der synthetischen Geometrie Euklids.

Weiterhin eröffnet der obige Vergleich den Blick auf die Tatsache, dass diese Philosophie den Grundsatz berücksichtigen muss, dass im Fall der Chemie nicht das Denken der Wissenschaftler der Synthese Grenzen setzt, sondern die Materie selbst. Das heißt, die Synthe-

sechemie, der Synthesechemiker begrenzt sich und seine Wissenschaft nicht dadurch, was er ihr für Maximen, Definitionen und Axiome auferlegt, sondern sie wird vielmehr begrenzt durch die Widerstände, die die Materie dem Synthetiker entgegensetzt.

Die Philosophie der Chemie muss berücksichtigen, dass der praktischen Umsetzung bei der Synthese ein Plan vorausgeht, dass trotz der immensen Bedeutung der Synthesemethode in der Chemie, die Analyse zur Verifikation von Substanzen nicht zu vernachlässigen ist, sie muss berücksichtigen, dass die chemische Synthese im Labor Substanzen hervorbringt, die in der Natur nicht vorhanden sind, welche gleichfalls eine hohe Relevanz für den Alltag des Menschen und Folgen für die gesamte Ökosphäre besitzen. Und die Philosophie der Synthesechemie muss so variabel sein, dass sie berücksichtigt, dass sich die Auffassung und Bedeutung von Synthese als Methode innerhalb der Chemie ändern kann und diese dennoch ihre Relevanz für eine Wissenschaftsphilosophie der Chemie behält. Die Variabilität der Methode und des Begriffs von Synthese hat sich durch die Jahrhunderte in der Historie der chemischen Synthese gezeigt. Die Offenheit für ein variables und dennoch wissenschaftskonstituierendes Konzept von Synthese ist also eine Forderung der historischen Relevanz philosophischer Rekonstruktion. Außerdem muss sie die Parameter und Ansätze berücksichtigen, die für die chemische Praxis in Teil III aufgezeigt wurden. Die Philosophie der Synthesechemie muss sich mit dem Materiell-Möglichen, einer Dynamik, Offenheit, Realisierung und Objektivierung auseinandersetzen und diese in ihr Konzept mit einbinden.

Das sind die Grundvoraussetzungen, die eine Philosophie der Synthesechemie erfüllen muss. Dieses sind die Kriterien, nach denen sie ausgerichtet wird, um ihren Sinn und ihr Bestehen zu gewährleisten.

2. Die Philosophie der Synthesechemie

Nach der Beschreibung der Voraussetzungen wird nun auf die inhaltliche Ebene der Philosophie der Synthesechemie eingegangen. Bestimmte Parameter und Rahmenpunkte erweisen sich für den Entwurf einer Philosophie der Synthesechemie als unerlässlich, der ein spezifisches wissenschaftstheoretisches Bild konstruiert. Dieses Bild besteht aus mehreren

Mosaiksteinen, die im Folgenden dargestellt werden. Dabei ist vor allem entscheidend, wie sich dieses Bild der Philosophie der Synthesechemie zusammensetzt. Diesbezüglich sind zwei zentrale Punkte in dieser Bildkonstruktion hervorzuheben: Der eine Punkt betrifft die Frage, wie in der Synthesechemie Wissen erlangt und gesammelt wird, der andere Punkt betrifft die Frage, welche Position diese Philosophie demnach einnehmen muss, um die Zusammenhänge in diesem Bild zu erkennen und welche übergeordnete Struktur sie dabei hat, die verschiedene Parameter und Teile des Bildes zu verbinden vermag.

Dieses Bild aus Mosaiksteinen besitzt nicht den Anspruch vollkommen bzw. abgeschlossen zu sein. Sicherlich ist es möglich Mosaiksteine hinzuzufügen und so das Bild einer Philosophie der Synthesechemie zu erweitern. Dabei werden evolutionäre und revolutionäre Bestandteile in diese Philosophie einfließen und das Mosaik mit ausgestalten. Das Aufgreifen des Eingangsszenarios, was dafür plädierte, evolutionäre und revolutionäre Bestandteile in dieser Philosophie der Chemie zu suchen und zu finden, um sie dann miteinander zu verbinden, hat nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen seine Gültigkeit nicht eingebüßt. Man befindet sich mit der folgenden Philosophie der Chemie zwischen Evolution und Revolution. Sie ist Bestandteil eines evolutionären Feldes, weil sie bestehende wissenschaftsphilosophische Positionen aufgreift, für sich zu nutzen vermag und sich in ihnen wiederfindet. Die Revolution versucht neue Konstruktionen für eine Philosophie der Synthesechemie stark zu machen und ist als eine Abkehr von bestimmten Annahmen der bisherigen Wissenschaftsphilosophie zu verstehen.

2.1 Eine variable Philosophie

Eine Philosophie der Chemie, die die chemische Synthese als ihre Grundlage definiert, ist bisher noch nicht formuliert worden. Insofern sind die Positionen noch offen und können jetzt neu besetzt werden. Das heißt, in der Sekundärliteratur wurden bisher keine Aussagen, Konstruktionen oder Argumentationen entworfen, die nun für eine Philosophie der Synthesechemie als unvermeidbare Orientierungspunkte zu berücksichtigen wären. Die Offenheit für neue Setzungen sollte mit Bestimmungen gefüllt werden, die dann auch die Variabilität berücksichtigen, die die Arbeit im Labor, wie der Parameter der Variabilität darlegte, aus-

zeichnet. Diese Forderung ergibt sich daraus, dass das, was man unter chemischer Synthese versteht bzw. verstanden hat, ebenfalls variabel ist. Die Ausübung der Methode der Synthese in der Chemie verändert sich mit der Herausbildung bzw. dem Fortschreiten der chemischen Wissenschaft. Offensichtlich wird dies an der Geschichte der chemischen Synthese.³⁸⁰ Man muss diese Wandelbarkeit berücksichtigen und die Philosophie sollte dynamisch bleiben, darf nicht erstarren.

Die Philosophie der Synthesechemie muss weiterhin variabel sein, weil in der Synthesechemie durch die experimentellen Widerstände, die die Materie dem experimentellen Arrangement gegenüber leistet, die Grenzen für die Forschung aufgezeigt werden und weniger durch den Aufbau des Experiments selbst. Diese Philosophie muss also immer auch ein Außen berücksichtigen, ein Außerhalb ihrer selbst, ihres Selbstverständnisses speziell die bereits erwähnten Widerstände im Syntheseprozess. Diese Widerstände zwingen quasi zur Variabilität, man muss in der Synthesechemie variabel agieren können, um das Hinzu-kommen neuer chemischer Verbindungen zu gewährleisten.

Die Philosophie der Chemie muss also die Formen der Materie, die die chemische Synthese hervorzubringen vermag, zu ihrer Grundlage machen. Das bedeutet diese Philosophie muss eine experimentelle Philosophie sein. Sie muss ihre Grundlage in der Praxis finden. Sie muss die Praxis begleiten und hat die Aufgabe sie gegebenenfalls zu korrigieren. Es macht keinen Sinn eine Philosophie der Chemie zu entwickeln, die einzig normativ jenseits des Labors versucht, die Chemie zu durchdringen. Würde man eine derartige normative Philosophie für die Synthesechemie entwickeln, wäre diese mit den hier aufgezeigten Parametern der Laborforschung möglicherweise nicht vereinbar. Man würde eine Philosophie konstruieren, die dem Gegenstand, also der Synthesechemie, nicht konform geht und sich dadurch selber ihrer Grundlage berauben. Von außerhalb des Labors und ohne diese ist das komplexe Gefüge der modernen Syntheseforschung kaum denkbar und eine philosophische Reflexion, die dies nicht berücksichtigt, wäre eine Philosophie, die leere Worte spricht.

³⁸⁰ Vgl. Teil II: Die Geschichte der chemischen Synthese.

2.2 Surrealismus und Synthesechemie – Dialektiken und Komplexität

Für die Wissenschaftsforschung im Allgemeinen gibt es Ansätze die naturwissenschaftliche Forschung als dialektisch zu bezeichnen. „*Science advances by a combination of observation and theorizing. The relation between the two, which characterizes the dialectic of the growth of science, is of perennial interest.*“³⁸¹ Dialektiken zeigen sich ebenso in der Synthesechemie, deren Bedingungen noch näher erläutert werden, unter denen sie in der Synthesechemie existieren.

In der vorangegangenen Untersuchung, die die Grundlagen für eine Philosophie der Synthesechemie darstellen, lassen sich Merkmale finden, die eine dialektische Struktur besitzen. Auf die Synthesechemie bezogen meint dies grundlegend, dass hier als realgegensätzlich zu betrachtende Momente in selbiger festzumachen sind. Die Synthesechemie ist offensichtlich geprägt von begrifflichen Gegensätzen, die auch in der Verfahrensweise selbst zu verorten sind. Diese Gegensätze zeigen sich auf allgemeiner Ebene in den Oppositionen von Möglichkeit und Realität, Theorie und Praxis, Materie und Geist, Widerstand und Überwindung, Anwendungs- und Grundlagenforschung, Intuition und gesichertem Wissen, Plan und Umsetzung, Statik und Dynamik.

Die Dialektik bezieht sich in diesem Fall nicht auf eine Argumentationsmethode, mit der die Philosophie der Synthesechemie ihr Konzept entfalten und ihren Gegenstand bestimmen müsste. Sie ist vielmehr eine Beschreibungsform für die Inhalte der Synthesechemie, die in dieser Philosophie berücksichtigt werden müssen. Die Chemie als Wissenschaft ist dialektisch aufgebaut. Das gilt für die Synthesechemie im Speziellen und für die Chemie im Allgemeinen in ihrem Wechselspiel von Synthese und Analyse. Das heißt, man kann den Begriff der Dialektik auf zwei Ebenen für eine Philosophie der Chemie anwenden: Erstens auf der Ebene der hier zu untersuchenden Synthesechemie und zweitens auf der übergeordneten Ebene, die das Verhältnis des komplementären Methodenkanons von Analyse und Synthese beschreibt. Da es hier jedoch um eine Philosophie der Synthesechemie geht,

³⁸¹ Caldin: The Structure of Chemistry in Relation to the Philosophy of Science. HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry Vol. 8, No. 2 (2002), S. 117.

wird nur auf die erste Ebene näher eingegangen und die Dialektik auf eben jener beschrieben.

Ein ausgewähltes Fallbeispiel diene dazu, aufzuzeigen, was mit charakteristischen Dialektiken der Synthesechemie gemeint ist. Betrachtet man die Konzepte von Widerstand und Überwindung, dann wird der dialektische Charakter innerhalb der Synthesechemie in folgender Weise deutlich: Widerstände werden in der Synthesechemie offenbar, wenn sich die materiellen Strukturen im experimentellen Prozess nicht in der gewünschten Weise umformen, wenn also die im Syntheseplan konzipierte neue Substanz im Kolben trotz der entsprechenden Experimentalbedingungen und deren Änderungen (Druck, Temperatur, pH-Wert etc.) nicht entsteht. Der Widerstand der chemischen Substanz ist hier zu groß, die Bindungsbildungen erfolgen nicht in der im Syntheseplan angestrebten Art und Weise. Die Überwindung hingegen kennzeichnet eben jenen Moment des Nicht-Mehr-Vorhandenseins des Widerstandes und könnte grob mit dem Gelingen eines experimentellen Teilprozesses verglichen werden. Überwindung ist der Moment, der sich nach dem Widerstand einstellt. Doch die Überwindung steht in Wechselwirkung mit neuen Widerständen. Widerstand setzt sich gegen Überwindung durch, die dann wieder gegen Widerstand angehen muss. Dieses sind Arbeitsschritte des experimentellen Prozesses der Synthesechemie. Sie prägen den Syntheseprozess und sind somit wesentlicher Bestandteil der Forschung. Beide Aspekte, Widerstand und Überwindung, bleiben auch bei der Beschreibung des Syntheseprozesses bestehen. Wenn ein Widerstand durch Überwindung sich löst, tritt der nächste Widerstand an seine Stelle. Ob dieser Prozess endlich ist oder nicht, bleibe an dieser Stelle dahingestellt. Diese Abfolge beider Bestandteile des Syntheseprozesses zeigt, dass sie in ihm erhalten bleiben. Dieser Übergang benötigt keinen Vermittler, es gibt keine dritte Komponente, die in das Wechselspiel beider involviert ist. Sie bleiben komplementär erhalten. Insofern stehen sich Widerstand und Überwindung als oppositionelle Instanzen gegenüber und sind bei der Betrachtung des Syntheseprozesses unverzichtbare Momente des Geschehens, deren komplementäres Gefüge stetig fortläuft. Durch diesen Fortlauf des komplementären Gefüges und durch das Fehlen einer dritten Instanz, die im dialektischen Schema als Synthese bezeichnet wird und die Aufhebung der ersten zwei Instanzen bewirkt, gibt es zwischen Widerstand und Überwindung in der Synthesechemie keine Synthese, die aus These und Antithese hervorgeht.

Ein weiteres Beispiel für eine inhaltliche Dialektik der Synthesechemie ist die Opposition von Wissen und Nicht-Wissen. Auch diese beiden Aspekte koexistieren in der Synthesechemie und im Syntheseprozess. Wissen und Nicht-Wissen können als Vorstufen einer Erkenntnis in der Synthesechemie angesehen werden. Betrachtet man den Erkenntnisprozess als solchen, dann wird erneut eine Dialektik erkennbar, denn das Wissen wird im Syntheseprozess immer wieder einem Nichtwissen entgegengesetzt, was in ein Wissen umgewandelt werden soll. Beides bleibt in der Synthese, im Syntheseprozess bestehen, wird nicht aufgelöst, sondern besteht vielmehr durch die stetige Wechselwirkung fort, bewegt sich in seiner Komplementarität, die versucht, die Widerstände zu lösen, die die Synthese aufwirft. Es ist sogar von Vorteil, wenn nicht gar notwendig, dass Nicht-Wissen und Wissen in komplementärer Weise einander immer wieder begegnen. Nur so ist das permanente Fortschreiten bei der Synthese in der Forschung gewährleistet. Für den Chemiker bedeutet dies, dass er auch Instrument dieses Fortschreitens ist, da Wissen und Nichtwissen sich durch ihn konstituieren und verändern. Er ist jedoch nicht nur Instrument, sondern zudem Institution, die so variabel sein muss, dass sie in der Komplementarität von Wissen und Nichtwissen bestehen kann. Der Synthesechemiker befindet sich in gewisser Weise in einem intermediären Status zwischen Wissen und Nichtwissen, zwischen bewährten und sich zu bewährenden Experimentalsystemen, zwischen Interpretation und Vermutung. Denn das chemische Netzwerk der Substanzen ist stets und stetig erweiterbar, befindet sich in einem nahezu permanenten Wandel. Diesen Wandel muss der Synthesechemiker mittragen.

Bachelard vertritt in seiner Wissenschaftsphilosophie die Auffassung, dass Dialektiken ein wesentliches Moment von Wissenschaft sind. Diese bewusst im Plural gehaltene Formulierung findet sich in der Sekundärliteratur zum Konzept der Dialektik im epistemologischen Werk Bachelards.³⁸² Eine der Dialektiken, die Bachelard ausführt, ist die zwischen Vernunft und Erfahrung, die schließlich die Dialektik in ihrer Komplementarität verkörpert und im Begriff des angewandten Rationalismus ihre Erklärung findet. Als angewandten Rationalismus bezeichnet Bachelard den Dialog zwischen Theoretiker und Praktiker in den Naturwissenschaften. Es ist ein Rationalismus, der die Beweise seiner Fruchtbarkeit in die Organisation des technischen Denkens hineinträgt und durch seine Anwendung objektive

³⁸² Vgl. El yaznasni (2002): Dialektik im epistemologischen Werk Gaston Bachelards, S. 220.

Werte generiert.³⁸³ Diese Dialektiken des angewandten Rationalismus finden sich im Wechselspiel von Theorie und Praxis anhand einzelner wissenschaftlicher Phänomene, die durch mathematisches Denken und durch experimentelle Technik konstruiert werden. Ein ähnliches Prinzip von Dialektik wird für die Synthesechemie angenommen. Auch wenn der Syntheseplan und das Syntheseverfahren dasselbe Ziel verfolgen, ist dieses Ziel durch die gegenseitige Kontrolle zu erreichen. Das heißt, beide Instanzen (Syntheseplan und Syntheseverfahren) bleiben in komplementärer Weise bestehen, um den Erfolg der gesamten Synthese zu gewährleisten, indem sie sich gegenseitig kontrollieren.

Die dialektischen Momente können also nicht aufgelöst werden, weil in dieser Auflösung die Bedeutung einzelner Parameter verloren gehen würde. Hier besteht keine Synthese in Form einer Hybris, sondern in der Bedeutung einer Verbindung, die das Neue durch eben jenes verbindende Element schafft, indem sie das Alte aber bewahrt. Es geht nicht um die Negation des einen zugunsten der Bejahung des anderen. Es geht vielmehr um eine Form von Dialektik, die möglichst viele Aspekte der Synthesechemie umgreift, welche sich in der Chemie nicht als negierende oder verschmelzende Aspekte präsentieren, sondern bei denen das dialektische Verhältnis durch Komplementarität besteht.

An einem Punkt kann man eine quasi direkte Verbindung zwischen Bachelards Dialektiken und der Chemie erkennen und dieser Aspekt bezieht sich wesentlich auf die Synthesechemie. Diese Verbindung offenbart sich darin, dass Bachelard das rationale Substitut der Strukturformel dem Experiment entgegensetzt, wobei die Möglichkeit der Realisierung von experimentellen Ergebnissen, sich in ihrem Wechselspiel zeigt.^{384,385} Was könnte ein klarerer Ausdruck einer dialektischen Verfahrensweise innerhalb der Chemie als eine derartige Überlegung sein? Die Dialektik besteht auf der einen Seite aus der Ebene der Strukturformeln, die aufgestellt und vorhergesagt werden können. Auf der anderen Seite gibt es die Ebene des Experimentes, das im Labor umgesetzt wird. Die Dialektik ergibt sich nun zwischen Strukturformel und Experiment, dadurch dass die rationale Strukturformel analog zum Syntheseplan Vorhersagen zum Ergebnis des Experimentes oder zu seinem Verlauf

³⁸³ Vgl. Bachelard (1993): Epistemologie, S. 130.

³⁸⁴ Vgl. Teil III: Kap. 4.4 Kreativität.

³⁸⁵ Siehe weiterführend hierzu auch: Jacob: Analysis and Synthesis. In: Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry Vol. 7, No. 1 (2001), S. 45 ff.

machen. Das Experiment selber gibt jedoch erst Auskunft über die Existenz einer Strukturformel, über das Gelingen des Verfahrens. Es wird damit der dialektische Charakter von der Möglichkeit (der Strukturformel) und der Realität (das Ergebnis eines Syntheseverfahrens) deutlich. Nur eine der beiden allein würde den vollen Umfang erfolgreicher Synthesen nicht zeigen. Erst beide in Abhängigkeit voneinander führen erfolgreich chemische Synthesen durch.

Eine Einschränkung geht allerdings mit dem bachelardschen Konzept von Dialektik einher, nämlich dass Bachelard den Begriff von Dialektik nicht präzise definiert oder in einen philosophischen Kontext seiner Zeit einfügt, wie schon El yaznasni in seiner Untersuchung zur Dialektik im epistemologischen Werk Bachelards feststellt.³⁸⁶ Diese mangelnde Präzision ist ein Problem, wenn man sich auf die Dialektik der Philosophie der Naturwissenschaften nach Bachelard bezieht. Denn es bleibt die Möglichkeit einer Fehlinterpretation der Dialektik oder durch die Verwendung der bachelardschen Dialektik in eigenen Überlegungen kann dadurch ein Schwachpunkt der Argumentation im eigenen Konzept entstehen.

Dennoch kann das dialektische Prinzip verwendet werden, weil sich eben dialektische Tendenzen in der Synthesechemie finden lassen und auch jenseits der bachelardschen Wissenschaftsphilosophie gefunden, ausgeführt und begründet wurden, wie die vorangegangene Untersuchung gezeigt hat. Diese Annahme und Darstellung einer Dialektik in der Synthesechemie dient dabei als eigenständiger Ansatz für eine Philosophie der Chemie, ohne den Anspruch zu haben, unfehlbar oder umfassend anwendbar zu sein.

Bachelard spricht auch von einer Dialektik zwischen Materie und Form. „*En effet, l'histoire de la représentation des lois de la composition chimique depuis un siècle et demi doit suivre l'action d'une dialectique incessante qui traverse toute la chimie et qui va successivement de la forme à la matière et de la matière à la forme.*“³⁸⁷ Eine solche Dialektik betrifft allerdings, auf die Chemie übertragen, lediglich die Entwicklung bis vor 50 Jahren. Heute jedoch muss man sich gerade aufgrund der Tatsache, dass die Synthesechemie sich an Strukturen und ihren Untereinheiten, den funktionellen Gruppen orientiert, von dem

³⁸⁶ Vgl. El yaznasni (2002): Dialektik im epistemologischen Werk Gaston Bachelards, S. 140.

³⁸⁷ Bachelard (2010): *Le matérialisme rationnel*, S. 113.

Begriff der Materie und dem Begriff des Stoffes mehr und mehr entfernen, weil sie zu unpräzise sind.

Die Dialektik in der Synthesechemie bewegt sich auch zwischen Möglichkeit und Wirklichkeit. Das Labor, als Ort des Materiell-Möglichen, dient dazu eine im Syntheseplan erdachte Möglichkeit, Wirklichkeit werden zu lassen, die dann wiederum eine oder mehrere Möglichkeiten zulässt, die zu einer Verwirklichung führen können. Verwirklichungen finden Eingang in das Netzwerk der chemischen Substanzen, die damit das Arbeitsmaterial des Synthetikers darstellen. Nur in dem gegenseitigen Bestehen-Bleiben von Wirklichkeit und Möglichkeit in der Synthesechemie, nur durch permanente Komplementarität, wird das Fortschreiten in der Synthesechemie, im Syntheselabor möglich. Das Potential, eine Synthese umzusetzen, wird real, wenn eine Substanz entstanden ist oder der Syntheseweg durch Entstehung des gewünschten Produktes verifiziert wurde. Verbunden sind Möglichkeit und Wirklichkeit durch den Schritt der Realisierung, den aktiven synthetisch-chemischen Prozess, den der Chemiker im Labor vollzieht. Die Realität muss durch den Akt der Realisierung immer wieder aufs Neue überprüft werden. Die Realisierung beschreibt den Weg, das Intermediat zwischen Möglichkeit und Wirklichkeit, wobei in der Synthesechemie neue Wirklichkeiten in Form neuer Substanzen und neuer Synthesewege wiederum zu neuen Möglichkeiten führen können. Dieses wechselseitige Verhältnis ist der Grund, warum beide Aspekte in der Synthesechemie bzw. der Philosophie der Synthesechemie enthalten bleiben, indem sie als komplementäre Seiten bestehen, die durch Handlungen verbunden sind.

Die ausgeführte Vielfalt an Dialektiken in der Synthesechemie kann zu einer pluralistischen Haltung für die Philosophie der Chemie Anlass geben. Dieser Pluralismus ist notwendig, um sämtlichen Aspekten der Synthesechemie gerecht zu werden. Denn diese Philosophie soll ja der Synthesechemie Rechnung tragen, sie nicht normieren, sondern ihre Spezifika in der Praxis und dem Erkenntnisgewinn, dem Procedere bei der Herstellung neuer Substanzen darstellen. Einen Pluralismus zur Bestätigung des wissenschaftlichen Wahren nimmt

auch Bachelard an.³⁸⁸ Demnach ist es die Aufgabe der Philosophie, den Geist vom Wirklichen zum Künstlichen, vom Natürlichen zum Menschlichen, von der Darstellung zur Abstraktion zu wenden.³⁸⁹

Die Annahme von Dialektiken ist ebenfalls sinnvoll, aufgrund des zuvor erwähnten Pluralismus, den die Synthesechemie mit ihrer Vielheit von Ansätzen zeigt: ihrer Metaposition zwischen angewandter und Grundlagenforschung, zwischen Möglichkeit und Realisierung und zwischen Syntheseplan und Experiment. Mit Blick auf den Forschungsgegenstand kann dies nicht vernachlässigt werden. Denn wie Bachelard bereits feststellt: „*La chimie est actuellement une science «ouverte» où la problématique prolifère.*“³⁹⁰ Diese Offenheit, die auch bereits in Bezug auf das Syntheselabor als Parameter dargelegt wurde, steht einer konkreten und linearen Einordnung der Synthesechemie durch die Wissenschaftsphilosophie entgegen. Gleichfalls wurde im Voraus prognostiziert, dass man in dieser Untersuchung keinen rein evolutionären Verlauf beim Forschungsgegenstand der chemischen Synthese erwarten darf, vielmehr soll auch der revolutionäre Weg berücksichtigt werden. Offenheit, die auch die Synthesekonzepte in der Historie der Chemie auszeichnet, soll ebenfalls als ein revolutionärer Aspekt der Philosophie der Synthesechemie angenommen werden. Auch die Dialektiken, die für die Synthesechemie aufgezeigt wurden, lassen erkennen, dass eben weder Syntheseplan, noch experimentelle Umsetzung im Labor, weder Grundlagen- noch angewandte Forschung, weder Struktur noch Substanz, weder Möglichkeit noch Realisierung aus einem Gesamtbild der Synthesechemie aufgrund des Vorangegangenen ausgeschlossen werden kann, denn in diesem Feld unter diesen Aspekten hat sich die Synthesechemie etabliert und dies erfolgreich. Dies heißt, es geht in einer Philosophie der Synthesechemie nicht um Einheitlichkeit, sondern vielmehr um eine *offene* Vielheit, es geht darum, den bereits erwähnten Pluralismus als eine adäquate Position an dieser Stelle gelten zu lassen.

Dialektiken führen zum Pluralismus. Innerhalb dieses Pluralismus können erkenntnistheoretische Positionen für die Wissenschaftsphilosophie genauer definiert werden. Der Surre-

³⁸⁸ Vgl. Bachelard (1987): Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes, S. 44.

³⁸⁹ Vgl. Ebd., S. 43.

³⁹⁰ Bachelard (2010): Le matérialisme rationnel, S. 4.

tionalismus nach Bachelard ist eine erkenntnistheoretische Position für die Naturwissenschaften und kann in seiner Grundstruktur als angewandter Rationalismus gesehen werden, die bereits im Vorhergehenden erläutert wurde. Der Surrationalismus kann auf die Synthesechemie angewendet werden. Er ist neben seiner Grundstruktur des angewandten Rationalismus ein dialektischer und ein komplexer Rationalismus.³⁹¹ Die Dialektiken innerhalb dieses Rationalismus wurden im Vorhergehenden dargelegt und zeichnen sich durch Komplementarität, d. h. ohne Auflösungsmoment, ohne Synthese aus. Der Aspekt des Komplexen bezieht sich darauf, dass die Aufgabe der wissenschaftlichen Vernunft nicht eine Vereinfachung wissenschaftlicher Phänomene oder wissenschaftlicher Theorien anstrebt, sondern genau das Gegenteil versucht. Durch die Bereicherung in den Wissenschaften geht die Vernunft zu einem immer komplexer werdenden Denken über.³⁹² Der Surrationalismus wird auch von der in Teil I dargelegten technischen und sozialen Objektivität getragen.³⁹³ Da die Synthesechemie in ihrer Praxis die Substanzen auch mithilfe von Erfahrung realisiert, Erkenntnisse durch Instrumente und Apparate absichert und den Synthesepfad durch fundiertes, theoretisches Wissen und Kreativität zu realisieren versucht, hat man es mit einem Mix aus Wissens- und Erfahrungsformen zu tun, deren Ziel im Kollektiv es ist, Substanzen zu materialisieren, realisieren und schließlich den Beweis der Verifizierung dieser Realisierung zu erbringen. Diese Vorgehensweise in der Synthesechemie rechtfertigt die Annahme eines Surrationalismus. Diese Annahme kann gelten, weil neben dem aufgezeigten angewandten Rationalismus in der Synthesechemie, den vorhandenen Dialektiken, auch die Synthesechemie durch ihren Wissenszuwachs, der Zunahme der Komplexität der Verfahren, der Zunahme von technischen Anwendungen immer komplexer wird. Das Gefüge der Synthesechemie wird insgesamt gesehen komplexer, was demnach in einer erkenntnistheoretischen Position berücksichtigt werden müsste. Weil alle von Bachelard angegebenen Charakteristiken eines Surrationalismus in der Synthesechemie existieren, soll dieser für die Synthesechemie gelten. Der Surrationalismus ist ein offener Rationalismus, weil er versucht, das permanente Fortschreiten der Wissenschaften zu berücksichtigen, sich an den wissenschaftlichen Fakten orientiert und nicht an philosophisch spekulativen Positionen

³⁹¹ Vgl. Bachelard (1980): Die Philosophie des Nein, S. 31 ff.

³⁹² Vgl. Ebd., 41 f.

³⁹³ Vgl. Teil I: Kap. 4.5.2 Die methodologische Synthesekategorie.

festhält.³⁹⁴ Der Surreationalismus berücksichtigt ebenso Theorie und Praxis in ihrer Komplementarität. Welche Rolle die Praxis in der Synthesechemie insgesamt einnimmt, wurde bereits ausführlich erläutert.³⁹⁵ Ebenfalls wurde die Theorie als Wegweiser und Hilfsmittel für den Synthesepfad beschrieben.³⁹⁶ Darüber hinaus lässt sich die Bedeutung von Theorien und ihr Bezug zur praktischen Forschung in folgenden Worten von E. F. Caldin erkennen: „*Nor are theories used in chemistry solely as instruments. They may be so used in the synthesis of new compounds, or to predict the factors that will be relevant in some new field, such as radiation chemistry. But in most chemical activities theories are of interest because they offer explanantions of observations that would otherwise be puzzling.*“³⁹⁷ Theorien vermögen in der Chemie, so auch in der Synthesechemie die Forschungswege zu unterstützen, bieten Erklärungsansätze für das Gelingen oder Misslingen einer Synthese, strukturieren den Synthesepfad und die Synthesestrategie mit, bleiben jedoch letztlich eher Mittel und sind kein alleiniges Ziel der Synthesechemie.

Die Philosophie der Synthesechemie wird unter zur Hilfenahme des Surreationalismus entwickelt. Das heißt also auch, sie ist nicht absolut, weil sie sich aufgrund des Wissenszuwachses in der Synthesechemie selber immer wieder hinterfragen muss, ob sie noch eine adäquate Wissenschaftsphilosophie der Synthesechemie sein kann. Sie ist nicht starr, sondern dynamisch. Dieses kann ihr von philosophischer Seite vorgeworfen werden. Doch man kann auch den Vorteil sehen. Dadurch dass die Philosophie der Synthesechemie anpassungsfähig sein soll, was eine Reflexion der wissenschaftlichen Synthesechemie, als ebenso komplexer Wissenschaftszweig fordert, bleibt sie stets aktuell, wenn sie sich den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen anpasst und diese in ihre Reflexionen mit einbezieht. Die Philosophie muss die Vielfalt der Wege widerspiegeln, auf denen Erkenntnisse in der (Synthese-)Chemie erlangt werden, um ihr gerecht zu werden und dementsprechend akkurat zu sein.

³⁹⁴ Vgl. Bachelard (1993): Epistemologie, 123 ff.

³⁹⁵ Vgl. Teil III: Die Praxis der Synthesechemie.

³⁹⁶ Vgl. Teil I: Kap. 4.2.2 Die Synthesepfadplanung.

³⁹⁷ Caldin: The Structure of Chemistry in Relation to the Philosophy of Science. In: HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry Vol. 8, No.2 (2002), S. 113.

Die Chemie orientiert sich an dem Aufbau der Materie, an der chemischen Struktur. Strukturformeln sind dabei das Ausdrucksmittel, das Sprachrohr, durch das der Chemiker und seine Substanzen miteinander verbunden sind. Die Fokussierung auf und das Operieren mit chemischen Strukturen in der Theorie und Praxis der Synthesechemie müssen einen weiteren Aspekt dieser Philosophie der Synthesechemie darstellen. Die Philosophie der Synthesechemie muss die Struktur berücksichtigen, da die Synthesechemie diese als Basis hat, um ihre abstrakt-konkreten Gegenstände zu entwerfen und zu generieren. Der Ausdruck abstrakt-konkrete Gegenstände geht auf Bachelard zurück, der von der chemischen Wissenschaft als einer abstrakt-konkreten spricht: „*La chimie, traditionnelle science concrète, devient alors éminemment une science abstraite-concrète.*“³⁹⁸ Abstrakt sind die Gegenstände der Synthesechemie, weil sie durch Strukturformeln formuliert – im wahrsten Sinne des Wortes – quasi in Form gebracht werden. Diese Aufgabe erfüllt der Syntheseplan. Konkret werden die Gegenstände in der Synthesechemie, da die Strukturen durch Experimente substantiell realisiert werden. Abstrakt-konkrete Gegenstände bewegen sich im Rahmen des Materiell-Möglichen. Werden sie konkret(er), nehmen sie einen vorläufig festen Platz im chemischen Referenznetz der Substanzen ein. Vorläufig fest ist der Platz, weil es durch eine weitere Erforschung der Eigenschaften der Struktur oder auch Änderungen im Gesamtgefüge des chemischen Referenznetzes zur Verschiebung des Platzes einer einzelnen Substanz kommen kann.

Doch in der Philosophie der Synthesechemie ist zudem zu berücksichtigen, dass sowohl Intuition als auch Kreativität ihren berechtigten Platz haben müssen. Beide können ihren Wert im Syntheseprozess unter Beweis stellen, indem sie helfen, Fragen aufzuwerfen oder Antworten auf Fragen zu erlangen.³⁹⁹ Beide sind quasi Aspekte der Realisierung, die der Forscher aktiv durch seine Intervention, wenn auch möglicherweise unbewusst – wie die Intuition – in den Erkenntnisprozess mit einfließen lässt.

Anders formuliert eröffnet man dadurch, dass die Realisierung Priorität besitzt, der Kreativität einen Platz im wissenschaftlichen Gefüge. Denn dort, wo der Realisierung der Vorrang gegenüber der Realität eingeräumt wird, ist ein Raum für die Variablen der Synthese-

³⁹⁸ Bachelard (2010): *Le matérialisme rationnel*, S. 152.

³⁹⁹ Vgl. Teil III: Kap. 4.4 Kreativität, Kap. 4.7 Intuition.

forschung geschaffen, da die Realisierung zunächst Unsicherheit bedeutet.⁴⁰⁰ Es wird versucht, dieser Unsicherheit auf möglichst vielfältige Weise zu begegnen, wovon Kreativität eine Weise ist, Intuition eine andere. Diese und andere Aspekte stützen das Realisierungsmoment, indem sie im Syntheseverfahren dem Produkt oder Verfahren zur Realität verhelfen. Man muss sich in der Philosophie der Synthesechemie bewusst sein, dass es in der Chemie nicht um eine Verifizierung allgemeiner Gesetze oder Theorien geht, sondern vielmehr darum, in jedem individuellen Fall – das heißt für jede chemische Struktur oder für jeden Syntheseweg – eine Realisierung unter der gleichzeitigen Feststellung der Bedingungen dieser Realisierung zu erwirken. Da es also in der Synthesechemie erst einmal um das Erschaffen von Realität individueller Einzelfälle geht, können Parameter wie Intuition oder Kreativität sich im Forschungsprozess etablieren, da nicht alle Handlungsfolgen, Motive etc. im Einzelfall des Syntheseverfahrens nachvollzogen werden können. Abstrahiert wird maßgeblich erst auf einer allgemeineren Ebene, wenn die Substanz nicht mehr individualisiert, sondern in den erweiterten chemisch-wissenschaftlichen Kontext einbezogen wird, wenn die Substanz oder der Syntheseweg nicht mehr selber Ziel, sondern nur noch Mittel für übergeordnete Zusammenhänge darstellen. An dieser Stelle muss auch die Philosophie der Synthesechemie differenzieren, ob sie eine Philosophie der Substanz – das heißt, gebunden an die hauptsächliche Betrachtung materieller Gegenstände – bleibt oder auf der Ebene der übergeordneten Zusammenhänge ihre Feststellungen neu hinterfragen muss. Diese Philosophie muss beides sein. Das heißt, sie muss auf den beiden genannten Ebenen tragfähig und ertragreich sein. Die übergeordnete allgemeinere Ebene unterscheidet sich von der bereits genannten dadurch, dass die Synthesechemie nun nicht mehr allein in ihrem Aspekt des Werdens, der Realisierung ihre Hauptaufgabe hat, sondern dass auf dieser übergeordneten, allgemeineren Ebene die Philosophie der Synthesechemie im übertragenen Sinne salonfähig sein muss. Sie muss transparent und legitimierbar sein, sie muss mittelbar sein. Das erreicht sie, indem sie sich mehr und mehr der Rationalität verpflichtet. Das bedeutet nicht, dass sie sich auf der individuellen Ebene einem Irrationalismus verpflichtet, sondern nur dass einzelne bereits genannte Aspekte die Mittelbarkeit und den Nachvollzug nicht fördern, die dieser individuellen Ebene zuzuordnen sind. Man darf die Konsequenzen,

⁴⁰⁰ Vgl. Teil III: Kap. 4.10 Ungewissheit.

die aus der Differenzierung der Ebenen entstehen, jedoch keinesfalls als eine Diskreditierung der Rolle verstehen, die die Forschung individueller Chemiker im Prozess der Synthese und damit der Philosophie der Synthesechemie spielt.

Was man für die Synthesechemie aus der Unterscheidung verschiedener Ebenen ableiten kann, ist, dass das Forscherkollektiv mit einer transparenten Synthesechemie einen allgemeinen Konsens schafft, indem der einzelne Forscher seine Interessen zurückstellt, um sich und seine Forschung in die allgemeine Wissenschaftsstruktur einzufügen. Dieses Zurückstellen wird dadurch kompensiert, dass sich die Forschergemeinde durch Strukturformeln verständigt. Die Strukturformeln dienen als ein universelles von Interessen und Motivationen losgelöstes Verständigungsinstrument, die der Synthesechemiker besitzen kann. Das heißt, durch das Aufstellen von Strukturformeln bringt man die Synthesechemie auf eine rationale, allgemeine Ebene.⁴⁰¹ Die Strukturen und die Strukturformeln erfüllen wichtige Funktionen innerhalb der Synthesechemie, weshalb sie im Folgenden ausführlicher erörtert wird.

2.3 Strukturalismus und Synthesechemie

Neben dem Surreationalismus als Grundlage der Wissensgenerierung ist eine weitere Bestimmung der Struktur der Synthesechemie notwendig, um die Philosophie der Chemie genauer zu charakterisieren. Man muss neben dem Aspekt der Wissens- und Erkenntnisgenerierung noch eine allgemeinere Form des Aufbaus und der Grundlagen dieser Wissenschaft berücksichtigen. Deshalb werden allgemeine in dieser Untersuchung festgestellte prägende Charakteristika der Synthesechemie aufgegriffen. Hierzu ist in erster Linie ein mehrfach und beinahe beiläufig angesprochenes Charakteristikum zu erwähnen, weil es für die Synthesechemie als selbstverständlich angenommen wird. Es handelt sich um die Bedeutung, die der Struktur und der Strukturformel zukommt. Sie ist ein immanenter Bestandteil der Synthesechemie, der für die Philosophie der Chemie in unterschiedlicher Weise

⁴⁰¹ Vgl. Bachelard (1993): Epistemologie, S. 90.

zum Tragen kommt. In dem Begriff Strukturformel steckt der Begriff Form. In der Chemie allgemein werden Stoffe und Strukturen erforscht bzw. produziert. Ohne auf den seit der Antike bestehenden Stoff-Form-Dualismus einzugehen,⁴⁰² soll in dieser Philosophie dem Form- bzw. Strukturaspekt der Primat zukommen, denn er ist es, der in dem gesamten Syntheseprozess unverkennbar vorhanden ist, vom Synthesepfad bis zur analytischen Überprüfung der Substanz im Kolben. Es geht in der Synthesechemie nicht mehr zwangsläufig um das *Was*, sondern vielmehr um das *Wie* der Substanz, um deren Aufbau, die Zusammensetzung, also die Struktur. Dieses ist der gemeinsame Fokus, der sich durch die Verfahrensweise der Synthesechemie zieht. Somit muss auch dieser Formaspekt für die Philosophie der Chemie berücksichtigt werden, was in den folgenden Überlegungen geschieht.

Die Struktur in der Synthesechemie ist ein Kommunikationsmittel. Durch die Struktur findet die Vermittlung über die Struktur statt. Dies lässt sich wie folgt verstehen: Eine chemische Struktur zu realisieren ist eines der Ziele, die die Synthesechemie verfolgt. Gleichzeitig wird durch die realisierte Struktur erst klar, mit Hilfe von beispielsweise NMR-Spektroskopie oder Röntgendiffraktometrie, um welche Substanz es sich handelt. Die Struktur bzw. die Strukturformel gibt, beispielsweise durch die Arten von funktionellen Gruppen und deren Wechselwirkungen, Auskunft über die möglichen Eigenschaften, das Reaktionsverhalten etc. Durch die Fokussierung der Synthesechemie auf die Struktur, die Form von Molekülen, bleibt auch die Philosophie der Chemie kaum etwas anderes übrig als diese Fokussierung zu übernehmen bzw. mitzutragen, damit Chemie und Philosophie nicht von unterschiedlichen Gegenständen sprechen.⁴⁰³ Die Kommunikation muss also über den Strukturaspekt laufen.

Jede Philosophie braucht Basiselemente. Eine solche mögliche Basis der Wissenschaftsphilosophie der Chemie ist die Struktur. Die Philosophie der Synthesechemie berücksichtigt

⁴⁰² Siehe hierzu die aristotelische Lehre des Hylemorphismus, nach der die Substanz aus zwei verschiedenen Prinzipien besteht, dem Stoff (*hyle*) und der Form (*morphe*). Im Prozess des Werdens sind drei Elemente nach Aristoteles ausschlaggebend: Alles Werdende wird aus etwas durch etwas zu etwas. [Vgl. Aristoteles (1987): Physik Buch I, S. 37 ff.]

⁴⁰³ Es geht dabei nicht darum, dass in dieser Philosophie der Chemie eine völlige Gleichschaltung von Philosophie und Chemie zu erwirken, sondern das Ziel ist vielmehr eine Verständigung zwischen beiden Zugängen. Sie müssen nicht vereinheitlicht werden, um übereinander in einer gleichen bzw. ähnlichen Sprache zu sprechen. Differenzen können vielmehr dazu dienen, das Fortschreiten beider zu befördern, diese Differenzen müssen in erster Linie kommunizierbar sein.

damit auch ein der chemischen Syntheseforschung eigenes Konstrukt, nämlich das des Syntheseplans. Der Syntheseplan muss sich bereits durch Begriffe der Strukturformeln konstituieren, er muss im Geiste und in der Sprache Gestalt annehmen. Dadurch wird der Form-Aspekt wichtig. Der Stoff bzw. die Eigenschaften, durch den sich ein neu gewonnenes Syntheseprodukt konstituiert, rücken vor allem erst bei seiner Realisierung in den Fokus. Ebenso wird durch die Form, die jeweilige chemische Substanz im übertragenen Sinne bereits vor dem Betreten des Labors, sowie im Labor und nach dem Verlassen des Labors für die Wissenschaftlergemeinschaft kommunizierbar. Die Form, die Struktur, letztlich die Strukturformel macht die Synthesergebnisse, also neue Substanzen kommunizierbar.

Im Gegensatz zur Fokussierung auf die Struktur führte Joachim Schummer den Versuch durch, eine Stoffphilosophie die Chemie wissenschaftstheoretisch zu etablieren.^{404,405} Seine Überlegungen bezogen sich allerdings auf die gesamte Chemie und nicht speziell auf die Synthesechemie. Gerade die Synthesechemie jedoch gliedert sich durch die Fokussierung auf Strukturelemente. Das bedeutet konkret, die bereits angesprochenen funktionellen Gruppen, die in einem Molekül vorliegen können, sowie deren inter- und intramolekulare Interaktionen werden untersucht und die Struktur selber wird durch die Methode der Synthese überhaupt erst realisiert. Die Fokussierung auf die Struktur zeigt sich im Syntheseplan. Die Fokussierung auf die Struktur ist weiterhin der entscheidende Faktor bei der Identifizierung einer Substanz nach deren Realisierung. Der Strukturaspekt ist die Grundlage für Identifikationsmethoden wie der NMR-Spektroskopie, der IR-Spektroskopie oder der Kristallstrukturanalyse, welche gängige Methoden für die Identifizierung und Charakterisierung neuer chemischer Substanzen darstellen. Diese Identifikationsmethoden betreffen die Anordnung der Atome im Molekül und ihre dreidimensionale Anordnung im Raum. *„Specifically, we have concepts based on the geometrical representation of molecular structure (e.g. steric hindrance, strain, conformational motion), concepts drawing inspira-*

⁴⁰⁴ Siehe hierzu: Schummer: Philosophie der Stoffe, Bestandsaufnahme und Ausblicke: Von der philosophischen Entstofflichung der Welt zur ökologischen Relevanz einer Philosophie der Stoffe. In: Psarros, Ruthenberg, Schummer (Hrsg.): Philosophie der Chemie – Bestandsaufnahme und Ausblick (1996), S. 143 – 164.

⁴⁰⁵ Schummer plädiert für die Entwicklung eines neuen Modells der Stofferkennung, was sich nicht an dem Ideal der Totalerkenntnis oder idealen Gegenständen orientiert. Die dazu oppositionelle Position wäre ein Anhaltspunkt für eine Philosophie der (Stoff-)Chemie.

tion from elementary electrological notions (e.g. electron donation/withdrawal, charge dispersion, electronegativity), and concepts accounting for the unique behavior of certain classes of molecules (e.g. aromaticity, nucleophilicity, resonance hybrid). These concepts have been normally induced from a large number of experimental observations and represent tools which are indispensable to present-day research. Without them, structural formulas would be purely logical entities, syntactic constructs conveying practically no information about the properties of any of the individual substances they symbolize.”⁴⁰⁶

Auch die Formelsprache berücksichtigt speziell den Aspekt der Struktur und sie tut dies in der Synthesechemie wie in der Chemie insgesamt. Die Sprache der Chemie⁴⁰⁷ gestaltet sich vor allem auch anhand von Formeln und chemischen Strukturen. Sie sind ihr Inhalt und ihre Ausdrucksform. „Chemistry is an experimental science that transforms both substances and (chemical) language. On the one hand, chemists analyze and synthesize new compounds in the laboratory; on the other, they make analytical and synthetic statements about these compounds in research articles.“⁴⁰⁸ Beide Bereiche, das Reden über chemische Strukturen mittels chemischer Formelsprache und die Realisierung chemischer Strukturen, beschäftigen sich mit dem gleichen Gegenstand. Die Möglichkeiten, die mit jenem Gegenstand (chemische Strukturen) einhergehen, sind jedoch verschieden.^{409,410} Rekurrierend auf ein Ergebnis von Teil I, dass die chemische Synthese sich dadurch charakterisieren lässt, dass sie von außen, durch die Widerstände begrenzt wird, die die Materie dem Verfahren entgegengesetzt, kann man folgenden Zusammenhang herstellen: Diese Widerstände offenbaren sich eben auch erst in der Praxis und müssen keinen Inhibitor für das Sprechen über chemische Strukturen in der chemischen Fachsprache darstellen. „This language is very powerful since it allows chemists to derive statements about „compounds“ that have actu-

⁴⁰⁶ Tontini: On the Limits of Chemical Knowledge. In: Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry Vol. 10, No. 1 (2004), S. 28.

⁴⁰⁷ Siehe zu dieser Thematik: Janich, Psarros (Hrsg.): Die Sprache der Chemie (1996).

⁴⁰⁸ Jacob: Analysis and Synthesis. In: Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry Vol. 7, No. 1 (2001), S. 31.

⁴⁰⁹ Der Autor Claus Jacob unterscheidet in seinem Aufsatz zwei Arten von Operationen der Synthesen und Analysen, wobei die erste Art *linguistic representations* darstellen, sprich Formelsprache und Reaktionsgleichungen, die zweite Art sind *operations performed on compounds* also experimentelle Prozesse, die im Labor vollzogen werden. Dieses bildet die Grundlage des Aufsatzes, was ebenfalls bei den nachfolgenden Argumenten zu berücksichtigen ist.

⁴¹⁰ Daher kann das Sprechen über Strukturformeln nicht die Realisierung selbiger ersetzen. [Vgl. Jacob: Analysis and Synthesis. In: Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry Vol. 7, No. 1(2001), S. 38].

*ally never been produced in a laboratory.*⁴¹¹ Und letztlich sind die Möglichkeiten der Synthesechemie, die durch die chemische Fachsprache bestehen, größer als die Möglichkeiten, die im chemischen Labor umgesetzt werden. „*In this respect the capacity of the language exceeds the experimental abilities of the chemists.*“⁴¹²

Das Sprechen in der Formelsprache und das Umsetzen von Prozessen im Labor können miteinander kommunizieren, indem sie sich der chemischen Strukturen bedienen. Die chemische Struktur wird also zur Grundlage der Kommunikation in der Synthesechemie. Die Struktur wird zum maßgeblichen Kriterium der Synthesechemie, die in der Philosophie der Synthesechemie eine spezielle Berücksichtigung erfahren muss. Man kann also erkennen, dass das System die Wissenschaft der Synthesechemie auf sprachlicher Ebene und auf praktischer Ebene im Labor durch die Orientierung an Strukturen organisiert wird. Diese Kommunikation zwischen sprachlicher Ebene und praktischer Ebene, weiter gefasst, das ganze Beziehungsgeflecht, in dem die Struktur für die Synthesechemie eine Rolle spielt, muss untersucht werden, wenn man eine angemessene Philosophie der Synthesechemie formulieren will. Es handelt sich hierbei schließlich um ein maßgebliches Charakteristikum der Synthesechemie, dass sowohl Theorie und Praxis, Syntheseplan und Umsetzung als auch Möglichkeit und Wirklichkeit, kurz die Gesamtheit der hier betonten Dialektiken betrifft.

Das zuvor Geschilderte ist neben der erkenntnistheoretischen Annahme eines Surrationalismus ein wichtiger Punkt, um die Philosophie der Synthesechemie zu erweitern. Nun braucht dieser Aspekt, der sich mit chemischen Strukturen und über diese hinaus mit den Strukturen beschäftigt, die über chemische Strukturen kommunizieren, noch eine Bezeichnung bzw. einen Namen, der es ermöglicht, eben jene wichtigen Aspekte zu benennen. Für die Reflexion der Synthesechemie ist es wichtig, einen Begriff zu finden, der zum einen die Ebene der Kommunikation chemischer Strukturen als Charakteristikum der Synthesechemie berücksichtigt, zum anderen ein Begriff, der es erlaubt, die Strukturen zu erkennen, die abseits der Ebene der chemischen Strukturen existieren und Aussagen über die Synthe-

⁴¹¹ Jacob: Analysis and Synthesis. In: Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry Vol. 7, No. 1 (2001), S. 39.

⁴¹² Ebd., S. 31.

sechemie in wissenschaftsphilosophischer Hinsicht erlauben. Die hier gewählte Bezeichnung für beide Ebenen lautet: Strukturalismus.

Vor allem im 20. Jahrhundert ist der Strukturalismus ein vielfach verwendeter Begriff, dessen Bedeutung aufgrund seiner vielfachen Nutzung ebenfalls vielfältig ist. Wie gelangt man zu einem solchen Begriff? „*Abgeleitet von Struktur, hat er anfangs architektonische Bedeutung, denn die Struktur bezeichnet «die Art und Weise, wie ein Gebäude gebaut ist».*“⁴¹³ Man definiert den Strukturalismus als eine interdisziplinäre Forschungsrichtung, die ihre theoretischen Objekte als durchstrukturierte Systeme konstruiert. Diese Forschungsrichtung untersucht in den Systemen Formations- und Transformationsregeln.⁴¹⁴ Jean Piaget versuchte für die verschiedenen Forschungspositionen,⁴¹⁵ die sich mit dem Begriff des Strukturalismus benennen, Gemeinsamkeiten festzustellen. Gemeinsamkeiten strukturalistischer Positionen sieht er in der Orientierung auf Konzepte wie Ganzheit, Transformation, Selbstregulierung und Formalisierbarkeit. Gleichfalls wird eine Essentialisierung und Ontologisierung von Strukturen innerhalb des Strukturalismus abgelehnt.⁴¹⁶

Der Ursprung des Strukturalismus in der Linguistik geht im Wesentlichen auf Ferdinand de Saussure zurück und leitete im 20. Jahrhundert mehrere Schulen ein, die unter dem Begriff Strukturalismus zusammengefasst werden. Dazu gehört auch der Prager Strukturalismus, der sich maßgeblich auf Roman Jakobson bezog. Strukturalistische Positionen in den Sprachwissenschaften beziehen sich darauf, dass sie ihren Gegenstand (die Sprache sowie das Sprechen) als ein Resultat eines regelhaft rekonstruierbaren Transformationsprozesses verstehen, dem ein Code zugrunde liegt. Dieser Code fungiert als Steuerung im Prozess und lässt immer mehr Möglichkeiten zu, als tatsächlich realisiert werden können. Die Phänomene als strukturiertes Ganzes zu begreifen und dynamische und statische Gesetzmäßigkeiten eines jeweiligen Systems (auch eines Sprachsystems) zu erkennen, ist die wesentliche Aufgabe des Strukturalismus.

⁴¹³ Dosse (1996): Geschichte des Strukturalismus, S. 13.

⁴¹⁴ Vgl. Plumpe, G.: Strukturalismus, in: Historisches Wörterbuch der Philosophie, Bd. 10 (1996), S. 342.

⁴¹⁵ Disziplinen, die (zeitweise) im 20. Jahrhundert unter der Maxime des Strukturalismus forschten, waren neben der Philosophie auch die Linguistik, die Ethnologie, die Anthropologie, Literaturtheorie und die Wissenschaftstheorie. Strukturalistische Ansätze waren also in vielen Kulturwissenschaften des 20. Jahrhunderts vertreten.

⁴¹⁶ Vgl. Plumpe, G.: Strukturalismus, in: Historisches Wörterbuch der Philosophie, Bd. 10 (1996), S. 345.

In Frankreich wurde der Strukturalismus dahingehend erweitert, dass Claude Lévi-Strauss diesen in seine ethnologischen Studien integrierte, indem er Modelle zur formalen Rekonstruktion der Funktionsart von Mythen entwickelte. Daran wollte Lévi-Strauss seine Hypothese prüfen, dass es eine überhistorisch existierende, unbewusste Struktur des menschlichen Geistes gibt, die aber einzig Variationen und nicht Transformationen unterliegt. Weitere Disziplinen, in die der Strukturalismus als Methode etabliert werden sollte, waren die Gesellschaftstheorien von Louis Althusser, die Literaturwissenschaft von Roland Barthes und Lucien Goldmann und die Psychoanalyse von Jacques Lacan.

Sowohl die philosophische Richtung des Strukturalismus, bei der diese Position vor allem in der Sprachphilosophie und Linguistik populär wurde, als auch der wissenschaftstheoretische Strukturalismus sind hier nur bedingt brauchbar.

Die Einführung des Begriffs des Strukturalismus ist lediglich ein Versuch, um den Begriff der Struktur hervorzuheben, der für die Synthesechemie selbst sowie im Kontext des wissenschaftsphilosophischen Diskurses über die Synthesechemie bedeutsam ist. Der Strukturalismus, der für die Philosophie der Synthesechemie gelten soll, ist nicht mit dem philosophischen Strukturalismus mit allen seinen Charakteristiken gleichzusetzen. Gemeint damit ist, dass unter Strukturalismus im Folgenden etwas anderes zu verstehen ist, als die üblichen Bedeutungen. Die üblichen Bedeutungen muss also modifiziert werden. Der Begriff muss mit neuen für die Wissenschaftsphilosophie der Synthesechemie so wichtigen Aspekten aufgeladen werden, die in dieser Arbeit herausgestellt wurden. Das heißt, der hier genutzte Begriff des Strukturalismus wird in seiner ursprünglichen Bedeutung ignoriert und ihm wird eine neue Bedeutung zugewiesen. Er schließt sich damit nicht zwangsweise und ausdrücklich an die bereits bestehenden Strukturalismen der Philosophiegeschichte an.

Indem man diese strukturalistischen Hintergründe auf die Synthesechemie anwendet, markiert man eine Abgrenzung zum wissenschaftsphilosophischen Konzept Gaston Bachelards. Während Bachelards Überlegungen zum Surrealismus nach kritischer Prüfung als anwendbar und fruchtbar für die Philosophie der Synthesechemie einzuschätzen ist, muss man sich in Bezug zum Strukturalismus von Bachelard abgrenzen. Die Abgrenzung betrifft die Bestimmung des maßgeblichen Forschungsobjektes. Bachelard geht im Konzept seiner späteren Wissenschaftsphilosophie von einem rationellen Materialismus aus, der quasi eine

Weiterentwicklung des materialen Rationalismus darstellt. Dem Substanzaspekt kommt im Laufe seiner Wissenschaftsphilosophie mehr und mehr Bedeutung zu, was er auch in „Le matérialisme rationnel“ in Bezug auf die Chemie darlegt. Der Begriff des Materialismus ist bei ihm dahingehend zu verstehen, dass Materie auf Energie zurückzuführen ist, weshalb der Materialismus sich im Energetismus begründen lässt. „*Le matérialisme a un fond d'énergétisme.*“^{417,418} Doch dieser Ansatz führt zu weit weg von dem, was die Synthesechemie ausmacht. Er führt zu weit weg von der chemischen Praxis, die Strukturen realisiert. Er ist für die Synthesechemie zu physikalisch und durch den Rückbezug auf den Energetismus zu mathematisch. Die Entwicklung der Chemie, die Entwicklung der Methode der chemischen Synthese, sowie die Vorgehensweise des Synthesechemikers im Labor (Syntheseplan, Durchführung, Abänderung, Reinigung, Verifizierung) lassen, wie bereits dargelegt, den Strukturaspekt als unerlässlich erscheinen. Deshalb ist es sinnvoll, statt eines Materialismus einen Strukturalismus für die Synthesechemie anzunehmen.

Im Vorhergehenden wurde über das Verhältnis zwischen der chemischen Formelsprache und den Handlungen im Syntheselabor gesprochen. Die Bezeichnung des Strukturalismus, die nun eingeführt wurde, geht allerdings nicht auf die Tatsache zurück, dass die Chemie ebenfalls mit einer Form des Sprachsystems arbeitet, wie es in der strukturalistischen Linguistik oder allgemein in der Sprachphilosophie der Fall ist. Vielmehr ist die Verwendung der Bezeichnung Strukturalismus hier sinnvoll, weil damit der Aspekt der Struktur auf formelsprachlicher und auf der Handlungsebene, in Theorie und Praxis hervorgehoben wird. Wie kann man diese wesentliche Modifikation der etablierten Begriffsverwendung, diesen Wechsel der Bedeutung und die neue inhaltliche Aufladung des Strukturalismus rechtfertigen?

Ein Grund, warum Strukturalismus hier inhaltlich anders bestimmt werden kann, liegt darin, dass auch seine gebräuchliche Verwendung sich nicht durch Einheitlichkeit auszeichnet. Man kann demnach quasi nicht von dem Strukturalismus reden, sondern muss genauer

⁴¹⁷ Bachelard (2010): *Le matérialisme rationnel*, S. 178.

⁴¹⁸ „Der moderne Chemiker geht von jenem Materialismus der absoluten Gegenwart aus, von jenem Materialismus der technisch koordinierten Reagenzien. Er muß seine tägliche Arbeit in die Gegenwart der Wissenschaft einschreiben, in ein menschliches Gesamt, dem er sich, schon unter theoretischem Gesichtspunkt, durch die Annahme einer Kultur integriert, welche eine Notwendigkeit für wirksame wissenschaftliche Tätigkeit ist.“ [Bachelard (1993): *Epistemologie*, S. 111.]

von Strukturalismen sprechen, was man bereits bei der Darstellung der verschiedenen Strukturalismustypen erkennen konnte. Da sich der Strukturalismus allgemein dadurch charakterisiert, dass seine Positionen lediglich in einem losen Zusammenhang untereinander stehen, also in Linguistik, Ethnologie oder Anthropologie einem jeweils anderen Bedeutungsrahmen unterliegen,⁴¹⁹ kann man also von der Ko-Existenz mehrerer Strukturalismen sprechen. Der Strukturalismus wird disziplinübergreifend angewandt und innerhalb der Disziplinen spezifisch ausgeweitet. Gemein ist diesen Strukturalismen, dass alle die zentrale Stellung von Anordnungen und Formen betonen. Beide zuvor genannten Aspekte (Ko-Existenzen und zentrale Stellung von Formen) sprechen für eine Anwendung auf die Synthesechemie.

Die Unterscheidung setzt dann wieder ein, wenn man bedenkt, dass der Strukturaspekt sich maßgeblich auf die Konstruktion von Systemen anwenden lassen soll.⁴²⁰ Man muss also in die Umwertung des Strukturalismus für die Synthesechemie einfließen lassen, dass man das System dahingehend begreift, dass die Synthesechemie durch ihre charakteristische Eigenschaft – die Herstellung neuer chemischer Strukturen – sich in einem konstruierten Rahmen bewegt. Da das, was sie hervorbringt, konstruierte Artefakte sind, sollte man ihren Inhalt als konstruierendes System auffassen. Das bedeutet, entweder molekulare Strukturen als System aufzufassen oder zusätzlich das Experimentalsystem anzuführen, um hier einen Systemcharakter auch in der Praxis der Synthesechemie zu erkennen. Doch dies ist nur ein grundsätzliches Kriterium, um den Strukturalismus für eine Philosophie der Synthesechemie zu verwenden. Wenn man allerdings der Synthesechemie einen Systemcharakter unterstellt, dann muss dieses System den dynamischen Charakter widerspiegeln, wie es die moderne Syntheseforschung und auch die Geschichte der Synthesechemie zeigen.

Ein weiteres mögliches Verständnis von Strukturalismus ist, diesen als eine Tätigkeit zu charakterisieren, bei der aber eine relativ große Uneinigkeit in der Terminologie vorherrscht.⁴²¹ Wenn die Terminologie nicht festgelegt ist, dann kann diese sowie ihr Gegenstandsbereich erweitert werden. Man verwirft also keine Terminologie, die nur unausgereift vorhanden ist, man zerstört also keine bereits bestehenden Strukturen. Im Gegenteil: Man

⁴¹⁹ Vgl. Gondek, H.-D.: Struktur, in: Historisches Wörterbuch der Philosophie, Bd. 10 (1996), S. 314 f.

⁴²⁰ Vgl. Plumpe, G.: Strukturalismus, in: Historisches Wörterbuch der Philosophie, Bd. 10 (1998), S. 342.

⁴²¹ Vgl. Broekman (1971): Strukturalismus, S. 10 f.

untermauert den Strukturalismus, indem man Forschungsgegenstände als Strukturen und deren Beziehung untereinander untersucht. Man untermauert seine Bedeutung, indem man versucht, ihn für die Synthesechemie stark zu machen. Ein Ziel der strukturalistischen Tätigkeit nach Michel Foucault und Roland Barthes ist es, neue Objekte in Erscheinung treten zu lassen und das in konstruktiver und rekonstruktiver Weise.⁴²² Was tut nun die Synthesechemie anderes, als neue Substanzen in Erscheinung treten zu lassen, indem sie konstruiert und rekonstruiert? Eben dies ist nach den bisherigen Bestimmungen die Tätigkeit der Synthesechemie, womit zum Tätigsein des Strukturalismus eine Analogie besteht. Allerdings muss man sich an dieser Stelle bewusst sein, dass man sich bei dieser Verwendung des Strukturalismus zur Deutung der Synthesechemie auf zwei Ebenen gleichzeitig bewegt. Die eben angesprochene Ebene bezieht sich unmittelbar auf die Synthesechemie, das heißt auf die Wissenschaft der Chemie selbst. Man könnte diesbezüglich von einem internen Strukturalismus sprechen, was bedeutet, dass er der Wissenschaft der Chemie selbst zukommt. Man charakterisiert in diesem Fall die Chemie also selbst als eine strukturalistische Wissenschaft.

Diese Charakterisierung kann als ein Indiz genommen werden, auch für die Philosophie der Synthesechemie einen Strukturalismus anzunehmen. Dieser müsste von dem internen Strukturalismus begrifflich unterschieden werden, so dass er als externer Strukturalismus zu fassen wäre. An diesen Gedankengang lässt sich mit Foucault anknüpfen, welcher die Philosophie als die Aktivität beschreibt, die ein neues Objekt erscheinen lässt, sei es für die Erkenntnis oder für die Praxis.⁴²³ Diese Formulierung offenbart eine weitere Analogie zwischen Philosophie und Synthesechemie. Auch die Synthesechemie lässt neue Objekte erscheinen, die im Gegensatz zur philosophischen Aktivität in erster Linie materielle Strukturen sind.

Wie lassen sich nun die beschriebenen Formen des externen und internen Strukturalismus beschreiben mit Inhalt füllen? Einen internen Strukturalismus näher zu bestimmen, also in der Synthesechemie selber den Fokus auf strukturelle Aspekte anzunehmen und auszuführen, gelingt relativ leicht. Die Synthesechemie beschäftigt sich mit zu realisierenden Struk-

⁴²² Vgl. Ebd., S. 152.

⁴²³ Vgl. Ebd., S. 153.

turen, wobei die Orientierung an den Strukturelementen eines Moleküls (wie funktionellen Gruppen) ein maßgebliches Kriterium sowie den Motor der Forschung darstellt. Dies zeigt sich besonders in der Entwicklung des Synthesepfades, bei Mehrstufensynthesen zudem in der Abfolge einzelner Syntheseschritte oder im Aufbau und der Anordnung des Experimentes aber auch in der Überprüfung einer neuen Verbindung durch Messgeräte. Man muss den Fokus des internen Strukturalismus also nicht primär auf die Untersuchung eines übergeordneten Gefüges und deren Beziehungen untereinander richten, sondern Strukturaspekte in der Synthesechemie selbst verorten. Neben der Fokussierung auf die (molekulare) Struktur der Forschung ist auch die Idee des von Schummer postulierten Referenznetzes chemischer Strukturen bedeutsam. Eine andere Definition der Synthesechemie aus strukturalistischer Sicht, die dieses Referenznetz chemischer Substanzen als Ausgangspunkt nimmt, wäre: Die Synthesechemie bestimmt, beschäftigt sich mit und erweitert die Matrix chemischer Strukturen und untersucht deren Beziehung untereinander und berücksichtigt die Einbeziehung neuer Strukturen in dieses Netz und das sich daraus ergebende erweiternde Gefüge. Somit hat man der Chemie eine strukturalistische Funktion verliehen, indem man eine Strukturmatrix in den Vordergrund stellt. Dies ist ein wichtiger Aspekt für die Etablierung eines internen Strukturalismus der Synthesechemie.

Möglicherweise führt diese Etablierung eines internen Strukturalismus durch das Referenznetz chemischer Substanzen zu einem Anhaltspunkt auch für die Etablierung des externen Strukturalismus, also desjenigen Strukturalismus, der für die Philosophie der Synthesechemie von Bedeutung ist. Es sei an dieser Stelle daran erinnert, dass für diese Philosophie die bachelardschen Forderungen der Adäquatheit einer Wissenschaftsphilosophie bezogen auf die jeweilige Wissenschaft, sowie der Dynamik dieser Philosophie, bezogen auf ihre Aktualität für neue Erkenntnisse innerhalb der Wissenschaft, erfüllt sein sollen. Das bedeutet konsequenterweise: Wenn man einen internen Strukturalismus in der Chemie annimmt, gibt dieser auch Hinweise auf die Rolle eines Strukturalismus in der Philosophie der Chemie. Diese Annahme eines externen Strukturalismus würde zumindest eine Offenheit gegenüber der Syntheseforschung, angesichts des sich stetig erweiternden Referenznetzes durch die Realisierung neuer Strukturen gewähren. Doch neben dieser Grundannahme: Welche Argumente sprechen für einen externen Strukturalismus? Erinnert man sich an die ersten drei Teile dieser Untersuchung über die Synthesechemie, in denen versucht wurde – neben der

Klärung, was die chemische Synthesemethode im Unterschied zu anderen Synthesemethoden ist und seit welcher Zeit die Synthese im Kontext chemischer Lehren auftaucht – auch das Gefüge des Syntheselabors als wichtigen Bestandteil dieser Untersuchung auszuweisen. Die einzelnen Parameter, die die aktuelle Syntheseforschung charakterisieren sollen, sowie die Synthese der Erkenntnisse aus den ersten drei Teilen (Synthesekategorien, Geschichte, Laborkontext) dieser Untersuchung lassen im Ansatz übergeordnete Aspekte erkennen, die auf das Gefüge der Synthesechemie, ihre Struktur, abzielen. Zu diesen übergeordneten Aspekten gehören Offenheit, Dynamik, Intuition etc.

Was als wesentlicher Bestandteil dieser Philosophie zusammengebracht und zusammengedacht werden muss, sind die sich in der Reflexion der Synthesechemie offenbarenden Dialektiken, die bereits aufgezeigt wurden. Vor allem jene müssen als Grundprinzip des Surrealismus mit einem Strukturalismus zusammengebracht werden. Nach Piaget beruht die Verbindung zwischen Strukturalismus und Dialektik in den Naturwissenschaften, auf dem Bindeglied des Konstruktivismus. „[...]als beide Autoren [A.d.V. Jean-Paul Sartre und Claude Lévi-Strauss] jene grundlegende Tatsache vergessen zu haben scheinen, daß innerhalb der Naturwissenschaften selbst der Strukturalismus immer mit einem Konstruktivismus gekoppelt war, dessen dialektischer Charakter nicht übersehen werden kann; man erkennt diesen an der Betonung von historischen Entwicklungen, an der Gegenüberstellung von Gegensätzen und an den «Überschreitungen», aber auch an der Idee der Ganzheit, die den dialektischen wie den strukturalistischen Tendenzen zugrunde liegt.“⁴²⁴ Die Gegenüberstellung von Gegensätzen wurde bereits in den erwähnten Dialektiken geleistet, die sich in der Synthesechemie auf tun. Als Überschreitungen gelten für die Philosophie der Synthesechemie die Parameter der Objektivierung, Technisierung oder Realisierung. Folgt man Piaget weiter, muss man sich der Idee der Ganzheit widmen. Betrachtet man diese Überschreitungen wie Objektivierung, Technisierung oder Realisierung, die aus den Dialektiken hervorgehen, ist es eine Aufgabe dieser Philosophie der Chemie, die Struktur dieser Überschreitungen untereinander sowie der ihnen zugrunde liegenden Dialektiken zu untersuchen. Dieses macht die Idee der Ganzheit in der Philosophie der Synthesechemie aus, die eben ein externer Strukturalismus ist. Aus Piagets Arbeiten zur Kinderpsychologie lässt sich ent-

⁴²⁴ Piaget (1973): Der Strukturalismus, S. 115.

nehmen, dass er dafür plädiert, dass es keine angeborenen Strukturen gibt, sondern jede Struktur eine Konstruktion voraussetzt.⁴²⁵ Gleichfalls kann man analog dazu das Verhältnis in der Synthesechemie sehen. Hier geht es um die Konstruktion(en) von materiellen Strukturen. Im Syntheseplan und im Labor werden sie konstruiert. In der Synthesechemie enthalten alle im Labor hergestellten Substanzen ein Moment der Konstruktion, das sich in einer bestimmten chemischen Struktur manifestiert. Die Analogie zum konstruktivistischen Lernpsychologie Piagets soll an dieser Stelle nicht, neben dem in dieser Untersuchung vorgeschlagenen Surrationalismus und Strukturalismus, einen Konstruktivismus als dritte Position hervorheben. Vielmehr soll die Analogie verdeutlichen, dass sowohl in der Philosophie der Synthesechemie und dem Ansatz von Piaget, der aktive Konstruktionsprozess eine entscheidende Rolle spielt. In der Synthesechemie bezieht sich dieser aktive Konstruktionsprozess auf die Realisierung materieller chemischer Strukturen. Die Lernpsychologie stellt hingegen das Erzeugen subjektiver Realitäten durch den individuellen Lernprozess in den Vordergrund.

Darauf aufbauend schließt sich der externe Strukturalismus an, der sich damit beschäftigt, welche Faktoren die Herstellung chemischer Verbindungen begleitet. Der externe Strukturalismus untersucht die Funktionen und Faktoren, die die Syntheseforschung anleiten und setzt sie in eine Beziehung zueinander. Dazu gehören neben der Wissensgenerierung in der Synthesechemie auch, welche Motive und Motivationen die Syntheseforschung anleiten, welche Strukturen der Arbeitsweise der Synthesechemiker sich im Labor ergeben, welche Einflüsse die Synthesechemie von außerhalb, seitens der Industrie oder Pharmazie prägen. Manche Strukturen, die die Synthesechemie prägen, sind offensichtlich ebenso die Funktion(en), die diese Strukturen innehaben. Andere Strukturen müssen erst aufgedeckt und ihre Funktionen für die Synthesechemie offengelegt werden.

⁴²⁵ Vgl. Dosse (1996): Geschichte des Strukturalismus, S. 261.

3. Der surreationalistische Strukturalismus der Synthesechemie

Die Synthesechemie und die Philosophie der Synthesechemie müssen die Verhältnisse der chemischen Artefakte, ihre Beziehung zueinander und untereinander (dies ist die Aufgabe der Synthesechemie selber) sowie die Funktionen dieser abstrakt-konkreten Gegenstände im Gefüge der Chemie erkennen. Sie müssen die Bedingungen ihrer Entstehung und die Beziehung dieser Bedingung untereinander in den Fokus ihrer Untersuchung stellen. Die Beziehungen von Dialektiken und Überschreitungen lassen sich nicht auflösen, sondern sind Bestandteile der chemischen Forschung, die neue Substanzen hervorbringt.

Für die erkenntnistheoretischen Aspekte zur Deutung der Wissensgenerierung in der Synthesechemie wurde die surreationalistische Position nach Bachelard als angemessen erachtet. Die Dialektiken, die diesen Surreationalismus formen, wurden innerhalb der Synthesechemie an spezifischen Elementen erörtert. Es wurde die jeweils spezifische Bedeutung von Elementen der Theorie und der Praxis aufgezeigt, die sich gegenseitig bedingen und den Prozess der Synthese formen. Sowohl die Theorie als auch die Praxis leiten den Syntheseprozess und erweitern so die Grenzen des Materiell-Möglichen. Der zweite Aspekt, der für diese Philosophie der Synthesechemie herausgestellt wurde, ist der strukturalistische Ansatz. Sowohl die surreationalistische als auch die strukturalistische Position sollen als Basis für eine Philosophie der Synthesechemie angenommen werden. Fasst man nun diese beiden Positionen begrifflich zusammen, dann entsteht daraus der surreationalistische Strukturalismus der Synthesechemie.

Der surreationalistische Strukturalismus ist eine mögliche philosophische Position für die Synthesechemie. Der Bereich der wissenschaftlichen Erkenntnistheorie in Bezug auf die Frage, unter welchen Bezugspunkten die Synthesechemie zu ihrem Wissen im Rahmen des Materiell-Möglichen gelangt, wird durch den Surreationalismus beantwortet. Der Strukturalismus hingegen bezieht sich auf die gesamte Konstruktion der Synthesechemie und versucht die im Wissenschaftsgefüge vorhandenen und entstehenden Strukturen und Strukturelemente aufzugreifen und in eine Beziehung zueinanderzusetzen. Er wird von der Frage angeleitet, welche Motivationen und forschungsrelevanten Parameter die Disziplin der Synthesechemie ausmachen. Der Strukturalismus soll dabei offen gegenüber neuen Parametern

der Forschung sein, die in die Gesamtstruktur mit eingebunden werden. Man hat es also nicht mit einem abgeschlossenen Strukturalismus zu tun.

Was muss nun in diesem surrationalistischen Strukturalismus spezielle Berücksichtigung bei der Betrachtung der Synthesechemie finden, welches Denken liegt ihm zugrunde? Ein bedeutender Denkansatz ergibt sich daraus, dass die Synthesechemie selber nach dem *Wie* der Entstehung der abstrakt-konkreten Gegenstände fragt. Diese Frage versucht sie durch Realisierung zu überprüfen. Die Philosophie der Synthesechemie muss berücksichtigen, dass die Gegenstände, mit der es die Synthesechemie zu tun hat, Konstruktionen sind. Gleichfalls kann nicht die Annahme eines realistischen Wissens die Philosophie der Synthesechemie anleiten, sondern das zu realisierende Wissen bzw. ein realisierbares Wissen von chemischen Strukturen. Dieses zu realisierende Wissen wird begleitet von einer Technisierung und Objektivierung, was man in Anlehnung an Bachelard wiederum als Phänomentechnik charakterisieren kann.⁴²⁶ Die Synthesechemie schafft sich ihr Objekt selbst, indem sie mit Hilfe einer zunehmenden Technisierung mehr und mehr chemische Strukturen realisiert. Die Synthesechemie bringt ihre Forschungsgegenstände erst hervor. Quasi führt die Idee vom möglichen Sein des chemischen Gegenstands aus dem Nicht-Sein in den Modus des Seins als chemische Struktur. Nach wie vor ist das wichtigste Kriterium die Realisierung chemischer Strukturen durch eine Technisierung, was innerhalb des surrationalistischen Strukturalismus berücksichtigt werden sollte. Der einzelne Herstellungsprozess zur Realisierung einer chemischen Struktur ist bereits für den surrationalistischen Strukturalismus von Bedeutung. Von Bedeutung mit seinem Ergebnis ist er, weil durch das Einfügen einer realisierten Substanz in das Referenznetz chemischer Substanzen das Gefüge neu konstruiert wird, da ein neues Glied in Form einer neuen chemischen Struktur die Matrix mit definiert und prägt. Die potentiellen Veränderungen für das Referenznetz haben auch Auswirkungen auf die Ordnung der Synthesechemie selbst, neue Substanzen können wiederum andere neue Substanzen oder neue Synthesewege offenlegen, die das Potential haben, das wissenschaftliche Gefüge, die wissenschaftliche Struktur der Synthesechemie zu variieren.

⁴²⁶ Vgl. Teil I: Kap 4.5.2 Die methodologische Synthesekategorie.

Gerade wenn man über Strukturen, insbesondere über chemische Strukturen, spricht, geht dieses häufig mit einer Assoziation des Statischen einher. Die Imagination einer chemischen Struktur fügt sich aus Linien, Strichen, Buchstaben, Punkten etc. zusammen. In der Vorstellung einer Struktur hat jede Linie, jeder Strich, Buchstabe oder Punkt seinen festen Platz, damit sie wiedererkannt werden kann oder einen Vergleich mit anderen Strukturen erlaubt. Die Imagination einer Struktur bedingt quasi eine Statik. Dieses ist die Problematik der Fokussierung struktureller Aspekte und damit ebenso beim surrationalistischen Strukturalismus zu berücksichtigen. Denn sowohl die Synthesechemie als auch die Philosophie der Synthesechemie müssen dynamisch sein und bleiben, damit bei der Synthesechemie selber der Fortschritt gewährleistet ist, bei ihrer Philosophie die Berücksichtigung dieses Fortschritts und der fortlaufenden Veränderungen, die durch neue Syntheseprodukte, neue Reaktionswege, neue Forschungsansätze etc. entstehen. Neben der Statik, die strukturellen Verhältnisse repräsentieren, muss insofern ebenso eine Dynamik mitgedacht werden. „[...] *the two aspects do coexist. Chemical statics and chemical dynamics are these two complementary sides. Chemical science needs both. As we shall see, they share shoving aside the material basis of chemistry. This is their methodological demand.*“⁴²⁷ Was für die Chemie gilt, darf für die Philosophie der Synthesechemie im Sinne des surrationalistischen Strukturalismus nicht minder gelten. Das Verhältnis zwischen Statik und Dynamik der Strukturen, sowohl im internen als auch externen Strukturalismus, muss im Sinne der Komplementarität gelten.

Die Synthesechemie ist nicht starr, nicht statisch. „*Chemical symbolism not only guarantees undisturbed research but also inhibits unconventional thinking. Any experimental design that does not fit traditional chemical rules is doomed.*“⁴²⁸ Der surrationalistische Strukturalismus hat Raum für unkonventionelle Denkansätze in der Forschung, er gesteht den Einfluss und die Wirkungen von Kreativität und Intuition der Wissenschaft zu und hat die Aufgabe, diese Aspekte zu untersuchen und ihnen einen Platz in der Methodenlehre

⁴²⁷ Laszlo: Chemical Analysis as Dematerialization. In: Hyle – An International Journal for the Philosophy of Chemistry Vol. 4, No. 1 (1998), S. 30.

⁴²⁸ Jacob: Analysis and Synthesis. In: Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry Vol. 7, No. 1 (2001), S. 45.

einzuräumen, gerade weil kein statisches System mit der Synthesechemie vorliegt, in der alle Komponenten allzeit bekannt und systematisiert wären.

„*Modern chemistry handles information as much as it handles material change.*“⁴²⁹ Auch dieses Verhältnis berücksichtigt der surrationalistische Strukturalismus, indem er die Verhältnisse von Information und strukturellen Änderungen untereinander und in der Synthesechemie insgesamt betrachtet.

4. Die Synthesechemie im Spannungsfeld von Natur und Technik

Bisher wurde untersucht, welche Charakteristika die chemische Synthese beschreiben und in welcher Weise man eine Philosophie der Synthesechemie entwickeln kann, die möglichst viele dieser Charakteristika berücksichtigt. Diese Forderung fand die beste Lösung in dem Ansatz eines surrationalistischen Strukturalismus.

Neben der immanenten Bewährung des surrationalistischen Strukturalismus als Forderung einer angemessenen Bezugnahme auf die Besonderheiten der Synthesechemie muss nun die externe Bewährung dieses Denkansatzes im Kontext alternativer philosophischer Deutungen untersucht werden. Im Folgenden soll der surrationalistische Strukturalismus auf den Natur-und-Technik-Dualismus angewendet werden, um das Verhältnis zwischen der Philosophie der Synthesechemie und Natur bzw. Technik aufzuzeigen. Gleichzeitig soll dabei ersichtlich werden, welche Spezifika sich unter Bezugnahme dieser Philosophie im Natur-und-Technik-Dualismus für die Synthesechemie ergeben.

In diesem Anwendungskontext wird, um die Anschaulichkeit zu erhöhen, mit einem Fallbeispiel gearbeitet. Da bei diesem die chemischen bzw. biochemischen Grundlagen für das Verständnis unerlässlich sind, wird das Fallbeispiel beschrieben und die Sachhalte werden erklärt. Im Anschluss wird dann geprüft, wie verschiedene bereits existierende philosophische Ansätze, die das Verhältnis von Natur und Technik untersuchen, mit der Synthesechemie harmonieren. Darauf folgt die Anwendung des surrationalistischen Strukturalismus.

⁴²⁹ Laszlo: *Chemical Analysis as Dematerialization*. In: *Hyle – An International Journal for the Philosophy of Chemistry* Vol. 4, No. 1 (1998), S. 31.

Das Verständnis von Natur sowie von Technik veränderte sich im Laufe der Philosophiegeschichte und wurde im Zuge dieser Veränderungen erweitert. Die vielschichtigen Bestimmungen von *Physis* in der Antike gehen neben Aristoteles auch beispielsweise auf Platon oder Epikur zurück.⁴³⁰ Bei Aristoteles werden die Bereiche der Natur und der Technik in folgender Weise unterschieden: Die Unterscheidung von Natur und Technik beruht in seinem wichtigsten Punkt darauf, dass das Prinzip seines Werdens eines Naturproduktes in sich selbst liegt. Natur ist aus sich selbst heraus veränderbare Wirklichkeit. Ebenso ist die Bewegung des Natur-Seienden in Material und Funktion in sich selbst gegründet, wohingegen bei den Artefakten der Mensch bestimmt, auf welche Weise eben jenes Artefakt bewegt wird.⁴³¹ Analog der aristotelischen Darstellung werden Natur und Technik in der Philosophiegeschichte häufig als oppositionell begriffen. In Abhängigkeit der jeweiligen Physisdefinition wird der Bereich der Technik definiert oder die Definition von Natur wird in Abhängigkeit einer Technikdefinition getätigt. Im Diskurs von Synthesechemie mit Natur bzw. Technik wird diese oppositionelle Darstellung für die Einbindung der Synthesechemie vorläufig aufgegriffen und in Bezug auf das Gebiet der Synthesechemie wie folgt definiert: Unter Natur im Bezug zur Synthesechemie wird Folgendes verstanden: Natur wird als das bezeichnet, was abseits eines menschlichen Eingriffs und ohne sein Zutun auf molekularer Ebene entstehen und fort existieren kann.

Unter Technik wird in Bezug zur Synthesechemie hingegen Folgendes verstanden: Technik gilt als das, was auf der molekularen Ebene an chemischen Strukturen nur existiert, weil es in einem Labor durch Syntheseverfahren entstanden ist und dessen molekularer Bauplan und Struktur unabhängig von Laborverfahren nicht existieren bzw. nicht fort existieren können.

Es wurde bereits von der Rolle der Technik für die Synthesechemie gesprochen, die Technisierung wurde als ein Bestandteil des surrationalistischen Strukturalismus mit Blick auf

⁴³⁰ Die *Physis* wird von Platon im Sinne einer guten Naturanlage verstanden. Relevant wird sie daher vor allem auf den Gebieten der Ethik und der Anthropologie. Der *Physis*begriff nach Epikur ist eng verbunden mit dem Prinzip der Lust. Die naturgemäße Lust ist nach diesem Ansatz das erste dem Menschen angeborne Gut.

⁴³¹ Vgl. Aristoteles (1987): Physik [Buch II, Kapitel 1] S. 51 f., Spalte 192 b.

die Arbeitsweisen in der Synthesechemie angenommen. Es wurde behauptet, die Synthesechemie realisiere Artefakte und schaffe sich ihr Forschungsobjekt selbst. Demnach scheint der Schluss nahezuliegen, die Synthesechemie (möglicherweise die Chemie im Allgemeinen) als eine Technikwissenschaft zu charakterisieren und demnach zu behaupten, was in der Synthesechemie fabriziert wird, ist reine Technik. Doch genau diese Behauptung ist zu überprüfen, denn auch in natürlichen Organismen, in Zellen und auch in der unbelebten Natur, bei der Entstehung von Mineralien oder fossilen Brennstoffen finden komplexe Syntheseprozesse statt. Die Produkte der Natur sind also nicht einfach da bzw. schon immer da gewesen. Deshalb lohnt es sich nach dem Unterschied zu fragen, der die Laborsynthese von Syntheseprozessen in der Natur trennt. Denn neben der Anwendung der hier vorgeschlagenen Philosophie der Synthesechemie kann diese Einordnung der Synthesechemie in den Kontext von Natur und Technik dabei helfen, diese Teildisziplin der Chemie in einem weitläufigeren philosophischen Diskurs zu etablieren.

4.1 Die Beschreibung des Fallbeispiels

Das Fallbeispiel lässt sich grundlegend in einen Aspekt einteilen, der der Natur zuzuordnen ist und einen Aspekt, der dem Bereich der Technik zuzuordnen ist. Genaugenommen befinden sich also in diesem Fallbeispiel, zwei Formen von Beispielen, die dennoch gemeinsame Charakteristiken besitzen. Zwei chemische Gruppen werden dabei fokussiert, nämlich die der alpha- und der beta-Polypeptide.

Für einen Vergleich synthetischer Strukturen im oppositionellen Verhältnis von Natur und Technik haben diese Beispiele folgende Vorteile: Chemisch gesehen sind diese Gruppen eng miteinander verwandt. Sie unterscheiden sich maßgeblich durch die Grundstruktur der Aminosäuren, deren Stellung einer funktionellen Aminogruppe am alpha- oder beta-C-Atom der Carbonsäurefunktion das Unterscheidungsmerkmal darstellt. In Bezug auf die strukturellen Aspekte besitzen alpha-Aminosäuren freie Drehbarkeit um zwei Bindungen bei der Aminocarbonfunktion. Zwei Substituenten sind hier austauschbar. Bei den beta-Aminosäuren ist die freie Drehbarkeit bei drei Bindungen gegeben und es können vier Substituenten variieren, was zu einer größeren Variation von Konstitutions- und Konfiguration-

sisomeren führt.⁴³² Beide können durch die Bildung von Amidbindungen kettenartige Strukturen ausbilden, wobei die Kettenbildung und darauf aufbauend weitere komplexe Strukturen (Polypeptide und Proteine) bei den alpha-Aminosäuren in nahezu allen lebenden Organismen gebildet werden. Alpha-Aminosäuren sind die Grundbausteine natürlicher Polypeptide und Proteine. Beta-Aminosäuren sind in weitaus geringerem Umfang ebenfalls Bestandteil von Organismen. So tritt etwa beta-Alanin als Baustein in der Pathotensäure auf, die zu den wasserlöslichen Vitaminen des b-Komplexes zählt.⁴³³ Polypeptide, die aus beta-Aminosäuren bestehen, sollen durch chemische Synthesemethoden im Labor hergestellt werden, sind also Artefakte. In biologisch aktiven Peptiden ist der Ersatz von beta-Aminosäuren durch alpha-Aminosäuren eine vielversprechende Strategie zur Steigerung der Wirksamkeit und der enzymatischen Stabilität von Peptiden. Das Forschungsinteresse der Naturwissenschaftler an solchen Verfahren ist dementsprechend groß.

Folgende Punkte zur Unterscheidung der alpha- und beta-Polypeptide sind für die hier durchgeführte Untersuchung von Bedeutung:

Der erste Punkt betrifft ihr Herstellungspotential. Alpha-Polypeptide können sowohl in der Natur (in Organismen) als auch im Labor hergestellt werden. Dabei müssen beim menschlichen Organismus die essentiellen Aminosäuren mit der Nahrung aufgenommen werden, es sind also nicht alle Aminosäuren vom Körper produzierbar. Im Labor erfolgt die Herstellung von Peptiden meist über Mehrstufen-Synthese. Moderne chemische Synthesen von alpha-Peptiden erfolgen im Labor nach dem Merrifield-Verfahren. Bei dieser Festphasensynthese wird das wachsende Polypeptid an einer Matrix aus Polystyrolharzkugeln kovalent fixiert. Das gewünschte Peptid wird schließlich durch spezifische Spaltungsreaktionen aus der Matrix befreit.⁴³⁴ Im Labor werden sie in den meisten Fällen als Reinstoffe gewonnen.

Der zweite Punkt betrifft das Potential zur Ausbildung komplexerer Strukturen. Alpha-Aminosäuren werden in Organismen zu hochkomplexen Polypeptid- und Proteinstrukturen

⁴³² Konstitutionsisomere haben die gleiche Summenformel, besitzen aber eine unterschiedliche Verknüpfungsreihenfolge. Konfigurationsisomere besitzen hingegen die gleiche Verknüpfungsreihenfolge, unterscheiden sich aber durch ihren räumlichen Aufbau.

⁴³³ Vgl. Beyer, Walter (1991): Lehrbuch der organischen Chemie, S. 291.

⁴³⁴ Vgl. Müller-Esterl, Anderka, Brandt, Kerscher (2011): Biochemie, S. 116 f.

durch Amidbindungen unter Abspaltung von H₂O verbunden. Die Abfolge der Aminosäureverknüpfung wird durch die DNA codiert. Das heißt, durch die DNA ist festgelegt, welche Polypeptidstrukturen und Proteine von Organismen ausgebildet werden. Die Polypeptidstrukturen und die spezifische Faltung zu Proteinen sind wiederum durch die Abfolge der Aminosäuren begründet, was als Primärstruktur bezeichnet wird. Spezifische Primärstrukturen fördern spezifische Sekundärstrukturen, wie alpha-Helix, beta-Faltblatt oder beta-Schleifen.^{435, 436}

Alpha-Aminosäuren werden in der Synthesechemie ebenfalls hergestellt und modifiziert (das heißt, mit anderen Seitenketten bzw. Strukturelementen produziert). Doch die Forschung an komplexeren Strukturen von hochmolekularen Polypeptiden oder gar Proteinen gehören nicht mehr in das Fachgebiet der Synthesechemie, sondern sind Gegenstand der Forschung in der Nachbardisziplin der Biochemie. Die Synthesechemie fokussiert vielmehr die Herstellung einzelner Moleküle sowie die Bedingungen ihrer Entstehung. Deshalb soll es an dieser Stelle nicht im eigentlichen Sinne um Proteine gehen, sondern vielmehr um das Potential ihrer Grundbausteine – der Aminosäuren und Polypeptide – zur spezifischen Strukturbildung von komplexen Strukturen.

Die Synthese einer Vielheit von beta-Aminosäuren erfolgt im chemischen Laboratorium. Eine Methode, um beta-Aminosäuren zu erzeugen, ist die Homologisierung von alpha-Aminosäuren durch Arndt-Eistert-Reaktion oder durch stereoselektive Amidomethylation eine Ti-Enolates.

Die Synthesen von beta-Peptiden aus beta-Aminosäuren im Labor sind durch das Zusammenspiel der Amino- und der Carbonylkomponente schematisch angelegt. Dieses Zusammenspiel besteht daraus, dass der C-Terminus der Carbonylkomponente das Reaktionszentrum ist, wenn der N-Terminus der Aminokomponente geschützt wird und vice versa. Dieses Zusammenspiel von Amino- und Carbonylkomponente ist grundlegend für die Pep-

⁴³⁵ Vgl. Ebd., S. 92 ff.

⁴³⁶ Alpha-Helix: Die alpha-Helix ist eine gleichmäßige Verdrillung der Polypeptidkette, die durch Wasserstoffbrücken zwischen CO- und NH-Paaren gebildet wird, welche durch drei Aminosäurereste voneinander getrennt liegen. Beta-Faltblatt: Eine beta-Faltblatt-Struktur wird durch nebeneinander angeordnete beta-Stränge gebildet, bei der sich Wasserstoffbrückenbindungen zwischen CO- und NH-Gruppen benachbarter Stränge ausbilden können. Diese interagierenden Stränge können parallel oder anti-parallel verlaufen. Beta-Schleifen: Dieses Strukturelement verbindet zwei Strangenelemente eines antiparallelen beta-Faltblatts über eine Haarnadelkurve. [Vgl. Müller-Esterl, Anderka, Brandt, Kerscher (2011): Biochemie, S. 92 ff.]

tidbindung (Amidbindung). Die Möglichkeiten zur Bildung von beta-Peptiden bestehen beispielsweise durch Festphasensynthese oder durch Flüssigphasensynthese. Bei der Festphasensynthese erfolgt der Aufbau des Peptids vom C- zum N-Terminus, bei der Flüssigphasensynthese von N- zum C-Terminus. Als Vorteile und Nachteile dieser beiden Synthesetypen werden jeweils Größe der Ausbeute, Automatisierbarkeit, Möglichkeit der Reaktionskontrolle oder Aufreinigung nach jedem Reaktionsschritt angegeben. Es wird an dieser Stelle darauf verzichtet, die laborinternen synthesespezifischen Parameter näher auszuführen, dennoch wird bereits aus diesem Anfang ersichtlich, dass eine differenzierte Forschung zur Herstellung von beta-Peptiden vorliegt. Bei der Synthese von beta-Peptiden geht es nicht allein um die Möglichkeit ihrer Entstehung, sondern vor allem um den pharmazeutischen Bereich, also um die angewandte Forschung. Der Einsatz von beta-Peptiden erfolgt als Wirkstoffnachahmung, wobei beta-Peptide ihre Stabilität auf Wirkstoffe von Medikamenten übertragen sollen. Weiterhin wird an Synthesen geforscht, die antibakterielle beta-Peptide hervorbringen sollen.

Ein Berührungspunkt von alpha- und beta-Peptiden ist die Herstellung von alpha-Peptiden durch chemische Synthesemethoden im Labor. Dieses Syntheseprodukt ist vom Prinzip sowohl in Organismen als auch im Labor herstellbar. An dieser Stelle können beide Syntheseperspektiven (Natur und Technik) miteinander vereinigt werden. Die Bedingungen, unter denen alpha-Peptide entstehen, mögen verschieden sein, ebenso die einzelnen Reaktionsschritte, das Ergebnis kann jedoch identisch sein. Sowohl Organismen als auch der Chemiker im Syntheselabor besitzen das Potential ein derartiges Produkt zu synthetisieren. Die Entstehung im Organismus ist durch Katalysatoren begünstigt, im Labor werden die Laborparameter wie Temperatur, Lösungsmittel oder pH-Wert variiert, um das Produkt zu erhalten.

Die aufgezeigten Unterschiede der alpha- und beta-Peptide bilden eine Grundlage um unter Zuhilfenahme dieses Fallbeispiels die Methode der chemischen Synthese in der Gegenüberstellung von Natur und Technik verorten zu können.

4.2 Bestrebungen einer Zuordnung der Synthesechemie

Die Wissenschaft Chemie, also auch die Synthesechemie, wird von Seiten der Philosophie aber auch von chemischen Fachverbänden oder von wissenschaftspolitischen Standpunkten am ehesten den Naturwissenschaften zugeordnet. In der vorangegangenen Untersuchung wurde dargestellt, dass gerade die Synthesechemie in einem hohen Maß von Technik begleitet und durchdrungen wird und selber ihre Objekte mithilfe von Technik hervorbringt. Durch den hohen Status des Technischen, durch das große Maß an Technisierung, im methodischen Ablauf oder hinsichtlich der Entstehung sowie dem Status der Produkte, läge es ebenso nahe, die Synthesechemie statt als Naturwissenschaft stärker als Technikwissenschaft zu verstehen und sie gemeinsam mit der Nanotechnologie, den Materialwissenschaften, der Raumfahrttechnik und der Werkstofftechnik zu behandeln. Aufgrund des Aspektes der Technisierung und der Eigenschaft der Synthesechemie, Produkte durch Technisierung herzustellen, die in der Natur nicht vorkommen, muss die gängige Zuordnung der Chemie hinterfragt werden. In der Auseinandersetzung mit der Synthesechemie zur Natur und Technik muss ihre Stellung neu reflektiert werden. Zählt die Synthesechemie zu den Naturwissenschaften, die Gesetze, Materialien, Phänomene und Systeme der Natur untersuchen und hinterfragen? Oder ist sie nicht vielmehr eine Technikwissenschaft, die Systeme oder Materialien konstruiert und anwendet? Diese Frage der Zuordnung betrifft in erster Linie das Selbstverständnis der Synthesechemie und kann daher auch bei der Reflexion dieser Teildisziplin der Chemie für die Wissenschaftsphilosophie im Allgemeinen aber auch für den surrationalistischen Strukturalismus im Speziellen hilfreich sein.

Durch eine Einbeziehung der Thematik Natur und Technik in die Philosophie der Synthesechemie können ebenso die Syntheseprodukte in ihrem weltlichen Anwendungskontext mit einbezogen werden. Wenn Syntheseprodukte sich in der Anwendung und dann auf dem Markt ökonomisch bewährt haben, wenn sie sich in der Gesellschaft etabliert haben und in dieser genutzt werden, sind sie in eine Beziehung zu dieser Gesellschaft und der die Gesellschaft umgebende Umwelt gesetzt. Es ist nicht mehr allein der Synthesechemiker, der Zugang zu synthetischen Produkt hat – gleichwohl zu Synthesemethoden –, sondern neue Syntheseprodukte werden in die Welt außerhalb des Labors mit eingebunden. Nicht-natürliche Syntheseprodukte tragen das Potential sich und ihre Umwelt zu verändern, was

nicht nur pharmazeutische Produkte, wie der Arzneimittelstoff Contergan oder Polymere wie Nylon und andere Kunststoffe zeigen.

Synthetische Laborprodukte treten in Wechselwirkung mit der Gesellschaft und ihrer Umwelt unter nicht sofort einsehbaren und im Vorfeld abschätzbaren Wirkungen.⁴³⁷ Das bedeutet, die Artefaktherstellung in der Synthesechemie betrifft über die Synthesechemie hinaus ebenso gesellschaftliche Bereiche. Man gelangt mit einer Folgeabschätzung der Auswirkungen von Syntheseprodukten in den Bereich, wo es nicht mehr allein nur um Wissenschaft, um eine wissenschaftsphilosophische Bestimmung der Synthesechemie und ihrer Produkte geht, sondern in einem weiter gefassten Kontext, um die Relationen dieser synthetisch-chemischen Artefakte mit dem menschlichen Individuum, der Gesellschaft oder auch den nicht vorrangig von Menschen geprägten Lebensräumen. Diese Relationen können auch beispielsweise aus anthropologischer oder ökologischer Perspektive erarbeitet werden. Die Betrachtung synthetischer Artefakte eröffnet abseits der hier vorzunehmenden philosophischen Untersuchung der Synthesechemie in ihrer Beziehung zu Natur und Technik, ein weites Feld für verschiedene disziplinäre Forschungsfelder. Diese Forschungsfelder könnten in Beziehung zum Anwendungskontext der Philosophie der Synthesechemie gesetzt werden, wenn beide sich mit synthetisch-chemischen Artefakten beschäftigen.

4.2.1 Der erste Versuch einer Zuordnung

Bezieht man nun das Fallbeispiel der alpha- und beta-Polypeptide mit ein, um die Beziehung zwischen Natur bzw. Technik und synthetischen Produkten zu ergründen, ergeben

⁴³⁷ Ein Beispiel dafür ist Dichlordiphenyldichlorethen, ein Bestandteil des Insektizids DDT. Es war ab den 1950er Jahren für einen Rückgang von Seeadlerpopulationen verantwortlich, weil es sich über die Nahrungskette in Organismen anreicherte und bei Greifvögeln zu dünnen Eierschalen führte. Es verminderte die Nachkommenschaft, da die Eier beim Brüten zerbrachen. Dieses ist nur ein Beispiel für eine spät einzusehende und stille Interaktion von Syntheseprodukten mit der Umwelt, die aus dem Labor stammten.

sich vorläufig folgende Gedanken und Unterscheidungsmerkmale. Auch in der Diskussion des Fallbeispiels liegen die angeführten Definitionen von Natur und Technik zu Grunde.⁴³⁸

Als erstes Unterscheidungsmerkmal lässt sich das Kriterium der Selbstorganisation von Strukturen anführen. Alpha-Polypeptide können sich in Zellen von lebenden Organismen ohne synthetisch-chemische Verfahren in einem Labor bilden. Hier ist das Kriterium der Selbstorganisation erfüllt. Demnach lassen sich alpha-Polypeptide dem Bereich der Natur zuordnen. Im Gegensatz dazu sind die beta-Polypeptide zu sehen, die sich nur bilden können, indem ein Chemiker sie im Labor unter Zuhilfenahme spezifischen Laborequipments entwickelt bzw. herstellt. Demnach ist bei den beta-Polypeptiden das Kriterium der Selbstorganisation nicht erfüllt, weil sie nur durch das Eingreifen des Synthetikers ihre molekulare Struktur ausbilden. Sie sind also dem Bereich der Technik zuzuordnen.

Doch reicht das Unterscheidungskriterium der Selbstorganisation aus? Ohne Zweifel ist dieses Kriterium seit Aristoteles⁴³⁹ für die Unterscheidung von Natur und Technik relevant, doch darf man nicht vergessen, dass es hier um die Anwendbarkeit bezüglich der Einordnung eines modernen Wissenschaftszweigs (der Synthesechemie) geht. Betreibt man dieses Gedankenspiel in diesem Fall mithilfe der alpha- und beta-Polypeptide, dann müssen Natur und Technik durch eine deutlichere Differenzierung bzw. mehrere Differenzierungskriterien voneinander getrennt werden. Denn würde man einzig das Kriterium der Selbstorganisation für die Natur bzw. Naturwissenschaft anführen, dann würde neben der Synthesechemie, die gesamte Chemie ebenso wie die Physik aus dem Kanon der Naturwissenschaften herausfallen, sie würden nicht mehr den Bereich der Natur untersuchen und zu Technikwissenschaften werden. Man würde den Begriff der Naturwissenschaften einzig am Begriff des Lebens festmachen können, wenn man sich auf die Selbstorganisation komplexerer Molekülstrukturen beschränkt. Die Differenzierung anhand des Kriteriums der Selbstorganisation ist also, um eine eindeutige und aussagekräftige Bestimmung der Synthesechemie zu leisten, bei dem komplexen Stand der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse zu grob.

Der Synthesechemiker kennt dennoch die Selbstorganisation chemischer Strukturen, wenn gleich nicht bei beta-Polypeptiden. Auf diese Selbstorganisation soll an dieser Stelle aus

⁴³⁸ Vgl. Definitionen in: Teil IV: Kap. 5. Die Anwendung der Philosophie der Chemie.

⁴³⁹ Vgl. Teil IV: Kap. 5. Die Anwendung der Philosophie der Synthesechemie.

Gründen der Vollständigkeit für die Darstellung der Arbeit in der Synthesechemie kurz eingegangen werden.

Ein Beispiel für selbstorganisierende Strukturen, die sich durch Syntheseverfahren herstellen lassen, sind die aus dem Bereich der Nanotechnologie sogenannten SAMs (self-assembled-monolayers), die beim Eintauchen oberflächenaktiver Substanzen in Suspensionen spontan selbstorganisierende Schichten bilden.⁴⁴⁰ Diese Selbstorganisation der SAMs zeigt sich jedoch weniger komplex im molekularen Aufbau als hochmolekulare alpha-Polypeptide. SAMs bilden meist einfache Monoschichten aus und sind in Bezug auf ihren dreidimensionalen Aufbau mit den komplexen dreidimensionalen Strukturen von alpha-Polypeptiden und deren Funktionen kaum zu vergleichen.

Nach dieser Betrachtung des Kriteriums der Selbstorganisation werden weitere Ansätze zur Einordnung der Synthesechemie innerhalb der Thematik von Natur und Technik vorgenommen

Ein Problem bei dem Versuch einer Differenzierung der Bereiche Natur und Technik besteht darin, dass ihre Begriffe unterschiedlich gefasst werden können.⁴⁴¹ Ein Aspekt, der bei der Differenzierung bedacht werden muss und dadurch eine Einteilung schwierig macht, ist, dass Artefakte ebenfalls aus Naturdingen gemacht sind. Das gilt sowohl für handwerkliche Fertigungen (ein Tisch aus Holz) als auch für wissenschaftliche Artefakte (auch Kunststoffe bestehen aus natürlichen Atomen) und sowohl Natur als auch Technikdinge unterliegen den Naturgesetzen.⁴⁴² Ein Unterscheidungsmerkmal besteht dennoch darin, dass Technik trotz ihres natürlichen Substrates als bewusstseinsgeleitete menschliche Praxis angesehen wird.⁴⁴³

⁴⁴⁰ Self assembled monolayers (SAMs) are surfaces consisting of a single layer of molecules on a substrate. Rather than having to use a technique such as chemical vapor deposition or molecular beam epitaxy to add molecules to a surface (often with poor control over the thickness of the molecular layer), self assembled monolayers can be prepared simply by adding a solution of the desired molecule onto the substrate surface and washing off the excess. In: http://www.chemeuropa.com/en/encyclopedia/Self-assembled_monolayer.html.

⁴⁴¹ Vgl. Ropohl: Das Ende der Natur. In: Schäfer, Ströker (Hrsg.): *Naturauffassungen in Philosophie, Wissenschaft und Technik*. Bd. 4. (1996), S. 143.

⁴⁴² Vgl. Ebd., S. 146.

⁴⁴³ Vgl. Ebd., S. 147.

Ein Kriterium der Annäherung bzw. einer tendenziellen Gleichstellung von Natur und Technik ist die Argumentation, nach der man Technik als angewandte Naturwissenschaft definieren kann. Doch in Bezug auf die Synthesechemie betrifft dies wiederum nur den Aspekt der angewandten Forschung und keinesfalls den der Grundlagenforschung, die die Grenzen des Materiell-Möglichen erkundet, ohne eine sich anschließende Anwendung als Ziel zu haben.

Ein weiteres Kriterium, nach dem die Synthesechemie in Bezug auf ihren Natur- oder Technik-Status beurteilt werden kann, ist das der Naturgesetze. Fokussiert man diese als nächsten Punkt, dann gilt wie in allen Wissenschaftszweigen, dass egal auf welche Weise Moleküle synthetisiert werden, die Produkte den Naturgesetzen unterliegen. Insofern besteht der wesentliche Unterschied darin, dass neuartig synthetisierte Moleküle eine Rekombination der Eigenschaften der Moleküle aufweisen, welche aber letztlich nicht gegen Naturgesetze oder fundamentale Naturkonstanten verstoßen. Eine Unterscheidung nach dem Kriterium der Bestimmtheit nach Naturgesetzen ist also wenig sinnvoll, da alle materiellen Bildungen diesen Gesetzen unterliegen, womit das Kriterium zu unscharf für die hier durchzuführende Untersuchung ist.

Eine weitere Unterteilungsmöglichkeit beruht darauf, Natur und Technik nicht auf der Basis ihrer materiellen Beschaffenheit zu charakterisieren, sondern nach dem Herstellungsaspekt, der Handlungspraxis, dem Eingriff des Menschen. Greift man diese Unterteilungsmöglichkeit auf, zeigt sich folgende Argumentation in Bezug auf das Fallbeispiel und die Synthesechemie. Alpha- und beta-Polypeptide können beide im Labor hergestellt werden. Das heißt, sie unterliegen beide dem Einfluss menschlich anleitender Praxis. Auch wenn alpha-Polypeptide in Organismen auch ohne menschliche Handlungspraxis gebildet werden, liegt der eigentliche Unterschied zwischen einer natürlichen Bildung und einer Bildung im Labor, insbesondere im Grad der Reinheit. Die Reinheit ist in diesem Fall das wesentliche Kriterium, das eben einer klaren Zuordnung zu Natur oder Technik entgegensteht. Einerseits ist der Gegenstand der alpha-Polypeptide eine Struktur, die tausendfach in der Natur erzeugt wird, also natürlich gebildet wird. Andererseits ist die relativ hohe Reinheit, mit dem entsprechende alpha-Polypeptide im Labor erzeugt werden, quasi unnatürlich.

Auch wenn man von der gleichen Struktur spricht, hat man doch aufgrund des Kontextes quasi zwei verschiedene ontologische Klassen vor sich, was eine eindeutige Zuordnung der Synthese der alpha-Polypeptide kaum möglich macht. Reinheit als ein Kriterium zur Unterscheidung zu nutzen ist allerdings problematisch, weil Reinheit ein relatives und kein absolutes Unterscheidungskriterium darstellt. Auch Bachelard spricht davon, dass man nicht von einem Begriff der Reinheit an sich sprechen kann, sondern vielmehr von einem Relativismus der Reinheit reden sollte.⁴⁴⁴ Es gibt vielmehr in der Synthesechemie, sowie in den gesamten Naturwissenschaften, Reinheitsgrade, die man annehmen muss und nach denen gearbeitet wird. In diesen Graden ist die jeweilige Reinheit eines Produktes nur in Bezug auf die Reinheit eines anderen Produktes zu bestimmen. Ein Idealpunkt absoluter Reinheit, die alleinig mit der Strukturformel des jeweiligen Moleküls übereinstimmt, stellt lediglich eine Norm dar und lässt sich in der Wirklichkeit weder in der Natur noch durch menschliche Einwirkung im Labor finden.

Die für eine Zuordnung der Synthesechemie in den Bereich der Natur oder der Technik angeführten Kriterien 1) der Selbstorganisation 2) der Naturgesetze und 3) der Reinheitsgrad haben bisher zu keinem eindeutigen Ergebnis geführt. Die Suche nach weiteren Kriterien ist für eine Einordnung der Synthesechemie also notwendig.

Ein vorläufig letztes Kriterium soll herangezogen werden, um eine Zuordnung der Synthesechemie zur Natur oder zur Technik zu erwirken. Dieses wird das Kriterium der Naturatome genannt. Gemeint ist damit, dass man die Prämisse setzt, dass alle Atome bereits da sind und man sie aufgrund ihres Daseins und selbstständigen Fortexistierens eindeutig dem Bereich der Natur per definitionem⁴⁴⁵ zuordnen kann. Demnach wäre auch die Synthesechemie dem Bereich der Natur zuzuordnen. Diese Zuordnung wird jedoch mit Blick auf das Fallbeispiel der beta-Polypeptide in ihrem Anwendungskontext problematisch. Beta-Polypeptide sollen nämlich gerade in der Medizin verwendet werden, um alpha-Polypeptide (partiell) zu ersetzen, wo fehlerhafte Protein- bzw. Peptidstrukturen Krankheiten verursachen. Natur soll hier also durch Natur ersetzt werden, um die Natur zu verbes-

⁴⁴⁴ Vgl. Bachelard (1993): Epistemologie, S. 112.

⁴⁴⁵ Vgl. Teil IV: Kap. 5. Die Anwendung der Philosophie der Chemie.

sein. Eine Einordnung der Synthesechemie scheint unter diesem Anwendungskontext der beta-Polypeptide überflüssig. Entgegenet man nun noch der Prämisse, dass alle Atome natürlich sind, das Argument, dass es gerade in der Synthesechemie nicht um einzelne Atome, sondern um die Bildung der Strukturen aus Atomen, also um Moleküle geht, die im Verbund ein anderes Verhalten zeigen, als einzelne Atome, wird die Prämisse überflüssig. Das Argument des Anwendungskontextes bei beta-Polypeptiden und das Argument, dass es in der Synthesechemie gar nicht um einzelne Atome, sondern um Moleküle geht, leitet zu folgenden Gedanken über: Man hat es nicht mit einer Einordnung in die Natur zu tun, wenn man die synthetische Forschung von beta-Polypeptiden betreibt, sondern vielmehr mit einer Überformung der Natur, was entweder einem bloßen Technikcharakter oder möglicherweise einer bisher nicht genannten anderen Kategorie im Natur und Technik Kontext entspricht.

Keines der bisher genannten Kriterien 1) Selbstorganisation 2) Naturgesetze 3) Reinheitsgrad 4) Naturatome war für eine Zuordnung der Synthesechemie in die Bereiche Natur oder Technik eindeutig. Es muss also ein weiterer Argumentationsansatz herangezogen werden, um eine Zuordnung erwirken zu können.

4.2.2 Der zweite Versuch einer Zuordnung

Ein weiterer Versuch einer Einordnung der Synthesechemie in den Bereich der Natur oder den Bereich der Technik wird maßgeblich unter der Zuhilfenahme philosophischer Ansätze von Günter Ropohl vorgenommen. Dieser Ansatz basiert darauf, nicht von Natur und Technik, sondern von Naturwissenschaft und Technikwissenschaft zu reden, welche von Ropohl differenzierend dargestellt werden.

Um eine Entscheidung zu treffen, ob die Synthesechemie eher als Bestandteil der Natur oder der Technik aufzufassen ist, ist also nicht von Natur und Technik, sondern besser von Natur- und Technikwissenschaft zu sprechen. Dabei müssten sich die Technikwissenschaften mit der Menge der nutzungsorientierten, künstlichen oder gegenständlichen Gebilde (Sachsysteme), mit der Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen und mit der Menge menschlicher Handlungen beschäftigen, in de-

nen Sachsysteme verwendet werden.⁴⁴⁶ Aufbauend auf dieser Definition kann die Naturwissenschaft in die Entstehungszusammenhänge in Form technikwissenschaftlicher Transformation eingreifen.⁴⁴⁷ Geht man von Ropohls Argumentation aus, dann besteht die wissenschaftsphilosophische Aufgabe nun darin, das Verhältnis von Natur- und Technikwissenschaften zu analysieren.⁴⁴⁸ Dazu werden folgende Unterscheidungskriterien angeführt:

- a) Zielsetzung: Die Naturwissenschaften verfolgen das Ziel eines theoretischen Erkenntnisgewinns um seiner selbst willen, die Technikwissenschaften sind hingegen nur an praktischen Zwecken interessiert.
- b) Gegenstand: Die Naturwissenschaften untersuchen natürliche Phänomene; die Technikwissenschaften beschäftigen sich hingegen mit diesen und naturalen Effekten, nur insoweit sie in technischen Systemen eine Rolle spielen.
- c) Methodik: Die Naturwissenschaften bedienen sich der isolierenden Abstraktion isolierter Untersuchungsobjekte; die Technikwissenschaften beschäftigen sich mit konkreten technischen Gebilden in einem mehrdimensionalen Verflechtungszusammenhang sowie in quasi-experimentellen Simulationen.
- d) Status der Resultate: Die Naturwissenschaften zielen auf isolierte Gesetzhypothesen und idealisierende Theorien ab; die Technikwissenschaften gewinnen aus der Transformation und der Integration naturwissenschaftlichen Wissens und systematisierter Erfahrung realistische Gestaltungsregeln.
- e) Qualitätskriterium: Die Naturwissenschaften bewähren sich durch experimentelle Erfolge und Anerkennung in der wissenschaftlichen Gemeinschaft sowie in Form theoretischer Konsistenz; für die Technikwissenschaften zählt praktischer Erfolg der technischen Lösungen und Anerkennung durch Ingenieurs- und Industriepraxis.⁴⁴⁹

Wie lässt sich nun die Synthesechemie in die oben angeführte Klassifikation einfügen? Ist diese Analyse dazu geeignet, die Synthesechemie als Natur- bzw. als Technikwissenschaft

⁴⁴⁶ Vgl. Ropohl: Das Ende der Natur. In: Schäfer, Ströker (Hrsg.): Naturauffassungen in Philosophie, Wissenschaft und Technik. Bd. 4. (1996), S. 148.

⁴⁴⁷ Vgl. Ropohl: Das Ende der Natur. In: Schäfer, Ströker (Hrsg.): Naturauffassungen in Philosophie, Wissenschaft und Technik. Bd. 4. (1996), S. 148.

⁴⁴⁸ Vgl. Ebd., S. 148.

⁴⁴⁹ Vgl. Ebd., S. 148 ff.

zu charakterisieren? Nimmt man die genannten Unterscheidungskriterien, dann verhalten sich diese für die Synthesechemie folgendermaßen:

a) Zielsetzung: Hier lässt sich für die Synthesechemie keine eindeutige Zuordnung zur Natur- oder Technikwissenschaft treffen. Vielmehr muss die Synthesechemie aufgespalten werden in die bereits angeführten Bereiche Grundlagen- und angewandte Forschung. Dabei lässt sich die Grundlagenforschung als Erforschung des Materiell-Möglichen eher in den Status einer Naturwissenschaft, die angewandte Forschung, die klar auf einen Gebrauch und materiellen oder ökonomischen Nutzen abzielt, eher in den Status einer Technikwissenschaft einordnen. Unter Berücksichtigung dieses Kriteriums kann also keine Entscheidung fallen.

b) Gegenstand: In der Synthesechemie sind die Gegenstände sowohl natürliche Phänomene, als auch technische Prozesse. Allerdings muss die Betrachtung des Gegenstandes eher noch aus der Strukturperspektive erfolgen, denn noch mehr als mit Effekten und Phänomenen beschäftigt sich die Synthesechemie mit Strukturen. Diese Strukturen können in der Natur vorkommen. Sei es, dass sie in einer Mehrstufensynthese als Ausgangsstoffe eingesetzt werden, Naturstoffe nachgebaut und erst dann modifiziert werden oder Naturstoffsynthesen betrieben werden. Somit hätte man es bis zu diesem Punkt mit einer Naturwissenschaft zu tun. Dennoch verfertigt und produziert die Synthesechemie Strukturen, die rein im technischen Gewerbe angewandt werden und selber nicht in der Natur vorkommen. Diese können als technische Prozesse (der Synthesevorgang selbst) und auch als Technikprodukt aufgefasst werden. Somit kann in Bezug auf das Unterscheidungskriterium vom Gegenstand ebenfalls keine eindeutige Zuordnung der Synthesechemie zur Natur- oder zur Technikwissenschaft vorgenommen werden.

c) Methodik: In der Synthesechemie ist die isolierende Abstraktion idealisierter Untersuchungsobjekte Bestandteil ihres Methodenarsenals, was für eine Naturwissenschaft spräche. Es gehören aber auch konkrete technische Gebilde sowie quasi-experimentelle Simulationen in das Arsenal hinein, womit das Kriterium für eine Technikwissenschaft erfüllt wäre. Ersteres lässt sich in der Synthesechemie bei der Herstellung, der Reinigung sowie bei der sich anschließenden Überprüfung des Nutzens eines Syntheseproduktes finden. Quasi-experimentelle Simulationen finden sich in den Computerprogrammen, die die Syntheseverlaufsmöglichkeiten vorausschauend beurteilen sollen. Somit ist auch beim Unterschei-

dungskriterium der Methodik die Synthesechemie weder klar als reine Natur- noch als reine Technikwissenschaft zu bezeichnen.

d) Status der Resultate: Mit Blick auf die Resultate kann die Synthesechemie weder als Natur- noch als Technikwissenschaft bestimmt werden. Denn es geht in der Synthesechemie weder primär um isolierte Gesetzhypothesen oder idealisierende Theorien, noch um Transformation oder die Integration naturwissenschaftlichen Wissens oder um komplexe realistische Gestaltungsregeln. Es geht vielmehr um die Realisierung des Materiell-Möglichen, das ein Anwendungspotential haben kann oder auch nicht.

e) Qualitätskriterium: Auch angesichts des Unterscheidungskriteriums der Qualität kann von einem Remis zwischen den beiden zur Disposition stehenden Optionen gesprochen werden. Wie bei einer Naturwissenschaft besteht das Qualitätskriterium der Existenz der Synthesechemie in experimenteller Bewährung und Anerkennung in der Wissenschaftlergemeinschaft. Theoretische Konsistenz ist hier ebenso relevant, auch wenn die Synthesechemie weniger dieses Ziel der Erzeugung jener theoretischen Konsistenz bzw. von Theorien verfolgt. Wie in den Technikwissenschaften zählen auch der praktische Erfolg und technischen Lösungen und Anerkennung durch die Industriepraxis in der Synthesechemie. Beides ist hier relevant, je nachdem, ob man sich eher in der Grundlagenforschung oder in der angewandten Forschung bewegt. Durch die enge Verzahnung von Industrie und Wissenschaft in der Synthesechemie bietet, wie es bereits die Geschichte der chemischen Synthese an den Fallbeispielen der Adrenalin- und der Nylonsynthese gezeigt hat,⁴⁵⁰ das hier dargelegte Qualitätskriterium keine Entscheidungsmöglichkeit, um die Synthesechemie eindeutig als Naturwissenschaft oder als Technikwissenschaft einzuordnen.

Die aufgezählten Kriterien nach Ropohl sind sinnvoll gewählt, führen aber in Bezug auf die Synthesechemie zu keiner definitiven Entscheidung. Hiernach wäre die Synthesechemie sowohl Natur- als auch Technikwissenschaft in gleichem Maße. Ein anderer Zugang zur Natur- und Technik-Philosophie kann in Bezug auf die Synthesechemie hilfreich sein und zu einer klaren Entscheidung führen.

⁴⁵⁰ Vgl. Teil II: Kap. 5.2 Die Adrenalin synthese bei Hoechst und Teil II: Kap. 6.2 Die Nylonsynthese.

4.2.3 Der dritte Versuch einer Zuordnung – Ein alternativer Zugang

Einen alternativen Ansatz zu behandeln, bedeutet von einer herkömmlichen Gegenüberstellung zwischen Natur und Technik im Sinne einer Opposition Abstand zu nehmen. Stattdessen können die beiden Begriffe entweder in einem anderen Kontext definiert werden oder die Begriffe werden gar aufgelöst, um einen neuen Kontext mit neuen Begriffen zu schaffen.

Ein alternativer Ansatz, der keiner der beiden Seiten von Natur und Technik ein Vorrecht einräumt, ist die Wissenschaftsforschung von Bruno Latour. Bei ihm geht es nicht mehr um Isolation der Naturaspekte oder die Vormachtsstellung der Technik. Gegen das, was Latour die große Trennung nennt, setzt er auf die Bildung eines neuen Musters; das zeigt, wie Natur und Technik in der Gegenwart miteinander interagieren, bzw. ineinander verwoben sind. *„Natur und Gesellschaft sind keine explikativen Begriffe mehr, sondern verlangen gemeinsam eine Erklärung.“*^{451,452} Die Interaktion von Natur und Technik bzw. ihr Verwobensein zeigt sich in Latours Werk *„Das Parlament der Dinge“* (2010) als die Idee einer Auflösung der Begrifflichkeiten von Natur und Technik. *„Die Lösung des Mononaturalismus stabilisiert die Natur und läuft dabei Gefahr, den Kulturbegriff jedes Inhalts zu entleeren, da sie ihn auf bloße Phantasmen reduziert; die Lösung des Multikulturalismus stabilisiert den Begriff der Kultur und riskiert dabei, die Universalität der Natur auf eine Illusion zu reduzieren. Und dieses wunderliche Arrangement gilt als gesunder Menschenverstand! Um das Experimentieren mit der gemeinsamen Welt wieder in Gang zu bringen, das von beiden unglücklichen Lösungen vorzeitig abgebrochen wurde, müssen wir sowohl den Begriff der Kultur als auch den der Natur umgehen.“*⁴⁵³

Latours Ansatz basiert auf der Idee, menschliche und nicht-menschliche Wesen zu propägen.⁴⁵⁴ Er geht bei seiner Betrachtung von Wissenschaften auch von einer Auflösung der

⁴⁵¹ Latour (2008): Wir sind nie modern gewesen, S.109.

⁴⁵² Latour bezieht sich in seinen Publikationen nicht explizit auf den Begriff „Technik“, als Bestandteil und Voraussetzung wissenschaftlicher Arbeit. Hier wird vielmehr als Gegensatz zur Natur ebenfalls in einem größeren Kontext Kultur und Gesellschaft verwendet.

⁴⁵³ Latour (2010): Das Parlament der Dinge, S. 68.

⁴⁵⁴ Latour ersetzt die dichotomen Begriffe von Subjekt und Objekt in der Wissenschaftsforschung durch die Begriffe nicht-menschliche und menschliche Wesen. [Vgl. Latour (2002): Die Hoffnung der Pandora, S. 362.]

Festlegung auf die Konstruktionen von Subjekt und Objekt aus. „*Die Natur dreht sich, aber nicht um das Subjekt/die Gesellschaft. Sie dreht sich um das Dinge und Menschen produzierende Kollektiv. Das Subjekt dreht sich, aber nicht um die Natur. Es dreht sich um das Kollektiv, aus dem heraus Menschen und Dinge erzeugt werden. Endlich ist das Reich der Mitte repräsentiert. Naturen und Gesellschaften sind seine Satelliten.*“⁴⁵⁵ Der Auflösungsprozess beginnt also, indem ein Kollektiv angenommen wird, in welchem Natur und Gesellschaft sowie Subjekte und Dinge miteinander wechselwirken. Damit werden *die* Natur und *die* Gesellschaft pluralisiert. „*Wie kann man keinen radikalen Unterschied machen zwischen der universellen Natur und der relativen Kultur? Aber gerade der Begriff Kultur ist ein Artefakt, das wir durch Ausklammern der Natur produziert haben. Es gibt ebenso wenig Kulturen – unterschiedliche oder universelle –, wie es eine universelle Natur gibt. Es gibt nur Naturen/Kulturen: Sie bilden die einzige Grundlage für einen möglichen Vergleich.*“⁴⁵⁶ Dieser pluralistische Ansatz stellt die absoluten und zugleich oppositionellen Kategorien von Natur und Kultur ins Abseits. Die Relationen, in denen man nun die Bereiche von Natur und Kultur zu betrachten hat, werden somit vielfältiger.

Die nicht-menschlichen Wesen haben keinen Objektstatus oder sind bloße Tatsachen. Vielmehr sind sie neue Entitäten und bringen die Wissenschaftler zum Sprechen über sie, wodurch sie auch untereinander sprechen. Wissenschaftler sprechen also nicht nur *über* nicht-menschliche Wesen, sondern sie sind gleichfalls ihre Sprecher, sie sprechen *für* sie.⁴⁵⁷ Das heißt, Wissenschaftler haben nach Latour gleichzeitig die Rollen eines Sprachrohrs, eines Dolmetschers und eines Diskussionsteilnehmers.

Den eigentlichen Zweck bei der Bildung der sich gegenüberstehenden Fronten von Gruppierungen von menschlichen und nicht-menschlichen Wesen sieht Latour im Versammeln einer größeren Anzahl von Aktanten in der Welt. „*Das Paar menschlich/nicht-menschlich dagegen ist zu dem einzigen Zweck gebildet: dem Kollektiv zu ermöglichen, eine größere Anzahl von Aktanten in der gleichen Welt zu (ver)sammeln.*“⁴⁵⁸ Das bedeutet jedoch nicht, dass diese Beziehung von Anfang an harmonisch ist, vielmehr gelten menschliche und

⁴⁵⁵ Latour (2008): Wir sind nie modern gewesen, S. 106.

⁴⁵⁶ Ebd., S. 138.

⁴⁵⁷ Vgl. Latour (2010): Das Parlament der Dinge, S. 98.

⁴⁵⁸ Ebd., S. 114.

nicht-menschliche Akteure als Störenfriede, deren Handeln durch Widerspenstigkeit definiert wird.⁴⁵⁹ Das bedeutet, dass sich weder nicht-menschliche Wesen an das Folgen und Gehorchen der Gesetze der Kausalität halten, noch das menschliche Wesen sich einzig durch Freiheit definieren. Nach Latour hat man es nicht mit vollwertigen Aktanten in einem Labor zu tun, wenn man die Rolle der nicht-menschlichen Wesen als beherrschbar und die der menschlichen Wesen als frei von vorneherein festlegt. Vielmehr soll eine eindeutige Rollenverteilung durch ein Unbestimmtheitspektrum ersetzt werden, dessen Spanne von Notwendigkeit bis Freiheit reicht.

Hilft dieser relativistische Ansatz bei einer Einordnung der Synthesechemie in den Natur(en)/Kultur(en)/Technik(en)-Kontext? Bezieht man sich auf das Fallbeispiel der alpha- und beta-Polypeptide, dann lässt sich Folgendes feststellen: Zunächst verschiebt sich die vorherige Aufteilung, dass alpha-Polypeptide dem Bereich der Natur, beta-Polypeptide dem Bereich der Technik zugeordnet wurden, dahingehend dass sowohl alpha-, als auch beta-Polypeptide in den Status der nicht-menschlichen Wesen erhoben werden. Die menschlichen Akteure bilden in diesem Fall die Synthesechemiker, die dadurch neben der Synthesechemie, als abstraktes wissenschaftliches Unterfangen in die Bestimmung mit einbezogen werden müssen. Wenn man nun die Assoziationen des Kollektivs aus menschlichen und nicht-menschlichen Wesen erfahren möchte, stellt man fest, dass alpha- und beta-Polypeptide auf der einen Seite, die Synthesechemiker auf der anderen Seite stehen. Hier verliert das Fallbeispiel der Trennung chemischer Strukturgruppen seinen Sinn. Man muss entweder ein neues Fallbeispiel konstruieren oder man modifiziert die Fragestellung, die sich in dieser Untersuchung auf die Einordnung der Synthesechemie in den Bereich der Natur oder der Technik ausrichtet. Die Frage könnte beispielsweise dahingehend modifiziert werden, dass man nach den spezifischen Wechselwirkungen zwischen chemisch-synthetischen Substanzen und Synthesechemikern fragt.

Damit wird jedoch auch die charakteristischste Eigenschaft der Synthesechemie beinahe bedeutungslos, nämlich das Faktum, dass sie chemische Verbindungen synthetisiert, die ohne menschliches Handeln nicht entstehen würden. Stellt man alle Polypeptide auf die gleiche Seite der nicht-menschlichen Wesen, verlieren die Aspekte der Realisierung, Ob-

⁴⁵⁹ Vgl. Ebd., S. 115.

jektivierung und Technisierung, die hier für eine Synthesechemie konstatiert wurden, an Bedeutung. Nicht mehr die Tat (die Synthese), sondern der Täter (der Synthesechemiker) tritt in den Vordergrund. Demnach würde man von einer methodologischen Untersuchung zu einer anthropologischen Untersuchung übergehen. Dieses wäre ein anderer Ansatz, dessen Grundlagen und Ausgangsfragestellung in entsprechender Weise hätten formuliert werden müssen.

Gerade die in dieser Untersuchung beschriebenen Eigenschaften der Synthese sind relevant, wenn die Synthesechemie für Politik und Ökologie interessant wird. Bei der Verbindung von Synthesechemie und Politik oder Ökologie geht es nicht mehr nur um die Verschmutzung von Abwässern, um die Vergiftungserscheinungen von Organismen, sondern das *Womit* ist entscheidend. Das heißt, der Fokus liegt auf der Methode. Es geht eben darum, dass bestimmte Wissenschaften, hier die Synthesechemie, nicht-menschliche Wesen produzieren. Die Synthesechemie produziert Artefakte, die man als nicht-global bezeichnen könnte. Wenn diese nicht-menschlichen Wesen am Diskurs teilhaben – dies ist nicht ausgeschlossen – ist die Frage, in welcher Rolle sie als außerweltliche Existenzen mit der Welt kommunizieren. Man muss für die Kommunikation ihre Sprache verstehen können und sprechen. Um in den Diskurs eintreten zu können, müssen beta-Polypeptide kommunizierbar sein und durch ihre Struktur kommunizieren, das heißt, maßgeblich durch die chemische Formelsprache. Durch Strukturanalysen kann die Existenz von Strukturen, beispielsweise von beta-Polypeptiden, erkannt und nachgewiesen werden. Der Synthesechemiker weiß dadurch von ihrer Existenz und kann nun über sie und mit ihnen mittels Formelsprache kommunizieren. Diese Sprache kann vorerst nur im Laboratorium gesprochen werden, denn nur dort sind die Instrumente vorhanden, die zur Verständigung beitragen. Das Labor hat bei Latour den Wert eines Trumpfs der Wissenschaften. *„Für die Perplexität halten die Wissenschaften die wunderbaren Trümpfe des Instruments und des Laboratoriums bereit, mit denen kaum sichtbare Phänomene sehr früh registrierbar sind. Wir sollten nämlich nicht vergessen, dass es darum geht, Assoziationen von Menschen und nicht-menschlichen Wesen in das Kollektiv eintreten zu lassen, die nur durch äußerst komplexe Stimmapparate mit Sprache begabt werden. [...] Ihre Arbeit [A.d.V. die der Wissenschaftler] besteht ja*

*gerade darin, durch die Vermittlung von Instrumenten und den Kunstgriff des Laboratoriums eine Verschiebung von Gesichtspunkten zu erfinden.*⁴⁶⁰ Das Labor ist also ein Mittel zur Förderung der Variabilität für die Wissenschaftler. Für einen Zugang der Synthesechemie zum Naturen-Kulturen-Ansatz bei Latour hilft diese Charakterisierung des Labors jedoch kaum weiter.

Aus diesem Grund ist ein weiterer Aspekt zu würdigen, bei dessen Berücksichtigung die Synthesechemie besser im latourschen Modell erklärt werden könnte. Dieser Aspekt beschäftigt sich mit Naturbeherrschung und gestaltet sich bei der Anwendung auf das Fallbeispiel folgendermaßen: Betrachtet man alpha- und beta-Polypeptide unter der Annahme, dass Technik als Naturbeherrschung aufgefasst wird, dann würde man sich auf die Möglichkeiten der Rekombination von alpha- und beta-Aminosäuren in Polypeptiden für den Einsatz in natürlichen Organismen in Form von z. B. Medikamenten fokussieren. Dabei wären alpha- und beta-Polypeptide das Mittel. Der Zweck im Sinne einer Naturbeherrschung wäre hingegen die Neu-Formung bzw. Überformung der natürlichen Organismen eben durch den Eingriff jener Polypeptide. Viel stärker lässt sich dieser Aspekt der Naturbeherrschung fassen, wenn man an ein fiktives Szenario denkt, bei dem die Strukturen von alpha-Polypeptiden komplett durch beta-Polypeptide ersetzt werden sollen. Die technische beta-Struktur ersetzt die natürliche alpha-Struktur, die technische Struktur überformt also die natürliche. In der Synthesechemie, und weiterführend in der Biochemie und der Pharmazie ist dieses Ziel noch lange nicht erreicht. Es handelt sich somit angesichts des aktuellen Standes wissenschaftlicher Möglichkeiten um ein prognostisches Szenario. Aus Sicht der Philosophie ist in diesem Fall teleologisch betrachtet, Naturbeherrschung ein potentielles Ziel der wissenschaftlichen Synthesechemie, welches im Sinne einer Verbesserung oder Überformung der Natur aufzufassen ist. Jedoch ist es keinesfalls ein derzeit bereits reales Ziel, weil es lediglich eine Forschungsprognose darstellt. Wie verhält sich der Aspekt der Naturbeherrschung nun, wenn man wieder mit Latour von menschlichen und nicht-menschlichen Wesen ausgeht. Zuerst unterliegt man wieder einer Erweiterung der Perspektive, insofern man denjenigen, der die Natur beherrschen will (hier der Synthesechemiker) in das Kollektiv der Akteure mit einbeziehen muss. *„Es ist nämlich nicht möglich, in un-*

⁴⁶⁰ Ebd., S. 180.

*ren Beziehungen zu nicht-menschlichen Wesen von irgendeinem Beherrschen zu sprechen, einschließlich ihrer angeblichen Herrschaft über uns.*⁴⁶¹ Da es nach Latours Überlegungen keine festgeschriebene Rollenverteilung der Akteure gibt und er, wie bereits geschildert, für ein Unbestimmtheitspektrum plädiert, ist eine einseitige Naturbeherrschung des Synthesechemikers nicht gegeben. Das prognostische Ziel bzw. die Motivation einer Überformung oder Beherrschung der Natur, wie im Fall der beta-Polypeptide, geht mit dem Ansatz von Latour nicht konform, da das Motiv der Beherrschung im Fall der beta-Polypeptide und bei Latour auseinanderdriften.

Insgesamt ist es fraglich, ob man mit Hilfe von Latours Wissenschaftsforschung die Synthesechemie in den Bereich der Natur oder in den Bereich der Technik einordnen kann, bzw. gestaltet sich – nach dem hier gewählten Ansatz und der hier geführten Untersuchung – die Einordnung in das Kollektiv von menschlichen und nicht-menschlichen Wesen als schwierig. Zu verschieden sind die Argumentationsweisen und die Gewichtung der jeweiligen Charakteristika, die zum einen bei Latour, zum anderen in der hier geführten Untersuchung vorliegen. Man müsste die Suche nach möglichen Gemeinsamkeiten ausweiten, um Anhaltspunkte zu finden. Doch dieses führt von der vorliegenden Untersuchung und ihren Ergebnissen zu weit weg. Also kann letztlich konstatiert werden, dass die hier geleistete Vorarbeit nicht mit den Ansätzen Latours synthetisiert werden kann.

4.2.4 Der vierte Versuch – Die Anwendung des surrealistischen Strukturalismus

Des bisherigen Misserfolges zum Trotz steht weiterhin die Suche nach einem überzeugenden Zugang zur Aufgabe, die es ermöglicht, die Synthesechemie nachvollziehbar in das Feld der Natur-Technik-Opposition einzuordnen. Nach den Bemühungen der Einordnung der Synthesechemie durch die Kriterien a) der Selbstorganisation b) der Naturgesetze c) des Reinheitsgrads d) der Naturatome, nach dem Versuch eine Einordnung e) nach Ropohl und

⁴⁶¹ Latour (2002): Die Hoffnung der Pandora, S. 214.

f) nach Latour zu erwirken, soll nun der Versuch unternommen werden, über den surrationalistischen Strukturalismus eine Einordnung zu erreichen.

Diese Natur- und Technikbestimmung muss die Parameter der Syntheseforschung berücksichtigen und muss letztlich im Sinne der Philosophie der Synthesechemie, also im Sinne des surrationalistischen Strukturalismus generiert werden. Der zentrale Punkt für diesen Ansatz ist die Fähigkeit der Synthesechemie, neue unbekannte stoffliche Verbindungen herzustellen. Diese Fähigkeit wurde auch im surrationalistischen Strukturalismus insoweit berücksichtigt, als das Fortschreiten in der chemischen Forschung, also maßgeblich die Entwicklung neuer chemischer Substanzen oder neuer Synthesewege, durch den Surrationalismus als wissenschaftsphilosophische Position in Bezug auf die Wissensgewinnung dargestellt wurde. Der Strukturalismus kommt zum Tragen, wenn man sich an das chemische Referenznetz der Strukturen erinnert, deren Struktur durch das Einfügen neuer Substanzen von der Philosophie der Synthesechemie im internen Strukturalismus berücksichtigt wird. Im externen Strukturalismus wird aufbauend auf dem internen Strukturalismus das Gefüge untersucht, das sich abseits chemischer Strukturen bilden kann. Er untersucht die Verbindungen und Knotenpunkte, die die Synthesechemie prägen und versucht auf einer Meta-Ebene diese Knotenpunkte und Verbindungen miteinander in Beziehung zu setzen. Der externe Strukturalismus versucht die Struktur aufzuschlüsseln, die sich in der Synthesechemie zeigt und muss dabei gleichzeitig berücksichtigen, dass diese Struktur, aufgrund des internen Strukturalismus – das Entwickeln neuer chemischer Strukturen – variabel ist, bzw. einem stetigen Wandel unterliegt.

Wie ordnet man nun die Synthesechemie in die Natur-Technik-Opposition ein? Auch wenn die gesamten vorangegangenen Untersuchungen für die Einordnung der Synthesechemie zu keinem eindeutigen Ergebnis geführt haben, kann man diverse Ansätze für den kommenden Versuch der Einordnung der Synthesechemie nutzen.

Die von Latour durchgeführte Idee der Bildung einer Hybridstruktur kann für eine Einordnung der Synthesechemie hilfreich sein. Bei Latour besteht diese Hybridstruktur aus der Bildung von menschlichen und nicht-menschlichen Wesen, die sich für die Synthesechemie als nicht tragfähig erwies. Es geht hier also nicht um eine inhaltliche Übernahme des latourschen Modells, sondern um die Idee der Bildung der Hybridstruktur für die Einordnung der Synthesechemie in die Bereiche von Natur und Technik. Die Idee, eine Hybridstruktur

auch für die Synthesechemie zu bilden, muss mit dem Blick auf die anderen Ergebnisse der Untersuchung zur Einordnung der Synthesechemie in die Bereiche von Natur und Technik ebenfalls umgewertet werden.

Dass die Synthesechemie von einem hohen Maß an Technik begleitet wird, um Substanzen zu realisieren, wurde offensichtlich. Der Surrationalismus zeigte gleichfalls auf, dass nur durch die Technisierung überhaupt erst die wissenschaftliche Realisierung von Substanzen möglich sei. Dennoch zeigt die Synthesechemie, mit Rückblick auf die Untersuchung nach Ropohl, Charakteristiken einer Naturwissenschaft. Die für die Synthesechemie angedachte Hybridstruktur besteht nun aus dem Gedanken, dass es nun nicht mehr um den Aspekt von Natur *oder* Technik, sondern um Natur *und* Technik geht. Wie diese Hybridstruktur im Detail inhaltlich – unter der Berücksichtigung des surrationalistischen Strukturalismus – aussehen kann, wird nun im Folgenden erläutert.

Zweifellos bewegt sich die Synthesechemie in ihrer Aufgabe der Produktion neuer Substanzen und Synthesewege auf einem sich ausweitenden technischen Niveau, technisiert Reaktionsvorgänge und experimentelle Arbeitsweisen. Um eine größere Tiefe der Objektivität, sprich Rationalität, zu erreichen, ist es nach Bachelard notwendig, sowohl die Denkweise des vorwissenschaftlichen Geistes⁴⁶² in Bezug auf die Praxis, als auch nicht technische Arbeitsweisen und Substanzen, also die bereits gegebenen nicht konstruierten Elemente aus dem Labor Stück für Stück zu entfernen.⁴⁶³ Für die Synthesechemie bedeutet das dazu überzugehen, Substanzen und Reaktionswege, die sich ebenfalls in der Natur ereignen bzw. dort vorkommen, durch rein im Labor hergestellte Experimentalparameter zu ersetzen. Zweitens müsste der Denkstil der Synthesechemiker sich dahingehend konstituieren, dass der Vorbildcharakter der Idealsynthese (Eintopfreaktion), die sich einzig in der Natur und nicht im Chemielabor bei komplexeren Molekülen ereignet, destruiert wird und eine neue sich technisch und somit rational konstituierende Form der Idealsynthese an den Platz der Eintopfreaktion tritt. Hier kämpft der vorwissenschaftliche Geist mit dem bereits wissenschaftlichen, denn beide Zugänge halten sich – bemüht man die Wissenschaftsphiloso-

⁴⁶² Vgl. Bachelard (1987): Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes, S. 70.

⁴⁶³ Vgl. Bachelard (1993): Epistemologie, S. 84.

phie Bachelards – bisher in der Synthesechemie. Sich auf ihre Pragmatik berufend werden Synthesechemiker die Koexistenz des vorwissenschaftlichen und des wissenschaftlichen Geistes bereitwillig akzeptieren, solange sie erfolgreich sind. *„Ein solches Rationalwerden kündigt rückwirkend die empiristische Intentionalität des ersten Bewußtseins auf, kündigt den wesentlichen Okkasionalismus des Bewußtseins bei seinem Erwachen auf.“*⁴⁶⁴

Damit gelangt man zu einem weiteren wesentlichen Aspekt, den die Anwendung des Konzepts des surrationalistischen Strukturalismus auf die Synthesechemie herausstellt. Wenn Synthese in einem immer höheren Maß auf Technik basiert, wird aus der Philosophie der Chemie eine spezielle Technikphilosophie. Diese muss sich durch die Phänomenotechnik, also das Hervorbringen wissenschaftlich-chemischer Phänomene vermittels der Technik hervortun. Dies betrifft nun entscheidend und in erster Linie auch den Einsatz von Apparaturen, Instrumenten und technischen Geräten im Syntheselabor.

Für den Ort des Syntheselabors speziell gilt, dass kein Forschungsgegenstand von der Außenwelt in das Labor hineingetragen wird, um untersucht zu werden. Die Forschungsgegenstände der Synthesechemie entstehen vielmehr im Labor und werden dann auf ihr Potential für eine Anwendung in der Außenwelt des Labors untersucht. Vorläufig ist der Status der Technik also relativ hoch anzusehen, da sowohl die Entstehung der Produkte als auch die Operation (das Operieren mit dem Forschungsgegenstand) einen hohen artifiziellen Charakter aufweisen. Ist diese Entstehung neuer chemischer Substanzen durch Instrumente und Apparaturen im Experiment zustande gekommen, dann gelten diese als Mittler in der Synthese.

Die Synthesechemie ist also durch einen hohen Anteil an Technik charakterisiert, von der Ausstattung des Labors bis hin zu den Syntheseprodukten, die dann von Naturprodukten durch ihre Verknüpfungsreihenfolge der Atome zu unterscheiden sind. Dies ist eine maßgebliche Seite der Synthesechemie. Durch die gesamte Untersuchung lässt sich diese Bedeutung, mit ihren maßgeblichen Kriterien der Technisierung, Realisierung und Objektivierung, der Steigerung des Technischen erkennen.

Kann man also die Einordnung der Synthesechemie in die Natur-Technik-Opposition abschließen, indem man feststellt, dass die Synthesechemie mithilfe der Technik Technisches

⁴⁶⁴ Ebd., S. 82.

hervorbringt und dieses in einem ansteigenden Maße? Auch wenn die bisherigen Feststellungen als zutreffend bezeichnet werden können, kommt in Bezug auf die Frage einer Einordnung in die Bereiche Natur und Technik bei der Synthesechemie ein Faktor ins Spiel, der eine eindeutige und alleinige Zuordnung der Synthesechemie zum Bereich der Technik entgegensteht. Dieser Faktor ist eher dem Bereich der Natur zuzuordnen. Es ist das Ziel und das Leitbild der Idealsynthese, die die Synthesechemie anstrebt. Wie bereits in Teil I bei der Darstellung der Methode der Synthese in der Chemie dargelegt, ist die Idealsynthese die sogenannte Eintopfreaktion.⁴⁶⁵ Diese kann wiederum als eine Form der Natursynthese bezeichnet werden und muss im Gegensatz zu den Synthesen in einem chemischen Labor, weder auf das Laborequipment zurückgreifen, noch zwangsläufig auf die Teilreaktionen der Mehrstufensynthese. Bei der Idealsynthese können komplexe Moleküle entstehen, ohne dass sie in Teilreaktionen durchgeführt werden. Sie laufen vielmehr parallel oder konzertiert ab. Das Anstreben der Realisierung einer Idealsynthese lässt sich im Alltag der Forschung nicht leugnen und stellt das wesentliche Ziel der Forschung der Synthesechemie dar. Man erinnere sich, was diese Idealsynthese ausmacht. Die Idealsynthese stellt für die Synthesechemie das Ziel dar, eine möglichst komplizierte, nicht bekannte chemische Struktur zu realisieren, indem sie in *einem* experimentellen bzw. technisch umsetzbaren Schritt vollzogen wird. Dieses Ziel stellt jedoch keine Realität im Syntheselabor dar, sondern vollzieht sich nur in lebenden Organismen, in Zellen, kurzum in Bereichen, wo keine Technisierung stattfindet.

Wie soll man also mit diesem Ideal der Synthesechemie umgehen? Hier wird vorgeschlagen, diesen Zwiespalt komplementär dialektisch aufzufassen. Das heißt, man entscheidet sich in Bezug auf die Zuordnung der Synthesechemie weder allein für den Bereich der Natur noch einzig für den Bereich der Technik. Man verbleibt dabei Natur und Technik als oppositionell aufzufassen und gelangt zu dem Schluss, dass die Synthesechemie beide Bereiche benötigt, um ihr wissenschaftliches Fortschreiten zu sichern. Das bedeutet konkret, die fortlaufende Technisierung in der Synthesechemie unter der Maxime der Idealsynthese zu begreifen. Eine Unterstützung für diese Beschreibung des Verhältnisses von Natur und Technik in der Synthesechemie kommt von Bruno Latour: „*Die Wissenschaften sprechen*

⁴⁶⁵ Vgl. Teil I: Kap. 2.4.2 Der Syntheseplan.

nicht von der Welt. Sie konstruieren künstliche Repräsentationen, die sich immer weiter von der Welt entfernen scheinen und die sie dennoch näher bringen.“⁴⁶⁶ Was Latour hier für die Wissenschaften im Allgemeinen annimmt, gilt für die Synthesechemie im Besonderen. Doch muss man hier wieder unterscheiden zwischen der Methode der Synthesechemie selbst und den Produkten, die diese Methode hervorzubringen vermag.

Denkt man sich eine Linie, auf der an einem Ende der Naturaspekt (die Idealsynthese) steht und eine sich fortlaufend verlängernde Linie, wo die Technisierung zu finden ist, stellt eben diese von dem Naturaspekt sich entfernende Technisierung das Mittel dar, was eben jene Idealsynthese zu realisieren versucht. Eben diese Entfernung kennzeichnet den Fortschritt bzw. das Fortschreiten in der Synthesechemie. Die Dialektik entsteht zwischen dem Auseinanderdriften von Ideal und dessen Realisierung, die anstatt einer Auflösung einen Mittelweg ergeben, komplementär gegeneinanderstehen.

Eine Graphik erläutert das Vorhergehende bildlich und soll das Verhältnis von Natur und Technik in der Synthesechemie verdeutlichen. Sie ist ein vereinfachtes Schema, um die Bereiche der Natur und Technik für die Synthesechemie in Beziehung zu setzen:

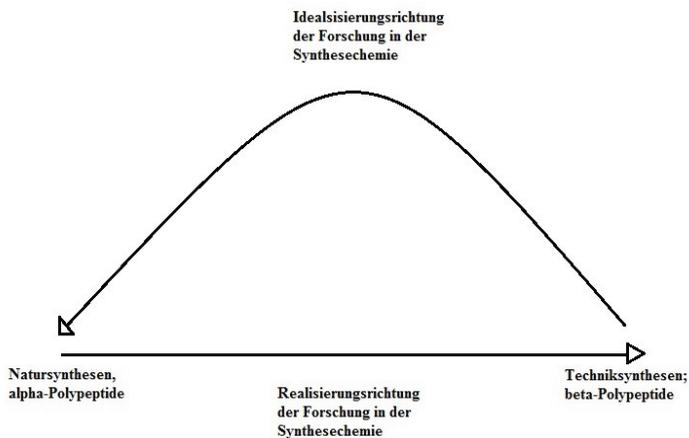


Abbildung 2: Das Verhältnis der Synthesechemie zu Natur und Technik.

⁴⁶⁶ Latour (2002): Die Hoffnung der Pandora, S. 43.

Der untere Pfeil stellt das wissenschaftliche Fortschreiten in der Synthesechemie unter Zuhilfenahme technischer Mittel dar und bringt so immer neue und somit immer mehr chemisch-synthetische Artefakte hervor. Der untere Pfeil kann mit der Entwicklung neuer Artefakte bzw. neuer Synthesemethoden immer weiter in Pfeilrichtung als verlängerbar gedacht werden. Er geht mit dem Realisierungspotential chemischer Artefakte konform. Der Anfangspunkt des unteren Pfeils stellt Natursynthesen dar. Das heißt, die in der Natur (ohne den Eingriff des Menschen bzw. die Arbeit in einem Chemielabor) sich bildenden Syntheseprodukte zeigen den Ausgangspunkt. Der obere Pfeil stellt die Richtung eines Idealisierungsvorgangs in der Synthesechemie dar. Darunter wird Folgendes verstanden: Mithilfe der Technik probiert man in der Synthesechemie die gleiche hohe Komplexität von Syntheseprodukten oder Prozessen zu erzielen, wie bei Synthesen in der Natur, die nach dem Prinzip einer Eintopfsynthese verlaufen. Den Ausgangspunkt des oberen Pfeils bildet der jeweils aktuelle Zustand der chemisch-synthetischen Forschung. Der Verlauf des Pfeils zeigt die Zielvorgabe der Synthesechemie an, mit möglichst wenig experimentellem Aufwand, beispielsweise in einem einzigen Syntheseverfahren, möglichst komplexe chemische Verbindungen zu produzieren. Der untere Pfeil ist, unter Berücksichtigung des Aspekts der fortlaufenden Technisierung in der Synthesechemie, an die praktischen Verfahren und experimentellen Vorgänge der Synthesechemie geknüpft. Der obere Pfeil beschreibt dagegen eher eine imaginäre Richtung, eine Zielvorgabe im Denken eines jeden Synthesechemikers.

Imaginär bzw. ideel ist die Zielvorgabe, weil sie (noch) nicht realisiert worden ist.

Die Grafik soll das dialektische Verhältnis von Natur und Technik in der Synthesechemie verdeutlichen. Je weiter man sich wegen der fortlaufenden Technisierung von den in der Natur existierenden Syntheseverfahren entfernt, desto mehr versucht man deren Komplexität zu erreichen.

Bezieht man das eben vorgeschlagene Verhältnis von Natur und Technik auf das Fallbeispiel der alpha- und beta-Polypeptide stellt sich die Situation folgendermaßen dar, was auch aus der Zeichnung hervorgeht: Die alpha-Polypeptide stellen den Ausgangspunkt des unteren Pfeils dar, die Entwicklung der beta-Polypeptide strebt in Pfeilrichtung gegen unendlich. Sie entfernen sich also weiter voneinander, mit dem Ziel die gleiche Funktionalität zu erhalten.

In diesem Sinne hat die Darstellung der Synthesechemie im Natur-Technik-Kontext fast alchemistische Züge. Die Parallele zwischen Synthesechemie und Alchemie zeigt sich bei der Herstellung der *Materia prima*⁴⁶⁷ oder des *Lapis philosophorum*⁴⁶⁸ der Alchemie. Diese stellten zeitlich intensive und langfristige Projekte dar und konnten nur durch intensive Anstrengungen und ein hohes Pensum an Wissen und Arbeit erreicht werden. Dieses ist auch bei modernen Syntheseverfahren der Fall. Die Ziele der Synthesechemie und der Alchemie können durchaus als ideell bezeichnet werden, wobei das Ziel der Synthesechemie die besagte Eintopfsynthese ist. In der Alchemie war das Ziel, neben der Herstellung besagter Materien, die Erhöhung und Vervollkommnung der Seele und des Geistes des Alchemisten und kann daher ebenfalls als ein ideeles Ziel bezeichnet werden. Bereits in der Alchemie wurden also materielle synthetische Umsetzungen dafür genutzt, Ideale zu realisieren, wie es heute in der Synthesechemie noch der Fall ist.

*„Die moderne Zeitlichkeit [...]. Sie ist eine Projektion des Reichs der Mitte auf einen in einen Pfeil verwandelte Linie. Sie resultiert aus der brutalen Trennung zwischen dem, was keine Geschichte hat, jedoch in der Geschichte auftaucht - die Dinge der Natur - und dem, was nie aus der Geschichte heraustritt - die Leidenschaften und Mühen der Menschen. Aus der Asymmetrie zwischen Natur und Kultur wird damit eine Asymmetrie zwischen Vergangenheit und Zukunft.“*⁴⁶⁹ Wie kann das hier dargelegte dialektische Verhältnis von Natur und Technik in der Synthesechemie funktionieren, wenn beide immer weiter mit fortschreitenden Entdeckungen in der Synthesechemie auseinanderdriften? Die Synthesechemie ist zwischen den beiden Polen von Natur und Technik auf Vermittlung angewiesen, eine Vermittlung zwischen dem Ist-Zustand, der fortlaufenden Technisierung und dem Werden-Sollen, in Form der Eintopfsynthese. Doch wer sollte hier den Vermittler spielen? Der Vermittler kann nicht im Materiellen gesucht werden, kann demnach auch nicht im Bereich der Instrumente liegen, die in einem Labor benutzt werden. Denn auch sie sind quasi letztlich Ergebnisse der Forschung; sie sind materiell. Den Vermittler zwischen Natur und

⁴⁶⁷ In der Alchemie stellt die *Materia prima* die Urmaterie dar, die durch das Wirken des Alchemisten von den Mängeln der weltlichen Materie befreit werden soll.

⁴⁶⁸ Vgl. Teil II: Kap. 2.1 Die zwölf Schlüssel des Basilius Valentinus.

⁴⁶⁹ Latour (2008): Wir sind nie modern gewesen, S. 96.

Technik, die in der Synthesechemie auseinanderstreben, bringt einzig das Ideal, die zu erstrebende Vorbildfunktion der Synthese in der Natur. Indem die Erkenntnisse über natürliche Eintopfsynthesen in die Syntheseforschung eingebunden werden, kann dieses Wissen im Labor genutzt werden. Das Wissen über die Eintopfsynthese der Natur für die chemisch-synthetische Forschung verbindet die Bereiche von Natur und Technik in der Synthesechemie. Es kann jedoch das dialektische Verhältnis nicht auflösen. Das Wissen stellt vielmehr die Kommunikation zwischen den Synthesen in der Natur und den Synthesen im Labor her.

Die Einordnung der Synthesechemie in den Natur-Technik-Kontext ergibt also eine Hybridstruktur, in der man die Technik für die Methode der Synthese nutzt, um die Komplexität der Natursynthese zu erreichen. Es ist also keine *entweder-oder-*, sondern eine *sowohl-als-auch-*Situation, in die man die Synthesechemie nach der vorhergehenden Untersuchung einordnen muss. Diese ist insoweit im Sinne des surrationalistischen Strukturalismus, als das Verhältnis von Natur und Technik in der Synthesechemie als dialektisch angesehen werden kann, wobei der Strukturaspekt sich sowohl auf der materiellen, technischen Ebene als auch im Sinne der Idealsynthese auf der imaginären Ebene vollzieht.

Schlussbetrachtung

Die wissenschaftsphilosophische Bestimmung der Chemie, als Wissenschaft der Synthese, findet vorläufig ihr Ende.

Damit einher geht ein philosophisches Grundkonzept, was die Spezifika der Synthesechemie hervorhebt und diese als Grundlage des Konzeptes verwendet. Es wurde herausgestellt, inwieweit die Aspekte der Dynamik, der Systematik sowie die Fokussierung auf die chemische Struktur die Philosophie der Synthesechemie prägen. Es zeigte sich immer wieder, wie die aktive Teilnahme des Chemikers die Synthesechemie konstituiert und daraus die Prozesse der Objektivierung, Technisierung und Realisierung resultieren. Die Untersuchung ergab, dass durch die Arbeit an und mit dem Materiell-Möglichen, die Synthesechemie als eine denksystemunabhängige Disziplin definiert werden kann, da die Grenzen im Materiellen, in den chemischen Strukturen selber liegen und sich durch Widerstände im experimentellen Prozess zeigen.

Die aus dieser Untersuchung resultierenden Ergebnisse wurden in einer philosophischen Grundposition des surrationalistischen Strukturalismus zusammengebracht. Dabei galt als geeignete erkenntnistheoretische Position für die Synthesechemie der Surrationalismus nach Gaston Bachelard. Dieser stellt eine Synthese von Theorie und Praxis, von Empirismus und Idealismus dar, die sich auf Dialektiken stützt und die Abstraktion durch Technisierung als adäquates wissenschaftliches Mittel sieht. Dialektiken finden sich als ein grundlegendes Prinzip in der Synthesechemie, was nicht zuletzt auch am Beispiel der Verortung von Syntheseprodukten in der Gegenüberstellung von Natur und Technik aufgezeigt wurde. Eines der Ziele des surrationalistischen Strukturalismus ist es, diese Dialektiken aufzuzeigen, deren Charakter offenzulegen und insgesamt das Beziehungsgeflecht dieser Dialektiken untereinander zu untersuchen. Damit sollen eine systematische Ordnung und ein möglichst ganzheitliches Bild der Philosophie der Synthesechemie entstehen. Die Ordnung, die durch diese Dialektiken und unter Berücksichtigung der Aspekte von Dynamik, Systematik sowie dem zentralen Aspekt der chemischen Strukturen innerhalb der Synthesechemie entsteht, hat strukturalistischen Charakter. Der somit konzipierte Strukturalismus in Bezug auf

die Philosophie der Synthesechemie wurde in Form einer externen und einer internen Ebene für eine wissenschaftsphilosophische Bestimmung stark gemacht. Hierdurch können die Dynamik, sowie die Produktivität der Erschaffung von Artefakten, berücksichtigt werden. Der externe Strukturalismus zeigt die Verbindungen und Knotenpunkte der Wissenschaft der Synthesechemie auf und erläutert die Strukturen, die diese Disziplin charakterisieren. Der interne Strukturalismus bezieht sich direkt auf die chemische Strukturenmatrix und zeigt, dass die chemische Struktur sowie das Einbinden neuer artifiziereller Strukturen als eine Basis für die wissenschaftliche Konstitution der Synthesechemie fungieren. Der interne Strukturalismus ist ein analoges Prinzip des externen Strukturalismus. Die Frage, welches Bild einer Philosophie der Chemie am Leitbild der chemischen Synthese entsteht, ist damit beantwortet. Es ist das Bild eines surrationalistischen Strukturalismus.

Dieses Bild wurde ebenfalls in einem Anwendungsfall erprobt. Synthetische Produkte, sowie die Synthesechemie wurden in einer Gegenüberstellung von Natur und Technik nicht einzig dem einen, noch ausschließlich dem anderen Bereich zugeordnet, sondern der Untersuchungsgegenstand lässt sich dialektisch-komplementär in beiden Bereichen unter den aufgezeigten Argumentationsansätzen finden. Diese Einordnung berücksichtigt das Fortschreiten und den Zuwachs von Erkenntnis innerhalb der Synthesechemie. Analog gilt dies für die Produkte der Synthesechemie. Mithilfe des surrationalistischen Strukturalismus ist es also möglich, den Status der Synthesechemie sowohl als eine natur- wie auch eine technikwissenschaftliche Disziplin zu untermauern und gleichfalls das grundlegende Strukturmerkmal der Dialektiken konkret aufzuzeigen.

Ebenso ist deutlich geworden, dass die Konzipierung einer Philosophie der Synthesechemie nicht Vereinheitlichung und Reduktion bedeutet. Es geht vielmehr darum, die Vielfalt unter den aufgezeigten Kriterien zu bewahren. Denn eben dies ist das Charakteristikum der Synthesechemie: Vielfalt systematisch hervorzubringen. Dies zeigt ebenfalls die Geschichte der chemischen Synthese. Seit der Alchemie existieren Konzepte von Synthese, deren Gemeinsamkeit es ist, sie als eine Methode definieren, Substanzen zusammenzufügen. Darüber hinaus beinhaltet die Synthese in Bezug zu stofflichen Lehren, verschiedene methodische Funktionen, wie die der Überprüfung, der Strukturaufklärung, der Reproduktion oder der Produktion. Alle diese Funktionen erfüllt die Methode der Synthese im Lauf der Geschichte

der Chemie und kann damit als ein vielfältiger methodischer Ansatz bezeichnet werden. Der Begriff der Synthese wurde und wird seither beibehalten, obwohl sich die jeweilige Funktion verändert bzw. entsprechend des Forschungsstandes der Chemie auch erweitert. Auch die Praxis der Synthesechemie zeigt diese Vielfalt. Die verschiedenen Parameter, wie Offenheit, Dynamik oder Ungewissheit haben das Spektrum der modernen Syntheseforschung umrissen. Hier wurde deutlich, dass die Synthesechemie die Grenzen des Materiell-Möglichen in der Praxis auslotet und ihren Fokus nicht auf eine Verifizierung von Theorien legt. Die Synthesechemie realisiert abstrakt-konkrete Gegenstände mit Hilfe eines hohen Standards an Technik. Diese abstrakt-konkreten Gegenstände erweitern den Produktbestand und das Wissen innerhalb der Synthesechemie, wodurch diese Teildisziplin stets aktuell ist. Auch diese Vielheit, das Verneinen von Reduktion und stattdessen das Befürworten von Komplexität berücksichtigt der surrationalistische Strukturalismus in seiner Grundstruktur. Diese Vielfalt müsste in ihrer Gänze durch sich an diese Untersuchung anschließende Arbeiten erweitert werden. Der surrationalistische Strukturalismus der Synthesechemie kann sich durch das weitere Aufzeigen dialektischer Prinzipien unter der Berücksichtigung der Resultate von Teil I bis Teil III erneut bewähren und damit die Strukturen der Synthesechemie wissenschaftsphilosophisch erweitern.

Einer der Ausgangspunkte dieser Untersuchung war die Behauptung von Joachim Schummer, die Synthesechemie passe in keines der herkömmlichen wissenschaftstheoretischen Bilder. Schummer bleibt jedoch eine Definition dessen schuldig, was unter „herkömmlich“ zu verstehen ist. Eine mögliche Definition wäre folgende: Herkömmlich wäre die Wissenschaftstheorie, die in ihrem Programm auf Theorienzentriertheit sowie analytischer Sprachphilosophie basiert und dadurch oder allein mithilfe logisch-mathematischer Grundlagen versucht eine Einheitswissenschaft bzw. das Abbild einer solchen zu konstruieren. Beispiele für derartige wissenschaftstheoretische Ansätze wären der logische Empirismus oder der kritische Rationalismus. Trifft diese Interpretation zu, was unter herkömmlich zu verstehen ist und berücksichtigt man die Behauptung, dass die Synthesechemie sich in dieser Thematik nicht wiederfinden lässt, wäre gemäß des Ansatzes dieser Arbeit die Antwort: Ja, die Synthesechemie passt in keines der herkömmlichen wissenschaftstheoretischen Bilder.

Der hier konzipierte surrationalistische Strukturalismus knüpft an die Herkömmlichkeit nicht an, sondern ist eigens für die Synthesechemie konzipiert und soll dazu beitragen, die Synthesechemie in eine wissenschaftsphilosophische Diskussion vermehrt zu integrieren.

Um eine umfangreichere Wissenschaftsphilosophie der Synthesechemie zu etablieren, müssen die hier zugrunde gelegten und teils alternativen Ansätze in der Breite und Tiefe ausgebaut werden.

Eine mögliche Frage, die an Schummers Behauptung argumentativ anschließen könnte, ist: Wie ist eine Philosophie der Synthesechemie in Form des surrationalistischen Strukturalismus möglich, obwohl er ebenso wenig in die herkömmlichen wissenschaftstheoretischen Bilder passt? Eine vorläufige Antwort darauf ist: Er nimmt diese herkömmlichen Ansätze nicht als Ausgangspunkt seiner Untersuchung. Der Ausgangspunkt für den surrationalistischen Strukturalismus liegt in den Ansätzen Bachelards, Latours, Canguilhem oder auch Rheinbergers. Eine sich von deutsch- und englischsprachiger autonom entwickelnde französische Wissenschaftsphilosophie⁴⁷⁰ kann alternative wissenschaftsphilosophische und epistemologische Konzepte zulassen, in die eine Untersuchung der Synthesechemie erfolgreich einbezogen werden kann. Damit kann Schummers Behauptung umformuliert werden: Die Synthesechemie passt in die französisch-wissenschaftstheoretischen Bilder. Möglicherweise ist die Verbindung zwischen französischer Wissenschaftsphilosophie und Experimentalwissenschaften ergebnreicher, die Arbeitsbanklaboratorien als Orte der Forschung nutzen,⁴⁷¹ da es nicht allein um die logische Analyse von Wissenschaftskonzepten, nicht primär um zu eröffnende Sprachräume, sondern um Handlungskontexte geht. Die Konzepte französischer Wissenschaftsphilosophen scheinen in der Philosophie der Synthesechemie und ebenso bei Rheinberger⁴⁷² – der sich ebenfalls in seinen bio-historischen Studien auf selbige stützt – eher geeignet, die konkreten Arbeitsabläufe im Labor und die über diese

⁴⁷⁰ „Der Wiener Kreis hat insofern die Sprache privilegiert, als er das philosophische Grundproblem auf der Ebene der Bedeutung ansiedelt; die Logik wird sein Werkzeug und die Sprache sein Hauptgegenstand. Dieser doppelte, logisch-linguistische Impuls hat als Erbe die analytische Sprachphilosophie hinterlassen. Diese Erneuerung des logischen Denkens in Europa, dieser Aufbruch der Theorie geht an Frankreich vorbei: Das haben Poincaré und Brunschvicg mit vereinten Kräften durchkreuzt.“ [Dosse (1996): Geschichte des Strukturalismus, S. 135.]

⁴⁷¹ Vgl. Knorr-Cetina (2002): Wissenskulturen, S. 57.

⁴⁷² Auch Hans-Jörg Rheinberger bezieht sich u. a. in „Epistemologie des Konkreten“ und „Experimentalsysteme und epistemische Dinge“ vielfach auf die französische Wissenschaftsphilosophie von Bachelard, Canguilhem, Althusser oder Latour.

hinaus vorhandene Peripherie, auf einer philosophischen Ebene zu untersuchen und mit einzubinden.

Dadurch gelangt man zu einer anderen möglichen Fragestellung, die über die Synthesechemie hinaus vielmehr im kulturhistorisch-philosophischen Bereich anzusiedeln ist. Nach der Klärung, wie die autonome französische Wissenschaftsphilosophie sich entwickelt und im Land etabliert hat, wäre die Frage möglich, welches Verständnis von Philosophie und Wissenschaft zu dieser Autonomie geführt hat. Für derartige Fragen könnte die hier vorliegende Arbeit als ein Fallbeispiel dienen.

Eine mögliche anschließende Untersuchung an dieses Projekt könnte die komplexen Wechselwirkungen zwischen der Synthesechemie auf der einen Seite und der Gesellschaft auf der anderen Seite seit dem 19. Jahrhundert analysieren. Ein Grundverständnis dieser Beziehung würde dabei helfen, die Verfahrensmuster und Forschungsstrategien der Synthesechemie offenzulegen und Ergebnisse der Verbindung von Mensch und Industrie zu produzieren. Da die Synthesechemie vielfach durch ihren Anwendungsbezug geprägt war bzw. ist, sollte eine Philosophie der Synthesechemie dieses wissenschaftsinterne Faktum bei ihrer Konstituierung berücksichtigen und die hinter dieser offensichtlich existierenden Verbindung darlegen. Damit können in der Vergangenheits-, Gegenwarts- und Zukunftsebene die vorherrschenden Strukturen in der Synthesechemie in Bezug zur Anwendung und dem Nutzen selbiger aufgezeigt werden und das Fortschreiten verdeutlichen.

Die Synthesechemie ist eine Disziplin, die gerade im 20. Jahrhundert in diversen Bereichen der Gesellschaft zu vielfältigen Veränderungen beigetragen hat. Dies lässt sich bei der Entwicklung der Industrie, der Pharmazie, der Werkstofftechnik, etc. erkennen. Die Dynamik chemischer Syntheseprodukte in Bezug zu gesellschaftlichen sowie politischen Belangen zeigt sich auch anhand des Fallbeispiels der Nylonsynthese. Es verdeutlicht, dass seit dem 20. Jahrhundert die Synthesechemie nicht allein ein isolierter Wissenschaftszweig gewesen ist, sondern auch eine Relevanz in gesellschaftlichen, industriellen und politischen Belangen besessen hat. Eine solche Verbindung sollte Anlass geben, eine Philosophie der Synthesechemie nicht nur im wissenschaftstheoretischen Rahmen, sondern über diesen hinaus in einem kulturellen Rahmen zu etablieren und Ansätze für eine Reflexion von Synthesechemie in einem weiteren Kontext als dem wissenschaftsphilosophischen zu suchen. Der

Ansatz des surrationalistischen Strukturalismus könnte eine Perspektive für Untersuchungen der Synthesechemie in einem kulturellen und gesellschaftlichen Kontext darstellen.

Es wird deutlich, dass ein Konzept von einer Philosophie der Synthesechemie über den wissenschaftstheoretischen Tellerrand hinaus Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen bieten kann. Die beiden zuvor erläuterten Ansatzpunkte können sich an die hier durchgeführte Untersuchung mithilfe des surrationalistischen Strukturalismus anschließen.

Ein anfangs genanntes Ziel dieses Bestimmungsansatzes zur Philosophie der Synthesechemie war die Synthesechemie und die Philosophie miteinander in Beziehung zu setzen und Verknüpfungspunkte zwischen Philosophie und einem produktiven und aktuellen Wissenschaftszweig zu finden. Mit der Positionierung der Synthesechemie in einem surrationalistischen Strukturalismus, sowie dessen Anwendung auf die Bereiche Natur und Technik, sind Philosophie und Synthesechemie miteinander verbunden worden.

Letztlich wird konstatiert, dass die Synthesechemie „philosophierbar“ ist, wenn man ihre Charakteristika berücksichtigt. Hier wurde ein Ansatz einer Philosophie der Synthesechemie vorgeschlagen, der sich eng an den Charakteristika der chemischen Synthese bzw. Synthesechemie bewegt und versucht die Eigenheiten der Synthesechemie als wissenschaftstheoretische Grundlage zu nutzen. Allein dadurch, dass die Synthesechemie nicht nur abstrahiert wird, um sie in eine angepasste Wissenschaftsphilosophie einzubinden, kann die Philosophie der Chemie unter Bezugnahme auf den surrationalistischen Strukturalismus eine Perspektive darstellen, um der Synthesechemie ähnliche wissenschaftliche Disziplinen zu untersuchen.

Eingangs wurde prognostiziert, dass für eine Philosophie der Synthesechemie sowohl ein evolutionärer als auch ein revolutionärer Weg beschritten werden muss. Mit dem evolutionären Weg war das Einfügen der Synthesechemie in bereits existierende wissenschaftsphilosophische Kontexte gemeint, mit dem revolutionären Weg würde die Synthesechemie wissenschaftsphilosophisch neu positioniert werden. Der surrationalistische Strukturalismus der Synthesechemie ist ein Weg, der Evolution und Revolution in sich trägt. Er will an bereits bestehende Positionen anknüpfen und ist dennoch zur Veränderung bereit.

Literaturverzeichnis

Aristoteles (1987): Aristoteles' Physik Bücher I – IV. Hamburg, Felix Meiner Verlag GmbH.

Bachelard, Gaston (1988): Der neue wissenschaftliche Geist. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Bachelard, Gaston (1987): Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Bachelard, Gaston (1980): Die Philosophie des Nein. Sinzheim, Suhrkamp Taschenbuch Verlag.

Bachelard, Gaston (1993): Epistemologie. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag GmbH.

Bachelard, Gaston (2010): Le matérialisme rationnel. Paris, Quadrige.

Bayertz, Kurt: Zum Verhältnis von erkenntnistheoretischen und ontologischen Aspekten der materialistischen Naturdialektik. In: Plath, Peter; Sandkühler, Hans Jörg (Hrsg.) Theorie und Labor. (1978) Köln, Pahl-Rugenstein Verlag, S. 36 – 74.

Becker, Oscar (1959): Größe und Grenze der mathematischen Denkweise. Freiburg, Karl Alber.

Beneke, Klaus: René Descartes – Philosoph, Mathematiker Naturwissenschaftler. <http://www.uni-kiel.de/anorg/lagaly/group/klausSchiver/descartes.pdf> (15.03.2011).

Berthelot, Marcellin (1877): Die chemische Synthese. Leipzig, F. A. Brockhaus.

Beyer, Hans; Walter, Wolfgang (1991): Lehrbuch der organischen Chemie. 22. überarbeitete und aktualisierte Auflage. Stuttgart, S. Hirzel Verlag.

Biedermann, Hans (2006): *Materia Prima*. Wiesbaden, Matrix Verlag GmbH.

Bieganski, Wladyslaw: Neo-Vitalismus in der modernen Biologie. In: *Annalen der Naturphilosophie*, Ostwald, Wilhelm (Hrsg.) (1905) Band. 4, Leipzig, Verlag von Veit & Comp., S. 47 – 101.

Brakel, Jaap van (2000): *Philosophy of Chemistry – Between the Manifest and the Scientific Image*. Leuven, Leuven University Press.

Brakel, Jaap van: Über die Vernachlässigung der Philosophie der Chemie. In: Psarros, Nikos; Ruthenberg, Klaus; Schummer, Joachim (Hrsg.) *Philosophie der Chemie – Bestandsaufnahme und Ausblick*. (1996) Würzburg, Königshausen und Neumann, S. 13 – 26.

Broekman, Jan M. (1971): *Strukturalismus*. Freiburg, Karl Alber Verlag.

Caldin, Edward F.: The Structure of Chemistry in Relation to the Philosophy of Science. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, Vol. 8, No.2 (2002), S. 103 – 121.

Cammann, Karl (Hrsg.) (2001): *Instrumentelle Analytische Chemie – Verfahren, Anwendung und Qualitätssicherung*. Heidelberg/Berlin, Spektrum Akademischer Verlag.

Canguilhem, Georges (1979): *Wissenschaftsgeschichte und Epistemologie*. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Corey, Elias James; Cheng, Xue-Min (1995): *The Logic of Chemical Synthesis*. New York, John Wiley & Sons.

Dämmgen, Ulrich; Demuth, Reinhard; Kober, Friedhelm (1983): Quellentexte Chemie. Frankfurt am Main, Verlag Moritz Diesterweg GmbH & Co.

Daston, Lorraine; Galison, Peter (2007): Objektivität. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Davis, Philip; Hersh, Reuben (1986): Descartes' Traum. Frankfurt am Main, S. Fischer Verlag.

Descartes, René (1948): Discours de la méthode. Mainz, Internationaler Universum Verlag.

Descartes, René (1954): The Geometrie of René Descartes. New York, Dover Publications.

Dosse, François (1996): Geschichte des Strukturalismus. 1. Das Feld des Zeichens 1945 – 1966. Erste Auflage. Hamburg, Junius Verlag GmbH.

Dubrulle, Gerard (1983): Philosophie zwischen Tag und Nacht. Bern, Peter Lang AG.

Eisler, Rudolf (1984): Kant Lexikon. Hildesheim, Georg Olms Verlag.

Eliade, Mircea (1992): Schmiede und Alchemisten – Mythos und Magie der Machbarkeit. Freiburg im Breisgau, Verlag Herder.

El yaznasni, Mohamed (2002): Dialektik im epistemologischen Werk Gaston Bachelards. Mainzer Dissertation. Mainz: 2001. Marburg, Tectum Verlag.

Euklid (2005): Die Elemente. Bücher I – XIII. Übersetzt und herausgegeben von Clemens Thaer. Frankfurt am Main, Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch.

Fierz-David, Hans Eduard (1952): Die Entwicklungsgeschichte der Chemie. Basel, Verlag Birkhäuser.

Fleck, Ludwik (2012): Die Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Fredemann de Vries, Hans (1609): Abbildung 1. http://blogs.ethz.ch/digital-collections/files/2011/01/Rar9441_Labor.jpg (06.03.2014).

Gebelein, Helmut (2000): Alchemie. Kreuzlingen/München, Hugendubel.

Goethe, Johann Wolfgang (1982): Werke in vier Bänden – Vierter Band. Die Wahlverwandtschaften. München, Carl Hanser Verlag, S. 7 – 272.

Gratzer, Walter (2009): Giant Molecules – From Nylon to Nanotubes. New York, Oxford University Press.

Hacking, Ian (1996): Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften. Stuttgart, Philipp Reclam Jun. GmbH und Co.

Hörz, Herbert; Liebscher, Heinz; Löther, Rolf u. A. (Hrsg.) (1991): Philosophie und Naturwissenschaften – Wörterbuch zu den philosophischen Fragen der Naturwissenschaften. Sonderausgabe in einem Band nach der dritten vollständig überarbeiteten Auflage. Berlin, Dietz Verlag, S. 53 – 55 und S. 859 – 860.

Hoffmann, Reinhard W. (2006): Elemente der Syntheseplanung. München, Elsevier GmbH.

Hoffmann, Roald (1997): Sein und Schein – Reflexionen über die Chemie. Weinheim, Wiley-VCH Verlagsgesellschaft.

Holmes, Frederic Lawrence (1989): 18th Century Chemistry as an Investigative Enterprise. Berkeley, University of California Press.

http://www.chemurope.com/en/encyclopedia/Self-assembled_monolayer.html (05.11.2013).

Jacob, Claus: Analysis and Synthesis. In: Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry, Vol. 7 (2001), No. 1, S. 31 – 50.

Janich, Peter; Psarros, Nikolaos (Hrsg.) (1996): Die Sprache der Chemie. Würzburg, Königshausen und Neumann.

Johannson, Klaus: Geschichte der analytischen Geometrie. <http://www.math.uni-frankfurt.de/~johannso/SkriptL2Geom/12geom9/12geom9.pdf> (03.03.2011).

Kant, Immanuel (1976): Kritik der reinen Vernunft. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Kant, Immanuel (1997): Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft. Hamburg, Meiner.

Kant, Immanuel (1989): Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können. Stuttgart: Philipp Reclam jun. GmbH und Co.

Klein, Ursula (1997): Nineteenth-Century Chemistry: It's Experiments, Paper-Tools and epistemological Characteristics. Preprint. Berlin, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte.

Knorr-Cetina, Karin (2002): Die Fabrikation von Erkenntnis – Zur Anthropologie der Naturwissenschaft. Zweite Auflage. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Knorr-Cetina, Karin (2002): Wissenskulturen – Ein Vergleich naturwissenschaftlicher Wissensformen. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Kohan, Melvin I. (Hrsg.) (1995): Nylon Plastics Handbook. München, Carl Hanser Verlag.

Kohler (2002): Labscapes: Naturalizing the Lab. In Science History Publications Ltd., S. 473 – 501.

Kovac, Jeffrey (2002): Theoretical and Practical Reasoning in Chemistry. In: Foundations of Chemistry. Vol. 4, Issue 2, S. 163 – 173.

Krätz, Otto: Betrachtungen zur Rolle der Chemie auf den Versammlungen Deutscher Naturforscher und Ärzte bis zur Gründung der Deutschen Chemischen Gesellschaft. In: Querner, Hans; Schnipperges, Heinrich (Hrsg.): Wege der Naturforschung 1822 – 1972 im Spiegel der Versammlungen Deutscher Naturforscher und Ärzte. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag (1972), S. 138 – 145.

Kuhn, Thomas S. (1976): Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Zweite revidierte Auflage. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Laszlo, Pierre: Chemical Analysis as Dematerialization. In: Hyle – An International Journal for the Philosophy of Chemistry, Vol. 4, No. 1 (1998), S. 29 – 38.

Latour, Bruno (2010): Das Parlament der Dinge. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Latour, Bruno (2008): Wir sind nie modern gewesen. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Latour, Bruno (2002): Die Hoffnung der Pandora. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Lavoisier, Antoine Laurent (2008): System der antiphlogistischen Chemie – Mit einem Kommentar von Jan Frercks. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.

Lévy-Strauss, Claude (1991): Das wilde Denken. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag.

Malissa, Hanns: Betrachtungen zur analytischen Chemie. In: *Analytica Chimica Acta*, Vol. 100, No. 5 (1978), Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, S. 5 – 13.

Mittasch, Alwin (1948): *Von der Chemie zur Philosophie*. Ulm-Donau, J. Ebner-Verlag.

Mittelstraß, Jürgen (Hrsg.) (1980): *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*. Band 1. Mannheim/Wien/Zürich, Bibliographisches Institut Wissenschaftsverlag, S. 102 – 110.

Mittelstraß, Jürgen (Hrsg.) (1996): *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*. Band 4. Stuttgart, Verlag J.B. Metzler, S. 179 – 183.

Müller-Esterl, Werner; Anderka, Oliver; Brandt, Ulrich; Kerscher, Stefan (2011): *Biochemie*. Zweite Auflage. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag.

Naumer, Hans; Heller, Wolfgang (Hrsg.) (2002): *Untersuchungsmethoden in der Chemie*. Dritte erweiterte und neubearbeitete Auflage. Weinheim, Wiley-VCH Verlag.

Otto, Mathias (2000): *Analytische Chemie*. Zweite vollständig überarbeitete Auflage. Weinheim, Wiley-VCH Verlag.

Piaget, Jean (1973): *Der Strukturalismus*. Studienausgabe. Olten/ Freiburg, Walter-Verlag.

Pickering, Andrew (Hrsg.) (1992): *Science as Practice and Culture*. Chicago, The University Chicago Press.

Ploss, Emil Ernst; Roosen-Runge, Heinz; Schnipperges, Heinrich; Buntz, Herwig (1970): *Alchimia – Ideologie und Technologie*. Gräfelfing vor München, Heinz Moos Verlag.

Poincaré, Henri (2003): *Der Wert der Wissenschaft*. Berlin, Xenomoi Verlag.

- Poincaré, Henri (1973): *Wissenschaft und Methode*. Stuttgart, B. G. Teubner Verlag.
- Polanyi, Michael (1985): *Implizites Wissen*. Erste Auflage. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.
- Prechtel, Peter (2004). *Descartes zur Einführung*. Hamburg, Junius Verlag.
- Psarros, Nikos; Ruthenberg, Klaus; Schummer, Joachim (Hrsg.) (1996): *Philosophie der Chemie – Bestandsaufnahme und Ausblick*. Würzburg, Königshausen und Neumann.
- Ramberg, Peter J. (2003): *Chemical Structure, spatial Arrangement*. Burlington, Ashgate Publishing Company.
- Reschke, Till (Hrsg.) (1978): *Berzelius und Liebig: Ihre Briefe von 1831 – 1845*. Göttingen, WiSoMed.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2006): *Epistemologie des Konkreten – Studien zur Geschichte der modernen Biologie*. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2001): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge – Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag.
- Ritter, Joachim; Gründer Karlfried (Hrsg.) (1998): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Band 10. Basel, Schwabe & CO. AG, S. 342 – 350.
- Ritter, Joachim; Gründer Karlfried (Hrsg.) (1998): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Band 10. Basel, Schwabe & CO. AG, S. 818 – 823.
- Rocke, Alan J. (2001): *Nationalizing Science – Adolphe Wurtz and the Battle for French Chemistry*. Cambridge, MIT Press.

Roob, Alexander (2006): Alchemie und Mystik. Köln, Taschen GmbH.

Ropohl, Günter: Das Ende der Natur. In: Schäfer, Lothar; Ströker, Elisabeth (Hrsg.) Natur-auffassungen in Philosophie, Wissenschaft und Technik. Bd. 4. (1996) Freiburg, Karl Alber Verlag; S. 143 – 163.

Schmauderer, Eberhard (Hrsg.) (1973): Der Chemiker im Wandel der Zeiten. Weinheim/Bergstraße, Verlag Chemie GmbH.

Schönbeck, Jürgen (2003): Euklid – Um 300 v. Chr. Basel, Birkhäuser Verlag.

Schummer, Joachim: Challenging Standard Distinction between Science and Technology In: HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry, Vol. 3 (1997), S. 81 – 94.

Schummer, Joachim (2011): Das Gotteshandwerk – Die künstliche Herstellung von Leben im Labor. Berlin, Suhrkamp Verlag.

Schummer, Joachim: Die Rolle des Experiments in der Chemie. In: Janich, Peter; Psarros, Nikolaos (Hrsg.) Philosophische Perspektiven der Chemie. (1994) Mannheim, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, S. 27 – 52.

Schummer, Joachim: Ethics of Chemical Synthesis. In: Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry (2001) Vol. 7, No. 2, S. 103 – 124.

Schummer, Joachim: Ist die Chemie eine schöne Kunst? Ein Beitrag zum Verhältnis von Kunst und Wissenschaft. In: Zeitschrift für Ästhetik und allgemeine Kunstwissenschaft (1995), 40/2, S. 145 – 178.

Schummer, Joachim: Philosophie der Chemie: Rück- und Ausblicke. In: Griese, Klaus (Hrsg.): Wenn der Geist die Materie küßt. (2004) Frankfurt, Harry Deutsch, S. 1 – 12.

Schummer, Joachim: Philosophie der Stoffe, Bestandsaufnahme und Ausblicke: Von der philosophischen Entstofflichung der Welt zur ökologischen Relevanz einer Philosophie der Stoffe. In: Psarros, Nikos; Ruthenberg, Klaus; Schummer, Joachim (Hrsg.) Philosophie der Chemie – Bestandsaufnahme und Ausblick. (1996) Würzburg, Königshausen und Neumann, S. 143 – 164.

Schummer, Joachim (1996): Realismus und Chemie. Würzburg, Königshausen und Neumann.

Schummer, Joachim: Scientometric Studies on Chemistry I: The Exponential Growth of Chemical Substances, 1800 – 1995. In: *Scientometrics* (1997), Volume 39, Nr. 1, Oxford, Elsevier Science, S. 107 – 123.

Schummer, Joachim: Scientometric Studies on Chemistry II: Aims and Methods of Producing New Chemical Substances, In: *Scientometrics* (1997), Volume 39, Nr. 1, Oxford, Elsevier Science, S. 125 – 140.

Schwedt, Georg (2008): Analytische Chemie – Grundlagen, Methoden und Praxis. Zweite vollständig überarbeitete Auflage. Weinheim, Wiley-VCH Verlag.

Schwegler, Helmut: Reduktionismen und Physikalismen. In: Pauen, Michael; Roth, Gerhard (Hrsg.) Neurowissenschaften und Philosophie. (2001) Paderborn, Wilhelm Fink GmbH & Co. Verlags-KG, S. 59 – 82.

Shapin, Steven; Schaffer, Simon (1985): *Leviathan and the Air-pump: Hobbes, Boyle and the Experimental Life*. Princeton, Princeton University Press.

Smit, William A.; Bochkov, Aleksei F.; Caple, Ron (1998): *Organic Synthesis: The Science behind the Art*. <http://www.rsc.org/ebooks/archive/free/K9780854045440/BK9780854045440-00001.pdf> (12.03.2011).

Strecker, Adolphe: Über eine neue Bildungsweise des Aethylamins. In: Justus Liebigs Annalen der Chemie. (1850) Bd. 75, S. 46 – 51.

Ströker, Elisabeth (1976): Denkwege der Chemie – Elemente ihrer Wissenschaftstheorie. Erste Auflage. München, Karl Alber Verlag.

Ströker, Elisabeth (1982): Theorienwandel in der Wissenschaftsgeschichte – Chemie im 18. Jahrhundert. Frankfurt am Main, Klostermann.

Strube, Wilhelm (2005): Justus Liebig – Eine Biographie. Beucha, Sax-Verlag.

Tontini, Andrea: On the Limits of Chemical Knowledge. Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry, Vol. 10 (2004), No. 1, S. 23 – 46.

Trudeau, Richard J. (1998): Die geometrische Revolution. Basel, Schweiz, Birkhäuser Verlag.

Valentinus, Basilius (1976): Chymische Schriften – Erster Teil. Hildesheim, Verlag Dr. H.A. Gerstenberg.

Virchow, Rudolf (1862): Atome und Individuen. In: Vier Reden über Leben und Kranksein. Berlin: Georg Reimer Verlag, S. 35 – 76. http://books.google.de/books?id=vSY_AAAAcAAJ&printsec=frontcover&dq=Vier+Reden+%C3%BCber+Leben+und+Kranksein&hl=de&sa=X&ei=lvYvU53nLcnp4gSc9YGQBA&ved=0CEEQ6AEwAA#v=onepage&q=Vier%20Reden%20%C3%BCber%20Leben%20und%20Kranksein&f=false (16.07. 2012).

Weisser, Ursula (1984): Das erste Hormon aus der Retorte. Arbeiten am synthetischen Adrenalin bei Hoechst 1900 – 1908. Frankfurt am Main, Hoechst Aktiengesellschaft.

Weißbach, Helmut (1971): Strukturdenken in der organischen Chemie. Berlin, Deutscher Verlag der Wissenschaften.

Wulz, Monika (2010): Erkenntnisagenten – Gaston Bachelard und die Reorganisation des Wissens. Berlin, Kulturverlag Kadmos.