

1. Einleitung – Synthesis.

Neue Logik der Forschung?

Gabriele Gramelsberger

1.1 AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

Aktuelle Entwicklungen werfen die Frage auf, ob sich in Wissenschaft und Technik die Etablierung einer neuen Forschungslogik abzeichnet. War die bisherige Forschungslogik durch die analytische Methode geprägt, so mehrten sich die Anzeichen für eine zunehmende Fokussierung auf synthetische Methoden. Nicht nur das vermehrte Auftreten des Adjektivs ›synthetisch‹ in Bezug auf Wissenschaftsdisziplinen wie der ›Synthetischen Chemie‹, der ›Synthetischen Biologie‹ oder der ›Synthetischen Materialwissenschaft‹ deuten auf einen Paradigmenwechsel hin, sondern die aktuellen Forschungsprogramme der ›Converging Technologies‹,¹ der ›Technowissenschaften‹² oder der ›Living Technologies‹³ zeugen von einem verstärkten Bemühen, Konglomerate und Hybride in den Fokus der

1 | Zu den Converging Technologies vgl. Mihail C. Roco, William S. Bainbridge (Hg.): *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science*, Arlington: National Science Foundation 2002; Alfred Nordmann (als Rapporteur für die EU High Level Expert Group Foresighting the New Technology Wave): *Converging Technologies: Shaping the Future of European Societies*, Luxemburg: European Communities 2004; Christopher Coenen: *Konvergierende Technologien und Wissenschaften. Der Stand der Debatte und politischen Aktivitäten zu ›Converging Technologies‹*, (TAB-Hintergrundpapier 16), Karlsruhe: ITAS 2008, vgl. auch in diesem Band Kapitel 12 Converging Technologies.

2 | Zur Technowissenschaft vgl. Jutta Weber: *Umkämpfte Bedeutungen: Natur im Zeitalter der Technoscience*, Frankfurt a.M.: Campus 2003; Alfred Nordmann: Of Landscapes and Caves and the Collapse of Distance in the Technosciences, in: *Danish Yearbook of Philosophy*, 41, 2006, 62-73.

3 | Zu den Living Technologies vgl. Mark A. Bedau: Living technology today and tomorrow, in: *Technoetic Arts*, 7(2), 2009, 199-206; Mark A. Bedau, P.G. Hansen, E. Parke, S. Rasmussen: *Living Technology: 5 Questions*, Automatic Press Publishing 2010.

Forschung zu nehmen. Dabei spielt einerseits die Verschränkung von Technologien eine treibende Rolle, andererseits werden Design und Engineering als neue Formen der Erkenntnisproduktion genutzt. Charakteristisch für diese neue Forschungslogik ist, dass sie den Bestand des in der Welt Existierenden – Moleküle, Materialien, Mikroorganismen – überschreitet und neue synthetisierte Entitäten hinzufügt. In dieser Überschreitungsfunction liegt die genuin neue Möglichkeit der Synthese im Unterschied zu klassischen Analyse/Synthese-Modellen.

Ein aktuelles Beispiel für diese Entwicklung gibt die Synthetische Biologie, die Informations- und Biotechnologie miteinander verbindet und sich als ›Engineering of Biology‹ versteht. Dabei folgt die Forschungslogik der Synthetischen Biologie dem Muster von Analyse/Synthese, indem sie komplexe biologische Einheiten in einzelne ›Biobricks‹ zerlegt, diese mit Hilfe im Labor synthetisierter DNA neu rekonstruiert, um sie dann zu ›Parts‹, ›Devices‹ und schließlich ›Systems‹ zusammenzusetzen.⁴ Der Grund für dieses Vorgehen liegt in der Vielfältigkeit biologischer Systeme, die zu komplex sind, als dass sie der Zweckdienlichkeit industrieller Anwendungen unterworfen werden könnten. Daher sollen konstruierte biologische Einheiten in Zukunft als ›lebende Fabriken‹ fungieren und so auf Protein-Basis neue Stoffe und Medikamente produzieren. Noch ist allerdings nicht entschieden, ob sich Mikroorganismen auf diese Weise in Biofabriken transformieren lassen.⁵

Weitere Felder dieser neuen Forschungslogik finden sich unter den sogenannten ›Living Technologies‹. Diese Technologien imitieren »powerful properties of living systems include their abilities to autonomously act in their own interests, proliferate exponentially, and evolve and adapt on their own«.⁶ Beispiele hierfür sind intelligente Materialien und Sensoren, Neuroprothesen oder Robotertechnologien. Die Verschränkung findet dabei zwischen Informationstechnologie und Materialwissenschaft statt – teils auf Nano-, teils auf Mikroebene. Dabei wird den Materialien nicht nur eine Steuerung via Computerchip beigelegt, sondern das Ziel ist es, Materialien so zu zerlegen und umzuformatieren, dass sie eigenständig zu informationsverarbeitenden Prozessen fähig sind, um dann aus ihnen verkörperte Informationseinheiten, die Soft- und Hardware in sich vereinen, zu konstruieren. Als solche verkörperten Informationseinheiten sollen sie Aufgaben

4 | Vgl. Drew Endy: Foundations for engineering biology, in: *Nature*, 438, 2005, 449-453; Kathrin Friedrich, Gabriele Gramelsberger: Techniken der Überschreitung. Fertigungsmechanismen ›verlässlich lebensfähiger‹ biologischer Entitäten, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft*, 4(1), 2011, (Special Issue ›Menschen & Andere‹), 15-21.

5 | Das Konzept des ›engineering of biology‹ ist kritisch zu hinterfragen. Vgl. beispielsweise Werner Kogge, Michael Richter: Synthetic Biology and its alternatives. Descartes, Kant and the idea of engineering biological machines, in: *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 44(2), 2013, 181-189.

6 | Bedau, Living technology today and tomorrow, 2009, S. 200.

selbstständig und adaptiv übernehmen, wie das Regeln von Prozessen oder die Generierung von Zustandsdaten.

Die Beispiele zeigen, dass die ›Synthetischen Wissenschaften‹ einer neuen Forschungslogik folgen. Diese ist allerdings nur vor dem Hintergrund von mehr als vierhundert Jahren analytischer Wissenschaftstradition denkbar. Tatsächlich ist es das Ziel jeder Analyse, die gewonnenen Grundbausteine irgendwann neu zusammensetzen. Bereits Rene Descartes formulierte dieses Ziel 1637 in seinen Regeln zur Ausrichtung der Vernunft.⁷ Zum einen sollte jedes Problem so lange zerlegt werden, bis man zu den klarsten und einfachsten Elementen gelangte; zum anderen sollte von diesen Elementen eine vollständige Auflistung möglich sein, um dann von dieser zu neuen Zusammensetzungen zu gelangen. Diese Methode der Analyse und Zusammensetzung prägte maßgeblich das Entstehen der neuzeitlichen Wissenschaft, indem sie Phänomene und Prozesse durch Beobachtung und vor allem Experimente in ihre Bestandteile zerlegte, um diese dann systematisch zu Theorien und im Labor zu neuen Objekten zusammenzufügen. Allerdings war die neuzeitliche Wissenschaft lange damit beschäftigt, erst einmal »einen großen Bestand von gut begründeten Beobachtungen und Tatsachen« zu sammeln, wie dies Bernard de Fontenelle 1709 im Programm der Pariser Académie des Science forderte, ehe dieser Bestand an Einzelfakten »eines Tages die Grundlage für ein System sein« sollte.⁸ Denn erst wenn der Bestand an Daten groß genug sei, so de Fontenelle, könne die Wissenschaft systematisch ihre weitere Forschung vorantreiben. Aus heutiger Perspektive ließe sich zum systematischen Vorgehen noch ›synthetisch‹ hinzufügen.

1.2 ANALYTISCH/SYNTHETISCH

Die Erkenntnismodi des Analytischen respektive des Synthetischen sind so alt wie die abendländische Mathematik- und Philosophiegeschichte und leiten sich aus der geometrischen Analyse komplexer Figuren auf einfache Elemente und deren Zusammensetzung zu neuen Figuren ab. Aristoteles übertrug die Erkenntnismodi der geometrischen Analyse und Synthese auf seine Beweis- und Wissenschaftslehre, indem er unter wissenschaftlicher Analyse die Rückführung von Wissen auf die logischen Formen der Syllogismen verstand. Durch diese Rückführung sollte die Schlüssigkeit des Wissens garantiert werden. Dabei lässt sich die Analyse der Folgerichtigkeit der Schlussformen selbst (›Analysis consequen-

7 | Vgl. René Descartes: *Von der Methode des richtigen Vernunftgebrauchs und der wissenschaftlichen Forschung* (1637), Hamburg: Meiner 1960.

8 | Fontenelle übersetzt in Gernot Böhme, W. van den Daele, W. Krohn: Erfahrung als Programm, in: Dies. (Hg.): *Experimentelle Philosophie, Ursprünge autonomer Wissenschaftsentwicklung*, Frankfurt a.M.: Suhrkamp 1977, 183-236, S. 190.

tiae»⁹ von der Analyse der Folgerungen aus den Schlüssen unterscheiden (»Analysis consequentis«).¹⁰ Letztere beinhaltet den eigentlichen wissenschaftlichen Gehalt, insofern die als wahr angenommenen Sätze als Folgerungen ihrer Prämissen aufgewiesen werden. Dabei gilt es zu unterscheiden, ob diese Prämissen wie in der Geometrie als wahr gegeben oder erst durch die »judikative Analysis« bezüglich ihres Wahrheitsgehalts zu beurteilen sind. Von dieser logischen Analyse unterscheidet Aristoteles die »reale Analysis« (»naturalis resolutio«), welche Objekte und Bereiche nach Gattungen und Arten differenziert und die Grundlage klassifikatorischer Systeme der Naturwissenschaften wie der Biologie oder der Chemie bildet.¹¹

In seiner *Studie zur Entwicklung philosophischer Analysiskonzepte* identifiziert Hans-Jürgen Engfer vier Analyse/Synthese Modelle, die paradigmatisch für die Wissenschaftsentwicklung waren und teilweise noch sind.¹² Die ersten beiden Modelle basieren auf der bereits erwähnten mathematisch-geometrischen Methode, die von Euklid prototypisch in den *Elementen* entwickelt und von Aristoteles in der *Analytica posteriora* übernommen wurde.¹³ »Eine Analysis«, schreibt Euklid, »ist die Zugrundelegung des Gesuchten als anerkannt um seiner auf anerkannt Wahres führenden Folgerungen willen. Eine Synthesis ist die Zugrundelegung des Anerkannten um seiner auf Vollendung oder Ergreifung des Gesuchten führenden Folgerungen willen.«¹⁴ Je nach Interpretation liegt der Schwerpunkt der Euklidischen Methode mehr auf dem Synthetischen oder dem Analytischen. Durch die Aristotelische Wissenschaftslehre und die Auslegung Euklids durch Proklos dominierte bis weit ins Mittelalter hinein die geometrische Methode als Ableitung wahrer Konklusionen aus den Definitionen, Postulate und Axiome mittels der Syllogismen und damit als synthetisch-konstruierende Methode. Die Vorrangstellung spielte nicht nur für die Entstehung der Naturwissenschaft im 16. und 17. Jahrhundert eine wichtige Rolle, sie prägte mit der *Logik von Port Royal* maßgeblich die Logik der Neuzeit.¹⁵ Entsprechend unterscheidet Engfer als zweites Analyse/Synthese-Modell die analytische Auslegung der antiken Geometrie,

9 | Vgl. Aristoteles: *Lehre vom Schluss oder Erste Analytik*, Hamburg: Meiner 1976.

10 | Vgl. Aristoteles: *Lehre vom Beweis oder Zweite Analytik*, Hamburg: Meiner 1976.

11 | Vgl. Ludger Oenig-Hanhoff: *Analyse/Synthese*, in: *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Basel: Schwabe 1971, 232-248.

12 | Hans-Jürgen Engfer: *Studien zur Entwicklung philosophischer Analysiskonzepte unter dem Einfluß mathematischer Methodenmodelle im 17. und frühen 18. Jahrhundert*, Stuttgart-Bad Cannstatt: Frommann-Holzboog 1982.

13 | Vgl. Euklid: *Die Elemente: Buch I – XIII*, (übersetzt und herausgegeben von Clemens Thaer), Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1971.

14 | Euklid, *Elemente XIII*, zitiert nach Engfer, *Entwicklung philosophischer Analysiskonzepte*, 1982, S. 75, Fn. 24.

15 | Vgl. Antoine Arnauld, Nicole Pierre: *Die Logik oder die Kunst des Denkens* (1662), Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 2005.

die sich bei Pappos von Alexandrien findet. Die Analyse bezieht sich bei Pappos auf das, woraus sich das Gesuchte ergibt, als das »was jedem vorangeht, bis wir bei diesem Zurückschreiten auf etwas treffen, das schon erkannt worden ist oder den Rang eines Prinzips hat.«¹⁶ Das Entscheidende bei beiden Analyse/Synthese-Modellen ist, dass das Gesuchte bereits als Bekanntes vorausgesetzt ist.

Genau an diesem Punkt wird sich die neuzeitliche Wissenschaft von der antiken und scholastischen Wissenschaftslehre unterscheiden, indem sie das Unbekannte selbst in den Fokus nimmt. Dies führt zum dritten Analyse/Synthese-Modell, dem Regressus-Modell der empirischen Naturwissenschaften. »Dieses Methodenmodell bildet sich heraus,« so Engfer,

»wenn die für die Naturwissenschaften ursprünglich angenommene Methodenvielfalt auf die beiden bei Aristoteles unterschiedenen Beweisgänge der *demonstratio quia* [...] und der *demonstratio propter quid* [...] reduziert wird, und wenn diese beiden Beweisgänge mit den ersten beiden der von Galen angegebenen Lehrarten identifiziert und als *doctrina resolutiva* und *doctrina compositiva* bezeichnet werden.«¹⁷

Dieses Analyse/Synthese-Modell dominiert bereits im 13. Jahrhundert die Oxfordschule (u.a. Robert Grosseteste) und im 15. und 16. Jahrhundert die Schule von Padua (u.a. Iacobus Zabarella, Galileo Galilei) bis es bei Isaac Newton zum vorherrschenden Programm der neuzeitlichen Wissenschaft avanciert. Als resolute Methode und »*Demonstratio ab effectu*« macht vor allem Zabarella deutlich, worin der Regress dieses Analyse/Synthese-Modells und damit der empirischen Naturforschung besteht. Dieser basiert darauf, dass von bekannten Wirkungen auf unbekannte Ursachen geschlossen wird und aus den nun bekannten Ursachen die zu beweisenden Wirkungen abgeleitet werden (»*Demonstratio ab effectu*«). Der Regress werde vermieden, so Zabarella, wenn die unterschiedlichen Erkenntnisarten desselben Objekts berücksichtigt werden, nämlich indem man die undeutliche von der deutlichen Erkenntnis unterscheidet. Das bedeutet, der Regress wird mit dem Doppelschritt – »*Metodo resolutivo*« und »*Metodo compositivo*« – positiv als Klärung von Erkenntnis gewendet und konstituiert damit das neue Wissenschaftsideal. Galileo Galilei definiert dann den vagen Prozess der Klärung der Erkenntnis genauer als Gewinnung von Daten aus Beobachtung und Experiment, als Aufstellung von Hypothesen, als mathematische Beschreibung sowie Beweis der Hypothesen und schließlich als Ableitung von Vorhersagen, die sich dann wieder an der Beobachtung überprüfen lassen.¹⁸ Nur durch die Mathematisierung kann das Regressus-Modell seine Wirkung entfalten, da erst mit

16 | Pappos zitiert nach Engfer, *Entwicklung philosophischer Analysiskonzepte*, 1982, S. 80.

17 | Engfer, *Entwicklung philosophischer Analysiskonzepte*, 1982, S. 89.

18 | Vgl. Ernst Cassirer: *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit* (1906), Bd. 1, Berlin: Verlag Bruno Cassirer 1911, S. 136ff.

Hilfe mathematisch formulierter Gesetzmäßigkeiten die unzähligen einzelnen Beobachtungsdaten integrierbar werden. Dabei geht die Analyse des Zusammengesetzten durch Experiment und Beobachtung der mathematischen Synthese in der Theorie voran. Wie Newton in seiner *Opticks* von 1704 schreibt:

»By this way of Analysis we may proceed from Compounds to Ingredients, and from Motions to the Forces producing them; and in general, from Effects to their Causes, and from particular Causes to more general ones, till the Argument ends in the most general. This is the Method of Analysis: And the Synthesis consists in assuming the Causes discover'd, and establish'd as Principles, and by them explaining the Phenomena proceeding from them, and proving the Explanations.«¹⁹

Mit dieser Wende der neuzeitlichen Forschung rückt nicht nur die Analyse an zentrale Stelle, sondern nur durch die Nutzung der Mathematik als maßgeblichem Instrument kann das Regressus-Modell der empirischen Naturwissenschaft positiv als Klärung von Erkenntnis gewendet werden. Die Mathematik liefert die notwendige Erkenntnisgewissheit, die allein durch empirische Induktion nicht gewonnen werden kann. Dies erfordert jedoch, so Engfer, ein viertes Analyse/Synthese-Modell und zwar das der Mathematik. Nicht die (Euklidische) Geometrie mit ihrem Primat der synthetisch-konstruierenden Methode, sondern die sich entwickelnde Algebra mit ihrem operativen Symbolismus ist damit gemeint. Diese gewinnt mit ihrer analytischen Methode im 17. und 18. Jahrhundert die Vorherrschaft.²⁰ Deutlich wird dies bei René Descartes, der das von Galilei über die Erkenntnisgewissheit der Mathematik in die Naturforschung eingeführte Kriterium der Notwendigkeit genauer untersuchen und allgemeiner fassen möchte. Seine Suche nach der ausgezeichneten *Methode des richtigen Vernunftgebrauchs* führt ihn zur »Mathesis universalis«, deren Aufgabe die Analyse unbekannter Größen ist.²¹ Der Kunstgriff, den Descartes dabei anwendet, besteht darin, das gesuchte Unbekannte durch symbolische Explizierung anhand beliebiger algebraischer Zeichen einer mathematischen Analyse zugänglich zu machen.²² Inbegriff dieser symbolischen Explizierung ist die mathematische Gleichung, »in der explizit festgestellt wird, daß das Gesuchte »gleich irgendeinem Gegebenen«

19 | Isaac Newton: *Opticks or a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light* (1703), London: William Innys 1730, S. 404, 405; vgl. Engfer, *Entwicklung philosophischer Analysiskonzepte*, 1982, S. 101ff.

20 | Vgl. Sybille Krämer: *Berechenbare Vernunft. Kalkül und Rationalisierung im 17. Jahrhundert*, Berlin, New York: de Gruyter 1991; siehe auch in diesem Band Kapitel 3 Mathematik als Phänomenotechnik der Synthese.

21 | Vgl. Descartes, *Von der Methode des richtigen Vernunftgebrauchs und der wissenschaftlichen Forschung*, 1960.

22 | Vgl. René Descartes: *Regeln zur Ausrichtung der Erkenntniskraft* (1619ff), Hamburg: Meiner 1972, Regel XVII.

ist.«²³ Damit gibt Descartes ein formales Verfahren an, wie die komplizierten Verhältnisse der ›Ingredients‹, ›Forces‹ und ›Causes‹ untereinander explizierbar und Unbekanntes analysierbar wird. Diese Wende wurde später von Immanuel Kant als Revolution der Denkart betitelt.²⁴

1.3 TECHNISCHE BEDINGUNG MÖGLICHER SYNTHESEN

Neben den epistemischen Analyse/Synthese-Modellen der Wissenschaft und dem Kunstgriff des Formalen durch die Mathematisierung ist die technische Verfasstheit der weitere wesentliche Aspekt der Wende der neuzeitlichen Forschung, um den Regress positiv als Klärung zu manifestieren. Diese technische Verfasstheit zeigt sich im »spezifisch technologischen Charakter der Darstellungsräume« der neuzeitlichen Wissenschaft, insbesondere ihrer Experimentalsysteme und Labore,²⁵ und in der technischen Erzeugung wissenschaftlicher Objekte und Produkte, inklusive der in den Experimentierstuben und Laboren verwendeten Instrumente. Dazu gehören so einfache Objekte wie schiefe Ebenen und Kugeln, aber auch immer komplexer werdende Experimentier- und Messinstrumente.²⁶ Erst durch diese technisch hergestellten Objekte, Produkte und Instrumente ist die neuzeitliche Version der empirischen Induktion denkbar, die sich eben nicht mehr dem Aristotelischen Diktum des allgemein Erfassbaren und für jedermann Sichtbaren begnügt.²⁷ Evidenz wird zum technisch hergestellten und im Experiment oder der Messung aufzuweisenden Moment von Forschung, das die unmittelbare sinnliche Gegebenheit abstreift. Das Resultat sind stetig wachsende Mengen an Daten, die der systematischen Substitution unter die Gesetzmäßigkeit von Theorien bedarf, wie dies de Fontenelle 1709 für die zukünftige Wissenschaft auf

23 | Engfer, *Studien zur Entwicklung philosophischer Analysiskonzepte*, 1982, S. 142.

24 | Vgl. Immanuel Kant: *Kritik der reinen Vernunft* (1781/1787), Hamburg: Meiner 1993, Vorrede B XII.

25 | Hans-Jörg Rheinberger: *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*, Wallenstein: Göttingen 2002, S. 244. »Die Kräfte und die Art von Überlegungen, die sie freisetzen, ebenso wie die Regeln, denen sie gehorchen, sind weniger die von cartesischen Subjekten als vielmehr die von technologisch-epistemischen Texturen.« Ebd., S. 244.

26 | Vgl. beispielsweise Domenico Bertoloni: *Thinking with Objects. The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*, Baltimore: John Hopkins University Press 2006; Hasok Chang: *Inventing Temperature: Measurement and Scientific Progress*, Oxford: Oxford University Press 2004.

27 | Vgl. Lorraine Daston: *Wunder, Beweise und Tatsachen. Zur Geschichte der Rationalität*, Fischer: Frankfurt a.M. 2003.

Basis ausreichender Datenmengen ankündigte.²⁸ Auf Basis empirisch gut fundierter Theorien lassen sich dann neue Entitäten technisch herstellen.

Dieser technowissenschaftliche Charakter der neuzeitlichen Wissenschaft verstärkt sich nicht nur enorm in der modernen Wissenschaft – wie von Gaston Bachelard ausführlich dargestellt²⁹ –, sondern charakterisiert die Synthetischen Wissenschaften in spezifischer Weise. Er ist die technische Bedingung der Möglichkeit der neuen Forschungslogik der Synthese zur Herstellung neuer Entitäten, die den Bestand des Existierenden überschreiten. Denn er lässt sich als ein umfangreiches Projekt der Rekontextualisierung von ›Natur‹ in den wissenschaftlichen Laboren verstehen. Die Spezifität zeigt sich dabei für die Synthetischen Wissenschaften als ›Collapse of Distance‹³⁰ respektive als ›ontological Indifference‹.³¹ Denn: »In technoscientific research, the business of theoretical representation cannot be dissociated, even in principle, from the material conditions of knowledge production and thus from the interventions that are required to make and stabilize the phenomena. In other words, technoscience knows only one way of gaining new knowledge and that is by first making a new world.«³² Diese theoretisch-technische Hybridität zeigt sich in unterschiedlicher Weise. In der Synthetischen Chemie eröffnet sich durch die computerbasierte Analyse und Rekombination der Theorie eine neue, technisch herstellbare Welt von nie dagewesenen Molekülen. Verstehen erfolgt hier ›by first making a new [digital] world‹. In der Synthetischen Biologie kehrt sich das Verhältnis um: Nicht die mit Computern durchforstete Theorie ist die Bedingung neuer technischer Konstrukte, sondern technische Konstrukte ermöglichen neue Theorien und wissenschaftliche Objekte. Verstehen erfolgt hier ›by first making a new [real] world‹, denn die

28 | Die Lust seiner Zeitgenossen an der spekulativen Interpretationen magerer, experimenteller Befunde und Daten kritisierte schon Robert Boyle 1661 und forderte »that men, in the first place, would forbear to establish any theory, till they have consulted with [...] a considerable number of experiments, in proportion to the comprehensiveness of the theory to be erected on them. And, in the next place, I would have such kind of superstructures looked upon only as temporary ones.« Robert Boyle: *Certain Physiological Essays* (1661), in: Alistair C. Crombie: *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition. The history of argument and explanation especially in the mathematical and biomedical sciences and arts*, 2. Bde., Duckworth: London 1994, Bd. 2, 947-979, S. 948.

29 | Vgl. Gaston Bachelard: *Der neue wissenschaftliche Geist* (1934), Frankfurt a.M.: Suhrkamp 1988; Gaston Bachelard: *Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes. Beitrag zu einer Psychoanalyse der objektiven Erkenntnis* (1938), Frankfurt a.M.: Suhrkamp 1987.

30 | Vgl. Alfred Nordmann: Of Landscapes and Caves and the Collapse of Distance in the Technosciences, in: *Danish Yearbook of Philosophy*, 41, 2006, 62-73.

31 | Vgl. Peter Galison: *The Pyramid and the Ring*, Lecture at the conference of the Gesellschaft für analytische Philosophie (GAP), Berlin 2006.

32 | Nordmann, Of Landscapes and Caves and the Collapse of Distance in the Technosciences, 2006, S. 63.

Komplexität biologischer Organismen überfordert die Theorie noch und bedarf der experimentellen Reduktion.

1.4 SYNTHESIS ALS NEUE FORSCHUNGSLOGIK

Vor diesem Hintergrund sind die aktuellen Entwicklungen der Synthetischen Wissenschaften verortet. Dominierte seit Galilei, Newton und Descartes die Analyse, um das Unbekannte durch empirische wie mathematische Analyse aufzuspüren, sichtbar und explizierbar zu machen, um es dann in einer Theorie zu synthetisieren – Synthese ist hier als Zusammenfassung verstanden; so gibt nun der gigantische Bestand an Einzelfakten und gut bestätigter Theorien den Anlass, die Synthese neu zu gestalten. In anderen Worten: Das sich aktuell ankündende Primat des Synthetischen ist ein neues, das über die bloße Zusammenfassung im Sinne des ›unter eine Gesetzlichkeit bringen‹ hinausgeht. Doch worin besteht das Neue genau?

Es generiert sich aus der Umkehrung dessen, was als Unbekanntes in den Fokus der Forschung gerät. Nicht mehr das Unbekannte als empirisch Gegebenes im Sinne eines noch nicht Entdeckten, das durch Analyse erschlossen wird, steht im Mittelpunkt, sondern das Unbekannte als das zu Synthetisierende. Zum einen als kombinatorische Extrapolation aus der Gesetzlichkeit der Theorie: Auf Basis des über die letzten Jahrhunderte kompilierten theoretischen Wissens, inklusive seines mittlerweile gigantischen Bestandes an integrierten Einzelfakten, wird das Unbekannte durch Analyse, Rekombination und Synthese digital ›entdeckt‹ wie real erzeugt. Die Resultate dieser aktuellen Version der ›Doctrina compositiva‹ sind neue Materialien und chemische Substanzen. Für diese neuen Entitäten durchforstet die Wissenschaft ihren gigantischen Bestand an theoretischem Wissen und Einzelfakten nach optimalen Kombinationsmöglichkeiten. Dass dies nur automatisiert mit Computern möglich ist, zeigen die Chemie, Biologie und Materialwissenschaften eindrucksvoll. In der Chemie wird der Bestand im Computer designter Moleküle auf rund siebzehn Millionen berechneter und in Datenbanken abgespeicherter Molekülverbindungen geschätzt, Tendenz steigend. Insgesamt sind 10^{100} Moleküle denkbar.³³ In der Biologie wird geschätzt, dass es 10^{31} mikrobische Genome auf der Welt gibt und dass seit 4×10^9 Jahren Mikroorganismen jährlich 10^4 Generationen durchlaufen. Aus diesen Schätzungen lässt sich errechnen, dass es im Prinzip 10^{45} DNA-Genome geben müsste, die

33 | Vgl. Frank Öllien: *Algorithmen und Applikationen zur interaktiven Visualisierung und Analyse chemiespezifischer Datensätze*, Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 2002; siehe auch in diesem Band Kapitel 7 ›Design‹ in der chemischen Synthese – eine Fiktion?

sich nun nach und nach im Computer und Labor synthetisch herstellen lassen.³⁴ Dies lässt sich durch die Synthese künstlicher Bausteine zur Xeno-Biodiversität erweitern. Die 20 natürlich vorkommenden Aminosäuren wurden bisher um weitere 40 »komplementiert«,³⁵ aber auch die vier Basen (A, G, C, T) der DNA werden durch die Substitution mit neuen Bausteinen variabel (DNX).³⁶ Für die Materialwissenschaft beschreibt Gregory B. Olson die neuen Möglichkeiten wie folgt:

»The new design capabilities [computational material design] will also help realize the dream of biomimetic materials, which emulate the complex adaptive microstructures of the living world that are beyond the reach of traditional empirical development. [...] Here the growing philosophy of predictive materials design is now combining the electrical engineer's realm of perfection-driven, artificially structured microcircuits with the materials traditions of self-assembly and defect tolerance.«³⁷

Dies zeigt, dass Synthesis als Forschungslogik aufgrund der Unmengen an Daten und Kombinationsmöglichkeiten prinzipiell mit der Nutzung von Computern einhergeht, die dem Experimentallabor vorgeschaltet sind.³⁸ Der Lohn ist das »mit der Natur über die Natur hinaus[gehen]«, allerdings ist der Begriff der »Natur« hier mit Vorsicht zu genießen, wie die technische Verfasstheit der neuzeitlichen Wissenschaft nahelegt.³⁹

34 | Vgl. Philippe Marliere: The farther, the safer: a manifesto for securely navigating synthetic species away from the old living world, in: *Systems and Synthetic Biology*, 3, 2009, 77-84; siehe auch in diesem Band Kapitel 8 Unverfügbarkeit in der Synthese sowie Kapitel 11 »Synthesis Candidates« Spielen mit Zweck in der Molekularbiologie.

35 | Vgl. Qiaoyan Wang, A.R. Parrish, L. Wang: Expanding the genetic code for biological studies, in: *Chemistry & Biology*, 16(3), 2009, 323-336.

36 | Vgl. Philippe Marliere, J. Patrouix, V. Döring, et al.: Chemical Evolution of a Bacterium's Genom, in: *Angewandte Chemie*, (Int. Edition), 50, 2011, 7109-7114.

37 | Gregory B. Olson: Designing a New Material World, in: *Science*, 288(5468), 2000, 993-998, S. 995.

38 | Vgl. Gabriele Gramelsberger: *Computerexperimente. Zum Wandel der Wissenschaft im Zeitalter des Computers*, Bielefeld: transcript 2010.

39 | Alfred Nordmann: Mit der Natur über die Natur hinaus?, in: Kristian Köchy, M. Norwig, G. Hofmeister (Hg.): *Nanobiotechnologien: Philosophische, anthropologische und ethische Fragen*, München: Karl Alber 2009, 131-147, S. 131. »Hiernach ist die Natur ein technisches System, ein Prozeß- und Eigenschaftszusammenhang, der wie alle technischen Systeme extrapolierbar und steigerungsfähig ist, und zwar nicht im Sinne der biologischen Evolution mit ihrem gradualistischen Mechanismus der Selektion und der Anpassung, sondern im Sinne von Algorithmen und Verfahren, die zur Steigerung des Systems Natur mobilisiert werden können. Die zweifache Erscheinung des Wortes »Natur« bezieht sich in diesem Fall auf die zwei Erscheinungen des einen Prozesses.« Ebd., S. 136.

Zum zweiten zeigt sich das Unbekannte als das im Labor künstlich Synthetisierte als Voraussetzung neuer Theorien. Hier kommt der Begriff des Designs oder des Engineering zum Tragen, wie anhand des ersten, im Labor designten biomolekularen Netzwerks (»Repressilator«) der Synthetischen Biologie deutlich wird. Der »Repressilator« ist ein Device, das einen Oszillator imitiert: »The »design« principles underlying the functioning of such intracellular networks remain poorly understood [... Therefore] we present a complementary approach to this problem: the design and construction of a synthetic network [of the repressilator] to implement a particular function.«⁴⁰ Ähnliches gilt für den »Genetic Toggle Switch« oder die »Counting Gene Networks«.⁴¹ Mittlerweile versammelt die Registry of Standard Biological Parts des Massachusetts Institute of Technology mehr als 18.000 »Biobricks«, darunter »Regulatoren«, »Terminatoren«, »Inverter«, »Reporter«, »Generater« und »Chassis«.⁴²

Das »unter eine Gesetzlichkeit bringen« des Empirischen der neuzeitlichen Forschung wird nun zu einem »aus der Gesetzlichkeit bringen« als kombinatorische Extrapolation respektive »in eine neue Gesetzlichkeit bringen« durch Synthese. Das Unbekannte und damit das Neue wird nicht mehr durch Analyse »entdeckt«, sondern durch Synthese erzeugt. Damit erweitert sich der Bereich des Empirischen um das potenziell generierbare Empirische im Labor – dem »Wetlab« des Experimentallabors wie dem »Drylab« des Computerlabors.⁴³ Es ist dieser Überschreitungscharakter, der die Synthetischen Wissenschaften auszeichnet.

1.5 BEITRÄGE DES VORLIEGENDEN BANDES

Wie die Forschungslogik der Synthetischen Wissenschaften im Detail aussieht, wird durch die Wissenschaftsforschung in naher Zukunft genauer zu untersuchen sein. Was sich jedoch heute schon klären lässt, ist die Verwendung dieses philosophisch-mathematischen Konzepts in Wissenschaft und Technik. Genau dies soll das vorliegende Buch leisten. Dabei zeigt sich, dass die Verwendung des Begriffs der Synthese so unterschiedlich ist wie die einzelnen Disziplinen und Anwendungen, die ihn nutzen. Die Vielfalt der untersuchten Fallbeispiele und Anwendungen in diesem Band gibt einen Einblick in die verschiedenen Interpre-

40 | Michael B. Elowitz, S. Leibler: A synthetic oscillatory network of transcriptional regulators, in: *Nature*, 403, 2000, 335-338, S. 335.

41 | Vgl. Timothy S. Gardner, C.R. Cantor, J.J. Collins: Construction of a genetic toggle switch in *Escherichia coli*, in: *Nature* 403, 2000, 339-342; Ari E. Friedland, T.K. Lu, X. Wang, et al.: Synthetic gene networks that count, in: *Science*, 324, 2009, 1199-1202.

42 | Vgl. Registry of Standard Biological Parts. URL: <http://partsregistry.org/>.

43 | Vgl. zum Drylab Martina Merz: Locating the Dry Lab on the Lab Map, in: Johannes Lenhard, G. Küppers, T. Shinn (Hg.): *Simulation: Pragmatic Construction of Reality*, (Sociology of the Sciences 25), Dordrecht u.a.: Springer 2007, 155-172.

tationen. Teil eins des Buches zeigt die Möglichkeitsräume des Synthetischen in der Diskussion des Begriffs auf, Teil zwei untersucht konkrete Umsetzungen des Synthetischen in Wissenschaft und Technik in Form der verschiedenen Hybridräume der Konvergenz.

Möglichkeitsräume des Synthetischen

Peter Bexte (2) fragt nach der Kopula ›und‹ als Bruchstelle im Synthetischen. Jeder Synthesis liegt ein Akt des Verbindens von mindestens zweierlei zu Grunde: das Eine und das Andere. Das ›und‹ rührt an die grundlegende Tätigkeit des Trennens und Verbindens. Kurt Schwitters hat es im Hinblick auf eine ästhetische Synthesis befragt (*Unbild*, 1919). Franz Rosenzweig sowie Deleuze/Guattari haben das Wort philosophisch thematisiert. Auch die Synthetische Biologie stößt erneut auf das ›und‹, sofern sie sich als ›biology and engineering‹ versteht.

Die Bedingung der (3) *Mathematik als Phänomentechnik der Synthese* analysiert Gabriele Gramelsberger in ihrem Beitrag. Basierend auf Gaston Bachelards Konzept der Phänomentechnik und der synthetischen Verwendung der Mathematik in der modernen Wissenschaft wird deutlich, dass die Mathematisierung die wesentliche Bedingung der Synthetischen Wissenschaften ist. Sie ermöglicht es erst, durch die technischen Realisierungen im Experiment Anwendungsbedingungen zu verwirklichen, die die Wirklichkeit nicht zustande gebracht hat. Damit wendet sich Bachelard gegen die analytische Logik des ›und‹ der Cartesischen Epistemologie.

Diese (4) *Synthetische Kraft der Mathematik* untersucht auch Jan Wöpping anhand der Überlegungen von Maurice Merleau-Ponty. Für Merleau-Ponty ist die Mathematik keine rein abstrakte, sondern eine menschliche, existenzielle Tätigkeit, die sich aus der Anschauung ergibt. Damit greift er Immanuel Kants Konzeption mathematischer Urteile als synthetisch apriorische auf. Für Merleau-Ponty ist es gerade die Leiblichkeit, die der Mathematik als menschliche, existenzielle Tätigkeit ihren synthetischen Charakter und ihre Kreativität garantiert.

Es ist Kants transzendente Philosophie, die der Synthese eine prominente Rolle als philosophischen Begriff – über das Aposteriorische der Empiristen hinaus – eingeräumt hat. Dieser Konjunktur des Synthesis-Begriffes geht Stephan Günzel in seinem Beitrag zur (5) *Synthese in der Philosophie der Wahrnehmung* von Immanuel Kant und Edmund Husserl nach. Dabei analysiert er detailliert die Rolle der Synthesis in diesen beiden Philosophien und lotet deren Relevanz für technische Medien aus. Denn der entscheidende Aspekt ist die inhärente Zeitlichkeit, die mit dem Begriff der Synthesis in der Wahrnehmungsphilosophie konzeptuell erfasst werden soll. Es ist kein Zufall, dass die Wahrnehmungsphilosophie auf Darstellungsmöglichkeiten zurückgreift, um prozessuale Synthesen zu visualisieren, wie dies Stephan Günzel am Beispiel von Edmund Husserls ›Diagramm der Zeit‹ illustriert.

Die Konzeptualisierung der Synthesis in der Physiologie untersucht Karin Harrasser in ihrem Beitrag zur (6) *Synthese als Vermittlung. Innere Berührung und exzentrische Empfindung*. Im Kontext der Prothesenforschung und -entwicklung zu Beginn des 20. Jahrhunderts, aber auch bereits in der aufkommenden Psychophysik des 19. Jahrhunderts, gewinnt der Tastsinn eine entscheidende Rolle als exzentrische Empfindung. Dabei erweist sich der synthetische Charakter des Tastsinns in seiner Doppelfunktion des Innen/Außen als provokativ für seine konzeptuelle Erfassung wie auch für seine prothetische Umsetzung.

Hybridräume der Konvergenz

Die Grenzen der Synthetischen Wissenschaften in atomaren Dimensionen loten Martin Jansen und J. Christian Schön in ihrem Beitrag zum (7) *›Design‹ in der chemischen Synthese – eine Fiktion?* aus. Die Rede vom ›Design‹ in chemischen Synthese, die mit der Zerlegung in Komponenten (›Bricks‹) und der Zusammensetzung der Komponenten zu ›neuen Entitäten‹ einhergeht, ist mit Vorsicht zu genießen. Die tatsächliche Synthese neuer chemischer Verbindungen ist an naturgesetzliche Bedingungen geknüpft, die ein ›Design‹ – im Sinne beliebiger Gestaltungsfähigkeit – nicht zulässt. Dennoch ist die chemische Synthese ein kreativer Akt, insofern aus der Menge des Möglichen ausgewählt wird, und die Kenntnis des Möglichen hat sich mit der Computerchemie erheblich erweitert.

In ähnlich kritischer Weise argumentieren Werner Kogge und Michael Richter bezüglich der Biosynthese in ihrem Beitrag zur (8) *Unverfügbarkeit in der Synthese. Untersuchungen zu Chemie und Biotechnologie im Zusammenspiel naturwissenschaftlicher und philosophischer Perspektiven*. Im Rückgang auf Aristoteles, Euklid und die Anfänge der chemischen Synthese untersuchen sie die Voraussetzung der Redeweise vom Synthetischen als Assoziation mit unbeschränkten schöpferischen Möglichkeiten, die neben der Chemie nun auch in der Molekularbiologie – vor allem in der Synthetischen Biologie – zum Tragen kommt. Die Identifizierung von Leben und Information, wie sie für die Molekularbiologie konstitutiv ist, erweist sich hier als besonders irreführend.

Vom philosophischen Standpunkt Gilbert Simondons nimmt Michael Cuntz die Synthetische Biologie in seinem Beitrag (9) *Keine Synthese, kein Bauplan. Leben und (bio)technische Objekte in Simondons irreduktionistischer Philosophie der Individuation als Operation der Information* in den Blick. Im Zentrum von Simondons Philosophie zum Verhältnis lebendiger Organismen und technischer Objekte steht der Informationsbegriff, dessen Ursprung in der Kybernetik wie der Molekularbiologie allerdings eine reduktionistische Umsetzung darstellt. Aus dieser Kritik resultiert Simondons Ablehnung der Möglichkeit einer Synthese von Unbelebtem und Belebtem, wie es das technische Paradigma der Synthetischen Biologie voraussetzt.

Genau dieses technische Paradigma zeigt sich in Georg Trogemanns Beitrag zu (10) *Synthese von Maschine und Leben. Organische Maschinen und die Mechani-*

sierung des Lebens. Aus Perspektive der Informatik wird die Rolle des Informationsparadigmas – als Trennung von formaler Funktion und materieller Realisierung – auch für die Biologie untersucht. Es ist festzustellen, dass die Begriffe Maschine und Organismus sich in ihren jeweiligen Charakteristiken wechselseitig annähern. Am Ende des Beitrags wird die Frage nach der Technisierung des Lebens umgekehrt, indem Georg Trogemann fragt, ob es noch ausreicht, biologische Maschinen und künstliche Lebewesen als technische Objekte zu behandeln? Oder ob ihnen subjektive Qualitäten zugeschrieben werden müssen. Denn ein verändertes Informationsparadigma, das auch dem Material Rechnung trägt, nähert sich dem Biologischen an.

In etwas anderer Weise nutzen Computerspiele der Molekularbiologie ›biologische Organismen‹ (User), um das rigide Berechnungsparadigma der Maschinen zu überwinden. In ihrem Beitrag (11) ›*Synthesis Candidates*.‹ *Spiele mit Zweck in der Molekularbiologie* untersucht Kathrin Friedrich das spielebasierte ›Crowdsourcing‹ als neue Wissensressource der Biologie. Spiele wie *Foldit* oder *EteRNA* nutzen die Motivation des Lösens von Puzzeln, um Mitspieler für die Optimierung und Konstruktion von synthetischer RNA zu gewinnen. Dabei geht es um die menschliche Fähigkeit, gestalterisch sinnvolle Kombinationen erkennen zu können, die der Maschine fehlt. Welche Rolle dieses Spielen mit Zweck in Zukunft für die Synthetische Biologie haben wird, muss sich erst noch zeigen.

Der abschließende Beitrag von Christopher Coenen stellt die Debatte zu den (12) *Converging Technologies* dar. Dieses sehr ambitionierte technowissenschaftliche Forschungsprogramm, das auch einen Rahmen für die Synthetischen Wissenschaften anbietet, interpretiert die Hybridräume der Konvergenz material. Nano (Atome), Bio (Gene), Info (Bits) und Cognito (Neuronen), also die sogenannten NBIC-Felder, sollen in Zukunft konvergieren und so neue Anwendungen ermöglichen. Die NBIC-Debatte wird jedoch stark durch weitreichende, zum Teil phantastisch anmutende Zukunftsvisionen geprägt. Daher ist eine detaillierte Analyse in Hinblick auf das tatsächliche Potenzial der Synthetischen Wissenschaften gefragt.

So verschieden die Beiträge in diesem Band sein mögen, so zieht sich das Für und Wider des ›und‹ – als rhizomatische Logik gefeiert, als Cartesische Epistemologie oder als Brickfication kritisiert – als Basis respektive Entgegensetzung des Synthetischen und seiner Konvergenzformen wie ein roter Faden durch die Beiträge. Es scheint so, als ob sich am ›und‹ die Zukunft von Wissenschaft und Technik entscheiden wird.