

JAN CORNELIUS SCHMIDT



Das Andere der Natur

Neue Wege zur Naturphilosophie

HIRZEL

Jan Cornelius Schmidt

Das Andere der Natur

Neue Wege zur Naturphilosophie



S. Hirzel Verlag Stuttgart

Für die exzellente und engagierte verlegerische Betreuung sei
Dr. Angela Meder, Hirzel Verlag, gedankt.

Ein Markenzeichen kann warenrechtlich geschützt sein, auch wenn ein Hinweis auf etwa bestehende Schutzrechte fehlt.

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

Jede Verwertung des Werkes außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Übersetzungen, Nachdruck, Mikroverfilmung oder vergleichbare Verfahren sowie für die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen.

ISBN 978-3-7776-2410-5 (Print)
ISBN 978-3-7776-2459-4 (E-Book, PDF)

© 2015 S. Hirzel Verlag
Birkenwaldstraße 44, 70191 Stuttgart
Printed in Germany
Einbandgestaltung: Neil McBeath, Stuttgart unter Verwendung eines Fotos von ©rafal08-Fotolia
Satz: Gerd Schweikert, Stuttgart
Druck & Bindung: Kösel, Krugzell

Für Angela

und

für Gernot Böhme
Wegweiser naturphilosophischen Denkens

Inhalt

EINLEITUNG	1
Unterwegs zu einer Naturphilosophie der Instabilität	
1. INSTABILITÄT	15
Wandel in der Wissenschaft. Zur Entdeckung und Entwicklung des Anderen der Natur	
2. SELBSTORGANISATION	41
Neues unter der Sonne. Über das Werden (in) der Natur	
3. ZEIT	75
Richtungspfeil und Weltprozess. Zeit als Zeugung	
4. ZUFALL	109
Quellen des Zufälligen. Wo der Zufall (auch) kreativ sein kann	
5. KAUSALITÄT	137
Streifzüge durch das Ursachendenken. Zur Aktualität der Kausalität	
6. KOSMOS UND RAUM	163
Der Mensch als Fragender. Über Herkunft und Zukunft des Kosmos	
7. GEHIRN UND GEIST	197
Ungedachtes Gehirn. Wo der Reduktionismus seine Grenzen hat	

INHALT

8. TECHNIK	223
Technisierung der Natur, Naturalisierung der Technik. Über die Nachahmungstheese	
9. ÄSTHETIK	245
Der Glanz von Natur und Wissenschaft. Über vollendete Tatsachen	
10. ETHIK UND UMWELT	275
Die Relevanz des Zugangs. Naturphilosophie als Grundlage der Umweltethik	
11. WISSENSCHAFTS- UND TECHNIKFOLGEN	301
Die Ambivalenz nachmoderner Technik. Zur Prospektiven Technikfolgenabschätzung	
RÜCKBLICK	321
Natur anders denken	
NACHWEISE	325
LITERATUR	327
SACHREGISTER	353

Alles, was in der Natur *ist*, muß angesehen
werden als ein *Gewordenes*.
Keine Materie der Natur ist primitiv, denn
es existirt eine unendliche Mannichfaltigkeit
ursprünglicher Actionen
(wie diese entstehe, wird eben das letzte
Problem der Naturphilosophie seyn).

Friedrich Wilhelm Joseph Schelling

Einleitung

Unterwegs zu einer Naturphilosophie der Instabilität

Es ist die *eine* große und grundlegende Frage nach dem Ganzen, die die Naturphilosophie prägt: *Was ist Natur?* – Alles andere, jenseits der Frage, ist in Bewegung, zeigt Brüche und Biegungen. *Was Naturphilosophie* ist, steht nicht fest: einst selbstverständlich, sodann überhöht, später gemieden, schließlich verabschiedet, jetzt revitalisiert. Sie trägt den langen Atem der Tradition in sich und durchzieht unsere Kulturgeschichte von Anfang an. Im Ursprung jedes philosophischen Weltzugangs war und ist sie stets präsent und prägnant – als ursprüngliche Philosophie. Sie ist gleichermaßen Keim wie Kristallisationspunkt jedes grundsätzlichen und gründebergewissernden Philosophierens. Sie kultiviert und kanalisiert das tastende Fragen: Naturphilosophie schließt auf, nicht ab.

Was Naturphilosophie *ist* und *sein soll*, ist alles andere als klar – trotz der Einfachheit und Eindringlichkeit der Frage, was Natur denn sei: jener Frage, die Zentrum wie Zenit der naturphilosophischen Denkbewegung ausmacht und die sich

stets beharrlich anschiekt, das Umgreifende anzugehen, es begreifbar werden zu lassen – und doch von der letzten Unbegreifbarkeit weiß. So ist mit der Frage zwar ein Gegenstand gekennzeichnet und eine Richtung bezeichnet, mehr jedoch nicht. Die Frage indes drängt zum Weiterfragen: Wem kann man einen Antwortversuch zutrauen – den aktuellen Naturwissenschaften, unserer Kulturtradition oder gar der Lebenswelt und Leiberfahrung? Welcher Zugang ist der Natur adäquat, wo und wie finden oder erfinden wir Natur? Wie sind Mensch und Natur zusammenzudenken und auseinanderzulegen? Wie kann und soll der Mensch handeln in der *und* mit Natur? Existiert Natur überhaupt noch – oder läuft die Frage ins Leere, weil es keine Natur mehr gibt? Und natürlich: Wie relevant sind die Fragen nach Natur und der Rekurs auf Natur heute im 21. Jahrhundert?

Damit ist angedeutet: Naturphilosophie ist ein facettenreiches Feld mit unterschiedlichen Pforten des Zugangs. Doch sie ist mehr. Sie hält grundlegende Fragen wach – die nach dem Sein wie auch die nach dem Sollen; sie zieht einen weiten Bogen und verbindet Herkunftsreflexion mit Zukunftsbewältigung. Sie provoziert mit ihrer vermeintlich unzeitgemäßen Frage nach dem Ganzen, eben nach dem Umgreifenden wie dem Ursprünglichen. In ihr treffen sich Metaphysik, Anthropologie, Wissenschaftsphilosophie, Ethik, Technik- und Kulturphilosophie und Ästhetik; sie liegt im Schnittfeld von Theoretischer und Praktischer Philosophie.

Im Ursprung und Anfang war Philosophie Naturphilosophie. Alle antiken und viele moderne Denker haben *Natur*-philosophiert, allen voran Platon und Aristoteles. Als wegweisend für die Moderne gelten Galileis, Bacons, Keplers und Descartes' naturphilosophische Arbeiten. Die mathematische Naturwissenschaft entstand im 17. Jahrhundert aus dem Schoße großer Naturphilosophen. Isaac Newtons Hauptwerk der klassischen Physik trug gar im Titel den Begriff „Naturphilosophie“, genauer: *Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie* (1686/1687). Das war eine Zeit, in der Naturphilosophie und Naturwissen-

schaft noch eine Einheit bildeten, mehr noch: Sie waren Synonyme. Wer von Naturphilosophie sprach, meinte auch und insbesondere Naturwissenschaft.

Doch die Einheit zerbrach. So verbindet man heute – gewiss verkürzt – mit Naturphilosophie weniger die Arbeiten Newtons als die des *Deutschen Idealismus*. Dessen spekulative Systeme der Metaphysik versuchten, (Natur-)Philosophie als eigentliche Wissenschaft zu retten. Naturphilosophie stand fortan der Naturwissenschaft gegenüber. Dazu wurde die Naturwissenschaft, wie sie sich im späten 18. und im 19. Jahrhundert etablierte, abgewertet oder abgelehnt. Bei Naturwissenschaftlern kam das nicht gut an, es wurde als Form philosophischer Arroganz wahrgenommen. Hegel, Schelling und andere haben der Naturphilosophie wirkungsgeschichtlich einen Bärendienst erwiesen. Der Chemiker Justus Liebig, der bei Schelling in Jena Vorlesungen gehört hatte, klagte über die Verführungen und Verirrungen einer solchen Philosophie, die „an Worten und Ideen so reich, an wahren Wissen und gediegenen Studien so arm [... ist:] Die deutsche Naturphilosophie ist ein mit Stroh ausgestopftes und mit Schminke angestrichenes totes Gerippe.“ Liebig's Reaktion war symptomatisch; ähnlich formulierte der Naturforscher Alexander von Humboldt: „Die gefährlichste Weltanschauung ist die Weltanschauung der Leute, die die Welt nie angeschaut haben.“ Eine Naturphilosophie im Lehnstuhl, ohne Rekurs auf Natur und ohne Kenntnisse der Naturwissenschaft sei unmöglich. Fortan schien Naturphilosophie fast von der Bildfläche zu verschwinden. Wer sich auf sie berief, hatte die Zeichen der Zeit verkannt.

Ein erneuter Bedarf an Naturphilosophie?

Das war nicht das letzte Wort. Zwar haben die Denkbewegungen zu Beginn des 20. Jahrhunderts kaum durchschlagend gewirkt, auch nicht Alfred North Whiteheads naturphilosophisch fundierte Prozessontologie. Sie konnte keinen Boden gewinnen

gegenüber der Metaphysik-abweisenden Stimmung des aufblühenden Neopositivismus. Doch seit dem letzten Quartal des 20. Jahrhunderts erlangt Naturphilosophie erneut Konjunktur. Sie wird angerufen und nachgefragt: von Gesellschaft und Öffentlichkeit, von Naturwissenschaft und Philosophie, auch von Theologie und Religion. Man erwartet viel von ihr, neben Analysen auch Synthesen, neben Herkunftsreflexion auch Zukunftsbewältigung, neben Klärungen auch Orientierungen – im Wissen wie im Handeln. Ihre Revitalisierung verdankt sie bemerkenswerterweise den Naturwissenschaften selbst: deren fortschreitendem Erfolg und zugleich deren zunehmender Ambivalenz.

Erstens ist der Erklärungserfolg der Naturwissenschaften tatsächlich atemberaubend. Man denke an die Physik des 20. Jahrhunderts. Welche Erkenntnisse über Natur haben Relativitätstheorie, Quantenphysik sowie Komplexitätstheorie gewonnen? Welche die Biologie, mit Evolutionsbiologie, Genetik, Neurobiologie, Systembiologie und Soziobiologie? Doch der Erfolg hat seinen Preis. Gleichzeitig schritt die Spezialisierung weiter voran. Das hat zur Atomisierung des Naturwissens beigetragen. Wie die Wissensfragmente zusammenhängen, geriet aus dem Blick. Nicht nur für den Laien, auch für den Fachwissenschaftler ist die Lage verwirrend. Naturphilosophie tritt an, das Ganze des Naturwissens wiederzugewinnen, das Umgreifende (mit) zu denken.

Zweitens ist der Handlungserfolg der Naturwissenschaften ebenso herausragend. Unsere spätmodernen Wissensgesellschaften wie zuvor die modernen Industriegesellschaften basieren auf naturwissenschaftlicher Erkenntnis. Naturwissenschaftliches Wissen und technologische Macht sind Zwillingsbrüder. Der technische Erfolg der Naturwissenschaften war und ist indes zweischneidig. Die technische Nutzung der Natur schlug vielfach um. Natur wurde nicht nur vermessen, sondern auch verändert, verbaut und verbraucht; sie wurde verfügbar. Natur- und Umweltprobleme zeigten sich; die Biomedizin rückte dem Menschen auf den Leib. Der Mensch musste durch seine eige-

ne körperlich-leibliche Existenz hindurch erfahren lernen, dass auch er Teil der Natur ist – in aller Ambivalenz. Naturphilosophie tritt an, Natur im Horizont menschlicher Handlungen und technischer Herrschaft zu reflektieren – und als Lebenspraxis wiederzugewinnen. Von der Naturphilosophie wird ein praktisch-normatives Orientierungswissen erwartet; nicht nur was Natur ist und war, sondern was Natur sein soll – das steht auf der Agenda heutiger praktischer Naturphilosophie.

Somit wird von der Naturphilosophie einiges verlangt, nämlich jene Defizite, die durch den Erfolg der Naturwissenschaften entstanden sind, anzugehen. Sie soll das stetig steigende partikuläre Naturwissen der Naturwissenschaften aufeinander beziehen, zu einer Synthese zusammenfügen. Und sie soll zur Reflexion und Revision unseres Naturzugangs und Umweltdenkens in praktischer Absicht beitragen, denn Naturzugang und Naturdenken präformieren das Naturhandeln. – Damit gehört Naturphilosophie heutzutage unbestritten zur Theoretischen wie zur Praktischen Philosophie.

Synthesen, keine Systeme: Aufgabe und Ausrichtung der Naturphilosophie

Dieser doppelten Aktualität fühlt sich die vorliegende Studie zur Naturphilosophie verpflichtet – wohl wissend, wie begrenzt Naturphilosophie ihrerseits angesichts der (hohen) Eigendynamik der Naturwissenschaften ist. Das Hauptaugenmerk der Studie bildet der erste Punkt, der Erklärungserfolg (s. o.), teilweise ergänzt um den zweiten, den Handlungserfolg. Naturphilosophie wird in erster Linie als Ontologie des naturwissenschaftlichen Naturwissens angesetzt und ausgerichtet. Die Frage nach dem Sein, nach dem, *was Natur denn sei*, ist der Schwerpunkt. Damit geht Naturphilosophie nicht in Wissenschaftsphilosophie oder -theorie auf, der *philosophy of science*, wie manche meinen mögen. *Philosophy of science* hat Methoden und Theoriestrukturen im Blick, weniger Aussagen und Inhalte. Das kann nicht

hinreichen für eine philosophische Denkbewegung, die sich auf Natur richtet. Allerdings bedient sich Naturphilosophie der Wissenschaftsphilosophie. Das ist der Sache nach notwendig, denn Metaphysisches einerseits und Methodologisches andererseits – Letzteres ist das Geschäft der Wissenschaftsphilosophie – sind nicht voneinander abzulösen.

So umfasst Naturphilosophie sowohl die Rekonstruktion und Reflexion der *Inhalte* als auch die der *Methoden* der Naturwissenschaft. Sie berührt gleichermaßen Aussagen wie Arbeitsformen von Naturwissenschaft, ihre Theorien wie ihre Techniken, weitergehend: Metaphysisches wie Methodologisches. Die naturphilosophische (metaphysische) Frage „*Was ist Natur?*“ ist nicht zu trennen von der wissenschaftsphilosophischen (methodologischen) Frage „*Was ist Naturwissenschaft?*“. Schließlich sehen wir Natur weithin durch die Brille und im Spiegel der Naturwissenschaft, stärker noch: Naturwissenschaft konstituiert (oder konstruiert gar) Natur. Naturphilosophie ohne Wissenschaftsphilosophie (und ohne Erkenntnistheorie) wäre blind; sie liefe Gefahr, ungeprüft naturwissenschaftliches Wissen zu rezipieren und zu reproduzieren. Erst wissenschaftsphilosophisch-erkenntnistheoretische Reflexionen ermöglichen eine kritische Distanz, eine Einschätzung und Einordnung des jeweiligen Wissens. Im recht verstandenen Sinne reflektiert mithin eine wissenschafts- und erkenntnistheoretisch informierte Naturphilosophie die theoretischen wie praktischen Grenzen des naturwissenschaftlichen Naturwissens; sie weiß um die Bedingungen und Begrenztheiten eines empirischen Naturzugangs.

Ziel und Aufgabe der Naturphilosophie ist es somit, die Erkenntnisse der Naturwissenschaften aufzuschließen, sie zu umgreifen und – wo es möglich ist, im Durchgang durch Differenzen – zu einer Synthese zusammenzuführen. Naturphilosophie integriert, was sonst isoliert bliebe; sie systematisiert, synthetisiert, stellt Sinnzusammenhänge her. Sie ist *synthetische Philosophie*, sie ergänzt die analytische Philosophie, die Wissenschaftstheorie, komplementär, wohl wissend, dass das analytische Differenzdenken eine notwendige Basis ist – mehr jedoch

nicht. Durch Differenzierungen hindurch – und mit diesen – sind Synthesen zu gewinnen, freilich ohne dogmatische Systeme zu konstruieren. Ist hier von Synthese als Flucht- wie Zielpunkt der Naturphilosophie die Rede, so ist Vor- und Umsicht angebracht. Schließlich hat die Naturphilosophie – in Tradition spekulativ-großsystemarer Metaphysiken, welche im 20. Jahrhundert mitunter Hand in Hand mit einem wissenschaftsphilosophischen Zerrbild moderner Naturwissenschaft gingen – oft mehr Einheitlichkeit unterstellt, mehr Einfachheit konstituiert, mehr Einheit konstruiert als der Natur angemessen gewesen ist. Die faktische Pluralität und Partikularität von Natur hat sie übersehen oder – dort, wo sie sich ihr geöffnet hat – überfordert. In dieser philosophischen Tradition wurde Natur eher konstruiert als rekonstruiert, ohne dass man sich hierüber Rechenschaft ablegte. Die Einheitskonstruktion von Naturphilosophie wie von Wissenschaftsphilosophie im 20. Jahrhundert lässt es fragwürdig erscheinen, ob diese stets einem Realismus verpflichtet waren. Zeigt sich hier nicht – konträr zu ihren Ansprüchen – mehr Konstruktivismus als Realismus?

Ein instabilitätsbasierter Wandel der Naturwissenschaft

Diese moderne Einheitskonstruktion – als Einheit einer vermeintlich einheitlichen Natur – war stets verbunden mit dem Ideal einer Einheit des Wissens. Vielfach wurde unter Einheit primär Reduktion verstanden und ein Reduktionismus vertreten: Wo von Einheit die Rede war, war (Erklärungs-, Beschreibungs-, Modell-, Theorie-)Reduktion gemeint. Diese Position findet sich nicht nur bei analytischen Wissenschaftstheoretikern, sondern auch bei einigen (einseitig an der Physik orientierten) Naturphilosophen. Wo man auf Reduktionen und auf reduktive Systeme zielt, sind Synthesen kaum mehr als temporäre Übergänge. Ein solch reduktives Einheitsideal war und ist leitend für ein Naturverständnis, das man vielleicht als *modern* bezeichnen

kann. Falsch ist es nicht – das zeigt auch der Erfolg vieler herkömmlicher Naturwissenschaften –, wohl aber einseitig; es ist ergänzungs- und erweiterungsbedürftig. Denn es gibt, wie sich seit einigen Jahrzehnten zeigt, eine *andere* Seite von Natur – eine Seite, die Natur schon immer eigen war, die aber kaum wahrgenommen wurde.

Natur tritt als Vielheit hervor: Sie zeigt sich auch (als) instabil, komplex, chaotisch, zufällig, emergent. Sie ist facettenreich, vielfältig, vielgestaltig. In ihrer Pluralität ist sie fassbar als phänomenales Patchwork, nicht als systematische Pyramide; auf unterschiedlichen Schichten sind je eigene Eigenschaften präsent. Von einem *nachmodernen* Naturverständnis, so der terminologische Vorschlag, könnte gesprochen werden; dieses ergänzt und erweitert das *moderne*, das durch Quanten- und Relativitätstheorie sowie Molekularbiologie geprägt wurde (Schmidt 2008a). Der Hinweis auf eine Erweiterung und Ergänzung unseres Naturverständnisses ist keine im Lehnstuhl gewonnene Philosophenkonstruktion. Er basiert auf aktuellen Entwicklungen der Naturwissenschaften, der Physik wie der *life sciences*, der System- und Synthetischen Biologie, verbunden mit der Informatik sowie dem rechner technologischen Fortschritt. Dieser *anderen*, instabilen, komplexen Seite von Natur möchte diese Studie zur Naturphilosophie Rechnung tragen. Sie möchte *das Andere der Natur* ins rechte Licht rücken, es erkenn- und aner kennbar werden lassen.

Wenn also die Anzeichen nicht trügen, wandelt sich das Naturverständnis der mathematischen Wissenschaften. Leitend ist die Erkenntnis von Instabilität. Dass nicht nur in Stabilität, sondern auch in Instabilität ein Charakterkern von Natur liegt, hat die Naturwissenschaft in den letzten 40 Jahren zeigen können. Instabilität gilt inzwischen als Bedingung der Möglichkeit von Selbstorganisation und Komplexität, von Zeitlichkeit und Dynamik – und auch als Vermittlung von Mikro eigenschaften und Makrophänomenen: Natur wird als Natur bestimmbar, insofern sie zur Instabilität fähig ist. Instabilitäten werden von der Naturwissenschaft expliziert, problematisiert und positiviert. Ein

instabilitätsbasierter Wandel erreicht die Naturwissenschaft; mit ihm wandelt sich das Naturverständnis. Dass wir durch einen derartigen Wandel, so Karl R. Popper in anderem Zusammenhang, „nicht nur [auf] neue und ungelöste Probleme [stoßen], sondern [auch ...] entdecken, dass dort, wo wir auf festem und sicherem Boden zu stehen glaubten, in Wahrheit alles unsicher und im Schwanken begriffen ist“, gilt heute mehr denn je. Der stabile Boden der klassischen wie der modernen Naturwissenschaft (und der modernen Naturphilosophie) stellt sich rückblickend als eine wissenschaftshistorisch glückliche Ausnahme spezieller Objektsysteme der Natur dar.

Dass die Naturwissenschaft im 17. Jahrhundert methodologisch auf ein erfolgversprechendes Gleis gesetzt wurde, mag zwar zutreffen, doch dass damit ein spezifisches Natur- und Wissenschaftsverständnis ein für allemal zementiert worden wäre, erscheint fragwürdig. Mit der Entdeckung und Anerkennung von Instabilitäten in Natur und Technik – verbunden mit der sukzessiven Computer-Technologisierung von wissenschaftlichem Erkenntnishandeln und der neuen Rolle digitaler Visualisierungstechniken – treten Modifikationen im Naturverständnis auf. Von Selbstorganisation, Chaos und Komplexität ist vielfach die Rede. Ein nachmodernes Naturverständnis emergiert, ohne alles Alte hinter sich zu lassen. Das herkömmliche, das *klassisch-moderne* Naturverständnis – in bemerkenswerter Allianz mit manch großsystemar-spekulativer Metaphysik traditioneller Naturphilosophie – wird nicht verabschiedet, wohl aber problematisiert und pluralisiert, ergänzt und erweitert.

Natur ist Natur, insofern sie auch instabil, dynamisch, selbstorganisierend, komplex und chaotisch ist. Es war Friedrich Nietzsche, der dieses nachmoderne Prozess- und Produktivitäts-Paradigma von Natur vorwegnahm: „Ich sage euch: man muß noch Chaos in sich haben, um einen tanzenden Stern gebären zu können. Ich sage euch: ihr habt noch Chaos in euch.“ Für Nietzsche kann nur eine chaotisch-instabile Natur kreativ sein und Neues schaffen.

Naturphilosophie im (gar nicht so) nachmetaphysischen Zeitalter

All das berührt freilich das Feld der Naturphilosophie. Wandelt sich Naturwissenschaft, wird Naturphilosophie dem Rechnung tragen müssen. Die sich im Horizont der nachmodernen Naturwissenschaften neu stellende Frage nach dem, was Natur denn sei, wird von einer recht verstandenen Naturphilosophie aufgenommen. Das allerdings wird im Folgenden nur partikulär möglich sein, anhand von beispielhaften Korridoren naturphilosophischen Denkens, wobei die Relevanz der Beispiele im Gang der Reflexion zu belegen sein wird. Eine Naturphilosophie – wo sie tastend, provisorisch, hypothetisch bleibt – ist notwendigerweise naturwissenschaftlich informiert und interdisziplinär geöffnet, wohl aber auch und insbesondere philosophisch reflektiert. Sie ist durch einen synthetisch-pluralen, minimal-realistischen Ansatz gekennzeichnet, der die philosophische Denkbeziehung als ernsthafte Bemühung ansieht, *schwebend Halt* zu gewinnen, wie Karl Jaspers einst sagte. Eine solche Philosophie, wie sie in diesem Buch entwickelt wird, könnte man *Philosophie der Instabilität* nennen.

Dennoch, so mag man fragen, ist eine solche Naturphilosophie nicht als bedenklich einzuschätzen? – Zu erinnern wäre hier, dass Jürgen Habermas in den 1990er Jahren mit Emphase von einem *nachmetaphysischen* Zeitalter sprach. Das war jene Epoche, in der der Postmodernismus – in Allianz mit Dekonstruktivismus und Konstruktivismus – den Diskurs bestimmte. Naturphilosophie hingegen hat nie verschwiegen, Ontologisches, sogar Metaphysisches im Sinn zu haben; sie ist als „Metaphysik der Natur“ zu verstehen, so Michael Esfeld. Bei dieser Metaphysik handelt es sich jedoch nicht um jene idealistischen Spekulationen, essentialistischen Strömungen und dogmatischen Systeme, die sich allgemein *gegen* die Naturwissenschaften stellen oder allein in den Lücken der Naturwissenschaften philosophisch tätig werden. Und es handelt sich auch nicht (allein) um jenen Typ von Metaphysik, den Immanuel Kant in seinen frühen

Schriften im Blick hatte: Es geht nicht (nur) um das Vorgelagerte, um *metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*.

Eine aktuelle Naturphilosophie will sich vom vermeintlich antimetaphysischen Zeitgeist einiger Zeitgeistphilosophen nicht irritieren lassen. Deren Vorwurf an die Adresse der Naturphilosophen, Spekulationen ohne Rationalitätsstandards zu betreiben, geht fehl. Metaphysik, so Hans Jonas, ist „seit jeher ein Geschäft der Vernunft“. Doch Jonas geht weiter. Er zeigt, dass auch das selbststilisierte nachmetaphysische Zeitalter von Metaphysik durchtränkt ist. Ein aktuelles Beispiel sind die Neurowissenschaften samt selbsternannter Neurophilosophie und ihrer starken naturalistischen These, die Willensfreiheit sei eine Illusion. Aber man könnte auch an die Soziobiologie denken. Dort wird leichtfertig behauptet, dass die biologische Ausstattung des Menschen sein soziales und individuelles Verhalten kausal determiniere.

Wie immer man diese Aussagen einschätzen mag, es handelt sich um Thesen, die durchaus als *metaphysisch* gelten können. Es sind umfassende Behauptungen mit universellen Deutungsansprüchen; sie gehen weit über die empirischen Wissenschaften hinaus. Die Frage ist sodann nicht, *ob* es Metaphysik überhaupt gibt, sondern *welche* das sein kann und soll. Eine Naturphilosophie nachmoderner Naturwissenschaften wird nur eine kritische sein können; sie wird Metaphysisches vorlegen, jedoch dieses stets offen halten: eine reflektier- und revidierbare Metaphysik einer plural-patchworkartigen Natur. Es ist eine tastende, vorsichtige, kritische Metaphysiksuche, die sich ihrer Vorläufigkeit stets bewusst ist. Der hier verfolgte synthetische Ansatz will Wege weisen jenseits dogmatischer Einheitssysteme, die die Naturphilosophie lange Zeit dominierten sowie diskreditierten.

Das Andere der Natur

Im Angesicht der aktuellen Entwicklungen der Naturwissenschaften beleuchtet und rekonstruiert das vorliegende Buch naturphilosophische Brennpunkte – und entwirft einen Blick

auf *das Andere der Natur*, auf eine Seite von Natur, die erst heute sichtbar wird. Der Anspruch geht nicht dahin, eine allgemeine und geschlossene Einführung in die Naturphilosophie vorzulegen,¹ sondern naturphilosophisches Denken im Horizont nachmoderner Naturwissenschaften zu entfalten. Nach einer kurzen Skizze der Entdeckungsgeschichte von Stabilität und Instabilität sollen im ersten Teil Kernthemen der Naturphilosophie erschlossen werden: Selbstorganisation (Kap. 2), Zeit (Kap. 3), Zufall (Kap. 4) sowie Kausalität (Kap. 5). Der zweite Teil richtet sich auf Gegenstandsfelder naturphilosophischen Denkens: Kosmos/Raum (Kap. 6), Gehirn/Geist (Kap. 7), Technik (Kap. 8) sowie Ästhetik (Kap. 9). Der dritte Teil stellt eine Verbindung der Naturphilosophie zur Praktischen Philosophie her, wie sie in Seitenarmen des philosophischen Denkens vertreten wird: Ethik und Umwelt (Kap. 10) sowie Wissenschafts- und Technikfolgen (Kap. 11). Mensch und Leben, anthropologische Grundfragen, spielen in allen Kapiteln eine Rolle. In Instabilitäten, so die zu belegende These, liegt das einigende Band, das die Vielheit des Naturwissens zu einer Synthese zu verbinden ermöglicht. Der leitende Fokus ist also die Frage: Was leistet der Blick durch die Brille der Instabilität für Kernthemen einer aktuellen Naturphilosophie?

Mit der Frage nach Relevanz und Reichweite von Instabilität ist ein philosophisches Forschungsprogramm verbunden, das an anderen Stellen grundgelegt wurde (Schmidt 2008a). Es wird hier keineswegs vorausgesetzt. Das vorliegende Buch basiert in Teilen auf jeweils einführenden Beiträgen, die zu unterschiedlichen Anlässen vorgetragen wurden, auf Arbeiten, die an verschiedenen Orten publiziert wurden, sowie auf Vorlesungen, die an der Friedrich-Schiller-Universität Jena und der Hochschule Darmstadt gehalten wurden. Alle Kapitel sind miteinander

¹ An dieser Stelle sollte ein Verweis auf einführende Werke zur Naturphilosophie bzw. Textsammlungen genügen, etwa auf Bartels (1996), Böhme (1989a;1992), Breil (2000), Burricher et al. (1987), Carrier (2009), Detel (2007), Drieschner (2002), Esfeld (2002), Gloy (1995; 1996), Kanitscheider (1984), Köchy (2008; 2010), Kummer (2009), Meyer-Abich (1997), Mutschler (2002), Picht (1993), Rapp (1981), Schiemann (1996; 2005), Schwemmer (1991) und v. Weizsäcker (1958).

verbunden, können aber auch unabhängig voneinander gelesen werden. Eine gewisse Redundanz ist unvermeidlich.

Eine Naturphilosophie der Instabilität, wie sie hier angesetzt wird, kultiviert und kanalisiert das tastende Fragen – als Philosophie. Wo sie Antworten (ver-)sucht, ist sie sich deren Vorläufigkeit bewusst. Eine solche Naturphilosophie ist selbst, wie ihr Gegenstand – wie Natur – , dem steten Wandel unterworfen. Einige Wege des Wandels, unterwegs zur Anerkennung des *Anderen der Natur*, möchte die folgende Studie nachzeichnen.

1. Instabilität

Wandel in der Wissenschaft. Zur Entdeckung und Entwicklung des Anderen der Natur

Konstruktiv, nicht destruktiv

Die Nachricht mag erstaunen: Unsere Welt ist instabilitätsfähig. Genau genommen ist es eine gute Nachricht, denn ohne Instabilität gibt es kein Werden und Wachsen, kurz: kein Leben. Ohne lokale Instabilität ist globale dynamische Stabilität unmöglich. Instabilität kann als Bedingung der Möglichkeit von Selbstorganisation und Emergenz, von Zeitlichkeit und Zufall, von Prozessualität, Flexibilität und Adaptivität angesehen werden. Natur wird als Natur bestimmbar, insofern sie instabilitätsfähig ist. Der Instabilitäts-Kern von Natur wurde ab den 1960er Jahren von den Naturwissenschaften erkannt und als grundlegend für Natur anerkannt.

Instabilitäten sind also keineswegs allein destruktiv zu verstehen, als Strukturzerfall. Vielmehr können sie konstruktiv und produktiv am Werke sein, als Strukturaufbau, -veränderung, -erhalt. Sie sind Quelle von Selbstorganisationsprozessen – und Kern dessen, was mitunter anthropomorphisierend als „Kreativität“ und „Produktivität“ von Natur bezeichnet wird.¹ „Selbstorganisation wird in der Regel durch eine Instabilität der ‚alten‘ Struktur gegenüber kleinen Schwankungen eingeleitet“, so die Physiker Werner Ebeling und Rainer Feistel (1994, 46): „Aus diesem Grunde ist das Studium der [...] Instabilitäten von hohem Interesse.“ Instabilitäten, unterstreichen Wolfgang Krohn und Günter Küppers (1992, 3), stellen „den Motor der Systementwicklung“ dar. Sie vermitteln zudem zwischen Mikroelementen und Makrophänomenen. Berühmt ist der Schmetterlingseffekt:

¹ So Mainzer (1996; 2007) und Kanitscheider (1993).

Kleinste Ursachen, etwa der Flügelschlag eines Schmetterlings, können durch Instabilitäten Makrophänomene hervorrufen. Kleinstes kann große Relevanz und Reichweite besitzen. Das Bild des Schmetterlings hat eine allgemeine Signatur, es tritt in vielen interdisziplinären Konzepten auf: Instabilitäten bilden den Kern von Selbstorganisations-, Komplexitäts- und Chaostheorien, von Synergetik, fraktaler Geometrie, Katastrophentheorie, Hyperzyklus- und Autopoiesis-Theorie.

Sofern die mathematischen Wissenschaften das Instabile in Natur, Technik und Gesellschaft anerkennen und ansprechen, könnten sie als *nachmodern* bezeichnet werden.² Sie brechen mit der Stabilitätsannahme der Moderne, allerdings ohne dieses für die Methodologie mächtige Moment der Moderne vollständig hinter sich zu lassen. Schließlich ist die etablierte wissenschaftliche Methode besonders dort stark, wo Stabilität herrscht. Dass Instabilitäten Zenit wie Zentrum eines aktuellen Wandels bilden, hatte schon der französische Philosoph Jean-François Lyotard gesehen. Er betitelte ein Kapitel seines Buches *Das postmoderne Wissen* mit: „Die postmoderne Wissenschaft als Erforschung der Instabilitäten“ (Lyotard 1986, 157 f.). Lyotards Ausführungen haben allerdings wegen begrifflicher Verwirrungen und unsystematischer Verirrungen der Anerkennung der Instabilitäten einen Bärendienst erwiesen. Der gegenüber Lyotard bevorzugte Begriff der *nachmodernen* Wissenschaften orientiert sich stärker an den mathematischen Naturwissenschaften und der dort gängigen Kennzeichnung der *modernen* Physik oder Biologie.³ *Nachmoderne* Wissenschaften kommen historisch im Anschluss an *moderne* Wissenschaften, wie sie durch die Quanten- und Relativitätstheorie sowie die Molekularbiologie gekennzeichnet sind. Sie ersetzen diese nicht, sondern ergänzen und erweitern sie.

² Siehe Schmidt (2008a; 2008b).

³ In eine ähnliche Richtung sind Etikettierungen zu verstehen, wie die von „New Science“ und „postmoderner Physik“, wie etwa bei Kanitscheider (1993, 164).

Nachmodern hat nichts mit postmodernen Modetrends zu tun. Der Begriff steht für eine eher nüchterne Beschreibung der Veränderung im Gefüge der Wissenschaften, ihrer Objekte, Methoden und Inhalte – von der Mathematik über die Physik, Chemie, Biologie, Informatik und die Technik- und Ingenieurwissenschaften bis hin zu den Sozialwissenschaften. Damit ist der interdisziplinäre Charakter der Instabilitätsthematik angedeutet. Von Instabilitäten ausgehend finden sich fruchtbare Forschungsfelder und faszinierende Fragestellungen in diversen Disziplinen. Beispiele hierfür liegen etwa in der System- und der Synthetischen Biologie. Dass wir angesichts dieser Erweiterung und Ergänzung im Gefüge der Wissenschaften „erst anfangen, die Welt zu verstehen“, meint die US-amerikanische Philosophin und Biologin Sandra Mitchell (2008). Was hier überzogen daherkommen mag, kann doch als zuspitzende Darstellung eines Zukünftigen der Wissenschaften gegenüber dem Gegenwärtigen angesehen werden.

Das Stabilitätsdogma

Die Geschichte der Entdeckung und Anerkennung von Instabilitäten ist facettenreich, sie zog sich über Jahrhunderte hinweg.⁴ Lange Zeit wurden Instabilitäten von den Naturwissenschaften verdrängt und verkannt. Eine Stabilitätsannahme durchzieht offenkundig die Wissenschaftsgeschichte. Weder im Natur- noch im Wissenschaftsverständnis hatten Instabilitäten einen Platz. Dominant war seit der griechischen Antike allein die Stabilitätsannahme: Natur ist Natur, so nahm man traditionell an, insofern sie stabil ist; gute mathematische Modelle sind allein solche, die Stabilität zeigen. Rückblickend sprechen die mathematischen Physiker John Guckenheimer und Philipp Holmes (1983, 259)

⁴ Sie ist offenbar derart komplex und kurios, dass Wissenschaftshistoriker wie Thomas S. Kuhn Probleme gehabt hätten, sie adäquat im Rahmen seines Paradigmenkonzepts zu beschreiben. Schließlich passt sie kaum in den Rahmen einer einzelnen wissenschaftlichen Disziplin. Und auch der Kuhn'sche Paradigmenbegriff, der die Wissenschaftsentwicklung zu fassen versucht, bezieht sich auf Disziplinen.

von einem metaphysisch geprägten „Stabilitätsdogma“.⁵ Wenn die Anzeichen der aktuellen Naturwissenschaften nicht trügen, wird das Stabilitätsdogma immer fragwürdiger.

Von einer Überwindung allerdings kann bis dato keine Rede sein. Schließlich hat die Annahme, Natur sei Natur, insofern sie stabil sei, eine tiefe kulturgeschichtliche Verwurzelung. Über 2500 Jahre hinweg schien außer Zweifel zu stehen, dass Instabilitäten nicht der Natur selbst zukommen, sondern nur unsere defizitäre Wahrnehmung und Erkenntnis von Natur widerspiegeln. Der Kosmos galt für Platon im eigentlichen Wortsinne als Garant und Repräsentant von Ordnung, Regelmäßigkeit und Stabilität. In der Stabilität des Kosmos schien sich Gottes eigene Unvergänglichkeit zu spiegeln. Die frühe Naturwissenschaft im 17. Jahrhundert zielte auf das Auffinden dieser Regelmäßigkeiten einer stabilen, durch und durch mathematisch strukturierten Natur. Erklärungsbedürftig waren nicht Stabilität, sondern die zeitlichen Phänomene der scheinbaren Veränderungen. Hinter diesen wurden in platonischer Tradition zeitlose Invarianten als Kern des fortwährenden Naturcharakters vermutet. Diese Annahme blieb jedoch meist implizit; die Frage nach Stabilität oder Instabilität – sowohl auf Seiten der Natur als auch auf Seiten der Modelle und Methoden – kam in der frühen Naturwissenschaft nicht vor.

Metaphysische Hintergrundüberzeugungen sind für die Naturwissenschaft keineswegs belanglos und beliebig. Vielmehr prägen sie die Methoden, das Erkenntnishandeln und die Interpretationslinien.⁶ Als Hintergrundüberzeugung war das Stabilitätsdogma für die Wissenschaftsentwicklung in methodo-

⁵ *Dogma* – das ist freilich ein starker Begriff, den Guckenheimer und Holmes (1983) verwenden. Er mag ein wenig irreführend sein, insofern er sich auf die 2500-jährige Tradition der Wissenschaftsgeschichte insgesamt beziehen sollte. Schließlich wird erst dann etwas dogmatisiert, wenn es fragwürdig ist. Das Fraglose hingegen ist keiner Dogmatisierung wert; das Selbstverständliche versteht sich von selbst. Doch änderte sich das, als immer offensichtlicher wurde, dass die exakten Naturwissenschaften von einer impliziten Stabilitätsannahme ausgingen. Erst mit dem Ziel, eine Krise abzuwehren, kann von einem *Stabilitätsdogma* gesprochen werden.

⁶ Das belegt Esfeld (2002; 2008) in seiner Naturphilosophie. Siehe auch die Beiträge in Kummer (2009).

logischer Hinsicht wirkmächtig und erfolgreich. Es diente der Selektion – oder gar der Konstitution und Konstruktion – der Objekte, die als wissenschaftlich zugänglich und erkennbar angesehen wurden. So stand zu Beginn der modernen Naturwissenschaft im 16. Jahrhundert zunächst die hinreichend stabile Planetendynamik auf der Agenda wissenschaftlich vielversprechender Objekte. Andere Objekte, die sich irregulärer verhielten und nicht zur Himmelsphysik, sondern zur irdischen Physik zählten, fielen zunächst heraus. Methodologie und Metaphysik gingen Hand in Hand. Anhand stabiler Dynamiken konnte die frühe Naturwissenschaft ihre Methodologie erfolgreich entwickeln und empirische Naturerkenntnis als besonders gesichert und überprüfbar ausweisen. Stabilität bildet seither die methodologische Basis für das, was ein Experiment gerade auszeichnet, nämlich die Reproduzierbarkeit. Wo hingegen allzu viel Instabilität herrscht, ist die Reproduzierbarkeit eingeschränkt. Experimentieren, allgemein Erkenntnisgewinnung, wird erschwert.

Ein Blick auf die Geschichte der Instabilitäten

Kritiker des Stabilitätsdogmas hatten einen schweren Stand. Metaphysik und Methodologie bildeten eine wirkmächtige Allianz zur Immunisierung gegen jegliche Kritik. So waren sich auch die prominenten Kritiker ihrer Argumente selbst nicht sicher, obwohl sie unzweifelhafte Erkenntnisse über instabile Prozesse zu Tage förderten. Es blieb mithin bei einer eher zurückhaltenden Problematisierung des Stabilitätsdogmas im 19. Jahrhundert, etwa in Maxwells Mechanik und Poincarés Planetendynamik. Und auch Naviers und Stokes' Hydrodynamik sowie Boltzmanns und Gibbs' statistisch-mechanische Thermodynamik vermochten da keinen nachhaltigen Diskussionsimpuls zu setzen.

Das Beharrungsvermögen der Stabilitätsmetaphysik zeigte sich schon deutlich früher. So war Isaac Newton einer der Ersten, der bereits Ende des 17. Jahrhunderts eine Ahnung von einer möglichen Instabilität des Planetensystems hatte. Die in-

terplanetarisch wirkenden Gravitationskräfte, so wie sie Newton dargelegt hatte, sichern keineswegs einen stabilen Kosmos. Freilich hatte er noch nicht die mathematischen Begriffe und das Instrumentarium, um adäquat von Stabilität und Instabilität sprechen zu können. Er identifizierte wegweisend das Drei- und Mehrkörperproblem, etwa das Sonne-Erde-Mond-System. Dieses kann zu instabilen Bahnen führen. Doch der mathematischen Möglichkeit zum Trotz zweifelte Newton keinen Moment an der Stabilität des Kosmos.

Das Stabilitätsdogma wirkte gar tiefer. Newton radikalisierte das Problem soweit, dass er eine lokale und temporäre Intervention eines wirkmächtigen Gottes zuließ, um dem drohenden instabilen Zerfall des Planetensystems entgegenzuwirken. Die geringfügigen „Unregelmäßigkeiten“ kosmischer Bewegungen, so Newton (1983, 267 f.) in der Diskussion des Mehrkörperproblems und in Vorwegnahme dynamischer Instabilitäten, rühren „von der gegenseitigen Wirkung der Kometen und Planeten auf einander her [... Diese wachsen] wohl so lange an [...], bis das ganze System einer Umbildung [durch Gott] bedarf.“ Eine stärkere Einwirkung hat die Stabilitätsmetaphysik wohl selten auf Naturwissenschaftler gehabt, vielleicht mit der Ausnahme von Albert Einstein zu Beginn des 20. Jahrhunderts.

Unzufrieden mit Newtons Trick, Gott als physisch handelnden Stabilisator des Kosmos einzusetzen und ihn damit naturreligiös zu begründen, war nicht nur Gottfried Wilhelm Leibniz, sondern etwas später auch der französische Mathematiker und Physiker Pierre-Simon de Laplace. Die ersten exakten störungstheoretischen Stabilitätsuntersuchungen gehen auf Laplace in den 1770er Jahren zurück. Auch er räumte zumindest die Möglichkeit von Instabilitäten im Planetensystem ein.⁷ Doch blieb der Verweis auf Instabilitäten primär hypothetischer Natur, schließlich wählte und entwickelte Laplace einen störungstheoretischen Zugang zur Lösungsbestimmung des berühmten Mehrkörperproblems. Wer Störungstheorie betreibt, schließt

⁷ Laplace hatte im Jahre 1812 ein umfassendes Werk zur Wahrscheinlichkeitstheorie vorgelegt (Laplace 1932).

dynamische Instabilitäten aus: Das, was sich als instabil zeige, so nahm man an, sei lediglich eine Störung des Stablen. So wähnte sich Laplace sicher, genau das gezeigt zu haben, was man mit Händen greifen könne, nämlich die Stabilität des Kosmos. Nicht der äußere Gott, sondern das Sonnensystem selbst stabilisiere sich. Newton habe sich geirrt, so schien es. Doch der Irrtum lag auf Laplaces Seite, wie sich zeigen sollte. Bis dahin allerdings war für die weitere Entwicklung der Astronomie die von Laplace verwendete mathematische Methode der Störungstheorie zur allgemeinen Stabilitätsuntersuchung wirkungsgeschichtlich wegweisend. Dass der Kosmos in seinem Kern zeitlos und stabil sei, auch wenn wir als Unwissende dies derzeit noch nicht sehen können, stand für Laplace ebenso außer Frage wie die universelle Berechenbarkeit. Ein Wesen mit der Intelligenz Gottes könne den stabil-deterministischen Kosmos im Prinzip berechnen. Von einem Laplace'schen Dämon wurde später gesprochen.

Knapp 70 Jahre nach Laplace war es in den 1870er Jahren James Clerk Maxwell, der dem störungstheoretischen Zugang, d.h. der Konvergenz der mathematischen Reihenentwicklung und mithin der Stabilitätsaussage von Laplace misstraute. Maxwell konnte zwar nicht das Gegenteil, die Instabilität, zeigen wie später Poincaré. Doch er nahm grundsätzlicher das Wissenschaftsverständnis der mathematischen Naturwissenschaften in den Blick. Die etablierte wissenschaftliche Methodologie basiere auf der impliziten Annahme der Stabilität, so Maxwell (1991, 13 f.) – in weiser Vorwegnahme des Stabilitätsdogmas sowie gleichermaßen in kritischer Absetzung von diesem: „Ähnliche Ursachen erzeugen ähnliche Wirkungen.“ Das ist aber nur dann wahr, wenn kleine Veränderungen in den Anfangsbedingungen lediglich kleine Veränderungen in den Endzuständen des Systems verursachen. [...] Das ist aber nur insofern richtig, als Stabilität herrscht.“⁸ Diese auf Ähnlichkeit von Zustandsentwicklungen basierende „allgemeine Maxime der Physik“ (ebd.) wird

⁸ Eigene Übersetzung (J. C. S.).

heute als *starke Kausalität* oder auch als *starker Determinismus* bezeichnet. Die Maxime der Stabilität sei insofern notwendig, so Maxwell, weil Instabilitäten die Formulierung von Gesetzmäßigkeiten erschweren oder verunmöglichen. Schließlich könne es „durch ein unbegrenztes Zusammenwirken von lokalen Instabilitäten [so ...] sein, dass [physikalische Phänomene ...] nicht durch ein endliches Schema von Gesetzen erfasst werden können.“ (ebd., 14) Das Wettergeschehen führt Maxwell beispielhaft an. Zusammengenommen war er der Erste, der auf die methodologischen Problempunkte empirischer Erkenntnis naturwissenschaftlicher Gesetze einer potenziell instabilen Natur hinwies. Dass hierzu der Begriff „Instabilität“ verwendet wird, ist ein Novum.

Die Einsicht, dass die Natur nicht nur eine stabile, sondern auch eine instabile Seite hat, erhärtete sich wenige Jahrzehnte später. Der schwedische König stellte Ende des 19. Jahrhunderts eine Preisfrage, nämlich ob unser Planetensystem stabil sei.⁹ Poincaré (1890; 1892 f.) untersuchte daraufhin das himmelmekanische Mehrkörperproblem und gelangte zu dem Laplace widersprechenden Ergebnis, dass Instabilitäten für bestimmte Konstellationen zwingend sind. Für Poincaré lag hier ein Paradigmenwechsel vor, der ihn anregte, in erkenntnistheoretischer Absicht über Instabilität und ferner über Zufall nachzudenken. Bei Instabilität gelte: „Eine sehr kleine Ursache, die für uns unbemerkbar bleibt, bewirkt einen beträchtlichen Effekt, den wir unbedingt bemerken müssen, und dann sagen wir, dass dieser Effekt vom Zufall abhängt.“ (Poincaré 1914, 56) Instabilitäten in gesetzmäßigen Systemen, etwa „unstable Gleichgewichte“, stellen für Poincaré eine Quelle des Zufalls dar (ebd., 57). Als Beispiele nennt Poincaré Instabilitäten wie einen auf die Spitze gestellten Kegel, das Wettergeschehen, das Roulettespiel und das Planetensystem. Für Letzteres gelte: „So komplex sind die Bahnkurven [der beteiligten Planeten], dass ich sie nicht einmal zu skizzieren mich traue.“ (Poincaré 1899, 47)

⁹ Siehe hierzu die historisch-systematischen Ausführungen von Holmes (1990).