Open Library of Humanities Journal

Hedley, T 2025 Das Paradies der Totalität: Gesamtheitstendenzen, Nominalismus und die (Anti-) Logik der Abstraktion in Hilberts Programm und dem Dadaismus. *Open Library of Humanities*, 11(1): pp. 1–25. DOI: https://doi.org/10.16995/olh.17593

Open Library of Humanities

Das Paradies der Totalität: Gesamtheitstendenzen, Nominalismus und die (Anti-)Logik der Abstraktion in Hilberts Programm und dem Dadaismus

Tom Hedley, Université libre de Bruxelles, BE, thomas.hedley@ulb.be

Aufbauend auf den jüngsten Entwicklungen in der Forschung zu disziplinübergreifenden Modernismen im frühen 20. Jahrhundert positioniert dieser Artikel die zentralen Maximen des totalisierenden Gesamtkunstwerks als eine mögliche Grundlage für eine vergleichende Analyse des deutschen Dadaismus und der modernen Mathematik. Der Artikel plädiert für die Notwendigkeit, über explizite *thematische* Diskussionen der Mathematik in der Literatur der Moderne hinauszugehen, und identifiziert zunächst eine Berücksichtigung von Fragen zur möglichen Gesamtheit und Totalität in der modernen Mathematik – hier verkörpert durch David Hilberts formalistisches ‚Programm' der frühen 1900er Jahre –, als eine robustere *strukturelle* Parallele zu einer Strömung der Avantgarde-Kultur, die mit dem Gesamtkunstwerk verbunden ist. Dieses gemeinsame Anliegen der Totalisierung wird dann zum Ausgangspunkt für die Untersuchung der Übereinstimmung der Methoden, die in beiden Bereichen eingesetzt werden, um diesem utopischen Ziel einer absoluten, autonomen und einheitlichen Praxis zu dienen. Insbesondere mit Blick auf Ernst Cassirers Studien zu Logik und Abstraktion in *Substanzbegriff und Funktionsbegriff* (1910) wird argumentiert, dass die axiomatischen, nominalistischen Methoden der mathematischen Moderne in der antilogischen, antisystematischen Welle des Dadaismus der späten 1910er und frühen 1920er Jahre einen unwahrscheinlichen Verbündeten finden. Kurz gesagt, der deutsche Dadaismus und die moderne Mathematik ähneln sich in ihren programmatischen Ambitionen und in den Werkzeugen, die zur Umsetzung dieser Ambitionen eingesetzt werden. Es ist daher zu hoffen, dass diese lokalisierte, disziplinübergreifende Untersuchung am Ende Licht auf mögliche Wege zu einem mathematisch umfassenderen Verständnis der Moderne und der Avantgarde-Kultur im weiteren Sinne wirft.

Open Library of Humanities is a peer-reviewed open access journal published by the Open Library of Humanities. © 2025 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited. See http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.
OPEN ACCESS

Einführung: Mannigfaltige Modernismen

‚Aus dem Paradies, das Cantor uns geschaffen hat, soll uns niemand vertreiben können', erklärte der führende Mathematiker der Universität Göttingen, David Hilbert, in einer öffentlichen Vorlesung im Jahr 1925, einem entscheidenden Moment in einer Zeit des disziplinären Wandels nach verschiedenen Entdeckungen und Umbrüchen im vorangegangenen Jahrhundert (Hilbert, 1926: 170). Mit dieser Bemerkung identifiziert Hilbert für die Disziplin ein unanfechtbares utopisches Ziel, nämlich die Vereinheitlichung aller Bereiche der Mathematik auf einer strengen Grundlage, und dieses Ziel ist ausdrücklich mit Georg Cantors mengentheoretischen Innovationen in den 1870er und 1880er Jahren verbunden. Dieses Ziel, das heute oft als ‚Hilberts Programm' bezeichnet wird, prägte einen großen Teil des mathematischen Diskurses und der mathematischen Praxis in Deutschland (und darüber hinaus) zwischen 1900 und den frühen 1930er Jahren – eine Ära, die heute als der Aufstieg der ‚modernen' Mathematik bekannt ist. Die zeitliche und terminologische Übereinstimmung deutet auf eine gewisse Korrespondenz zwischen dieser neuen Welle der modernen Mathematik und den ‚modernistischen' kulturellen Strömungen des frühen 20. Jahrhunderts hin. Kurioserweise behauptete die Göttinger Wegbereiterin Emmy Noether – eine der produktivsten SchülerInnen Hilberts –, dass Mathematiker in erster Linie *Künstler* und nicht Wissenschaftler seien (Rowe, 2021: 10). Lassen wir dies als ausreichenden Denkanstoß gelten, so könnten wir etwas nachdrücklicher fragen: Wie ‚modernistisch' ist die moderne Mathematik?

Im folgenden Beitrag stelle ich diese interdisziplinäre Frage als übergreifendes Ziel dar. Um einen Weg dorthin zu finden und dabei Harald Szeemanns Schlagwort ‚Der Hang zum Gesamtkunstwerk' (Szeemann, 1983) leicht abzuwandeln, beobachtet man einen ziemlich auffälligen ‚Hang zur Gesamtheit', der in Hilberts hochgesteckten Ambitionen im Spiel ist. Als allumfassende Arbeitsweise, die der Mathematik als Ganzes begriffliche Autonomie garantiert, sind sicherlich Anklänge an das ähnlich vereinheitlichende Gesamtkunstwerk zu hören, ein ‚gedankliches Konstrukt übergeordneter Zusammenhänge' (Brock, 1983: 23), das so etwas wie ein ‚Totalkunstwerk' (zitiert in Vinzenz, 2018: 23) entstehen lässt. Da das letztgenannte Konzept auch in der Avantgarde-Kultur des frühen 20. Jahrhunderts am stärksten eingesetzt und entwickelt wurde, schlage ich vor, dass dieses gemeinsame Interesse an der Gesamtheit uns erlauben könnte, konkreter zwischen der modernen Mathematik und dem Dadaismus, einem besonders respektlosen Teil der Avantgarde, zu vermitteln. Der erklärtermaßen antirationale und in sich oft widersprüchliche Dadaismus, eine besonders intermediale Form des Gesamtkunstwerks (siehe Sheppard, 2000; Adamowicz und Robertson, 2011; Vinzenz, 2018, Hage, 2020), scheint ein unnatürlicher

Gesprächspartner des modernen mathematischen Denkens zu sein; nichtsdestotrotz isoliert dieser Artikel den gemeinsamen Hang zur Totalisierung, um bemerkenswerte strukturelle Ähnlichkeiten in den Methoden aufzudecken, die in beiden Bereichen zu diesem Zweck eingesetzt werden. Kurz gesagt, eine unerwartete Überschneidung von totalisierenden Zielen und Methoden wird hier als Katalysator vorgeschlagen, um die bereits angefochtene Kluft zwischen den Wissenschaften und den Künsten noch weiter zu vermindern.

Herangehensweise: Überschneidungen und Parallelen

Um diesen Ansatz zu motivieren, lohnt es sich, über die ersten zaghaften Schritte nachzudenken, die in diesem immer noch eher nischenhaften Bereich der Wissenschaft unternommen wurden, denn die Möglichkeit einer mathematischen ‚Moderne' wurde schon früher angesprochen, und C. P. Snows berühmte ‚two-culture' Trennung (1959) repräsentiert nicht mehr den Stand der Forschung zum Zusammenspiel von Kunst und Naturwissenschaft. Diese Eingriffe stammen vor allem aus der Geschichtsschreibung der Mathematik und der mathematisch engagierten Literaturkritik. Herbert Mehrtens beispielsweise zeichnet einen auf Deutschland konzentrierten Prozess der ‚de-ontologization' in der Mathematik nach, nachdem ihre Beziehung zum realen Raum der Welt durch die Entdeckung der nicht-euklidischen Geometrien aufgelöst wurde (Mehrtens, 1987: 164). Wie Mehrtens ausführlicher in *Moderne-Sprache-Mathematik* (1990) diskutiert, verursacht diese Verschiebung einen komplexen ‚Streit' um die begehrten Grundlagen einer Disziplin im Wandel zwischen zwei Gruppen, nämlich den ‚Modernen' und den ‚Gegenmodernen', deren widersprüchliche Reaktionen davon abhängen, ob diese Veränderungen als emanzipatorische Chance oder als zu beklagender ‚Verlust' wahrgenommen werden sollen (Mehrtens, 1990: 67). Die mathematische Moderne, von Hilbert geleitet und von Figuren wie Ernst Zermelo, Abraham Fraenkel, Felix Hausdorff und Noether vorangetrieben, entspricht der Behauptung, dass ‚Wahrheit und Sinn der [mathematischen] Texte … sich in der Arbeit an ihnen, nicht mehr in der Repräsentation der gegebenen physischen Welt, auch nicht in Bezug auf eine transzendente Ordnung' bestimmen (Mehrtens, 1990: 9). Dagegen äußern sich die Vertreter der gegenmodernen Perspektive, hauptsächlich L. E. J. Brouwer und (später) Hermann Weyl, deren Intuitionismus Aspekte der damals angeschlagenen Kantischen Position zur mathematischen Erkenntnis zu retten und neu zu nutzen versuchte, um eine Art ‚Ur-Grund' zu schaffen (Mehrtens, 1990: 9). Es wird jedoch von Mehrtens die Tatsache betont, dass die Gegenmodernen *keine* reaktionären Antimodernisten seien: im Gegensatz seien sie Teil einer deutlichen Dialektik um 1900, aus der sich die Modernisierung der Mathematik entwickelt. Wie weiter unten beschrieben wird, können beide Positionen sowohl mit totalisierenden Impulsen und Methoden als auch mit kulturellen und künstlerischen Strömungen verbunden werden. Während Mehrtens diese Periode vor allem in deutschsprachigen Institutionen historisiert, versucht Jeremy Gray in *Plato's Ghost* (2008), eine internationale historische Basis für die Modernisierung der Mathematik ‚beyond the German heartland' zu schaffen (Gray, 2008b: 12), wobei er die disziplinäre ‚anxiety', die mit der neuerdings gekappten Beziehung zur materiellen Welt einhergeht, betont. Allerdings initiieren weder Mehrtens noch Gray in ihrer historischen Analyse einen substanziellen Vergleich zwischen mathematischen und kulturellen Modernismen. Vielmehr fordern sie Literaturwissenschaftler auf, diese historischen Befunde in ihre eigene Forschung einzubringen, und verweisen dabei auf Figuren wie den ‚Mathematikkenner' Robert Musil (Mehrtens, 1990: 560), dessen Romane bekanntlich ‚many mathematical allusions' enthalten (Gray, 2008b: 9).

Aufbauend auf diesen historischen Arbeiten haben bestehende Literaturstudien in diesem Bereich der Thematisierung moderner mathematischer Ideen und Debatten in den Werken von Musil, aber auch Hermann Broch, Thomas Pynchon, Jorge Luis Borges und David Foster Wallace, um nur einige zu nennen, viel Aufmerksamkeit geschenkt (z. B. Albrecht, 2008; Brits, 2018; Engelhardt, 2019; Taylor, 2024). Indem sie sich auf diese vielseitigen, ‚mathematically literate' Schriftsteller konzentrieren (Taylor, 2024: 4), plädieren solche Studien für eine mathematisch umfassendere Konzeption der Moderne als kulturellem Moment. Bei allen wertvollen Erkenntnissen könnte man sich jedoch fragen, ob die Betonung der direkten Auseinandersetzung mit der Mathematik durch Autoren mit formaler mathematischer Ausbildung diese Untersuchung nicht unnötig einschränken könnte. Es ergibt sich nicht nur ein enger Kanon von Schriftstellern, sondern die Frage nach der Hinzufügung der Mathematik zur Moderne verlässt sich entweder auf eine explizite Thematisierung der Mathematik oder auf eine direkte Einflussgeschichte (von Mathematikern auf Künstler). Man übersieht möglicherweise damit weniger offensichtliche Momente der Einheitlichkeit, die sich eher auf einer konzeptionellen, strukturellen oder sogar formalen Ebene manifestieren.[1] Robert Tubbs beispielsweise lenkt die Aufmerksamkeit auf implizite mathematische Konzepte (z. B. Zufälligkeit und Willkür), die von experimentellen modernen Künstlern sowohl mit als auch *ohne* bekannte mathematische Ausbildung verwendet wurden (Tubbs, 2014: 62). Dieses emanzipatorische Manöver erweitert

[1] Einen gründlichen Überblick über die verschiedenen Formen der interdisziplinären Zirkulation zwischen den Künsten und den Wissenschaften, der auf solche Fragen eingeht, bietet der hilfreiche Aufsatz von Olav Krämer: ‚Intention, Korrelation, Zirkulation. Zu verschiedenen Konzepten der Beziehung zwischen Literatur, Wissenschaft und Wissen', in: Köppe, T (Hg.) *Literatur und Wissen. Theoretisch-methodische Zugänge*. Berlin und New York: De Gruyter 2011, S. 77–115.

den Aufgabenbereich dieses interdisziplinären Felds, da man auch indirekte und nicht explizite, aber nichtsdestotrotz grundlegende Parallelen und Überschneidungen zwischen der mathematischen und der künstlerischen Moderne ans Licht bringen kann. Die Aufgabe besteht jedoch nicht nur darin, zu zeigen, dass beide Bereiche ein ähnliches Vokabular verwenden, sondern auch, dass die grundlegenden Begriffe und Konzepte auf analoge Weise funktionieren. Dieser Artikel ist ein Versuch, einen solchen Nachweis zu erbringen. Nachdem ich eine solche Parallele in einem ‚Hang zur Gesamtheit' identifiziert habe, lassen sich die Ziele dieses Beitrags nun präziser formulieren. Indem ich mich darauf konzentriere, wie dieser Sinn für Totalität in der modernen Mathematik und im Dadaismus erreicht wird, argumentiere ich in diesem Aufsatz, dass beide Bereiche die klassische aristotelische Logik desavouieren und, was entscheidend ist, eine radikale Ablösung in Form einer abstrakten Begriffsbildung einleiten. Dieser Prozess wird veranschaulicht, wie ich vermute, durch Ernst Cassirers Unterscheidung zwischen logischen Formen in *Substanzbegriff und Funktionsbegriff* (1910) und macht sich eine ontologische Leere zunutze, die der Sprache (mathematisch oder anders) zugrunde liegt.

Um den weiteren Weg abzustecken, ist es zunächst notwendig, den totalisierenden Charakter der ‚modernist transformation' der Mathematik im frühen 20. Jahrhundert zu kontextualisieren und festzustellen, wie sie durch eine neue Arbeitsweise und mathematische Praxis – nämlich die Formalisierung mittels der axiomatischen Methode – ermöglicht wird. Indem wir diese Praxis der sogenannten ‚working mathematicians' mit Cassirers ‚Funktionsbegriff' abgleichen – einem Typus der Begriffsbildung, der auf einer gegenaristotelischen Logik der Abstraktion beruht –, entsteht ein übertragbares Vokabular, um die subversiven und widerspenstigen Methoden des Dadaismus zu entschlüsseln. Ausgehend von Cassirers Taxonomie wird anhand von Namen und Nominalisierungen gezeigt, dass der dadaistische Übergriff auf Sinn, Rationalität und referentielle Sprache nicht nur die klassische Logik durcheinanderbringt, sondern in einem Akt der Meuterei auch eine Form der Antilogik aus den Scherben bastelt – eine Antilogik, die der mathematischen Begriffsbildung sehr viel ähnlicher ist, als es der Schein vermuten lässt. Insgesamt geht es bei diesem Ansatz nicht darum, die Mathematik wahllos an das lebendige Patchwork des Gesamtkunstwerks in der Kultur der Moderne anzunähen und den Begriff über seine elastische Grenze hinaus zu dehnen; vielmehr soll ein vergleichbarer Impuls zur Gesamtheit in der modernen Mathematik als Sprungbrett genutzt werden, um so etwas wie eine operative Parität im Dadaismus aufzudecken, wo man sie vielleicht nicht erwarten würde.

Moderne Mathematik: Axiomatisierung und Totalisierung

Ähnlich wie in der Psychologie und Philosophie, mit der Veröffentlichung von Freuds *Traumdeutung* und dem Tod Nietzsches, war das Jahr 1900 auch in der Mathematik kein ruhiges. Auf dem Internationalen Mathematikerkongress (ICM) – dem alle vier Jahre stattfindenden Treffen, das bis heute das bedeutendste Ereignis im Kalender der Disziplin ist – in Paris, führte Hilbert mit seinem Leitvortrag eine bahnbrechende disziplinäre Intervention durch. Die Rede, die aus 23 ungelösten Problemen bestand, war ein Aufruf an seine Kollegen, alle Bereiche der Mathematik durch eine abstrakte Axiomatisierung, die durch Cantors Mengenlehre vorgezeichnet war, neu zu artikulieren. Etwas präziser formuliert, identifizierte Hilbert das Ziel, alle bestehenden Theorien auf eine endliche, vollständige Menge von Axiomen zu gründen und einen ‚metamathematischen' Beweis dafür zu erbringen, dass diese Axiome konsistent sind (Tapp, 2013: 32). Hilbert wurde dabei zum ‚Generaldirektor' dieser modernen – oft als ‚formalistisch' bezeichneten – Reaktion auf die erschütternde Entdeckung der nicht-euklidischen Geometrien in der Mitte des 19. Jahrhunderts (Mehrtens, 1990: 108) und bot den Mathematikern einen neuen Rahmen für ‚doing mathematics' (Ferreirós, 2008: 155). Angestachelt durch die Entdeckung von Ungereimtheiten (‚Russells Paradoxon') in Cantors ursprünglicher Arbeit, enttäuschte die Forschergemeinschaft nicht: Die Mengenlehre wurde 1908 von Ernst Zermelo neu axiomatisiert, gefolgt von Felix Hausdorffs Axiomatisierung des Raums als Punkt-Mengen-Topologie im Jahr 1914, Abraham Fraenkels Ergänzungen zu Zermelos Bemühungen 1921–22 und Emmy Noethers umfangreichen Innovationen in der Algebra ab 1922, nachdem sie einen bezahlten Lehrauftrag an der Universität Göttingen erhalten hatte.[2] Zum Zeitpunkt von Hilberts ‚Paradies'-Bemerkung, als seine utopischen Ambitionen bereits zu einem vollwertigen Programm geworden waren, hatte das vergangene Vierteljahrhundert also eine Menge hervorgebracht, das es angesichts der gegensätzlichen Denkschule der Gegenmoderne zu schützen galt.[3]

Aus diesem kurzen historischen Abriss wird bereits deutlich, dass die prägenden Jahrzehnte der modernen Mathematik (zumindest in deutschen Institutionen) durch das zielgerichtete Bestreben charakterisiert werden können, jedes einzelne Teilgebiet

---

[2] Aufgrund ihres Geschlechts und ihrer zum Teil jüdischen Herkunft war Noether trotz ihrer wirklich bahnbrechenden Leistungen bereits 1917 eine Anstellung an der Universität verwehrt worden, obwohl Hilbert sich intensiv um ihre Aufnahme in die Fakultät bemühte. Zwar hielt sie ab 1918 regelmäßig Vorlesungen an der Universität Göttingen, doch tat sie dies unbezahlt und offiziell nur als Hilberts ‚Assistentin' (Koreuber, 2015).

[3] Eine solche Bedrohung entstand in Form von zwei alternativen, aber letztlich weniger erfolgreichen Vorschlägen zur Begründung der Mathematik: dem von L. E. J. Brouwer vertretenen *Intuitionismus*, der versuchte, Aspekte von Kants verdorbener Philosophie der Anschauung zu retten, und einem eher am Rande angesiedelten *Logizismus*, der darauf abzielte, die Mathematik als eine Erweiterung der Logik allein zu begründen, der aber bei den alltäglichen Praktikern der Mathematik nie wirklich Fuß fasste (Mehrtens, 1990: 277f; Schnapper, 1979).

der Mathematik zu vereinheitlichen, und dass dieser totalisierende Impuls durch eine axiomatische Methode erreicht werden sollte. Da diese Methode als Ausgangspunkt für den angestrebten interdisziplinären Vergleich mit der Avantgarde dient, ist es daher notwendig, sich mit diesen speziellen Begriffen zu befassen und besser zu verstehen, was mit ihnen gemeint ist und welche Bedeutung sie im modernen mathematischen Diskurs haben. Der folgende Abschnitt wird daher die wechselhafte Entwicklung der axiomatischen Methode innerhalb der Mathematik genauer untersuchen, beginnend mit ihrer frühen Wiedergabe in Euklids *Elementen*, über das turbulente Aufkommen nicht-euklidischer Alternativen, bis hin zum unmittelbaren Kontext von Hilberts Intervention im Jahr 1900, nämlich seiner eigenen bahnbrechenden Axiomatisierung der Geometrie im Jahr zuvor mit *Grundlagen der Geometrie* (Hilbert, 1899). Wie sich zeigen wird, wird durch die Beachtung der Widersprüchlichkeit der Axiome als begriffliche Ausgangspunkte auf diesem historischen Weg eine Charakterisierung der modernen Mathematik im Hinblick auf gegensätzliche Formen der Logik ermöglicht, die wiederum die Voraussetzungen für einen unerwartet harmonischen Dialog mit den Dadaisten schafft.

Euklids *Elemente* des dritten Jahrhunderts v. Chr. ist eine Sammlung von dreizehn Büchern mit etwa 465 Sätzen und den dazugehörigen Beweisen. Das gewichtige Werk beginnt mit einer Sammlung von 23 Definitionen, fünf Postulaten und fünf allgemeinen Begriffen (manchmal auch als ‚Axiome' bezeichnet), die dann als konzeptioneller Grundrahmen für den Beweis der 465 Sätze verwendet werden, die sich über den Rest des Werks erstrecken. Da diese ersten Schritte sowohl Euklids Text als paradigmatisches Beispiel für mathematisches Denken sichern als auch die Unklarheiten enthalten, die bekanntlich seinen Status als einziges konsistentes geometrisches System in der Mitte des 19. Jahrhunderts erschüttern sollten, sind sie für die Zwecke dieser Analyse am bedeutendsten. Die umstrittensten Definitionen beziehen sich auf die grundlegenden Begriffe der Geometrie, nämlich den Punkt, die Linie und die Ebene. Nach der deutschsprachigen Standardausgabe (Heibergs Übersetzung aus dem Griechischen) lauten die ersten sieben Definitionen Euklids wie folgt:

1. Ein Punkt ist, was keine Teile hat,
2. Eine Linie breitenlose Länge.
3. Die Enden einer Linie sind Punkte.
   […]
5. Eine Fläche ist, was nur Länge und Breite hat (Euklid, 1991: 1).

Der sukzessive Charakter von Euklids Definitionen wird sofort deutlich, denn die erste ermöglicht die dritte, die zweite die sechste, und so weiter. Im Anschluss an diese Definitionen stellt Euklid fünf Postulate auf (mögliche Schritte für weitere Ableitungen, ohne selbst abgeleitet zu werden), wobei das fünfte Postulat das lästige Parallelpostulat ist, das zwei Jahrtausende lang bis zur Entdeckung der nicht-euklidischen Geometrien um 1800 ‚the pebble in the shoe of mathematicians everywhere' war (Tabak, 2004: 30).[4] Schließlich vervollständigen fünf allgemeine Begriffe (oft ‚Axiome' genannt) – Ideen, die einfach vorausgesetzt werden müssen – die einleitenden Seiten der *Elemente*, die hauptsächlich den Begriff der Gleichheit betreffen, z. B. ‚1. Was demselben gleich ist, ist auch einander gleich' und ‚8. Das Ganze ist größer als der Teil' (Euklid, 1991: 2). Ausgehend von diesem Trio grundlegender Ideen, dem ‚Grundgerüst der euklidischen Geometrie' (Berchtold, 2016: 5), konstruiert Euklid dann ein übergreifendes und methodisches Netz geometrischer Ergebnisse, das die axiomatische Methode in der Mathematik veranschaulicht – ein in sich geschlossenes System, das mit elementaren Konzepten beginnt und nach und nach komplexere Ergebnisse aufbaut.

Als ‚the first great landmark in the history of mathematical thought and organization' (Eves, 1997: 35), blieben Euklids *Elemente* bekanntlich über zwei Jahrtausende hinweg das dominierende System des geometrischen Denkens. Die Mathematiker der Antike und des Mittelalters stützten sich auf sie, waren jedoch während der frühneuzeitlichen Debatten um Descartes' Rationalismus und Newtons Empirismus heftig umstritten (z. B. Blåsjö, 2017: 205f), und wurden schließlich zur Grundlage für Kants Transzendentalphilosophie im späten 18. Jahrhundert (Friedman, 2015: 275). Dennoch gab es im Laufe dieser Geschichte dauernde Kritik an den *Elementen*. Neben der Unklarheit darüber, was seine Definitionen, Postulate und allgemeinen Begriffe genau unterscheidet (z. B. Heath, 1968; Eves, 1997; Netz, 2004), veranlasste das unbeholfene Parallelpostulat einige unangenehme Fragen über die verschwommene Natur von Definitionen und Axiomen im Allgemeinen. Wie Berchtold erklärt, ‚erwartet man von einem Axiomensystem, dass es in sich widerspruchsfrei ist und die einzelnen Axiome unabhängig voneinander sind' (Berchtold, 2016: 5), und in den Jahrhunderten nach Euklids Bemühungen gab es mehrere erfolglose Versuche zu zeigen, ob das Postulat tatsächlich aus den anderen primitiven Aussagen abgeleitet werden kann (siehe Gray, 2008a: 85ff.). Diese Komplikation blieb ungelöst bis die euklidische Vorherrschaft mit dem dramatischen Aufkommen der nicht-euklidischen

[4] Das Postulat lautet: ‚[Wenn] zwei Gerade von einer Geraden geschnitten werden, wobei die innen liegenden beiden Winkel zusammen kleiner als zwei rechte sind, treffen [sie] sich dort, wonach die Winkel liegen' (Euklid, 1991: 2). Im Wesentlichen handelt es sich um die allgemeine Aussage, dass sich parallele Linien nicht treffen. Ihre Unbeholfenheit besteht darin, dass sie sich viel komplexer liest als die anderen selbstverständlichen Aussagen, als ob sie eine zu beweisende Behauptung wäre (siehe Gray, 2008a: 85).

Geometrien in den 1800er Jahren ins Wanken geriet. Obwohl der Begriff eine Art Korrektur eines Fehlers von Euklid und damit seinen ‚fall from grace' (Shapere, 1984: 210) suggeriert, ist dies ein weit verbreiteter Irrtum, denn diese neuen Geometrien bestätigen eher, dass Euklid recht hatte, das Parallelitätspostulat als unbeweisbare Prämisse zu behandeln, die einfach als unbeweisbar akzeptiert werden muss, damit alle weiteren Ableitungen gelten, d. h. als unabhängiges Axiom. Die Vorsilbe ‚nicht' bezieht sich stattdessen auf die *alternativen* und dennoch konsistenten Geometrien, die sich ergeben, wenn man das Parallelpostulat (oder auch andere Postulate) beiseitelässt. Die Geschichte dieser neuartigen Geometrien und ihrer Protagonisten Carl Friedrich Gauß, János Bolyai, Nikolai Lobachevskii, Bernhard Riemann und Felix Klein ist bereits mehrfach beschrieben worden, und es ist hier nicht der richtige Ort, dies zu wiederholen.[5] Für die Zwecke dieses Beitrags reicht es aus, sich auf ihre Auswirkungen auf die Fragen nach dem Wesen des mathematischen Denkens und der mathematischen Praxis zu konzentrieren, denn das oben beschriebene Aufkommen nicht-euklidischer Geometrien lässt die Frage wieder aufleben, wie genau Axiome zu verstehen sind und wie eine axiomatische Methode solide zu verteidigen ist.

An dieser Stelle können wir uns nun Hilberts *Grundlagen der Geometrie* von 1899 zuwenden, das ‚a new chapter in the history of geometry' aufschlägt und die verschiedenen Ansätze und Entdeckungen seiner oben genannten Vorgänger synthetisiert und zusammenbringt (Corry, 2008: 103). In einer kurzen Einleitung diagnostiziert Hilbert schnell das Problem seiner Zeit: ‚Die Geometrie bedarf [...] zu ihrem folgerichtigen Aufbau nur weniger und einfacher Grundsätze. Diese Grundsätze heißen Axiome der Geometrie' (Hilbert, 1899: 1). Die Fundierung der Geometrie, jetzt Axiome, ist also höchstens eine *Pseudofundierung*, denn die Grundlage der mathematischen Sprache ist nun die mathematische Sprache selbst. Die eigentliche Analyse beginnt dann mit der folgenden Diskussion über Punkte, Linien und Ebenen:

> Wir denken drei verschiedene Systeme von Dingen: die Dinge des ersten Systems nennen wir *Punkte* und bezeichnen sie mit *A, B, C, ...*; die Dinge des zweiten Systems nennen wir *Geraden* und bezeichnen sie mit *a, b, c,...*; die Dinge des dritten Systems nennen wir *Ebenen* und bezeichnen sie mit α, β, γ, ...; die Punkte heißen auch die *Elemente der linearen Geometrie*, die Punkte und Geraden heißen die *Elemente der ebenen Geometrie* und die Punkte, Geraden und Ebenen heißen die *Elemente der räumlichen Geometrie* oder *des Raumes*.

[5] Für eine ausführliche Zusammenfassung dieser unruhigen Epoche in der Geschichte der Geometrie, siehe Gray, 2008a: 83–95.

> Wir denken die Punkte, Geraden, Ebenen in gewissen gegenseitigen Beziehungen und bezeichnen diese Beziehungen durch Worte wie ‚liegen', ‚zwischen', ‚parallel', ‚kongruent', ‚stetig'; die genaue und vollständige Beschreibung dieser Beziehungen erfolgt durch die *Axiome der Geometrie* (Hilbert, 1899: 2).

Mit Hilberts Einführung dieser elementaren Parameter der formalistischen Geometrie – Punkte, Geraden und Ebenen – ist die Abweichung von Euklids *Elementen* am deutlichsten. Bemerkenswert ist, dass Hilbert nicht versucht, sie *explizit* zu definieren, wie es Euklid versucht hat: hier ist die Benennung von Dingen vor allem mit einer *impliziten* Definition verbunden (Eves, 1997: 80), wobei die ‚Art der Objekte keine Rolle mehr spielt, sondern nur ihr Verhältnis zueinander' (Berchtold, 2016: 6). Statt ‚das elementar Bezeichnete, ein Punkt, hat keine Teile', postuliert Hilbert lediglich ‚Dinge', die der Einfachheit halber Punkte, Linien und Ebenen genannt werden, d. h. ‚he employs the method of defining geometrical primitives solely by means of the axioms, without presupposing their intuitive meaning' (Ben-Menahem, 2006: 147). Für die folgenden Vergleiche ist es notwendig, auf diese Eigenschaft einzugehen. Hilbert war gezwungen, diese Eigenschaft gegen den Widerstand von Persönlichkeiten wie dem Jenaer Logiker Gottlob Frege zu verteidigen, der vermutete, dass sein Göttinger Kollege es versäumt hatte, Punkte, Linien und Flächen zu definieren, weil ihre Definition den Praktikern als bekannt galt (Shapiro, 1997: 160ff.).[6] Hilbert reagierte in folgender Weise auf Freges Kritik:

> Hier liegt wohl der Cardinalpunkt des Missverständnisses [...]. Ich will hier nichts als bekannt voraussetzen [...]. Wenn ich unter meinen Punkten irgendwelche Systeme von Dingen, z. B. das System: Liebe, Gesetz, Schornsteinfeger ..., denke und dann meine sämtlichen Axiome als Bezeichnungen zwischen diesen Dingen annehme, so gelten meine Sätze, z. B. der Pythagoras, auch von diesen Dingen (Briefwechsel in Frege, 1976: 67, zitiert in Tapp, 2013: 127).

Diesen elementaren Begriffen haftet also überhaupt keine Bedeutung an. Stattdessen sind sie sprachliche Platzhalter – ‚inhaltsleere Begriffsschemata' (Einstein, 1921: 3) – für Objekte, die notwendigerweise undefiniert bleiben, weil das axiomatische System Beziehungen zwischen beliebigen Objekten beschreiben muss. Auf ähnliche Weise aber etwas knapper ausgedrückt, erklärte Hilbert seinem Kollegen Otto von Blumenthal: ‚Man muss jederzeit an Stelle von Punkten, Geraden und Ebenen,

[6] Dem Leser wird empfohlen, Shapiros *Philosophie der Mathematik: Structure and Ontology* zu konsultieren, in dem er den enthusiastischen Austausch zwischen Hilbert und Frege sehr detailliert und unter Berücksichtigung der Vorzüge der beiden Positionen darlegt (Shapiro, 1997: 157ff.)

Tische, Stühle und Bierseidel sagen können‘ (Blumenthal, 1935: 403, zitiert in Berchtold, 2016: 6). Diese unförmlichere Verteidigung, die die Leitprinzipien der mathematischen Moderne verkapselt, ist so etwas wie das Schibboleth für Hilberts Arbeitsweise geworden. Entbunden von jeglicher Grundlage in der realen Welt oder einer transzendentalen Wahrnehmung derselben, liegt dem System ein gewisses Maß an Willkür zugrunde – eine Willkür, die jedoch systematisiert werden kann, d. h. in eine Struktur eingebettet, die selbst nicht willkürlich ist. Die axiomatischen Aussagen, die die Beziehungen zwischen den Elementarobjekten beschreiben, müssen den oben beschriebenen Grundanforderungen der axiomatischen Methode genügen, nämlich die Widerspruchsfreiheit und die Unabhängigkeit der Axiome selbst. Zu genau diesem Zweck fasst Hilbert die Axiome in fünf Gruppen zusammen – Verknüpfung, Anordnung, Kongruenz, Parallelen und Stetigkeit –, was ihm ermöglicht, insgesamt eine axiomatische Grundlage für die euklidische und die nicht-euklidische Geometrie zu schaffen, die jeweils auf unterschiedlichen Sätzen von axiomatischen Aussagen beruhen. In einem frühen Anflug eines totalisierenden Impulses hat Hilbert bis 1899 jede Geometrie – die euklidische und die nicht-euklidische, von denen es theoretisch, wie Riemann zeigte, unendlich viele gibt – in einer gemeinsamen Struktur zusammengefasst, und diese verfeinerte Version der axiomatischen Methode wird als Katalysator für die disziplinäre Vereinheitlichung gesichert.

In seiner Entschlossenheit bestärkt, dauerte es weniger als ein Jahr, bis Hilberts totalisierende Ambitionen mit seiner oben erwähnten Rede auf dem Internationalen Mathematikerkongress in Paris im Jahr 1900 die Geometrie allein übertrafen. So sind wir nun in der Lage zu verstehen, dass die axiomatische Methode zur Basis für die moderne mathematische programmatische Neigung zur Totalisierung geworden ist. Um die andere Seite – den ‚Schatten‘ (Mehrtens, 1990: 67) – der Moderne im Blick zu behalten, muss auch betont werden, dass diese Konzeption von Totalität eine ist, die unter den Protagonisten der Gegenmoderne keinen Anklang findet. Im Gegenteil hielten sie Hilberts Formalismus und seine logische Reduktion von mathematischen Theorien auf Axiome und Schlussfolgerungen vor allem für fragmentarisch, während Hermann Weyl nach seiner Hinwendung zu ‚holistic mathematics‘ Totalitäten als das lebendige Substrat des mathematischen Denkens charakterisiert (siehe Schappacher, 2010: 3297ff). Die Erforschung mathematischer Wahrheiten in der Gegenmoderne wird mit einer Art Ganzheit verbunden, die inhaltsbezogen bleibt, und die immer noch der Sinnhaftigkeit verpflichtet ist. Mathematische Gesamtheitstendenzen sind deswegen sowohl bei den Modernen als auch bei ihrem Gegenüber zu beobachten, wenn auch in einem anderen Sinne. Weiterhin könnte diese gegenmoderne Neigung zur Totalität auch mit kulturellen und ästhetischen Strömungen des frühen 20.

Jahrhunderts in Verbindung gebracht werden, da sie laut Anne Harrington kaum von (weit verbreiteten) kulturellen und politischen Ängsten um den ersten Weltkrieg getrennt werden kann (siehe Harrington, 1996).[7] Als erfolgreichere Manifestation der mathematischen Modernisierung, ist diese *methodologische* Neigung zur Totalität in Hilberts Programm dennoch das, was ich in dieser Analyse in ein Gespräch mit der ästhetischen Moderne verwickeln möchte. Wie bereits angedeutet, wäre ein umfassenderes Bild dieser Epoche der Modernisierung ohne die Beiträge von Ernst Zermelo in der Mengenlehre, Felix Hausdorff in der Topologie und Emmy Noether in der abstrakten Algebra nicht denkbar, aber aus Gründen des Umfangs muss eine Konzentration auf Hilberts *Grundlagen* – eine Blaupause für diese zukünftigen Bemühungen – vorerst genügen.[8]

Um mögliche Wege in ein Gespräch mit der Avantgarde im Auge zu behalten, kehren wir jedoch für einen Moment zu Emmy Noether und ihren angeblich künstlerischen Neigungen zurück. Nach ihrem unerwarteten Tod im Jahr 1935, nur 18 Monate nach ihrer Flucht aus Nazi-Deutschland ins Exil in den USA, erschien in der *New York Times* ein Nachruf des theoretischen Physikers Albert Einstein. Hier lobte er Noethers durchdringenden mathematischen Verstand und beschrieb ihre formalistische Mathematik in einzigartig kreativer Weise als ‚the poetry of logical ideas', indem er erklärte: ‚one seeks the most general ideas of operation which will bring together in simple, logical and unified form the largest possible circle of formal relationships' (Einstein, 1935: 12). Nicht nur, dass eine radikal abstrakte Methodik wiederum ein Streben nach Allgemeinheit und Vereinheitlichung der Mathematik hervorruft und erleichtert, diese Kopplung von Methode und Ziel ist es auch, die Einstein zufolge die moderne Mathematik von Natur aus poetisch und kreativ macht.

Die Logik(en) der Abstraktion: Von der Substanz zur Funktion

Mit ‚the poetry of logical ideas' sind wir also unbestreitbar nahe an einer Diskussion der mathematischen Moderne in künstlerischer Hinsicht, die durch eine erneute Untersuchung der Neigung zur Gesamtheit in Hilberts Programm und seinen

[7] Wenn man über die Gesamtausrichtung der modernen Mathematik und des Gesamtkunstwerks nachdenkt, könnte man natürlich hinzufügen, die Behauptung, dass Hilberts Programm in seinem Versuch, eine methodologische Kohärenz in der gesamten Mathematik zu etablieren, zur Fragmentierung anregt, spiegle in vielerlei Hinsicht den etwas paradoxen Status des Gesamtkunstwerks selbst wider. In der Tat haben Denker wie Adorno die Notwendigkeit der Fragmentierung in der Komposition des Ganzen hervorgehoben, indem sie das Gesamtkunstwerk als dasjenige darstellten, das für immer mit der Fragmentierung verschmolzen ist, der es entgegenzuwirken versucht (Adorno, 1952).

[8] In der Tat sind Hausdorff und Noether in den letzten Jahren Gegenstand einer verspäteten wissenschaftlichen Aufmerksamkeit in der Geschichte der Mathematik geworden (z. B. Koreuber, 2015; Rowe und Koreuber 2020; Rowe, 2021; Brieskorn und Purkert, 2024), und LeserInnen sind eingeladen, diese zeitgemäßen Quellen zu konsultieren, um die notwendigerweise kursorische Diskussion weiter zu verfeinern.

vorgeschlagenen Werkzeugen möglich geworden ist. Was genau ist jedoch die Natur der Logik, die ‚the poetry of logical ideas' ausmacht? Nachdem wir oben festgestellt haben, dass die Sprache der modernen Mathematik in erster Linie eine *abstrakte* Sprache ist, da sie sich nicht mehr auf konkrete Gegenstände bezieht, lohnt es sich zunächst, auf die Art und Weise einzugehen, wie die Abstraktion funktioniert. Aus mathematisch-philosophischer Perspektive, hält der Formalismus von Hilbert grundsätzlich an einem *nominalistischen* Verständnis von mathematischen Objekten fest, d. h. ‚Abstract terms, according to nominalists, are not the names of abstract objects. […] The instinctive nominalist holds that there are no numbers, only numerals' (Brown, 2010: 49). Anstatt Zahlen und Räumen besteht der wirkliche Gegenstand der Mathematik, so der Nominalist aus, ‚symbols, and words, all of them strictly meaningless — not in the sense of gibberish, but in the sense that there is nothing that they mean, or name, or to which they refer' (ebd.). Kurz gesagt, die moderne Mathematik, mit ihren ‚inhaltsleeren' strukturellen Begriffen, folgt einer logischen Form, die ein zielgerichtetes Gefühl der Bedeutungslosigkeit dieser Begriffe erzwingt.

Um diese Beziehung zwischen Logik, Abstraktion und Bedeutungslosigkeit etwas präziser zu begreifen, wenden wir uns den Ideen des neo-kantianischen ‚Zeitzeugen' der mathematischen Modernisierung zu, nämlich Ernst Cassirer und seiner Nuancierung von Logik und Begriffsbildung in *Substanzbegriff und Funktionsbegriff* (1910). Dieser Text, wie im Folgenden gezeigt wird, dient nicht nur dazu, die Feinheiten der nominalistischen Mathematik besser zu erklären, sondern liefert auch ein Arbeitsvokabular für die folgenden Vergleiche mit dem Dadaismus. Im Wesentlichen zeigt Cassirers Studie von 1910, dass Abstraktion und Logik keine monolithischen Einheiten sind: Es gibt Wissenssysteme, die außerhalb des klassischen aristotelischen logischen Paradigmas funktionieren. Die aufkommende strukturelle Mathematik im Anschluss an Hilberts *Grundlagen der Geometrie*, die sich zur Zeit von Cassirers Analyse noch in der Anfangsphase befand, ist ein solches Beispiel. Zu Beginn legt Cassirer die möglichen Unzulänglichkeiten der aristotelischen Logik der Abstraktion offen:

> Wie wir den Begriff des Baumes bilden, indem wir aus der Gesamtheit der Eichen, Buchen und Birken usw. die Menge der gemeinsamen Merkmale herausheben, so bilden wir in genau derselben Weise etwa den Begriff des ebenen Vierecks, indem wir eine Beschaffenheit isolieren, die sich im Quadrat und Rechteck, im Rhombus und Rhomboid, im symmetrischen und asymmetrischen Trapez und Trapezoid tatsächlich vorfindet und die sich hier unmittelbar anschaulich aufweisen läßt. Die bekannten Hauptsätze der Begriffstheorie ergeben sich auf dieser Grundlage von selbst. Jede Reihe vergleichbarer Objekte besitzt einen höchsten Gattungsbegriff, der alle die Bestimmungen, in welchen diese Objekte übereinkommen, in sich faßt; während

> anderseits innerhalb dieser höchsten Gattung durch solche Eigenschaften, die nur einem Teil der verglichenen Elemente zugehören, Artbegriffe verschieden hoher Stufe definiert werden (Cassirer, 1910: 6).

Begriffe werden also gebildet, indem man gemeinsame Eigenschaften isoliert und sie zu einem abstrakteren Oberbegriff erhebt. Dies ist nach Cassirer problematisch, weil diese höheren Kategorien nur auf *Teilen* einer gegebenen Menge von Objekten, auf Kosten ihrer jeweiligen Gesamtheit konstruiert werden, was an Friedrich Nietzsches Beobachtung des Baumblattbegriffs in *Über Wahrheit und Lüge im außermoralischen Sinne* erinnert, dass abgeleitete Begriffe zum ‚Gleichsetzen des Nichtgleichen' (Nietzsche, 1988: 879f), also zur *Lüge* werden. Die logische Schaffung eines ‚Begriffs' erzwingt also ein Martyrium des Sinns, das sich, wie Cassirer betont, selbst fortpflanzt:

> Die ‚Begriffspyramide', die wir kraft dieses Verfahrens aufbauen, endet nach oben hin in der abstrakten Vorstellung des ‚Etwas', einer Vorstellung, die eben in ihrem allumfassenden Sein, kraft dessen jeglicher beliebige Denkinhalt unter sie fällt, zugleich von jeder spezifischen Bedeutung gänzlich entleert ist. [...] So ist es dieser Grundbegriff der Substanz, auf den auch die rein logischen Theorien des Aristoteles dauernd bezogen bleiben (Cassirer, 1910: 7f).

Mit dieser ‚Begriffspyramide' wird die Höhe direkt proportional zum Ausmaß eines Entleerungsprozesses: Die neu geprägten Begriffe mit ihren kumulativen Abstraktionsgraden werden von aller Bedeutung ‚entleert'. ‚So gelangen wir hiermit', erklärt Cassirer, ‚zu keinem gültigen logischen Begriff, sondern zu einer nichtssagenden Wortverbindung' (ebd., 8), d. h. zu einer Bedeutungslosigkeit, die doch ‚in the sense of gibberish' verstanden werden könnte (Brown, 2010: 49). In einer scharfen Wendung laufen die Schritte, die gewöhnlich als klassische, aristotelische Logik der Abstraktion bezeichnet werden, letztlich auf eine Art *Unsinn* hinaus. Glücklicherweise bietet Cassirer schnell eine stärkere Alternative zu dem ‚einförmigen Schema der Abstraktion' (Cassirer, 1910: 18), das der aristotelischen Logik der Substanz eigen ist:

> Wird dies aber einmal anerkannt, so eröffnet sich damit zugleich für die Logik ein völlig neues Gebiet der Untersuchung. Der Logik des Gattungsbegriffs, die, wie wir sahen, unter dem Gesichtspunkt und der Herrschaft des *Substanzbegriffs* steht, tritt jetzt die Logik des mathematischen *Funktionsbegriffs* gegenüber (ebd., 27).

Mit Blick auf die gleichzeitigen Entwicklungen in der modernen Mathematik (es sei darauf hingewiesen, dass zu Cassirers Zeit die Axiomatisierung der Mengenlehre durch Zermelo im Jahr 1908 die bedeutendste Errungenschaft der arbeitenden Mathematiker sein würde), funktioniert dieser ‚Funktionsbegriff' ganz anders als der der ‚Substanz':

> Was der Theorie der Abstraktion Halt verleiht, ist somit lediglich der Umstand, daß sie die Inhalte, aus welchen der Begriff sich entwickeln soll, selbst nicht als unverbundene Besonderheiten voraussetzt, sondern sie bereits stillschweigend in der Form einer geordneten Mannigfaltigkeit denkt. Der ‚Begriff' aber ist damit nicht abgeleitet, sondern vorweggenommen: denn indem wir einer Mannigfaltigkeit eine Ordnung und einen Zusammenhang ihrer Elemente zusprechen, haben wir ihn, wenn nicht in seiner fertigen Gestalt, so doch in seiner grundlegenden Funktion bereits vorausgesetzt (ebd., 22).

Das übliche Verständnis von Begriffsbildung wird damit umgestoßen, indem der Begriff nicht am Ende eines semantisch verwässernden Abstraktionsprozesses steht, sondern am Anfang – ‚vorweggenommen' im Gegensatz zu ‚abgeleitet'. Cassirers Umkehrung bedeutet hier also ‚a decentering of the substance-centered logic' und setzt ein bereits abstraktes und ‚allgemeines Gesetz' (‚general law') voraus, durch das alle Elemente, die in seinen Bereich fallen, eine Bedeutung erhalten, die rein interrelational ist (Lofts, 2000: 37). In diesem Licht ist die Angleichung an die formalistische axiomatische Methode ziemlich transparent: Man postuliert ein ‚general law', d. h. begriffliche Strukturen, die durch eine Reihe von Axiomen untermauert werden, und diese beschreiben die Beziehungen zwischen beliebigen Objekten, die in ihr Aufgabengebiet kommen. Um an Einsteins ‚inhaltsleere Begriffsschemata' zu erinnern: Während in der substanzzentrierten Logik alle Begriffe entleert sind, ist der von der funktionalen Logik erzeugte allgemeine Begriff bereits inhaltsleer. Kurz gesagt, diese Begriffe werden nicht durch Abstraktion destilliert, sondern sind zuvor als abstrakt vorhanden — ‚strictly meaningless' von Anfang an (Brown, 2010: 49).

Cassirers sorgfältige Differenzierungen haben dazu beigetragen, jede Konzeption der modernen Mathematik von der klassischen aristotelischen Logik zu distanzieren und ihr etwas radikal Neues in der funktionalen Logik zuzuschreiben. ‚Das Anwendungsgebiet dieser Form der Logik,' setzt Cassirer fort, ‚kann aber nicht im Gebiet der Mathematik allein gesucht werden' (Cassirer, 1910: 22). Damit stellt Cassirer die zentrale These der Abhandlung von 1910 auf: Diese funktionale Logik wird also zur neuen potenziellen Grundlage für die wissenschaftliche Theorie im Allgemeinen. Er versucht, so Francesca Biagioli, die Struktur wissenschaftlicher Theorien aus einer *ganzheitlichen* Perspektive zu erklären (Biagioli, 2016: 45). Um die Frage der Totalisierung nicht aus den Augen zu verlieren, dient die axiomatische Methode mit ihren nominalistischen Grundlagen, ähnlich wie in Hilberts Programm, als Katalysator für die Vereinheitlichung aller Wissensformen. Während Cassirer die Gelehrten verschiedener wissenschaftlicher Bereiche aufforderte, die funktionale Logik auf ihr eigenes spezifisches Material anzuwenden, legt er jedoch auch einen Großteil seines eigenen erweiterten Projekts fest, denn der Text von 1910 wird zu einem Modell für seine spätere Philosophie der ‚symbolischen Formen' und seine Unterscheidungen zwischen den Bereichen der Kulturwissenschaften und der Naturwissenschaften (siehe Freudenthal, 2004; Bayer, 2008). Obwohl dies für die breitere Erforschung der Überschneidungen zwischen den Naturwissenschaften und den Geisteswissenschaften von Bedeutung ist, ist es für meine Zwecke hier wichtiger vorzuschlagen, dass Cassirer mit *Substanzbegriff und Funktionsbegriff* auch einen logikzentrierten Rahmen für die Untersuchung eines Bereichs bereitgestellt hat, den er wahrscheinlich nicht erwartet hätte, nämlich den Dadaismus des frühen 20. Jahrhunderts, in dem logisches Denken jeglicher Art *scheinbar* auf seinen erbittertsten Widerstand trifft.

Dada: Sind Namen Schall und Rauch?

Obwohl Dada laut Tristan Tzara ‚l'enseigne de l'abstraction' [‚das Wahrzeichen der Abstraktion'] ist, scheint der Versuch, Dada mit der oben genannten ‚Logik der Abstraktion' in einen Dialog zu bringen, fehlgeleitet, wenn man seine nebenstehenden Bemerkungen in ‚Manifeste Dada 1918' zur Logik betrachtet: ‚La logique est une complication. La logique est toujours fausse' [‚Die Logik ist eine Komplikation. Die Logik ist immer falsch'] (Tzara, 1918: 3). Veröffentlicht zuerst auf Französisch in *Dada 3* und später auf Deutsch in Richard Huelsenbecks *Dada Almanach* 1920 (im Folgenden zitiert), bringt Tzara in diesem Manifest die üblichen aufklärerischen Werkzeuge der Sinnstiftung auf einen Rekordtiefstand. Er fährt fort: ‚Sie zieht die Fäden der Begriffe, Worte, in ihrer formalen Äußerlichkeit, zu illusorischen Endpunkten und Zentren. Ihre Ketten töten, riesige Tausendfüßler, die die Unabhängigkeit ersticken' (Tzara, 1920: 127). Darüber hinaus scheint Tzara darauf bedacht zu sein, keinerlei Nutzen aus der Verbindung von Kunst und Kreativität mit der Logik zu ziehen; wenig charmant stellt er fest: ‚Mit der Logik verheiratet, würde die Kunst im Inzest leben, [...] und das Temperament würde zu einem mit Protestantismus geteerten Alptraum, einem Monument, einem Haufen fahlgrauer und schwerer Eingeweide' (ebd. 128). Vor diesem Hintergrund scheint es, als wäre die Umformulierung von Einsteins Satz in ‚poetry of logical ideas' die einzige mögliche Überschneidung, auf die wir bei diesem interdisziplinären Vergleich hoffen können.

Die übereifrige Assoziation des Dadaismus mit dem gänzlich Unlogischen ist jedoch in neueren Studien thematisiert worden, in welchen die entschlossene Position des Dadaismus in gewisser Weise als *antilogisch* umcharakterisiert worden ist. Während die beiden Negationen des Logischen ähnlich erscheinen, könnte man sagen, dass die Opposition eine Art Meuterei mit den Werkzeugen der Logik selbst beinhaltet, eine Subversion, die dazu dient, eine Art Antilogik zu erzeugen (Jones, 2014: 201f). Dies betrifft, so Joel Freeman, die Frage der Systematik: ‚Dada was in part consciously and in part unconsciously guided by a philosophical system', nur kein System, das ,a set of organising principles in a logical and ordered fashion' entfaltet (Freeman, 2006: 239). Sobald man Dada trotz seiner selbst als System denkt, wird man gleichzeitig gezwungen, den Begriff des Systems selbst zu überdenken (Freeman, 2006: 240). Dadas Übergriff auf die Logik bringt also eine Anti-Logik hervor, die dennoch partiell logisch ist, denn die Verachtung und der Spott der Systematik werden systematisch. Bleibt man bei der Hintergrundfrage der Totalisierung, so manifestiert sich in diesem Sinne eines übergreifenden Systems Dadas eigener Hang zur Gesamtheit, die sich über Formen und Medien ausbreitet – ein ,gedankliches Konstrukt übergeordneter Zusammenhänge' (Brock, 1983: 23). Dadas Agenda einer ,radikalen semiotischen Kriegsführung gegen das Zeichensystem der konventionellen, kommunikativen Sprache' [,radical semiotic warfare against the sign system of conventional, communicative language'] (Eysteinsson, 1992: 173) läuft also auf ein *Programm* hinaus. So wie Hilberts totalisierendes Programm auf eine neuartige Form der funktionalen Logik reduziert werden kann, so scheint auch Dadas Programm mit einer verworrenen Beziehung zur Logik verschmolzen zu sein. An dieser Stelle kommt der Schritt für diese Arbeit ins Blickfeld: Könnte die funktionale Logik des mathematischen Formalismus den rätselhaften, paradoxen und antilogischen Weisen ähneln, in denen Dada zu operieren scheint?

Wir erinnern uns daran, dass Hilberts formalistische Methoden, wie sie in den *Grundlagen der Geometrie* von 1899 dargestellt sind, auf eine reine Nominalisierung zurückgreifen. Man *benennt* elementare Begriffe, die die strukturellen Beziehungen zwischen beliebigen Objekten beschreiben. Diese benannten Begriffe sind ontologisch leer und jede Bedeutung, die sie besitzen, ist rein relational. Umgekehrt liegt die Frage des Namens und der Nominalisierung, wie Martin Puchner hilfreich feststellt, im Mittelpunkt des Dadaismus in größerem Umfang: ,the entire Dada program [...] is epitomized in Dada's very name' (Puchner, 2006: 136). Die Entstehung und der Zweck des Namens Dada war Gegenstand zahlreicher Debatten und Spekulationen; in der Tat haben viele Protagonisten des Zürcher Dada Anspruch auf die Anfänge des Namens erhoben, was zu unterschiedlichen Entstehungsgeschichten führte (Stoehr, 2001: 84). Eckard Bernstein und Dietmar Elger verwerfen zum Beispiel die Behauptungen von Tzara und Hans Arp, die einzigen Namensgeber zu sein, und halten Richard Huelsenbecks Erinnerung, dass Hugo Ball das Wort zufällig aus einem französisch-deutschen Wörterbuch entnommen hat und es sich um eine Babysprache für ein Pferd handelt, für die glaubwürdigste Erklärung (Bernstein, 2004: 168; Elger, 2004: 10). Angesichts dieses Netzes von Hörensagen ist es vielleicht plausibler, dass die Dadaisten sich einen kollektiven Scherz erlaubten, indem sie absichtlich in viele verschiedene Richtungen zeigten. Wenn es um die Bedeutung des Begriffs geht, was auch immer sein Ursprung sein mag, folgen die meisten Gelehrten dem vielleicht seltenen Moment der Offenheit von Tzara, wenn er erklärt: ‚*Dada bedeutet nichts.* […] Aus den Zeitungen erfährt man, daß die Kruneger den Schwanz einer heiligen Kuh: Dada nennen. Der Würfel und die Mutter in einer gewissen Gegend Italiens: Dada. Ein Holzpferd, die Amme, doppelte Bejahung im Russischen und Rumänischen: Dada' (Tzara, 1920: 118f). Dada, das in mehreren Sprachen unterschiedliche Bedeutungen hat, scheint so viele Definitionen zu haben, dass es nominell instabil wird und überhaupt keine Bedeutung mehr hat. Der Name wird sprichwörtlich zu Schall und Rauch, und so wird die Geschichte von Dada üblicherweise mit ‚Unlogik' oder ‚Unsinn' gleichgesetzt. Betrachtet man Tzaras Diskussion über den Namen Dada im Lichte von Cassirers logischen Formen genauer, werden die Operationen an der Basis des (Anti-) Programms des Dadaismus deutlich, und sie sind denen an der Basis des Hilbert'schen Programms viel näher, als es zunächst den Anschein hat.

Zur Veranschaulichung wollen wir noch einmal Tzaras bissige Erklärung ‚Dada bedeutet nichts' von oben betrachten. Eine bestimmte Anzahl von Objekten in der Welt wird mit dem Wort ‚Dada' bezeichnet: vom Penis (oder Schwanz) einer Kuh in der Sprache der Kru – einer ethnischen Gruppe, die in der heutigen Elfenbeinküste und Liberia beheimatet ist – bis hin zu einem russischen oder rumänischen doppelten Affirmativ. In Cassirers Taxonomie steigt dieser vereinheitlichende Begriff – ‚ein gemeinsames Merkmal' – nach aristotelischer Tradition zum übergeordneten ‚Gattungsbegriff' auf, der alle ursprünglichen Objekte umfasst. Dennoch ist nur eine bestimmte Eigenschaft auf Kosten jeder einzelnen Entität isoliert worden, und so ist der Begriff Dada von jeder ursprünglichen Bedeutung ‚entleert'. Nun wird Tzaras bissige Einschätzung einer Logik, deren ‚Ketten töten', weniger polemisch als erwartet, denn die klassische Logik zerstört tatsächlich den Sinn. Tzaras Erörterung des Namens ist also eigentlich ein recht logisch fundierter Nachweis dafür, dass die Begriffsbildung mittels der aristotelischen Logik in der Tat zu ‚illusorischen Endpunkten und Zentren' führt. Ähnlich wie Cassirer stellt Tzara einen Prozess der Begriffsbildung auf, der sich auf die Logik der Substanz konzentriert, nur um aufzuzeigen, dass dieser Prozess von Natur aus fehlerhaft ist. So bedeutsam dieser Befund auch ist – würde man sich mit dieser Schlussfolgerung begnügen, stützt man die vorgeschlagene Überschneidung zwischen einem Dada-Programm und Hilberts Programm auf eine Negation, d. h. es gibt eine gemeinsame Skepsis gegenüber der aristotelischen Logik, wobei Dada die Fehler aufdeckt und die moderne Mathematik nach einer Alternative arbeitet. Es bedarf also eines weiteren Schrittes, um eine konkretere Parität im Modus Operandi herauszuarbeiten, nämlich zu fragen: Gibt es so etwas wie einen Funktionsbegriff im Namen Dada?

Bezeichnenderweise sollte angemerkt werden, dass es sicherlich einen nicht-trivialen Unterschied gibt zwischen der Tatsache, dass nach einer semantischen Entleerung *im Endeffekt* nichts gemeint ist, und der Tatsache, dass von *vornherein* absichtlich nichts gemeint ist. Wie Brown in seiner Diskussion der mathematischen Nominalisierung betont hat, ist es nicht der Fall, dass mathematische Begriffe zu einer Art ‚gibberish' werden; sondern sie sind ‚strictly meaningless' und müssen so sein. Im Gegensatz zur Bedeutungsentleerung, die aus der substanzzentrierten Abstraktion folgt, wird das ‚hollow vessel' Dada von Anfang an im Sinne von ‚inhaltsleeren Begriffsschemata' gedacht; es kann völlig beliebig mit Inhalten gefüllt werden. Um welche Objekte es sich dabei handelt, ist irrelevant, und jede Bedeutung, die sie haben, kann nur interrelational ausgedrückt werden. Angesichts dessen ist es sicherlich auffällig, wenn Anne Umland beispielsweise den ‚deliberately nonsensical and multivalent name' Dada betont (Umland, 2008: 16), ein Punkt, der Richard Murphys Theoretisierung der Avantgarde widerspiegelt, wenn er erklärt: ‚[T]he very name of the group „dada" itself becomes an empty signifier [...]. This central term [...] could be thought of as a hollow vessel, and one which is receptive for any new contents one cares to fill it with' (Murphy, 2004: 73). In Wirklichkeit wird der Name Dada nicht von Bedeutung entleert, er wird nicht zu Schall und Rauch. Sondern er ist einfach leer, er ist schon Schall und Rauch von Anfang an, indem er nicht bedeuten soll, was ihn theoretisch ähnlich wie die ‚strictly meaningless' Begriffe des mathematischen Formalismus funktionieren lässt (Brown, 2010: 49). Um dies in Aktion zu sehen, könnten wir noch einmal zu Tzaras Aussage über die Bedeutungslosigkeit von Dada zurückkehren, und zwar mit einer neuen Perspektive. Zunächst einmal könnte die einfache Tatsache, dass die unverblümte Aussage ‚Dada bedeutet nichts' der semantischen Ausdünstung des Begriffs vorausgeht, bewusster sein, als es zunächst scheint. Während der Rest der Passage, wie ich oben angedeutet habe, einen substanzorientierten logischen Prozess vergeblich ablaufen lässt, ist es bemerkenswert, dass Tzara der Gültigkeit dieser vielfältigen Bedeutungen von Anfang an absolut keinen Glauben schenkt. Man denke zum Beispiel an die Formulierung, die von den anschaulicheren Bildern der Kuhschwänze und Holzpferde überlagert wird. Diese möglichen Zusammenhänge wurden einfach ‚aus den Zeitungen' entnommen, aus dem Medium der Masseninformation, das die Dadaisten als das verdächtigste und das dem bürgerlichen Empfinden innewohnende Medium ansahen, das die größte Verachtung verdient. Es ist kein Zufall, dass diese journalistischen Quellen ihre satirischen Cut-Out-Kompositionen bevölkern (siehe Biro, 2009: 88f.). Die Vorstellung, dass die Boulevardpresse der Zwischenkriegszeit mit ihrer eigenen reaktionären Agenda verlässliche Verbindungen zwischen dem Wort ‚Dada' und stabilen Referenten herstellen kann, ist nur ein Teil des subversiven Spiels der Dadaisten. Mit den unzähligen Bedeutungen, die unzuverlässigen Akteuren zugeschrieben werden, und einer nicht geringen Menge an Hörensagen, haben wir im Wesentlichen die willkürlichen Entscheidungen, die das ‚hollow vessel' füllen. Tzaras Erklärung ist daher nicht nur eine Demonstration dessen, wie die substanzzentrierte Logik uns letztlich täuscht; sie ist auch selbst eine Täuschung, die auch einen funktionszentrierten Begriff hervorbringt. Bemerkenswerterweise wäre ein eingefleischter mathematischer Formalist wie Hilbert, der sich bewusst ist, dass eine geometrische Ebene genauso gut ein Bierseidel sein könnte, somit am ehesten in der Lage, dem ‚Witz' zuvorzukommen.

Obwohl oben festgestellt wurde, dass der Name der operative Dreh- und Angelpunkt des gesamten Dada-Programms ist, wollen wir mit Blick auf die Frage nach totalisierenden Zielen kurz Bilanz ziehen, wie diese Funktionalität über den Namen selbst hinausgeht. In seiner kurzen Erörterung der modernen Kunst schlägt Mehrtens vor, dass der französische Experimentator Marcel Duchamp, die Galionsfigur der Pariser und später der New Yorker Variante des Dada, ‚vielleicht der mathematischen Moderne am nächsten kommt', denn seine Readymades ‚stehen durchaus in konzeptuellen Zusammenhängen, die mit geometrischen und numerischen Konzeptionen zu tun haben' (Mehrtens, 1990: 555). Mit der Funktion des Namens Dada, die exemplarisch für sein gesamtes Unternehmen ist – ‚a sort of pictorial nominalism', wie er selbst sagte – ‚Duchamp kept nothing of art but its name', der nur als ‚naked symbolic function' und ‚pure signifier' existiert (De Duve, 2005: 16). Während die Readymades in erster Linie mit Duchamp in Verbindung gebracht werden, wurde der Begriff auch zur Beschreibung ähnlicher Impulse im gesamten dadaistischen Spektrum verwendet, etwa für die gefundenen Materialien, Collagen und Fotomontagen von Hannah Höch und Raoul Hausmann, den Mitbegründern von Dada Berlin. So sind Hausmanns Plakatgedichte, wie Anne Schaffner feststellt, ‚radically devoid of semantic content and essentially self-referential' und verweisen letztlich ‚only to themselves' (Schaffner, 2006: 19). Mit einer Beschreibung, die in Hilberts Formalismus oder Noethers ‚begrifflicher Mathematik' keineswegs fehl am Platz wäre, schließt sie: ‚They do not represent an absent object any more, they do not fill an empty presence acting as *Stellvertreter* [...] for the real thing, but refer only to their own material essence, to their visual and their acoustic qualities' (Schaffner, 2006: 122). Mit dieser letzten Wendung wurde die angestrebte operative Parität zwischen moderner Mathematik und Dadaismus, die wiederum einen programmatischen Hang zur Gesamtheit in beiden Bereichen ermöglicht, ans Licht gebracht. So prägnant diese Gesten in Richtung einer breiteren Charakterisierung des Dadaismus auch sein mögen, so ist doch klar, dass, wenn von einem totalisierenden Dada-Programm die Rede sein kann, dieses auf einer nominalisierenden (Anti-)Logik der Abstraktion beruht, ähnlich wie das benachbarte Programm von Hilberts formalistischem mathematischen ‚Paradies'.

Schlussbetrachtung: Wahnsinn und Genie

In diesem Artikel wollte ich den gemeinsamen Hang zur Gesamtheit in der Kultur der Avantgarde und der modernen Mathematik als Sprungbrett für einen sinnvolleren und fruchtbareren Austausch zwischen zwei gleichzeitigen ‚Modernismen', die selten zusammen betrachtet werden, positionieren. Indem die Feinheiten von David Hilberts Totalisierungsprogramm – das den größten Teil der mathematischen Entwicklung der Epoche in Deutschland ausmacht – unter die Lupe genommen wurden, konnte ein axiomatischer Prozess als dessen erkenntnistheoretische Grundlage identifiziert werden. Diese nominalistische Methode, so wurde gezeigt, entspricht einem Modus der Begriffsbildung, der sich, so Cassirer, auf eine funktionale Logik im Gegensatz zu einer aristotelischen Logik der Abstraktion von der Substanz stützt. Diese Nuancierung der logischen Formen öffnete dann den notwendigen Kanal, durch den ein konsequenterer Kontakt mit den Dada-Dissidenten hergestellt werden konnte, denn es wurde möglich, den bekannten Dada-Angriff auf die Vernunft, die Rationalität und die bürgerliche Sensibilität in etwas umzuwerten, das Hilberts formalistischen Innovationen ziemlich ähnlich ist. Insofern hat dieser Beitrag in erheblichem Maße Forcers Aufforderung an die Wissenschaft bestätigt: ‚to read Dada in combination with unlikely new fields […] being prepared to go out on a limb if evidence and findings support it' (Forcer, 2017: 3). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass einige Grundsätze des Gesamtkunstwerks dazu beigetragen haben, Wege aufzuzeigen, wie Dada positiv mit Ausdrucksformen interagieren kann, die oberflächlich betrachtet sehr unterschiedlich aussehen – ein unerwartetes Moment der Überschneidung, das zwar recht lokal begrenzt ist, aber nichtsdestotrotz eine Herausforderung für anhaltende wissenschaftliche und gesellschaftliche Wahrnehmungen darstellt, die Mathematik und Kunst in einer unnatürlichen und unnötigen Distanz zueinander halten. ‚But mathematics is the sister, as well as the servant, of the arts and is touched with the same madness and genius', schlägt der Differentialtopologe Marston Morse (Morse, 1959: 55) vor. Schlussfolgernd könnte man hinzufügen, dass das angebliche Genie der abstrakten Mathematik und der angebliche Wahnsinn des Dadaismus in der Tat ein und dasselbe sein könnten.

Danksagung

Das Forschungsprojekt, aus dem dieser Artikel hervorgegangen ist, wurde vom Irish Research Council finanziert.

Interessenkonflikte

Der Autor hat keine konkurrierende Interessen zu erklären.

Verweise

Adamowicz, E und **Robertson, E** 2011 *Dada and Beyond: Dada Discourses, Volume 1*. Amsterdam und New York: Rodopi.

Adorno, T 1952 *Versuch über Wagner*. Berlin und Frankfurt a. M.: Suhrkamp.

Albrecht, A 2008 Mathematische und ästhetische Moderne: Zu Robert Musil's Essay 'Der mathematische Mensch'. *Scientia Poetica*, 12, S. 218–251.

Bayer, T 2008 *Cassirer's Metaphysics of Symbolic Forms: A Philosophical Commentary*. New Haven: Yale University Press.

Ben-Menahem, J 2006 *Conventionalism: From Poincare to Quine*. Cambridge: Cambridge University Press.

Berchtold, F 2016 *Geometrie: Von Euklid bis zur hyperbolischen Geometrie mit Ausblick auf angrenzende Gebiete*. Berlin: Springer.

Bernstein, E 2004 *Culture and Customs of Germany*. Connecticut: Greenwood Press.

Biagioli, F 2016 *Space, Number, and Geometry from Helmholtz to Cassirer*. Cham: Springer International.

Biro, M 2009 *The Dada Cyborg: Visions of the New Human in Weimar Berlin*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Blåsjö, V 2017 *Transcendental Curves in the Leibnizian Calculus*. Cambridge, MA: Elsevier.

Blumenthal, O 1935 *Lebensgeschichte* in *D. Hilbert Gesammelte Abhandlungen*, Band 3. Berlin: Julius Springer,.

Brieskorn, E und **Purkert, W** 2024 *Felix Hausdorff: Mathematician, Philosopher, Man of Letters*. Basel: Birkhäuser.

Brits, B 2018 *Literary Infinities: Number and Narrative in Modern Fiction*. London: Bloomsbury.

Brock, B 1983 Der Hang zum Gesamtkunstwerk. In: Szeemann, H (Hg.) *Der Hang zum Gesamtkunstwerk: Europäische Utopien seit 1800*. Frankfurt am Main: Sauerländer.

Brown, J. R. 2010 *Philosophy of Mathematics: A Contemporary Introduction to the World of Proofs and Pictures*. London und New York: Routledge.

Cassirer, E 1910 *Substanzbegriff und Funktionsbegriff*. Berlin: Verlag von Bruno Cassirer.

Corry, L 2008 Development of the Idea of Proof. In: Gowers, T et al. (Hg.) *The Princeton Companion to Mathematics*. Princeton und Oxford: Princeton University Press, S. 129–142.

De Duve, T 2005 *Pictorial Nominalism: On Marcel Duchamp's Passage from Painting to the Readymade.* Minneapolis: University of Minnesota Press.

Einstein, A 1921 *Geometrie und Erfahrung*. Berlin: Springer Verlag.

Einstein, A 1935 The late Emmy Noether, *The New York Times*, 4. Mai 1935, S. 12.

Elger, D 2004 *Dadaism.* London und Köln: Taschen.

Engelhardt, N 2019 *Modernism, Fiction and Mathematics.* Edinburgh: Edinburgh University Press.

Euklid and **Thaer C** (Hg.) 1991 *Die Elemente*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Eves, H 1997 *Foundations and Fundamental Concepts of Mathematics.* New York: Dover.

Eysteinsson, A 1992 *The Concept of Modernism.* Ithaca und London: Cornell University Press.

Ferreirós, J 2008 The Crisis in the Foundations of Mathematics. In: Gowers, T et al. (Hg.) *The Princeton Companion to Mathematics.* Princeton und Oxford: Princeton University Press, S. 142–156.

Forcer, S 2017 *Dada as Text, Thought and Theory.* Cambridge und New York: Legenda.

Freeman, J 2006 Ernst Bloch und Hugo Ball: Toward an Ontology of the Avant-Garde. In: Jones, D (Hg.) *Dada Culture: Critical Texts on the Avant-Garde.* Amsterdam und New York: Rodopi, S. 223–253.

Frege, G 1976 *Briefwechsel*. G. Gabriel et al. (Hg.). Hamburg: Meiner.

Freudenthal, G 2004 The Missing Core of Cassirer's Philosophy: Homo Faber in Thin Air. In: Hamlin, C et al. (Hg.) *Symbolic Forms and Cultural Studies: Ernst Cassirer's Theory of Culture.* New Haven: Yale University Press, S. 203–226.

Friedman, M 2015 Kant on Geometry and Experience. In: De Risi, V (Hg.) *Mathematizing Space: The Objects of Geometry from Antiquity to the Early Modern Age.* Cham: Springer International, S. 275–309.

Gray, J 2008a Geometry. In: Gowers, T et al. (Hg.) *The Princeton Companion to Mathematics.* Princeton und Oxford: Princeton University Press, S. 83–95.

Gray, J 2008b *Plato's Ghost: The Modernist Transformation of Mathematics.* Princeton, NJ: Princeton University Press.

Hage, E 2020 *Dada Magazines: The Making of a Movement.* London und New York: Bloomsbury.

Harrington, A 1996 *Reenchanted Science. Holism in German Culture from Wilhelm II to Hitler*. Princeton und New York: Princeton University Press.

Heath, T (Hg.) 1968 *The Thirteen Books of the Elements.* Cambridge: Cambridge University Press.

Hilbert, D 1899 *Grundlagen der Geometrie.* Leipzig: Teubner.

Hilbert, D 1926 Über das Unendliche. *Mathematische Annalen,* 95(1), S. 161–190.

Jones, D 2014 *Dada 1916 in Theory: Practices of Critical Resistance.* Liverpool: Liverpool University Press.

Koreuber, M 2015 *Emmy Noether, die Noether-Schule und die moderne Algebra: Zur Geschichte einer kulturellen Bewegung.* Berlin und Heidelberg: Springer.

Krämer, O 2011 Intention, Korrelation, Zirkulation. Zu verschiedenen Konzepten der Beziehung zwischen Literatur, Wissenschaft und Wissen. In: Köppe, T (Hg.) *Literatur und Wissen. Theoretisch-methodische Zugänge*. Berlin und New York: De Gruyter, S. 77–115.

Lofts, S G 2000 *Ernst Cassirer: A "Repetition" of Modernity*. Albany: State University of New York Press.

Mehrtens, H 1987 The Social System of Mathematics and National Socialism: A Survey. *Sociological Inquiry*, 57(2), S. 159–182.

Mehrtens, H 1990 *Moderne-Sprache-Mathematik: Eine Geschichte des Streits um die Grundlagen der Disziplin und des Subjekts formaler Systeme*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.

Morse, M 1959 Mathematics and the Arts. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 15(2), S. 55–59.

Murphy, R 2004 *Theorizing the Avant-Garde: Modernism, Expressionism, and the Problem of Postmodernity*. Cambridge: Cambridge University Press.

Netz, R 2004 *The Shaping of Deduction in Greek Mathematics: A Study in Cognitive History*. Cambridge: Cambridge University Press.

Nietzsche, F 1988 Über Wahrheit und Lüge im außermoralischen Sinne. In: Colli, G et al. (Hg.) *Friedrich Nietzsche: Sämtliche Werke, Kritische Studienausgabe, Bd 1*. München, Berlin und New York: Deutscher Taschenbuch Verlag und Walter de Gruyter, S. 873–890.

Puchner, M 2006 *Poetry of the Revolution: Marx, Manifestos, and the Avant-Gardes*. Princeton und Oxford: Princeton University Press.

Rowe, D E 2021 *Emmy Noether – Mathematician Extraordinaire*. Cham: Springer International.

Rowe, D E und **Koreuber, M** 2020 *Proving it Her Way: Emmy Noether, a Life in Mathematics*. Cham: Springer International.

Schaffner, A K 2006 Assaulting the Order of Signs. In: Jones, D (Hg.) *Dada Culture: Critical Texts on the Avant-Garde*. Amsterdam und New York: Rodopi, S. 117–135.

Schappacher, N 2010 Rewriting Points. In: Bhatia, R (Hg.) *Proceedings of the International Congress of Mathematicians 2010*. Singapore: World Scientific, S. 3258–3291.

Schnapper, E 1979 The Three Crises in Mathematics: Logicism, Intuitionism and Formalism. *Mathematics Magazine*, 52(4), S. 207–216.

Shapere, D 1984 *Reason and the Search for Knowledge: Investigations in the Philosophy of Science*. Dordrecht, Boston und Lancaster: D. Reidel Publishing Company.

Shapiro, S 1997 *Philosophy of Mathematics: Structure and Ontology*. Oxford: Oxford University Press.

Sheppard, R 2000 *Modernism – Dada – Postmodernism*. Evanston: Northwestern University Press.

Snow, C P 1959 *The Two Cultures and the Scientific Revolution*. Oxford: Oxford University Press.

Stoehr, I R 2001 *German Literature of the Twentieth Century: From Aestheticism to Postmodernism*. New York: Camden House.

Szeemann, H (Hg.) 1983 *Der Hang zum Gesamtkunstwerk: Europäische Utopien seit 1800*. Frankfurt am Main: Sauerländer.

Tabak, J 2004 *Geometry: The Language of Space and Form*. New York: Facts on File.

Tapp, C 2013 *An den Grenzen des Endlichen: Das Hilbertprogramm im Kontext von Formalismus und Finitismus*. Berlin und Heidelberg: Springer.

Taylor, S 2024 *Mathematics in Postmodern American Fiction.* Cham: Palgrave Macmillan.

Tubbs, R 2014 *Mathematics in Twentieth-Century Literature and Art*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Tzara, T 1918 Manifeste Dada 1918. In: Tzara, T (Hg.) *Dada 3*. Zürich: Administration Mouvement Dada.

Tzara, T 1920 Manifest Dada 1918. In: Huelsenback, R (Hg.) *Dada Almanach.* Berlin: Erich Reiss.

Umland, A 2008 Dada in the Collection: A Permanent Paradox. In: Umland, A et al. (Hg.) *Dada in the Collection of the Museum of Modern Art*. New York: The Museum of Modern Art New York, S. 14–41.

Vinzenz, Alexandra 2018 *Vision ›Gesamtkunstwerk‹: Performative Interaktion als künstlerische Form*. Bielefeld: transcript.