

Lore Knapp, Patrick Kurzeja, Christoph Michels (Hg.)

Alles Netzwerk?

Ein wissenschaftstheoretischer Vergleich



Nordrhein-Westfälische Akademie der
Wissenschaften und der Künste

Alles Netzwerk?

Ein wissenschaftstheoretischer Vergleich

Lore Knapp / Patrick Kurzeja / Christoph Michels (Hg.)

Die Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste pflegt den wissenschaftlichen und künstlerischen Gedankenaustausch mit Vertretern des politischen, wirtschaftlichen und künstlerischen Lebens und berät die Landesregierung bei der Förderung von Wissenschaft und Kunst.

Das Junge Kolleg ist ein Ort für freies Forschen und den disziplinübergreifenden Dialog. Seit 2006 fördert die Akademie damit auch den Nachwuchs in Nordrhein-Westfalen. Das Junge Kolleg steht Promovierten sowie herausragenden künstlerischen Talenten offen, die nicht älter als 36 Jahre sind. Die Aufnahme ist eine wichtige Auszeichnung. Die finanzielle Unterstützung schafft Freiraum für die eigene Arbeit.

Herausgegeben von der Nordrhein-Westfälischen Akademie
der Wissenschaften und der Künste

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

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

Nordrhein-Westfälische Akademie
der Wissenschaften und der Künste
Palmenstraße 16
40217 Düsseldorf

Internet:

www.awk.nrw

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk sowie einzelne Teile desselben sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Verlages nicht zulässig.

Printed in Germany.

Gestaltung:

Oktober Kommunikationsdesign GmbH

Redaktionsschluss:

April 2025

ISBN 978-3-00-078328-9

Inhalt

Einleitung
Lore Knapp / Christoph Michels..... 7

I. Künstliche neuronale Netzwerke als Forschungsinstrument

Künstliche neuronale Netzwerke
Steffen Freitag 17

II. Quantitative Netzwerkanalyse

Netzwerke in der Stadterneuerungsplanung:
Interdisziplinäre Herausforderungen und Potenziale ihrer Analyse
Carola Neugebauer / Patrick Kurzeja..... 39

Netzwerkanalyse in der Geschichtswissenschaft am Beispiel
von Bedas *Historia Ecclesiastica Gentis Anglorum*
Sílvia Dahmen 63

III. Netzwerkmetaphern und -theorien

Das menschliche Gehirn.
Netzwerkarchitektur, Hirnkarten und Simulation
Kai Kiwitz / Katrin Amunts..... 83

Strukturelle, funktionale und effektive Konnektivität. Anregungen aus der Neurowissenschaft für die Literaturtheorie <i>Lore Knapp</i>	93
--	----

Das Potenzial relationaler Deutungsansätze in der Geschichtswissenschaft am Beispiel der Nobilität der Römischen Republik <i>Jan-Markus Kötter</i>	107
---	-----

Networks and Musical Notation. A Conversation <i>Aya Aoshima / Lea Letzel</i>	129
--	-----

IV. Podiumsdiskussion

Podiumsdiskussion des Symposiums „Alles Netzwerk?“	163
--	-----

V. Epilog

How to network like you really mean it <i>Ale Bachlechner</i>	179
--	-----

Einleitung

Lore Knapp / Christoph Michels

Annähernd 72 Millionen Treffer ergab am 4. Mai 2020 eine Google-Suche nach den Stichworten ‚Netzwerk in der Forschung‘. Das Suchergebnis illustriert, dass wir heutzutage, im Zeitalter von Internet und generativer Intelligenz, nicht nur im Alltag ständig mit Netzen beziehungsweise Netzwerken konfrontiert sind,¹ als Anwender und Kunde selbst Teil von ihnen werden, sondern auch in welchem Ausmaß ‚Netzwerk‘ in den Wissenschaften zu einem Schlüsselbegriff avanciert ist. Nicht nur bilden Forscherinnen und Forscher regionale, nationale und internationale wissenschaftliche Netzwerke und tauschen sich in diesen aus. Vielmehr sind ‚Netze‘ und ‚Netzwerke‘ selbst zum Forschungsgegenstand oder zum Forschungsinstrument geworden.

In den vergangenen Jahrzehnten haben Netzwerke und Netzwerktheorien Wissenschaftler:innen aus ganz verschiedenen Disziplinen in stark zunehmendem Maße bei ihrer Forschung inspiriert.² Dahinter stehen freilich grundsätzlich verschiedene und verschieden weitreichende Vorstellungen und Konzepte von den Begriffen ‚Netz‘ beziehungsweise ‚Netzwerk‘ (etwa eng graphentheoretisch oder allgemein metaphorisch), denen vom ‚semantischen Kern‘ des Wortfeldes (Fischernetz, Spinnennetz etc.) etwas Dingliches, Konstruiertes zu eigen ist.³ Einige Schlaglichter mögen hier genügen: Netzwerkkonzepte helfen bei der Optimierung von Verkehrswegen, dienen der Erforschung der Finanzwelt, der Gesetzmäßigkeiten bei der Verbreitung von Krankheiten ebenso wie von Ideen. Informatikerinnen suchen nach Beschreibungsmöglichkeiten für das Verhalten programmierter Bots in sozialen Netzwerken.⁴ Mathematiker visualisieren Wahrnehmungsmuster chinesischer Schriftzeichen für Tiere in Netzform.⁵ Betriebswirtschaftler analysieren Unternehmens- und Produktionsnetzwerke. Physikerinnen, Ingenieurinnen und Ingenieure entwerfen künstliche neuronale Netze basierend auf den biologischen Vorgängen im menschlichen Gehirn. Die sozialwissenschaftliche Netzwerkforschung schließlich nimmt die komplexen Beziehungen und Interaktionen von Menschen in den Blick.

Das letztgenannte Forschungsfeld begann sich seit den 1930er-Jahren als empirische, mittlerweile äußerst vielgestaltige Arbeitsmethode soziolo-

gischer Praxis ausdifferenzieren und wirkte impulsgebend für die Übernahme des Netzwerkbegriffs in andere Wissenschaftsdisziplinen.⁶ Nicht zuletzt dank immer leistungsfähigerer Hard- und Software und immer größerer zur Verfügung stehender Datenmengen haben sich seit den anfangs maßgeblich auf soziometrische Fragestellungen konzentrierten Ansätzen auch neue Zugänge ergeben. In den letzten Jahrzehnten wurden ganz verschiedene Theorien entwickelt, und die Netzwerkforschung bedient sich eines Ensembles unterschiedlichster Methoden. So wurden etwa auch unbelebte Objekte in die relationalen Netzwerke integriert und können nach Bruno Latours einflussreicher Akteur-Netzwerk-Theorie⁷ gar als Akteure auftreten. Die ‚soziale Netzwerkanalyse‘ ist dabei intensiv von anderen Disziplinen, wie etwa den verschiedenen historischen Wissenschaften, rezipiert worden,⁸ wobei ‚Vernetzung‘ sicher nicht erst für die Moderne, also die Zeit seit dem 18. Jahrhundert, als „Leitmetapher“ von Kultur-, Wissenschafts- und Gesellschaftsentwicklung zu sehen ist.⁹ Als Folge des Methodentransfers sind Netzwerkkonzepte in manchen Bereichen zu einem selbstverständlichen Teil des Theoriebaukastens geworden und erscheinen im Moment fast allgegenwärtig.¹⁰ Sie reichen von losen Konzepten, die als Metaphern für verschiedene Formen von Konnektivität verwendet werden, bis zu mathematisch komplexen Vorhersagen menschlichen Verhaltens. Angesichts der Vielgestaltigkeit der Konzepte, ihrer wissenschaftlichen ‚Karriere‘ und des potenziellen Erkenntnisgewinns überrascht es nicht, dass sich etwa 2016 eine stark soziologisch geprägte „Deutsche Gesellschaft für Netzwerkforschung“ gegründet hat, um „den Kontakt zwischen den Forschern und Praktikern aus unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen und ihren Anwendungskontexten innerhalb der Netzwerkforschung zu fördern“,¹¹ und sich neu gegründete Zeitschriften speziell diesem Forschungsfeld widmen.¹² Gleichzeitig zeigt sich indes die Notwendigkeit einer kritischen Reflexion der Anwendbarkeit des Netzwerkbegriffs als kulturwissenschaftliches Beschreibungsinstrument, gehört er doch zu den Konzepten, die gewissermaßen erst erzeugen, was sie erkennen.¹³

Der vorliegende Band kann dem Thema „Netzwerk“ insofern kaum umfassend gerecht werden. Er verfolgt jedoch einen eigenen, transdisziplinären und multiperspektivischen Ansatz, die sich aus seinen Ursprüngen erklärt. Der Band ist aus den methodisch-konzeptionellen Diskussionen der Arbeitsgruppe ‚Netzwerke‘ des Jungen Kollegs der Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste hervorgegangen – in sich gewissermaßen auch ein Netzwerk. Das Junge Kolleg wurde 2006 zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses aller Fachrichtungen in

Nordrhein-Westfalen gegründet. Es bietet den Mitgliedern eine interdisziplinäre Plattform zum Austausch und zur gemeinsamen Erarbeitung gesellschaftlich und wissenschaftlich relevanter Fragen. Konkret bildet ein von der AG organisiertes Symposium „Alles Netzwerk?“ den Grundstein des Bandes, das sich mit dem Mehrwert und den Perspektiven der disziplinübergreifenden Arbeit mit Netzwerken beschäftigte. Es fand am 8. März 2019 in der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste statt. Der vom Symposium angestrebte wissenschaftstheoretische Austausch mündete in eine hier abgedruckte Podiumsdiskussion, in der die Chancen und Herausforderungen sowie die disziplinären Grenzen und Möglichkeiten des Arbeitens an und mit Netzen reflektiert wurden. Wir danken Dr. Carola Neugebauer für die Organisation der Transkription der Podiumsdiskussion. Wichtige Anregungen haben wir im Austausch mit den früheren Mitgliedern des Netzwerks Dr. John Kettler, Prof. Dr. Julia Kowalski und Prof. Dr. Alexander Scheuch sowie bei einem eintägigen Arbeitstreffen gewonnen, für das die AG ‚Netzwerke‘ des Jungen Kollegs der Düsseldorfer Akademie im Dezember 2019 bei der AG ‚Network Science‘ der Hamburger Akademie der Wissenschaften im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf zu Gast war.

Bei einer derartig großen Bandbreite an Wissenschaften, wie sie sich in diesem Band präsentiert, werden Unterschiede in den Voraussetzungen, Methoden und Zielen deutlich. Die hier gesammelten Beiträge werden nach drei Rubriken geordnet präsentiert. Wir unterscheiden zwischen der Verwendung künstlicher neuronaler Netzwerke als Forschungs- und Vorhersageinstrument (Teil I), der quantitativen Netzwerkanalyse (Teil II) und der beschreibenden Arbeit an und mit Netzwerkmetaphern und -theorien (Teil III).

Zu Teil I: Die wissenschaftliche Beschäftigung mit künstlichen neuronalen Netzwerken erfolgt parallel zur Ausbreitung des *Deep Learning* mittels der Rechenkapazitäten künstlicher Netzwerke in der Industrie, wie es zum Beispiel für die Entwicklung der ‚Intelligenz‘ von Videokameras verwendet wird. Der Ausbau künstlicher Netzwerke in der Hirnforschung oder auch im Bauingenieurwesen geht ähnlich anwendungsbezogen vor, indem die Funktion von Neuronen und Synapsen oder auch die Stärke von Böden unter Berücksichtigung einer so großen Menge von Faktoren berechnet wird, dass diese Berechnungen auf die besondere Rechenleistung künstlicher Netzwerke angewiesen sind, die gleichzeitig Wissen über die berechneten Sachverhalte generieren. So stehen das große Potenzial, aber auch die Grenzen eines leistungsfähigen Werkzeuges im Mittelpunkt des Beitrags von Steffen Freitag, der als Bauingenieur künstliche neuronale Netze als biologisch motivierte Netzwerke vorstellt. Die Funktion der neuronalen Netze besteht darin,

Zusammenhänge zwischen Daten zu erlernen und daraus zuverlässige Prognosen abzuleiten. Die Anwendungsmöglichkeiten solcher Netze im Fachgebiet Strukturmechanik illustriert er an zwei Beispielen, mahnt jedoch ebenso die Grenzen der Anwendung an. Die Prognosequalität kann etwa durch Lernen von Abhängigkeiten, die zufällig in den Lerndaten vorhanden sind, eingeschränkt werden, eine Gefahr stellt somit blindes Vertrauen in die Prognosen ohne systematische Testung dar.

Zu Teil II: Davon zu unterscheiden sind ebenfalls auf der Rechenleistung von Computern basierende Netzwerkanalysen, die statistische Ergebnisse erzielen. Verschiedene Ansätze zur Analyse funktionaler Netzwerke führen den Ingenieur Patrick Kurzeja und die Stadtplanerin Carola Neugebauer zusammen. Ihr Untersuchungsgegenstand sind die verschiedenen Akteure zweier Städtebauprojekte in Bonn, das Viktoriakarree und der Bahnhofsvorplatz. Die konfliktreichen Diskussionen zwischen Vertretern aus Stadtverwaltung, Politik, Privatwirtschaft und Zivilgesellschaft um diese Projekte werden sowohl mithilfe qualitativer sozialwissenschaftlicher Methoden als auch mit mathematisch formalisierter und graphenbasierter Netzwerkanalyse hinsichtlich der Frage nach den Ebenen, Formen und Einflussgefällen bei Interaktion und Entscheidung dargestellt. Die Kombination dieser verschiedenen Ansätze bietet einen Erkenntnisgewinn für die Planungswissenschaften. Der Physiker Sílvio Dahmen erkennt in seinem Beitrag, dass die große Zahl von Akteuren, die über mehrere Jahre hinweg an historischen Ereignissen beteiligt sind, auch deren Analyse zu einer schwierigen Aufgabe macht. Man kann die Geschichte von dem Standpunkt der ‚Great-Man-Theorie‘ betrachten: Geschichte sei maßgeblich von großen Persönlichkeiten beeinflusst und geleitet, die spezifische Führungsqualitäten besitzen. Trotz der methodologischen Anziehungskraft dieser Idee – da man Geschichte als Resultat des Wirkens von einer kleinen Zahl ‚besonderer‘ Menschen greifbar macht – lässt diese Theorie die Komplexität menschlicher Beziehungen außer Acht. In den letzten Jahrzehnten ist der Geschichtsforschung indes bewusst geworden, dass Netzwerke ein gut fundiertes und zuverlässiges Werkzeug für die Analyse komplexer Ereignisse bilden. Die Vernetzung Hunderter Akteure kann mithilfe mathematischer Modelle verstanden und analysiert werden, womit die Anwendung von Netzwerkberechnungen in der Geschichtswissenschaft ein logischer nächster Schritt ist. Anhand eines Beispiels, nämlich der *Historia Ecclesiastica Gentis Anglorum (Kirchengeschichte des Englischen Volkes)* des angelsächsischen Mönchs Beda, des Ehrwürdigen, wird diskutiert, wie die Netzwerktheorie uns hilft, ein neues Licht auf die Relevanz der Akteure zu werfen; insbesondere auf das Wirken von Frauen, die bis zum heutigen Zeitpunkt ignoriert wurden.

Zu Teil III: Die besondere fachliche Breite des Denkens mit Netzwerkmetaphern und -theorien zeigt sich im dritten Teil, in dem sowohl biologisch als auch soziologisch fundierte Netzwerkmodelle zur Grundlage genommen werden, um Sachverhalte zu beschreiben und zu analysieren. Am Rande werden dabei auch neue theoretische Ansätze zur Bestimmung von Netzwerken entwickelt. So beleuchten Kai Kiwitz und Katrin Amunts in ihrem neurowissenschaftlichen Beitrag die strukturelle und funktionelle Organisation des menschlichen Gehirns, das als überaus komplexes und keineswegs zufälliges ‚Netzwerk aus Netzwerken‘ beschrieben werden kann. Kiwitz und Amunts skizzieren Ergebnisse und Perspektiven jüngerer Modellierungs- und Simulationstechniken. Obgleich die Nervenzellen des Gehirns und ihre Verbindungen schon lange Gegenstand intensiver Forschung sind, haben es neuere Methoden – darunter auch die Einbindung netzwerktheoretischer Konzepte aus der Mathematik und künstlicher neuronaler Netzwerke – vermocht, den Bau und die Funktionsweise des Gehirns wesentlich zu erhellen. Die gewonnenen Erkenntnisse sind jenseits der Grundlagenforschung auch für Diagnostik und Therapie von Gehirnerkrankungen vielversprechend wie auch für die Entwicklung neuroinspirierter Technologien. Die Literaturwissenschaftlerin Lore Knapp widmet sich der wachsenden Bedeutung von Netzwerkforschung in ihrem Fach und zeigt, wie quantitative Methoden, soziologische Theorien und metaphorische Netzwerkbegriffe nebeneinander verwendet werden. Ausgehend vom metaphorischen Wortgebrauch bietet es sich zur näheren Bestimmung von Netzwerken zu fragen an, wie deren Struktur und Funktion in der jeweiligen wissenschaftlichen Fragestellung von regelmäßigen Netzen abweichen. Die Definition der Knoten und Kanten der Netzwerke (bzw. der Elemente und Relationen) lässt sich in den meisten Theorien durch die Bedingung einer Aktivität der Elemente ergänzen. Im Zusammenhang dieser interdisziplinären Kontextualisierung wird das Potenzial einer Übertragung der neurowissenschaftlichen Unterscheidung struktureller, funktioneller und effizienter Konnektivität auf die Analyse literarischer Texte sowie des Literaturbetriebs demonstriert. Der Althistoriker Jan-Markus Kötter nähert sich mit den Fallbeispielen der Konsulwahl des Scipio Aemilianus 147 v. Chr. und der Ermordung Caesars 44 v. Chr. dem Wettbewerb römischer Aristokraten – und damit einem zentralen Aspekt der politischen Kultur der römischen Republik. Hierzu nimmt er Gedanken einer relationalen Soziologie auf. Als Knoten der zu untersuchenden Netzwerke versteht er daher nicht allein die Mitglieder der politischen Elite, sondern auch das ‚Volk‘, welches durch Wahl die in den Magistraturen manifestierten Ehrenränge zuteilte und damit letztlich den Leistungsadel

erst konstituierte. Kötter verlagert somit den Fokus von den Knoten auf die Kanten, also auf die Beziehungen zwischen individuellen und kollektiven Akteuren in bestimmten Situationen und die zugrunde liegenden Erwartungshaltungen. Die Künstlerin Lea Letzel und die Forscherin Aya Aoshima analysieren in einem dialogischen Beitrag Arbeiten von Takeo Shimizo, Earle Brown, Alexander Calder und Karlheinz Stockhausen sowie Inszenierungen von Lea Letzel mit Feuerwerk oder Skateboardern als Netzwerke, in denen Notationssysteme eine besondere Rolle spielen. ‚Netzwerk‘ wird hier auch als eine Reihe von Bedingungen verstanden, die Dinge, Materialien, Phänomene und Menschen verbinden, wobei die Bedingungen historisch bedingt sind, von den Akteuren des Netzwerks aber auch beeinflusst werden können.

Im Epilog des Bandes entwickelt die Performance- und Videokünstlerin Ale Bachlechner eine ganz anders gelagerte Perspektive auf das Thema ‚Netzwerke(n)‘. In Form eines fiktionalen Dialogs beleuchtet sie die Mechanismen (und die Abgründe) des Aufbaus und der Pflege sozialer Kontakt-netzwerke überhaupt und der Kulturszene im Speziellen. Der Text gewinnt mit seiner Einflechtung von theoretischen Perspektiven der Netzwerkforschung in das Gespräch auch die Qualität eines Kommentars zur Thematik des Bandes und spiegelt das Miteinander der Wissenschaften und der Künste in der Nordrhein-Westfälischen Akademie.

Anmerkungen

- 1 Vgl. etwa die populäre Einführung Albert-László Barabási: *Linked: The New Science of Networks*, Cambridge: Perseus, MA 2002. Zur ‚Netzwerkgesellschaft‘ des heutigen, von vernetzten Kapital- und Datenströmen gekennzeichneten ‚Informationszeitalters‘ siehe nun die ambivalente Bewertung von Manuel Castells: *Der Aufstieg der Netzwerkgesellschaft. Das Informationszeitalter. Wirtschaft. Gesellschaft. Kultur*, Bd. 1 (Neue Bibliothek der Sozialwissenschaften), 2. Aufl., Wiesbaden: Springer, 2017.
- 2 Vgl. beispielsweise Ruth Ahnert; Sebastian E. Ahnert: *Tudor Networks of Power*. Oxford 2023 sowie Ruth Ahnert; Sebastian E. Ahnert; Catherine Nicole Coleman; Scott B. Weingart: *The Network Turn. Changing Perspectives in the Humanities*. Cambridge 2021.
- 3 Hartmut Böhme: *Einführung Netzwerke. Zur Theorie und Geschichte einer Konstruktion*, in: Jürgen Barkhoff; Hartmut Böhme; Jeanne Riou (Hg.): *Netzwerke. Eine Kulturtechnik der Moderne*, Köln, Weimar, Wien: Böhlau 2004, S. 17–36, hier S. 17.

- 4 Vgl. dazu Katharina Moriks *Ansatz in der Arbeitsgemeinschaft ‚Daten‘ der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste*.
- 5 Andreas Dress; Stefan Grünewald; Zhenbing Zeng: *A Cognitive Network for Oracle-Bone Characters Related to Animals*, in: *International Journal of Modern Physics B*, 30(4):1630001, Januar 2016.
- 6 Vgl. dazu einführend Jan Fuhse: *Soziale Netzwerke: Konzepte und Forschungsmethoden*, 2., überarbeitete Aufl., Konstanz: utb, 2018.
- 7 Vgl. z. B. Bruno Latour: *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network Theory*, Oxford: Oxford University Press, 2005.
- 8 Vgl. dazu Markus Gamper; Linda Reschke; Marten Düring (Hg.): *Knoten und Kanten III. Soziale Netzwerkanalyse in Geschichts- und Politikforschung*, Bielefeld: Transkript, 2015.
- 9 So indes zu eng gesehen von Böhme: *Einführung Netzwerke*, S. 26.
- 10 Lieve Donnellan: *Archaeological Networks and Social Interaction*, in: Dies. (Hg.): *Archaeological Networks and Social Interaction*, Routledge Studies in Archaeology, London: Routledge, 2020, S. 1–19, hier S. 1: „Network concepts in the archaeological discipline are ubiquitous these days.“
- 11 <https://www.netzwerkforschung.org/about>. Bereits 1978 wurde das „International Network for Social Network Analysis“ (INSNA) gegründet; vgl. www.insna.org.
- 12 Vgl. Ulrik Brandes; Garry Robins; Ann McCranie; Stanley Wasserman: *What is Network Science?*, in: *Network Science* 1 (2013), S. 1–15 (DOI:10.1017/nws.2013.2), hier S. 1: „This is the beginning of Network Science. The journal has been created because network science is exploding.“ Ein weiteres dieser Thematik gewidmetes Organ ist das 2017 einsetzende *Journal of Historical Network Research*.
- 13 Böhme: *Einführung Netzwerke*, S. 27.

Teil I:
Künstliche neuronale
Netzwerke als
Forschungsinstrument

Künstliche neuronale Netzwerke in der Strukturmechanik

Steffen Freitag

Abstract

Künstliche neuronale Netze sind biologisch motivierte Netzwerke, deren Funktion darin besteht, Zusammenhänge zwischen Daten zu erlernen und daraus Prognosen abzuleiten. Die Knoten des Netzwerks werden Neuronen genannt und sind durch synaptische Verbindungen miteinander verbunden. Die Konnektivität zwischen den Neuronen kann durch verschiedene Netzarchitekturen realisiert werden. Bei den im Beitrag vorgestellten mehrschichtigen Netzen erfolgt der Informationsfluss von der Eingabeschicht über mehrere verdeckte Schichten zur Ausgabeschicht. Bei sogenannten rekurrenten neuronalen Netzen wird zudem die zeitliche Abfolge der Informationen berücksichtigt. Exemplarisch werden zwei Anwendungsmöglichkeiten künstlicher neuronaler Netze im Fachgebiet Strukturmechanik gezeigt. Mittels rekurrenter neuronaler Netze werden zeitvariante Setzungsprozesse prognostiziert, die beim Bau von oberflächennahen Tunneln entstehen. Am Ende des Beitrags werden spezielle Netzarchitekturen vorgestellt, mit denen das Materialverhalten von Festkörpern unter mechanischer Belastung erlernt werden kann.

1 Einleitung

Künstliche neuronale Netzwerke sind informationsverarbeitende Systeme, mit denen Abhängigkeiten zwischen Daten erlernt werden können. Sie sind in Aufbau und Funktion dem menschlichen Gehirn nachempfunden.¹ Die biologische Motivation beschränkt sich allerdings derzeit auf im Vergleich zum Gehirn nur wenige Neuronen, die über synaptische Verbindungen zu einem Netzwerk zusammengeschaltet werden, um Signale aufzunehmen, zu verarbeiten, weiterzuleiten und ein berechnetes Ergebnis des künstlichen neuronalen Netzwerks auszugeben. Für derartige Signalverarbeitungen wird derzeit an Hardwarelösungen geforscht, Stichwort Neurocomputer.

In diesem Beitrag wird allerdings nur die Softwareanwendung thematisiert. Die Signalberechnung innerhalb eines künstlichen neuronalen Netzes lässt sich durch ineinander verschachtelte mathematische Funktionen beschreiben. Die Signale jedes Neurons tragen sozusagen zum berechneten Ergebnis des künstlichen neuronalen Netzwerks bei. Im Gegensatz dazu existieren im Gehirn viele redundante Neuronen, die die gleiche Aufgabe haben, um beispielsweise den Ausfall einzelner Neuronen zu kompensieren. Darüber hinaus bildet das Gehirn ständig neue synaptische Verbindungen aus, während bei künstlichen neuronalen Netzwerken die synaptischen Verbindungen lediglich initial festgelegt werden und die Stärke der Verbindungen im Lernprozess bestimmt wird. Die Simulation der tatsächlichen Vorgänge im Gehirn ist mit einfachen künstlichen neuronalen Netzwerken, die in diesem Beitrag diskutiert werden, nicht möglich.

Die Anordnung und Verschaltung der Neuronen über die synaptischen Verbindungen können je nach Anwendungszweck unterschiedlich gestaltet werden und ermöglichen dadurch verschiedene Netzarchitekturen.² Die Anzahl der Neuronen und synaptischen Verbindungen einer bestimmten Netzarchitektur sowie die Art der Signalverarbeitung können ebenfalls je nach Problemstellung variiert werden, wodurch künstliche neuronale Netzwerke als leistungsstarke numerische Werkzeuge zum Erlernen von Abhängigkeiten in Daten sehr flexibel eingesetzt werden können. Obwohl die mathematischen Grundlagen und erste Anwendungen künstlicher neuronaler Netzwerke bereits seit Mitte des letzten Jahrhunderts entwickelt wurden, sind sie gegenwärtig durch die Themen künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen von großem Interesse in Wissenschaft und Technik. Die Anwendungsgebiete künstlicher neuronaler Netze umfassen beispielsweise Mustererkennung und Klassifizierungsaufgaben (z. B. Bild-, Text- und Spracherkennung), Approximation von Funktionen (z. B. Ersatzmodelle für rechenintensive Simulationsmodelle) und Prognose von Prozessen (z. B. Zeitreihenprognose). In diesem Beitrag werden Anwendungen künstlicher neuronaler Netze in den Bauingenieurwissenschaften vorgestellt.³ Insbesondere werden mehrschichtige Feedforward-Netze zur Approximation von aufwendigen strukturmechanischen Berechnungen und rekurrente neuronale Netze zur Prognose von zeitvarianten Tragwerksprozessen gezeigt.⁴ Ziel des Beitrags ist neben dem Aufzeigen dieser Anwendungsmöglichkeiten auch die Vermittlung eines gewissen Grundverständnisses zur Funktionsweise und zu den Anwendungsgrenzen künstlicher neuronaler Netzwerke.

Bei strukturmechanischen Berechnungen werden Verformungen und Spannungen von Bauteilen infolge äußerer Einwirkungen ermittelt, um Aussagen über die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Bauteile zu erhalten. Darüber hinaus werden strukturmechanische Berechnungen im Entwurfsprozess der Bauteile herangezogen, um diese hinsichtlich des Materialeinsatzes und der Herstellungskosten zu optimieren. Für Bauwerke werden strukturmechanische Berechnungen anhand baustatischer Modelle der tragenden Bauteile durchgeführt, die bei einem hohen Detaillierungsgrad entsprechend rechenintensiv sind. Darüber hinaus steigt der Rechenaufwand enorm, wenn nicht mehr nur die Verformungen und Spannungen der einzelnen Bauteile berechnet werden, sondern die Interaktion der Bauteile in einem Gesamtmodell des Tragwerks untersucht werden muss. Bei der Entwicklung neuer Materialien oder Materialcomposites müssen manchmal sogar mehrskalige Modelle erstellt werden, um den Einfluss der einzelnen Materialkomponenten auf das Tragverhalten der Struktur zu analysieren. Durch die Entwicklung numerischer Simulationsmethoden, insbesondere auf Basis der Finite-Elemente-Methode, können sehr große Rechenmodelle auf leistungsfähigen Computern beziehungsweise Computerclustern ausgewertet werden. Jedoch liegen die Rechenzeiten bei sehr detaillierten Modellen trotz parallelisiertem Rechnen oft bei mehreren Stunden oder sogar Tagen. Im Rahmen der oben genannten Sicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsanalysen und insbesondere auch bei der Optimierung von Bauteilen und Tragwerken müssen diese Modelle mit variierten Eingangsparametern mehrfach berechnet werden. Bei stochastischen Sicherheitsanalysen sind beispielsweise aufgrund der sehr kleinen einzuhaltenden Versagenswahrscheinlichkeiten der tragenden Bauteile mehrere Millionen Modellberechnungen erforderlich. Der Zeit- und Rechenaufwand kann durch sogenannte Ersatzmodelle deutlich reduziert werden. Die Idee ist dabei, dass nur für einige Realisierungen der zu variierten Eingangsparameter des Simulationsmodells ausgewertet wird und dass daraus ein Zusammenhang zwischen den Realisierungen der Eingangsparameter und den entsprechenden Ergebnissen mit einem schnell auswertbaren Ersatzmodell identifiziert beziehungsweise erlernt wird. In der anschließenden Sicherheitsanalyse oder Optimierung wird dann das Ersatzmodell anstelle des detaillierten Simulationsmodells herangezogen. Künstliche neuronale Netze mit Feedforward-Architektur eignen sich sehr gut, solche Abhängigkeiten zu erlernen, und liefern in Sekundenbruchteilen ein approximiertes Ergebnis des ursprünglichen Modells.

2 Mehrschichtige Feedforward-Netze

Mit Feedforward-Netzen können nichtlineare mathematische Abhängigkeiten zwischen variablen Struktureinwirkungen beziehungsweise Strukturparametern x_1 bis x_j (z. B. Lasten, Geometrie- und Materialparameter) und den entsprechenden Strukturantworten z_1 bis z_k (z. B. maximale Spannungen und Verschiebungen der Bauteile) erlernt werden. Dabei kann gezeigt werden, dass mehrschichtige Feedforward-Netze zur Approximation beliebiger Funktionen eingesetzt werden können.⁵ Je nach Komplexität des Problems muss jedoch die Anzahl der verdeckten Schichten und Neuronen angepasst werden.

2.1 Netzaufbau

In Abbildung 1 ist die Architektur eines kleinen Feedforward-Netzes dargestellt. Es besteht aus vier Schichten, das heißt der Eingabeschicht (Input), zwei verdeckten Schichten und der Ausgabeschicht (Output). Das Netz hat zwei Eingabeneuronen, zwei Neuronen in der ersten verdeckten Schicht, zwei Neuronen in der zweiten verdeckten Schicht und zwei Ausgabeneuronen ([2-2-2-2]-Architektur). Zwischen allen Neuronen zweier aufeinander folgender Schichten bestehen synaptische Verbindungen. Sie dienen dazu, die Signale von der Eingabeschicht zur Ausgabeschicht weiterzuleiten. Neben diesen vollständig verbundenen Feedforward-Netzen können auch unvollständig verbundene Netze erstellt werden, die für andere strukturmechanische Aufgabenstellungen vorteilhaft sind, siehe Abschnitt 5.

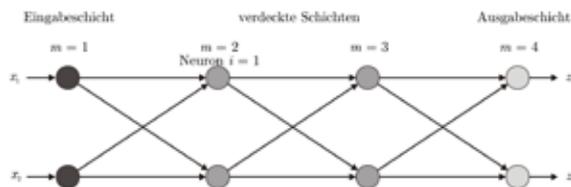


Abbildung 1: Architektur eines vierschichtigen Feedforward-Netzes mit zwei Eingabe- und zwei Ausgabeneuronen.

Während die Anzahl der Eingabe- und Ausgabeneuronen durch die zu formulierende Lernaufgabe definiert wird, muss die Anzahl der verdeckten Schichten und der verdeckten Neuronen entsprechend der Komplexität der Lernaufgabe gewählt werden. In der Regel sollten möglichst kleine Netzarchitekturen bevorzugt werden, um sogenanntes Overfitting zu vermeiden.

Overfitting kann auftreten, wenn zu wenige Daten für die Identifikation der Input-Output-Abhängigkeiten vorliegen und dazu ein Netz mit zu vielen Netzparametern, das heißt zu vielen Neuronen, erstellt wird. Im Allgemeinen sollte mit zunehmender Komplexität die Anzahl der Schichten und verdeckten Neuronen erhöht werden. Dies kann durch systematisches Probieren verschiedener Netzarchitekturen, adaptive Verbesserungs- oder durch Optimierungsverfahren erfolgen. Letztendlich sollte beachtet werden, dass viele verschiedene Netzarchitekturen mit verschiedenen Netzparameterkombinationen existieren, die eine zu lernende Abhängigkeit mit gleicher Qualität realisieren können. Es ist also nicht zwingend das beste Netz gesucht, sondern ein Netz, das in der Lage ist, die Abhängigkeiten aus den vorliegenden Daten zu erlernen und vor allem daraus Prognosen für nicht vorliegende Daten ableiten zu können.

2.2 Signalberechnung

Die Signalberechnung erfolgt bei Feedforward-Netzen von der Eingabe- zur Ausgabeschicht. Zuerst werden in den Eingabeneuronen des Netzwerks in Abbildung 1 die physikalischen Eingabevariablen x_1 und x_2 in dimensionslose Signale $x_1^{(1)}$ bis $x_2^{(1)}$ im Bereich $[0; 1]$ oder $[-1; 1]$ transformiert, um später die Einstellung der Netzparameter während des Trainings zu erleichtern. Diese dimensionslosen Eingangesignale werden dann mit den Wichtungsfaktoren der synaptischen Verbindungen zwischen der Eingabeschicht und der zweiten Schicht multipliziert und an die entsprechenden Neuronen der zweiten Schicht weitergeleitet, siehe Abbildung 1. Das Ausgangssignal $x_1^{(2)}$ des ersten Neurons $i = 1$ der zweiten Schicht $m = 2$ wird beispielsweise mit

$$(1) \quad x_1^{(2)} = \varphi_1^{(2)} \left(x_1^{(1)} \cdot w_{11}^{(2)} + x_2^{(1)} \cdot w_{12}^{(2)} + b_1^{(2)} \right)$$

berechnet. In Gl. (1) ist $\varphi_1^{(2)}$ die Aktivierungsfunktion von Neuron 1 der Schicht 2, deren Argument die Summe der beiden mit den Wichtungsfaktoren $w_{11}^{(2)}$ beziehungsweise $w_{12}^{(2)}$ multiplizierten Signale $x_1^{(1)}$ und $x_2^{(1)}$ der vorangegangenen Schicht 1 zuzüglich eines Biaswerts $b_1^{(2)}$ enthält. Als Aktivierungsfunktionen können in den Neuronen verschiedene differenzierbare Funktionen verwendet werden, zum Beispiel lineare Funktion, Sigmoidfunktionen (Tangens Hyperbolicus, Logistische Funktion) oder die Areasinus-Hyperbolicus-Funktion. Die Wichtungsfaktoren $w_{11}^{(2)}$ beziehungsweise $w_{12}^{(2)}$ und der Biaswert $b_1^{(2)}$ sind unbekannte Netzparameter, die beim Training des künstlichen neuronalen Netzes bestimmt werden. Das Ausgangssignal

$x_1^{(2)}$ wird dann über die synaptischen Verbindungen an die beiden Neuronen der dritten Schicht weitergeleitet usw., bis die Ausgangsschicht erreicht ist. In den Ausgangsneuronen erfolgt schließlich eine Transformation der dimensionslosen Ausgangssignale $x_1^{(4)}$ und $x_2^{(4)}$ in die beiden Ausgabevariablen z_1 und z_2 .

Die mit Gl. (1) beschriebene Signalberechnung kann für jedes Neuron i der Schicht m eines Feedforward-Netzes verallgemeinert werden, siehe auch Abbildung 2.

$$(2) \quad x_i^{(m)} = \varphi_i^{(m)}(v_i^{(m)}) = \varphi_i^{(m)}\left(\sum_{h=1}^H [x_h^{(m-1)} \cdot w_{ih}^{(m)}] + b_i^{(m)}\right)$$

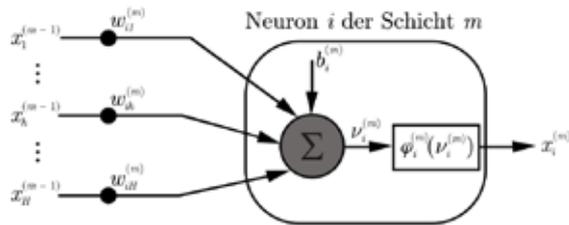


Abbildung 2: Signalverarbeitung in einem verdeckten Neuron eines Feedforward-Netzes.

2.3 Lernverfahren

Die unbekannt Netzeparameter (Wichtungsfaktoren $w_{ih}^{(m)}$ und Biaswerte $b_i^{(m)}$ aller Neuronen $i = 1, \dots, I$ in allen verdeckten Schichten und der Ausgangsschicht $m = 2, \dots, M$) werden durch das sogenannte Training des Feedforward-Netzes anhand von Trainingsdaten (Muster von Realisierungen der Eingabevariablen mit den zugehörigen Realisierungen der Ausgabevariablen) identifiziert. Dazu wird eine Optimierungsaufgabe formuliert. Ziel der Optimierung ist es, durch Suche geeigneter Netzparameter den Trainingsfehler des Feedforward-Netzes zu minimieren, das heißt den Unterschied zwischen den Prognosen des Netzes und den bekannten Realisierungen der Ausgabevariablen des Lerndatensatzes zu reduzieren.

Zur Lösung der Optimierungsaufgabe können verschiedene Trainingsalgorithmen herangezogen werden.⁶ Am weitesten verbreitet ist der Backpropagation-Algorithmus⁷ mit verschiedenen Erweiterungen, bei dem die Wichtungsfaktoren und Biaswerte zunächst zufällig initialisiert werden und dann der Gradient der Zielfunktion genutzt wird, um die Wichtungsfaktoren und Biaswerte schrittweise zu korrigieren und dadurch den Trainingsfehler zu minimieren. Darüber hinaus wurden auch Trainingsalgorithmen auf Basis der Partikel-

schwarmoptimierung entwickelt.⁸ Der wesentliche Vorteil beim Training von neuronalen Netzen mit Partikelschwarmoptimierung ist, dass Abhängigkeiten zwischen den Netzparametern berücksichtigt werden können. Dies ermöglicht den Aufbau spezieller Netzarchitekturen, siehe Abschnitt 5.

Um eine gute Prognosequalität des künstlichen neuronalen Netzes zu erlangen, werden nicht alle verfügbaren Daten zur Korrektur der Wichtungsfaktoren und Biaswerte verwendet, sondern in Trainings-, Validierungs- und Testdaten aufgeteilt. Lediglich anhand der Trainingsdaten erfolgt die Korrektur der Netzparameter. Die Validierungsdaten werden zur Überwachung des Netzes während des Trainings genutzt, und der Validierungsfehler wird zum Abbruch des Trainings herangezogen. Dadurch kann das Overfitting eines künstlichen neuronalen Netzes verhindert und eine gute Verallgemeinerung der gelernten Abhängigkeiten auf andere Daten erlangt werden. Schließlich sollte jedes neuronale Netz nach dem Training und vor der eigentlichen späteren Nutzung mit zusätzlichen Testdaten auf Plausibilität überprüft und systematisch ausgewertet werden.

2.4 Beispiel zum Erlernen des kleinen Einmaleins

Als anschauliches Beispiel wird das kleine Einmaleins herangezogen. Aus den beiden Eingabewerten x_1 und x_2 soll mit einem Feedforward-Netz das Produkt $z = x_1 \cdot x_2$ erlernt werden. Als Lerndatensatz werden zufällig 70 der 100 Aufgaben der 1er- bis 10er-Reihe genutzt, siehe Tabelle 1. Anhand von 15 zufällig ausgewählten Aufgaben wird der Validierungsfehler während des Trainings bestimmt, der auch als Indikator für das beste Netz gewählt wird, und 15 der 100 Daten werden zum nachträglichen Testen des Netzes verwendet, um die Prognosequalität zu bewerten.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
6	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
7	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
8	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
9	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Tabelle 1: Kleines Einmaleins.

Zum Erlernen dieser einfachen Aufgabe genügt ein kleines Feedforward-Netz mit zwei verdeckten Schichten, die jeweils aus vier beziehungsweise zwei verdeckten Neuronen bestehen ([2-4-2-1]-Architektur). Als Aktivierungsfunktion wird in den verdeckten Neuronen die Tangens-Hyperbolicus-Funktion verwendet und das Ausgabeneuron wird mit einer linearen Funktion aktiviert.

Die Eingabevariablen x_1 und x_2 werden mittels der minimalen und maximalen Werte 1 und 10 mit

$$(3) \quad x_1^{(1)} = \frac{x_1 - 1}{10 - 1} \cdot 2 - 1$$

und

$$(4) \quad x_2^{(1)} = \frac{x_2 - 1}{10 - 1} \cdot 2 - 1$$

in den Bereich [-1; 1] skaliert. Die Skalierung des Ausgabesignals $x_1^{(4)}$ aus dem Bereich [-1; 1] erfolgt anhand der minimalen und maximalen Werte 1 und 100 durch

$$(5) \quad z = \frac{x_1^{(4)} + 1}{2} \cdot (100 - 1) + 1.$$

Das Training erfolgt mit einem Notebook unter Verwendung des Levenberg-Marquardt-Backpropagation-Algorithmus,⁹ der nach 50.000 Trainingsschritten beendet wird. Das Feedforward-Netz konnte die in den 70 Trainingsdaten enthaltene Abhängigkeit innerhalb weniger Minuten sehr gut erlernen und liefert auch für die 15 Validierungs- und 15 Testdaten sehr gute Prognosen. Letztendlich können mit dem kleinen Feedforward-Netz alle 100 Aufgaben des kleinen Einmaleins bis auf die dritte Nachkommastelle genau prognostiziert werden. Die Genauigkeit könnte bei längerem Training oder einem etwas größeren Netz sogar weiter erhöht werden.

Das anhand des kleinen Einmaleins trainierte Feedforward-Netz kann nun auch zur Interpolation zwischen den zum Training verwendeten ganzzahligen Eingabevariablen eingesetzt werden. In Abbildung 3 sind exemplarisch zwei Interpolationsprognosen des künstlichen neuronalen Netzes (KNN) für $z = x_1^2$ (quadratische Funktion) und $z = x_1 \cdot 5,8$ (lineare Funktion) für $x_1 = [1; 10]$ in 0,1er-Schritten dargestellt. Auch diese Interpolationsprognosen sind bis auf die dritte Nachkommastelle genau.

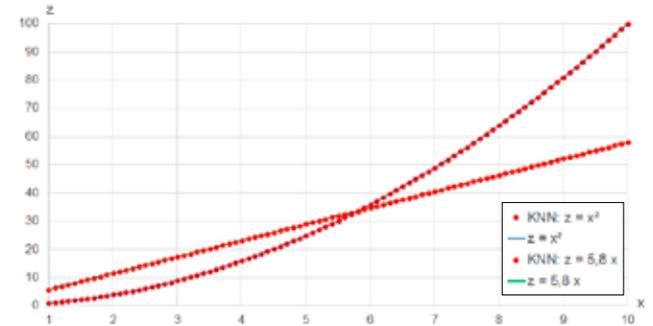


Abbildung 3: Interpolationsprognosen (KNN) des anhand des kleinen Einmaleins erstellten Feedforward-Netzes.

Feedforward-Netze sollten allerdings nur zur Interpolationsprognose, das heißt zur Prognose innerhalb des zum Lernen benutzten Datenbereichs, herangezogen werden. Extrapolationen außerhalb des Trainingsbereichs können zu großen Fehlern führen. Beispielhaft sind in Tabelle 2 einige Extrapolationsprognosen des Feedforward-Netzes aufgeführt. Sowohl für die quadratische Funktion als auch für die lineare Funktion ist mit zunehmender Distanz zum Trainingsbereich ($x_1 = x_2 = [1; 10]$) ein steigender Prognosefehler zu erkennen. Der spätere Anwendungsbereich des künstlichen neuronalen Netzes muss also bereits beim Training berücksichtigt werden und durch entsprechende Trainingsaufgaben abgedeckt sein.

x_1	x_2	$z = x_1 \cdot x_2$	KNN	Prognosefehler
15	15	225	224,845	0,07 %
20	20	400	395,820	1,04 %
-5	-5	25	24,652	1,39 %
-10	-10	100	94,959	5,04 %
15	5,8	87	87,001	0,00 %
20	5,8	116	116,008	-0,01 %
-5	5,8	-29	-28,998	0,01 %
-10	5,8	-58	-57,978	0,04 %

Tabelle 2: Fehlerhafte Extrapolationsprognosen (KNN) des anhand des kleinen Einmaleins erstellten Feedforward-Netzes.

3 Rekurrente neuronale Netze

Für das Erlernen von Abhängigkeiten zwischen zeitvarianten Prozessen können rekurrente neuronale Netze genutzt werden. Dabei werden die Eingabe- und Ausgabevariablen als Zeitreihen mit äquidistanten Zeitschritten $n = 1, \dots, N$ modelliert. In Abbildung 4 ist ein kleines rekurrentes neuronales Netz mit zwei Eingabevariablen $^{[n]}x_1$ und $^{[n]}x_2$ sowie zwei Ausgabevariablen $^{[n]}z_1$ und $^{[n]}z_2$ dargestellt, bei dem zur Berechnung der Ausgabevariablen im Zeitschritt n nicht nur die aktuelle Realisierung der Eingabevariablen im Zeitschritt n , sondern die gesamte Geschichte der Eingabevariablen berücksichtigt wird, das heißt die Realisierungen aller Zeitschritte $1, \dots, n$. Dazu wurde in Abbildung 4 das in Abbildung 1 gezeigte vierschichtige Feedforward-Netz um sogenannte Kontextneuronen ergänzt. Diese Netzarchitektur basiert auf einem erweiterten Elman-Netz¹⁰ und enthält zusätzliche Rückkopplungs-Komponenten des Jordan-Netzes.¹¹

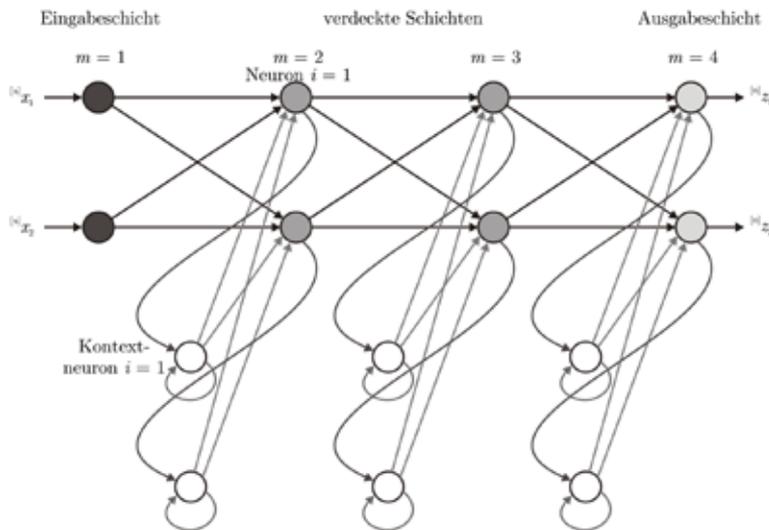


Abbildung 4: Architektur eines vierschichtigen rekurrenten neuronalen Netzes mit zwei Eingabe- und zwei Ausgabeneuronen.

Die Signalverarbeitung des gezeigten rekurrenten neuronalen Netzes erfolgt wie beim Feedforward-Netz von der Eingabe- zur Ausgabeschicht. Von jedem Neuron i der Schicht m werden aber nicht nur die Signale der vorangegangenen Schicht $m - 1$ aufgenommen, sondern über zusätzliche trainierbare synaptische Verbindungen mit Wichtungsfaktoren $c_{iq}^{(m)}$ auch die Signale aller Kontextneuronen $^{[n-1]}y_q^{(m)}$ der Schicht m aus dem vorangegangenen Zeitschritt $n - 1$ berücksichtigt. Dazu wird die in Gl. (2) beschriebene Signalberechnung entsprechend erweitert:

$$(6) \quad ^{[n]}x_i^{(m)} = \varphi_i^{(m)}(v_i^{(m)}) = \varphi_i^{(m)}\left(\sum_{h=1}^H \left[^{[n]}x_h^{(m-1)} \cdot w_{ih}^{(m)} \right] + b_i^{(m)} + \sum_{q=1}^Q \left[^{[n-1]}y_q^{(m)} \cdot c_{iq}^{(m)} \right]\right).$$

Die Signale der Kontextneuronen $^{[n-1]}y_q^{(m)}$ in Gl. (7) werden mit

$$(7) \quad ^{[n-1]}y_q^{(m)} = ^{[n-1]}x_q^{(m)} \cdot \gamma_q^{(m)} + ^{[n-2]}y_q^{(m)} \cdot \lambda_q^{(m)}$$

aus dem Signal des zugeordneten Neurons aus dem vorangegangenen Zeitschritt $n - 1$ und dem Kontextsignal des Zeitschritts $n - 2$ berechnet. Der Rückkopplungsfaktor $\gamma_q^{(m)}$ und der direkte Rückkopplungsfaktor $\lambda_q^{(m)}$ sind zusätzliche Netzparameter, die für jedes Kontextneuron zufällig im Bereich $[0;1]$ festgelegt werden können oder beispielsweise beim Training mit Partikelschwarmoptimierung zu bestimmen sind. Falls alle Rückkopplungsfaktoren gleich null gesetzt werden, wird ein Feedforward-Netz als Sonderfall des beschriebenen rekurrenten neuronalen Netzes erhalten. Die beschriebene rekurrente neuronale Netzarchitektur nutzt nur die Signale des letzten vorangegangenen Zeitschritts zur Abbildung der Geschichtsabhängigkeiten. Es können aber auch mehrere vorangegangene Zeitschritte durch weitere zeitverzögerte Schichten mit zusätzlichen Kontextneuronen einbezogen werden.¹²

4 Anwendung zur Prognose von Setzungsprozessen im maschinellen Tunnelbau

Anhand eines Beispiels soll eine Anwendungsmöglichkeit rekurrenter neuronaler Netze in der Strukturmechanik gezeigt werden. Im Rahmen einer fuzzy-stochastischen Sicherheitsanalyse eines maschinellen Tunnelvortriebs wird die Wahrscheinlichkeit des Überschreitens der zulässigen Setzung berechnet. Dazu wird ein Finite-Elemente-Simulationsmodell¹³ aufgebaut, mit dem die Setzungsverläufe während des Tunnelvortriebs in der Mitte oberhalb der Tunnelachse (roter Messpunkt in Abbildung 5) für verschiedene Realisierun-

gen unscharfer Baugrundparameter ausgewertet werden. Insgesamt werden 100 Simulationen mit verschiedenen Realisierungen des unscharfen Elastizitätsmoduls E und des unscharfen inneren Reibungswinkels φ des Baugrunds durchgeführt, um Lerndaten zu generieren und schließlich die zeitaufwendige Berechnung des Setzungsprozesses für die Sicherheitsanalyse mit einem rekurrenten neuronalen Netz zu ersetzen.

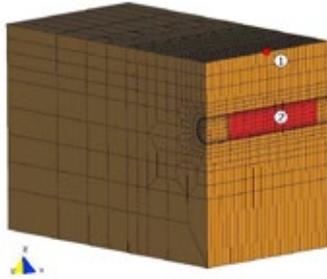


Abbildung 5: Finite-Elemente-Simulationsmodell: 1) Setzungsmesspunkt; 2) Untersuchter Bereich des maschinellen Tunnelvortriebs.

Das zur Approximation des Finite-Elemente-Simulationsmodells erstellte rekurrente neuronale Netz besteht aus einer (2-8-1)-Architektur, das heißt zwei Eingabeneuronen für die zeitkonstanten Baugrundparameter E und φ , einer verdeckten Schicht mit acht verdeckten Neuronen und einem Ausgabeneuron für die Setzung v . Insgesamt werden neun Kontextneuronen verwendet (acht in der verdeckten Schicht und eins in der Ausgabenschicht), um die Zeitabhängigkeit des Setzungsprozesses $v(t)$ zu erlernen, der für jede der 100 gerechneten Realisierungen von E und φ als diskrete Zeitreihe mit 22 Zeitschritten vorliegt.

Das Training des rekurrenten neuronalen Netzes erfolgt mit einem für rekurrente Signalverarbeitung modifizierten Backpropagation-Algorithmus.¹⁴ Die 100 Datensätze wurden zufällig in 50 Trainingsdatensequenzen und 50 Validierungsdatensequenzen aufgeteilt, die jeweils 22 Zeitschritte umfassen. Insgesamt wurden innerhalb weniger Minuten 10 Millionen Trainingsschritte durchlaufen, um anhand der 50 Trainingsdatensequenzen die unbekannt Netzparameter zu identifizieren. In Abbildung 6 und Abbildung 7 sind beispielhaft jeweils vier der 50 Trainings- und Validierungsdatensequenzen gezeigt. Sowohl für die Trainings- als auch für die Validierungsdatensequenzen wurde eine sehr gute Approximationsqualität mit dem rekurrenten neuronalen Netz erreicht.

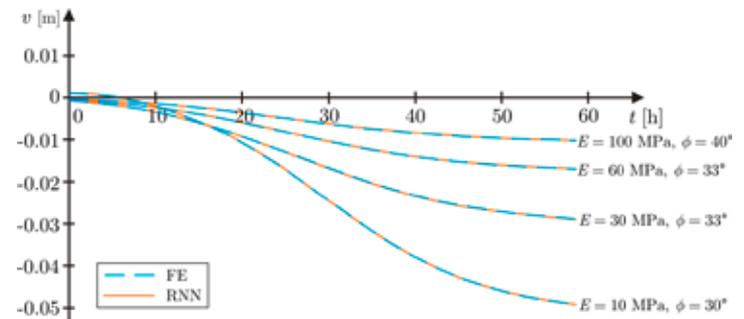


Abbildung 6: Vergleich der Ergebnisse des Finite-Elemente-Simulationsmodells (FE) und der Approximation mit einem rekurrenten neuronalen Netz (RNN) – vier von insgesamt 50 Trainingsdatensequenzen.

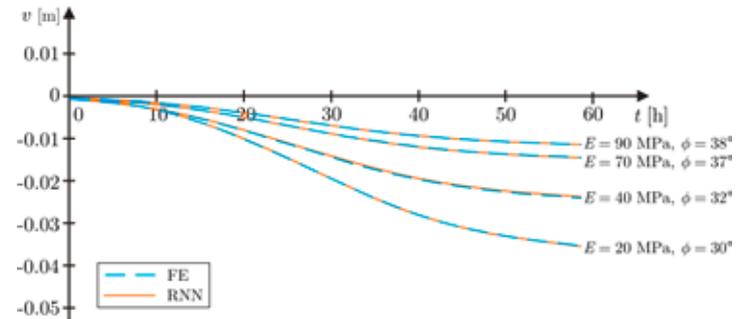


Abbildung 7: Vergleich der Ergebnisse des Finite-Elemente-Simulationsmodells (FE) und der Approximation mit einem rekurrenten neuronalen Netz (RNN) – vier von insgesamt 50 Validierungsdatensequenzen.

Anhand des trainierten rekurrenten neuronalen Netzes wird eine fuzzy-stochastische Analyse¹⁵ durchgeführt, bei der das Elastizitätsmodul E als fuzzy-stochastischer Baugrundparameter und der Reibungswinkel φ als Fuzzy-Dreieckzahl quantifiziert werden.¹⁶ Mittels α -Level-Optimierung¹⁷ werden die unteren und oberen Intervallgrenzen der Fuzzy-Versagenswahrscheinlichkeiten \bar{P}_f hinsichtlich des Überschreitens einer zulässigen Setzung von 2 cm am Messpunkt für alle Zeitschritte des Vortriebsprozesses berechnet. Dazu muss in jedem Optimierungsschritt eine Monte-Carlo-Simulation mit jeweils 1 Million Realisierungen durchgeführt werden. Dieser Rechenaufwand wäre mit dem eigentlichen Finite-Elemente-Simulationsmodell nicht mehr realisierbar, auch nicht unter Nutzung eines Hoch-

leistungsrechners. Mit dem trainierten rekurrenten neuronalen Netz dauert die gesamte Berechnung der zeitvarianten Fuzzy-Versagenswahrscheinlichkeit $\tilde{P}_f(t)$ mit einem Notebook lediglich ca. 30 Min.

In Abbildung 8 ist die berechnete zeitvariante Fuzzy-Versagenswahrscheinlichkeit durch Trajektorien der Intervallgrenzen für vier α -Level dargestellt. Bis zum Zeitpunkt $t = 32\text{h}$, das heißt 8h nachdem das Schneidrad der Tunnelvortriebsmaschine den Messpunkt unterquert hat, wurde für alle α -Level bei keiner der 1 Million Realisierungen der Monte-Carlo-Simulation ein Überschreiten der zulässigen Setzung festgestellt. Im weiteren Vortriebsverlauf sind dann ein Anstieg der Fuzzy-Versagenswahrscheinlichkeit insgesamt und auch eine Zunahme der Bandbreite zu beobachten.

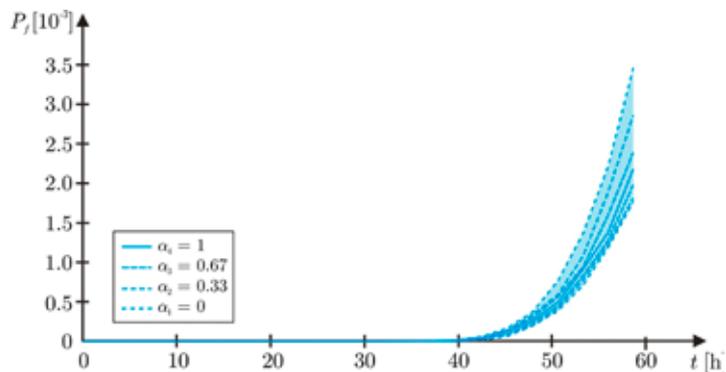


Abbildung 8: Zeitvariante Fuzzy-Versagenswahrscheinlichkeit eines maschinellen Tunnelvortriebs bezüglich zulässiger Setzungen.

Im gezeigten Beispiel wird der zeitliche Verlauf der Setzung nur an einem Messpunkt an der Oberfläche des Simulationsgebiets ausgewertet. Zur Vermeidung von Schäden bei der Unterfahrung von Gebäuden oder Infrastrukturbauwerken sind Prognosen zeitvarianter Setzungsmulden erforderlich, das heißt, die Setzungen müssen an vielen Punkten der Oberfläche des Simulationsgebiets berechnet werden. Dazu wurden Vorgehensweisen entwickelt, bei denen rekurrente neuronale Netze mit Proper-Orthogonal-Decomposition-Verfahren im Rahmen eines hybriden Ersatzmodells kombiniert werden, um unscharfe zeitvariante Setzungsfelder in Echtzeit, das heißt innerhalb weniger Sekunden, zu prognostizieren.¹⁸ Die Prognoseergebnisse können dann zur Unterstützung der Vortriebssteuerung während des Tunnelbaus genutzt werden.

5 Netzarchitekturen für Spannungs-Verzerrungs-Abhängigkeiten

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit künstlicher neuronaler Netze in der Strukturmechanik ist das Erlernen von Abhängigkeiten zwischen Verzerrungen und Spannungen, um das Materialverhalten von Festkörpern unter mechanischer Belastung zu beschreiben. In der Regel werden dazu physikalisch fundierte Materialmodelle genutzt, deren Parameter dann anhand von Versuchen identifiziert werden müssen. Künstliche neuronale Netze bieten die Möglichkeit, die Abhängigkeiten zwischen Verzerrungen und Spannungen direkt anhand der Versuchsdaten zu erlernen, das heißt ohne die Nutzung oder Entwicklung eines physikalischen Materialmodells. Die trainierten neuronalen Netze können dann im Rahmen von Finite-Elemente-Simulationen zur statischen Berechnung von Bauteilen beziehungsweise Strukturen herangezogen werden. Dabei können mit rekurrenten neuronalen Netzen auch zeitabhängige beziehungsweise von der Belastungsgeschichte abhängige Materialien erfasst werden.

Ein Nachteil bei diesem Vorgehen auf Basis künstlicher neuronaler Netze ist die Vernachlässigung von physikalischen Zusammenhängen, beispielsweise eventueller Richtungsabhängigkeiten des Materialverhaltens. Alle Zusammenhänge, die erlernt werden sollen, müssen in den Trainingsdaten enthalten sein, was ein sehr umfangreiches Versuchsprogramm zur Generierung der Trainingsdaten erfordern würde. Um diesen Aufwand zu reduzieren und zumindest einige materialspezifische physikalische Bedingungen zu erfüllen, kann die Entwicklung spezieller Netzarchitekturen vorgeschlagen werden.¹⁹

Beispielhaft sind in Abbildung 9, 10 und 11 spezielle Feedforward-Netze zur Erfassung dreidimensionaler Spannungs-Verzerrungs-Abhängigkeiten, das heißt von Abhängigkeiten zwischen den sechs Verzerrungskomponenten ε_1 bis ε_6 und den sechs Spannungskomponenten σ_1 bis σ_6 , für anisotrope, orthotrope und isotrope Materialien dargestellt. Die Besonderheit dieser Netzarchitekturen ist, dass einige Gewichtparameter identisch sind, was durch gleiche Strichtypen der synaptischen Verbindungen in Abbildung 9, 10 und 11 gekennzeichnet ist. Die Anzahl der verdeckten Neuronen kann je nach Komplexität des Materialverhaltens variiert werden. Durch weitere Bedingungen hinsichtlich der Skalierung der Eingabe- und Ausgabesignale und der verwendeten Aktivierungsfunktion in den Neuronen kann beispielsweise erreicht werden, dass immer eine symmetrische Materialsteifigkeitsmatrix erhalten wird, das heißt, dass die partielle Ableitung der Spannungskomponente σ_i nach der Verzerrungskomponente ε_j gleich der partiellen Ableitung der Spannungskomponente σ_j nach der Verzerrungskomponente ε_i ist.

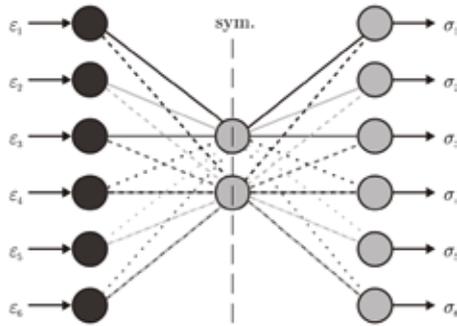


Abbildung 9: Feedforward-Netz mit symmetrischer Netzarchitektur für isotrope Materialien.

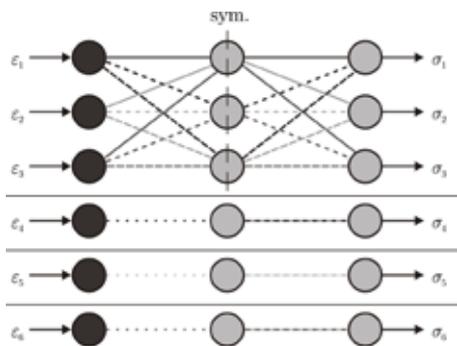


Abbildung 10: Unvollständig verbundenes Feedforward-Netz mit teilweise symmetrischer Netzarchitektur für orthotrope Materialien.

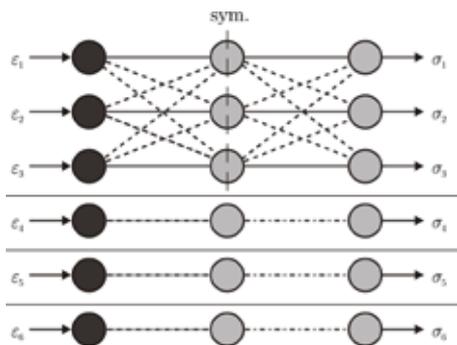


Abbildung 11: Unvollständig verbundenes Feedforward-Netz mit teilweise symmetrischer Netzarchitektur und drei identischen Subnetzen für isotrope Materialien.

Für orthotrope Materialien und isotrope Materialien sind unvollständig verbundene Netze vorteilhaft, um die Schubverzerrungs- und Schubspannungskomponenten (4, 5 und 6) von den Verzerrungen und Spannungen in Normalenrichtung (1, 2 und 3) zu entkoppeln, siehe Abbildung 10 und 11. Dadurch entstehen vier Subnetze, für die jeweils auch mehrere verdeckte Neuronen verwendet werden können. Bei isotropen Materialien sind die unteren Subnetze identisch, und im oberen Subnetz haben viele synaptische Verbindungen gleiche Wichtungsfaktoren.

Das Training dieser speziellen Netze kann aufgrund der teilweise identischen Wichtungsfaktoren nicht mit einfachen Backpropagation-Algorithmen erfolgen. Eine Möglichkeit, bei der diese Besonderheit berücksichtigt werden kann, bietet der Einsatz der Partikelschwarmoptimierung.²⁰ Identische Wichtungsfaktoren und unvollständig verbundene Netze führen dabei sogar zu einer Reduzierung des zu lösenden Optimierungsproblems.

Zum Erlernen von Spannungs-Verzerrungs-Abhängigkeiten werden viele verschiedene Realisierungen aller sechs Verzerrungskomponenten ε_1 bis ε_6 und der sechs Spannungskomponenten σ_1 bis σ_6 benötigt, die versuchstechnisch schwer gleichzeitig gemessen werden können. Aktuell wird an Vorgehensweisen geforscht, um durch die Kombination von Versuchen und numerischen Simulationen bessere Lernbedingungen zu erreichen. Darüber hinaus können die beschriebenen Methoden auch genutzt werden, um Lerndaten durch numerische Simulationen anhand von Mikro- oder Meso-Materialmodellen zu generieren und die daran trainierten künstlichen neuronalen Netze für Strukturberechnungen auf der Makroskala zu verwenden.

6 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden verschiedene Architekturen künstlicher neuronaler Netze vorgestellt, die zur Approximation von Abhängigkeiten zwischen Daten herangezogen werden können. Neben einigen grundlegenden Informationen zum Aufbau und zur Signalverarbeitung in Feedforward-Netzen wurden anhand eines einführenden Beispiels Möglichkeiten und Grenzen künstlicher neuronaler Netze aufgezeigt.

Im weiteren Verlauf des Beitrags wurde ein rekurrentes neuronales Netz vorgestellt, mit dem das Erlernen von Abhängigkeiten zwischen Zeitreihen gelingt. Das anschließende Beispiel zeigt eine Anwendungsmöglichkeit künstlicher neuronaler Netze in der Strukturmechanik, um Setzungen bei maschinellen Tunnelvortrieben zu prognostizieren und daraus probabilistische Sicherheitsaussagen abzuleiten. Dabei wurde ein rekurrentes

neuronales Netz anhand von Simulationsergebnissen trainiert, die mit einem rechenintensiven Finite-Elemente-Simulationsmodell erhalten wurden. Mittels des rekurrenten neuronalen Netzes konnte die Prognose des vortriebsbedingten Setzungsprozesses für Millionen verschiedener Realisierungen der unscharfen Baugrundparameter innerhalb weniger Minuten ausgewertet und konnten daraus zeitvariante Versagenswahrscheinlichkeiten ermittelt werden. Durch die Kombination mit weiteren Ersatzmodellstrategien und mehrstufigen Lernverfahren können dabei sogar echtzeitfähige Simulationsmodelle aufgebaut werden, die beispielsweise Einsatzmöglichkeiten zur Unterstützung der Vortriebssteuerung im maschinellen Tunnelbau bieten.

Im letzten Abschnitt wurde die Entwicklung maßgeschneiderter Netzarchitekturen zum Erlernen von Spannungs-Verzerrungs-Abhängigkeiten diskutiert. Im Gegensatz zum rein datengetriebenen Vorgehen können dabei physikalische Bedingungen, zumindest teilweise, beim Lernen berücksichtigt werden und dadurch zuverlässige Prognosen garantiert und gleichzeitig der Trainingsaufwand reduziert werden.

Künstliche neuronale Netze zeichnen sich durch ihre Flexibilität als leistungsfähige Werkzeuge auf dem Gebiet des maschinellen Lernens aus. Die Grenzen der Anwendung sollten aber immer im Blick behalten werden. Gefahren bestehen beispielsweise durch Lernen von Abhängigkeiten, die zufällig in den Lerndaten vorhanden sind, blindes Vertrauen auf die Prognosen ohne systematische Testung nach dem Training und Extrapolation außerhalb des Trainingsbereichs. Die Prognosequalität künstlicher neuronaler Netze sollte also immer von Experten hinsichtlich Plausibilität bewertet werden, bevor diese für ihre eigentliche Prognoseaufgabe eingesetzt werden.

Anmerkungen

- 1 Siehe z. B. Zell, A.: *Simulation Neuronaler Netze*. Bonn u. Paris: Addison-Wesley, 1996.
- 2 Ebd. Siehe ebenso Rojas, R.: *Neural Networks – A Systematic Introduction*. Berlin: Springer, 1996; Haykin, S.: *Neural Networks – A Comprehensive Foundation*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.
- 3 Eine Übersicht dazu ist beispielsweise zu finden in: Adeli, H.: *Neural Networks in Civil Engineering: 1989–2000*, in: *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 16 (2001), S. 126–142.
- 4 Siehe auch Freitag, S.: *Artificial Neural Networks in Structural Mechanics*, in: Tsompanakis, Y., Kruijs, J., Topping, B.H.V. (Hg.): *Computational Technology Reviews* 12, Stirlingshire: Saxe-Coburg Publications, 2015, S. 1–26 für eine Übersicht zu künstlichen neuronalen Netzwerken in der Strukturmechanik.
- 5 Hornik, K., Stinchcombe, M., White, H.: *Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators*, in: *Neural Networks* 2 (1989), S. 359–366.
- 6 Haykin, S.: *Neural Networks – A Comprehensive Foundation*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.
- 7 Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., Williams, R. J.: *Learning representations by back-propagating errors*, in: *Nature* 323 (1986), S. 533–536.
- 8 Siehe z. B. Kennedy, J., Eberhart, R. C.: *Particle swarm optimization*, in: *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 1995*, S. 1942–1948; Mendez, R., Cortez, P., Rocha, M., Neves, J.: *Particle Swarms for Feedforward Neural Network Training*, in: *Proceedings of the 2002 International Joint Conference on Neural Networks, Honolulu: IEEE, 2002*, S. 1895–1899; Kuok, K. K., Harun, S., Shamsuddin, S. M.: *Particle swarm optimization feedforward neural network for modeling runoff*, in: *International Journal of Environmental Science and Technology* 7:1 (2010), S. 67–78; Freitag, S., Muhanna, R. L., Graf, W.: *A Particle Swarm Optimization Approach for Training Artificial Neural Networks with Uncertain Data*, in: Vořechovský, M., Sadílek, V., Seitl, S., Veselý, V., Muhanna, R. L., Mullen, R. L. (Hg.): *Proceedings of the 5th International Conference on Reliable Engineering Computing (REC 2012)*, Brno, Litera, 2012, S. 151–170.
- 9 Hagan, M. T., Menhaj, M. B.: *Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm*, in: *Transactions on Neural Networks* 5:6 (1994), S. 989–993.
- 10 Elman, J.: *Finding Structure in Time*, in: *Cognitive Science* 14 (1990), S. 179–211.
- 11 Jordan, M.: *Attractor dynamics and parallelism in a connectionist sequential machine*, in: Diederich, J. (Hg.): *Artificial Neural Networks: Concept Learning*, Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 1990, S. 112–127. Siehe auch Freitag, S.: *Modellfreie numerische Prognosemethoden zur Tragwerksanalyse*, Dissertation, Veröffentlichungen – Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke, Heft 19, TU Dresden, 2010.
- 12 Siehe z. B. auch Freitag, S.: *Artificial Neural Networks in Structural Mechanics*, in: Tsompanakis, Y., Kruijs, J., Topping, B.H.V. (Hg.): *Computational Technology Reviews* 12, Stirlingshire: Saxe-Coburg Publications, 2015. Vorgehensweisen zur Verarbeitung unscharfer Signale mit rekurrenten neuronalen Netzen werden vorgestellt in:

- Graf, W., Freitag, S., Kaliske, M., Sickert, J.–U.: *Recurrent Neural Networks for Uncertain Time-Dependent Structural Behavior*, in: *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 25:5 (2010), S. 322–333;
- Freitag, S., Graf, W., Kaliske, M.: *Recurrent Neural Networks for Fuzzy Data*, in: *Integrated Computer-Aided Engineering* 18:3 (2011), S. 265–280.
- 13 Siehe z. B. Alsahly, A., Stascheit, J., Meschke, G.: *Advanced finite element modeling of excavation and advancement processes in mechanized tunneling*, in: *Advances in Engineering Software* 100 (2016), S. 198–214.
 - 14 Freitag, S.: *Modellfreie numerische Prognosemethoden zur Tragwerksanalyse*, Dissertation, Veröffentlichungen – Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke, Heft 19, TU Dresden, 2010.
 - 15 Möller, B., Beer, M.: *Fuzzy Randomness – Uncertainty in Civil Engineering and Computational Mechanics*. Berlin: Springer, 2004.
 - 16 Siehe Stascheit, J., Freitag, S., Beer, M., Phoon, K.K., Ninič, J., Cao, B.T., Meschke, G.: *Concepts for Reliability Analyses in Mechanised Tunnelling – Part 2: Application*, in: Meschke, G., Eberhardsteiner, J., Schanz, T., Soga, K., Thewes, M. (Hg.): *Proceedings of the Third International Conference on Computational Methods in Tunnelling and Subsurface Engineering (EURO:TUN 2013)*, Freiburg: Aedificatio Publishers, 2013, S. 801–811 für genauere Informationen.
 - 17 Möller, B., Graf, W., Beer, M.: *Fuzzy structural analysis using α -level optimization*, in: *Computational Mechanics* 26 (2000), S. 547–565.
 - 18 Freitag, S., Cao, B.T., Ninič, J., Meschke, G.: *Recurrent neural networks and proper orthogonal decomposition with interval data for real-time predictions of mechanised tunnelling processes*, in: *Computers and Structures* 207 (2018), S. 258–273; Cao, B.T., Freitag, S., Meschke, G.: *A fuzzy surrogate modelling approach for real-time settlement predictions in mechanised tunneling*, in: *International Journal of Reliability and Safety* 12:1/2 (2018), S. 187–217.
 - 19 Freitag, S.: *Artificial Neural Networks in Structural Mechanics*, in: Tsompanakis, Y., Kruis, J., Topping, B.H.V. (Hg.): *Computational Technology Reviews* 12, Stirlingshire: Saxe-Coburg Publications, 2015, S. 1–26.
 - 20 Freitag, S., Muhanna, R. L., Graf, W.: *A Particle Swarm Optimization Approach for Training Artificial Neural Networks with Uncertain Data*, in: Vořechovský, M., Sadílek, V., Seitzl, S., Veselý, V., Muhanna, R. L., Mullen, R. L. (Hg.): *Proceedings of the 5th International Conference on Reliable Engineering Computing (REC 2012)*, Brno, Litera, 2012, S. 151–170.

Teil II: Quantitative Netzwerkanalyse

Netzwerke in der Stadterneuerungsplanung.

Interdisziplinäre Herausforderungen und Potenziale ihrer Analyse

Carola S. Neugebauer / Patrick Kurzeja

Abstract

Am Beispiel der Stadterneuerungsplanung, wo sich eine Vielzahl von Akteuren vernetzen und interagieren, versucht der vorliegende Beitrag die oftmals getrennt voneinander verwendeten Analyseansätze der mathematisch formalisierten Netzwerktheorie mit denen der qualitativen Sozialwissenschaften zusammenzuführen. Ziel ist es, die jeweiligen Potenziale und Herausforderungen der netzwerkanalytischen Zugänge am konkreten Beispiel herauszuarbeiten und Impulse für die methodisch-konzeptionelle Zusammenarbeit abzuleiten.

1 Einleitung

Ausgangspunkt der Betrachtungen sind zwei öffentlich diskutierte Projekte der Stadterneuerung in Bonn – das Viktoriakarree und der Bahnhofsvorplatz. Die Planung beider Vorhaben zog sich über Jahre hin und involvierte Akteure aus Stadtverwaltung, Politik, Privatwirtschaft und Zivilgesellschaft. Die Komplexität und Konflikthaftigkeit der Planung werfen dabei bedeutsame Fragen für die Netzwerkanalyse und die Planungswissenschaften auf. Es interessiert, auf welchen Ebenen welche Akteure miteinander interagieren und wie diese Ebenen miteinander verschränkt sind. Welche Akteure beziehungsweise Akteursgruppen treten dabei als die zentralen beziehungsweise marginalen hervor und warum? Auf der Grundlage von 27 transkribierten Interviews mit Bonner Vertretern aller projektbeteiligten Gruppen wird im Beitrag diesen Fragen nachgegangen.¹ Die Ergebnisse der mathematisch formalisierten und graphenbasierten Netzwerkanalyse werden zusammen mit den Befunden der qualitativen Netzwerkanalyse skizziert und im Sinne der Zielsetzung des Beitrages kurz diskutiert.

Im Ergebnis wird deutlich: Die mathematisch formalisierte und graphenbasierte Netzwerkanalyse unterstützt die *Erkennung funktionaler Netzwerkanteile in der Gesamtstruktur*. Über die graphische Strukturierung

unterschiedlicher Interaktionen in den Planungsprozessen wird beispielsweise erkennbar, dass in den vorliegenden Beispielen zwar fast alle Akteure an der Diskussion der Vorhaben beteiligt sind, dies jedoch nur noch für eine Minderheit im Entscheidungsprozess gilt. Quantitative Maßzahlen unterstützen zudem die Identifikation der Relevanz und Rollen von Akteuren: So können numerisch besonders zentrale oder vermittelnde Akteure identifiziert werden, welche für andere den einzigen Zugang zum funktionalen Netz darstellen.

Die qualitative Netzwerkanalyse, basierend auf der inhaltlichen Auswertung der Interviewdaten, ist maßgeblich und notwendig für die *Erklärung, Kontextualisierung und Differenzierung* der funktionalen Netzwerke. Sie deckt beispielsweise die Handlungsmotivationen, -logiken und -ressourcen der Akteure auf in Abhängigkeit von situativen und weiteren Rahmenbedingungen, wie wahlpolitischen Konstellationen oder planungsinstrumentellen Möglichkeiten.

Das Zusammenführen beider Ansätze eröffnet *Möglichkeiten* für die Forschung. Zum einen können sich für die themenbezogene Forschung neue Ansatzpunkte ergeben, zum Beispiel durch die Erschließung und automatisierte Strukturierung größerer qualitativer Datenmengen. Zum anderen geraten methodisch-konzeptionelle Fragestellungen der Netzwerkforschung (neu) in den Fokus, beispielsweise Fragen nach der Datenqualität und Dynamik (d. h. der zeitlichen Veränderbarkeit) funktionaler Teilmen-gen des Gesamtnetzwerkes.

2 Stadterneuerungsplanung und Akteursnetzwerke

Städte sind geprägt von Konzentrationen und Dichten, zum Beispiel von Gebäuden und Menschen, von Wissens-, Mobilitäts- und Produktionsströmen. Anliegen der Stadtplanung ist es daher, die sozio-materielle Entwicklung der Städte in die Zukunft blickend zu steuern. Das Rückgrat der Stadtplanung ist die Ausweisung von Flächennutzungen und die Vergabe von Baugenehmigungen, gestützt und geregelt durch eine Vielzahl von Instrumenten wie beispielsweise die hoheitliche und die vorhabenbezogene Bebauungsplanung. Letztere ist eine Form von Public-Private-Partnership in der Stadtplanung.² Die Stadterneuerung ist ein Teilbereich der Stadtplanung: Sie meint die materielle und / oder funktionale Veränderung und (Weiter-)Entwicklung bereits bebauter Stadtbereiche.

Das engere Verständnis von Stadtplanung reduziert ihre Prozesse auf das Tun der Stadtverwaltungen mit ihren ausgebildeten Planern. Ihnen obliegt

nach deutscher Gesetzgebung die kommunale Planungshoheit. Tatsächlich wird ein solches sektoral-technisches Verständnis dem komplexen *Netzwerk(en) von Akteuren* nicht gerecht, welche in Stadtplanungsprozessen zusammenwirken: So treten neben die Stadtverwaltung, welche den Planungsprozess steuert, die politischen Akteure im Stadtrat, in den Beratungsgremien und im Bürgermeisteramt, welche Planungsprozesse erst formal beauftragen, diskutieren und in wesentlichen Punkten bestätigen müssen. Zusätzlich gibt es formalisierte und informelle Schnittstellen in Planungsprozessen, wo aktive Bürgerinnen und Bürger sowie andere Träger öffentlicher Belange ihre Bedenken und Ideen einbringen können. Bedeutsam sind zudem Investoren und Projektentwickler als Bauherren eines Großteils der Stadterneuerungsprojekte.

Eine Herausforderung in der Stadtplanung ist es letztlich, den vielfältigen Akteurs- und Raumnutzungsinteressen gerecht zu werden. Die in den Planungsprozessen auftretenden Interessen- und Zielkonflikte sollen im Sinne des sogenannten öffentlichen Interesses transparent abgewogen werden. Spätestens seit ‚Stuttgart 21‘ stehen die Prozesse und Ergebnisse der Interessenabwägung in der Stadterneuerung jedoch wieder vermehrt in der Aufmerksamkeit gesellschaftlicher und wissenschaftlicher Debatten. Sie werden vor dem Hintergrund größerer Entwicklungen, wie der Neoliberalisierung und der Demokratisierung, diskutiert. Zentrale Fragen sind, inwiefern das Zusammenspiel der Stakeholder in den Diskussions- und Entscheidungsprozessen der Stadtplanung (noch) ‚ausgewogen‘ ist und Planung den Gemeinschaftsinteressen gerecht wird. Im Detail interessiert die Planungs- und Konfliktforschung: Wer interagiert wie mit wem auf welcher Handlungsebene? Welche Akteure beziehungsweise Akteursgruppen treten als die zentralen beziehungsweise marginalen hervor und warum? Welchen Handlungszielen und -logiken folgen sie? Welche Ressourcen und Institutionen begründen ihre (fehlende) Durchsetzungskraft? Und wie kann und muss die Planungspraxis darauf reagieren?

3 Der Bahnhofsvorplatz und das Viktoriakarree – Beispiele der Stadterneuerungsplanung in Bonn

Wie schwierig eine einfache oder gar schnelle Antwort auf diese Fragen sein kann, mögen die folgenden zwei Beispiele aus Bonn verdeutlichen. Sowohl um den Bahnhofsvorplatz als auch um das Viktoriakarree in der Bonner Innenstadt entfachte sich mehrfach Streit, und die Planungs- und Abstimmungsprozesse zogen sich über Jahre hin. Die folgenden Rekons-

traktionen der Prozesse³ verdeutlichen die Komplexität und Dynamik von Akteursnetzwerken in der Planung und umreißen damit die Aufgabe netzwerkanalytischer Forschung im Feld.

3.1 Der Bahnhofsvorplatz

Anfang 2017 – zum Zeitpunkt der Untersuchungen in Bonn – war die Stadterneuerungsplanung rund um den Bahnhofsvorplatz abgeschlossen. Die Frage jedoch, wie der Bahnhofsvorplatz als sogenanntes Tor zur Stadt zu gestalten sei, hatte über Jahre die Lokalakteure beschäftigt: Die Planungsversuche reichen bis in die 1970er-Jahre zurück, als der bekannte Architekt Friedrich Spengelin für den Ort einen modernen Platz mit Nebengebäude, die sogenannte Südüberbauung, entwarf und baute und sich damals Bürgerproteste gegen das Projekt formulierten. Eine Reihe von Gestaltungsversuchen folgte, bis die Stadt 2001 einen neuen Versuch initiierte: Ohne eigenes funktionales und städtebauliches Konzept für die Umgestaltung des Areals startete sie eine europaweite Investorensuche mit einem Aufruf um Interessenbekundungen. Drei Investoren wurden daraufhin zu Projektentwicklungsgesprächen in die Stadtverwaltung eingeladen, und 2002 schlug die Stadtverwaltung das Projekt der Brune Immobilien-Gruppe dem Stadtrat zu Beratung vor. Das Projekt sah einen Glasbaukomplex mit Einzelhandelsflächen, einer Einkaufsgalerie, Büros, Parkplätzen, Dienstleistungen, Gastronomie und Wohnungen vor. Nach Beratungen befürworteten alle Parteien des Stadtrates – ausgenommen der Bürger Bund Bonn (BBB) und Die Linke – den Projektvorschlag. Daraufhin regten sich Ende 2002 zivile Proteste: Bürgerinitiativen und andere Lobbygruppen kritisierten vor allem die Intransparenz und mangelnde Öffentlichkeitsbeteiligung im Prozess. Wichtige Entscheidungen zur Nutzung und Gestaltung des Bahnhofsareals seien bereits im Rahmen des Investorenkonzepts getroffen worden, ohne dass die Öffentlichkeit alle Projektvorschläge gekannt habe. Sie forderten mehr Einfluss auf den Planungsprozess und weitere Verhandlungen mit allen Investoren. Trotz der Proteste erteilte der Stadtrat der Stadtverwaltung das formelle Mandat, die Verhandlungen mit der Immobiliengruppe Brune fortzusetzen. Die Bürgerinitiativen und Lobbygruppen sowie verschiedene Lokalpolitiker mobilisierten daraufhin weiter. Sie forderten deutliche Veränderungen am Projekt, und obwohl der Investor in Abstimmung mit der Stadtverwaltung von Anfang 2003 bis Ende 2004 Änderungen vornahm, verschärfte sich der Konflikt. Schließlich lancierte eine Bürgerinitiative eine Petition gegen die

Erneuerung des Platzes, die im Dezember 2004 Erfolg hatte: Der Stadtrat stoppte das Stadterneuerungsprojekt, denn die regierende CDU-Fraktion, die bisher das Brune-Konzept stark unterstützt hatte, schloss sich im Vorfeld der Stadtrats- / Bürgermeisterwahlen im Herbst 2004 der Petition an.

Nach diesem Scheitern drängten die Anhänger der Petition (u. a. CDU, BBB und Die Grünen) auf einen schnellen Wiederanlauf der Planungen. Die CDU schlug vor, anders als bisher vorzugehen und zunächst einen öffentlichen Workshop mit Bürgern, Lobbygruppen, Politik und Stadtverwaltung zu organisieren, um die zentralen Planungsziele für das Gelände zu definieren. Von Oktober 2005 bis Januar 2006 wurde ein aufwendiges Beteiligungsverfahren durchgeführt, moderiert von einem externen Büro. Folgende Vereinbarungen waren das Ergebnis der Diskussionen: Ein ausreichender Abstand zwischen den neuen Gebäuden und dem Bahnhof sollte eingehalten, die moderne Südüberbauung von Spengelin sollte abgerissen beziehungsweise reduziert und ein Platz geplant werden. Zudem sollte die Planungskompetenz bei der Stadtverwaltung bleiben und nicht an einen privaten Investor vergeben werden.

Im Jahr 2007 beschloss der Stadtrat, die Grundstücke des gesamten Gebietes getrennt zu entwickeln, und so begann der interessierte Investor GDG (German Development Group), auf eigene Kosten ein Bauprojekt für das Grundstück der Südüberbauung auszuarbeiten. Die GDG drängte schließlich die Stadt (d. h. Verwaltung und Stadtrat), ihm die Nutzungskonzession für das Grundstück als Investitionsschutz und Teil eines PPP-Vertrages zu erteilen. Die Stadt lehnte jedoch jede Konzession entsprechend den Bürgerworkshop-Ergebnissen ab und leitete 2008 ein hoheitliches Bebauungsplanverfahren sowie 2009 einen städtebaulichen Wettbewerb für das gesamte Gebiet ein. Zu diesem Zeitpunkt stellten sich jedoch verschiedene Bürgerinitiativen gegen die Stadt und die frühere Vereinbarung. Sie riefen dazu auf, den Investor GDG zu unterstützen, um die ungeliebte Südüberbauung nun endlich zügig abzureißen. Das Bündnis zwischen Aktivisten und Investor zerbrach erst nach der Präsentation des Entwurfs des Investors Ende 2009: Von nun an waren Bürgerinitiativen gegen das Bauvorhaben der GDG. Obwohl die GDG mehrere Änderungen an ihrem Projekt vornahm, konnte der Investor keinen Konsens mit den zivilen Opponenten finden und ließ das Projekt schließlich wegen finanzieller Probleme im Jahr 2014 fallen. Der Investor Ten Brinke sprang ein, dessen Projekt für das Grundstück ‚Südüberbauung‘ 2016 – gemäß dem 2013 in Kraft getretenen Bebauungsplan – die Baugenehmigung erhielt.

3.2 Das Viktoriakarree

Ähnlich konfliktreich, aber zum Zeitpunkt unserer Untersuchung noch nicht abgeschlossen, stellt sich die Stadterneuerungsplanung zum Viktoriakarree dar. Das Straßengeviert in der Bonner Innenstadt in der Nähe der Universität mit gemischter Nutzung (Wohnen, Büros, Geschäfte, Stadtmuseum und eine Schwimmhalle) soll weiterentwickelt werden. Die städtebauliche Struktur des Areals stammt aus dem späten 20. Jahrhundert, wobei viele Gebäude in den 1960er- und 1970er-Jahren durch Neubauten ersetzt wurden. Die Diskussionen um das Viktoriakarree begannen mit dem Beschluss des Stadtrates von 2007, das teilweise unter Denkmalschutz stehende Schwimmbad der 1960er-Jahre zu schließen. Einige unverbindliche Planungskonzepte der Stadtverwaltung⁴ schlugen für das Gebiet die Stärkung des Einzelhandels vor. Der „Masterplan Innere Stadt Bonn“, welcher seit 2011 erarbeitet und 2013 vom Stadtrat beschlossen wurde, sah darüber hinaus für das Gebiet eine Mischnutzung vor: Neben neuen Einzelhandelsflächen sollte es Wohnen sowie Raum für eine neue Zweigbibliothek der Universität Bonn sowie für das Stadtmuseum geben.⁵

Doch bereits 2010 hatten Investoren in Erwartung der Kommerzialisierung mit dem Kauf privater Grundstücke im Viktoriakarree begonnen, unter ihnen das österreichische Unternehmen Signa, das eines der zentralen Grundstücke erwarb. Anfang 2012 stellten zwei Investoren dem Wirtschaftsausschuss des Stadtrates ihre Entwicklungsprojekte für das Karree vor: das Unternehmen Signa, welches ein Einkaufszentrum vorschlug (unter Verweis auf seine Grundstücksrechte), und die PDP Holding, welche im Konzept einen kulturellen Schwerpunkt setzte. Die Stadtverwaltung befürwortete die Idee von Signa, und der regierende Bürgermeister (SPD) und die FDP trieben im Stadtrat den Entscheidungsprozess voran. Der Planungsausschuss des Stadtrates vertagte jedoch alle Entscheidungen aufgrund der zögerlichen Haltung von CDU und Grünen. Zudem stellte sich die Bezirksvertretung Innenstadt gegen das Einkaufszentrum; der Rektor der Universität wünschte die Bibliothek, und das Stadtmuseum zeigte seine klare Präferenz für ein Projekt mit kulturellem Schwerpunkt.

Im Juni 2013 schlug der Wirtschaftsausschuss des Stadtrates eine europaweite Ausschreibung für den Verkauf und die Entwicklung der kommunalen Grundstücke im Viktoriakarree vor. Die Ausschreibung ließ weitgehend die angestrebten Funktionen offen und forderte lediglich Flächen für Einzelhandel und eine kleinere Bibliothek. Nach Diskussionen beschloss der Stadtrat schließlich, das Ausschreibungsverfahren durchzuführen und im März 2014

den Prozessbeginn für einen vorhabenbezogenen Bebauungsplan zu starten. Doch im Vorfeld der Stadtratswahl Ende Mai 2014 distanzieren sich die Grünen von der zuvor mitgetragenen März-Entscheidung des Rates: Abgeordnete der Grünen traten in der Öffentlichkeit gegen ein Einkaufszentrum auf und forderten die Erhaltung des kleinräumigen Milieus im Karree anstelle einer „Kahlschlagsanierung“. Sie riefen die Bevölkerung zur Unterstützung auf, „bevor ein anderer Teil der Altstadt Opfer des Profitinteresses ausländischer Investoren wird“.⁶

Inzwischen hatte die Stadt die europaweite Ausschreibung für den Verkauf der kommunalen Grundstücke auf den Weg gebracht. Zwei interessierte Investoren (die Firmen Signa und Hochtief) wurden für weitere Gespräche mit der Stadtverwaltung eingeladen. Im April 2015 legten die Investoren ihre Vorschläge vor: Signa setzte erneut den Schwerpunkt auf den Einzelhandel (Einkaufszentrum, Bibliothek für die Universität). Der Investor Hochtief schlug hingegen Wohnungsneubau vor. Im Mai 2015 entschied eine Jury – die Empfehlungskommission, bestehend aus drei Vertretern der Stadtverwaltung und fünf Ratsmitgliedern⁷ – den Wettbewerb für den Investor Signa. Sie stellte sich damit gegen das Urteil des mit externen Fachleuten besetzten Städtebaubeirats, der beide Investorenprojekte kritisierte.⁸ Der Stadtrat bekräftigte im Juni 2015 die Entscheidung für Signa gegen die Stimmen der Linken und Grünen.

Das löste einen offenen Konflikt aus: Im August 2015 gründete sich die Bürgerinitiative Viva Viktoria e. V., um das Viktoriakarree vor dem Projekt von Signa zu schützen. Mehrere Initiativen schlossen sich an und demonstrieren jeden Mittwoch. Sie lancierten eine Petition gegen das Signa-Projekt, welcher der Stadtrat mit knapper Mehrheit von SPD, Grünen und Die Linke (gegen CDU und FDP) im Dezember 2015 beitrug. Infolgedessen wurde die Entscheidung zum Verkauf der kommunalen Grundstücke aufgehoben und der vorhabenbezogene Bebauungsplan gestoppt.

Anfang 2016 startete das Projekt neu, mit Beratungen darüber, wie die Öffentlichkeit dieses Mal einbezogen werden sollte. Das Votum fiel auf eine extern moderierte Bürgerwerkstatt, die ähnlich wie beim Bahnhofsvorplatz die zentralen Eckpunkte für die Gebietsentwicklung vorschlagen sollte. Die Bürgerwerkstatt lief von Dezember 2016 bis September 2017 und war zum Zeitpunkt der Projektdatenerhebung noch nicht abgeschlossen. Parallel zu dem Werkstatt-Prozess erwarb der Investor Signa weitere Grundstücke im Quartier und wurde zum zentralen Eigentümer. Ab 2016 verlängerte Signa einige Mietverträge nicht mehr (z. B. Bäckerei, Nachtclub, Kaffeehaus), was neue Ängste bei den Gewerbetreibenden und Bewohnern im Quartier auslöste.

4 Ansätze der Netzwerkanalyse

Die zwei Planungsgeschichten verdeutlichen zum einen die Komplexität der gesamten *Netzwerkstrukturen* mit allen involvierten Akteuren und zum anderen die Erkenntnismöglichkeiten, aus diesen die *funktionalen* Beziehungen zwischen den Planungsakteuren herauszuarbeiten und zentrale Akteure beziehungsweise Akteursgruppen zu identifizieren. Bislang werden dafür in der deutschsprachigen Planungsforschung vor allem theoriegeleitete,⁹ *qualitative Ansätze* genutzt: Die Datenerhebung basiert vornehmlich auf qualitativen Interviewformen und Dokumentenanalysen. Zudem werden meist verschiedene und komplementäre Datenquellen (z. B. Dokumente und Interviewpartner) genutzt, um das Geschehen(e) aus unterschiedlichen Blickwinkeln (Akteursperspektiven) kritisch rekonstruieren zu können. Insbesondere im Fall von Interviews ist grundsätzlich zu beachten, dass es sich um individuell gefilterte Erzählungen oder unter Umständen um Erinnerungen handelt. Die Auswertung dieser unterschiedlichen Daten erfolgt mit Werkzeugen und Ansätzen der qualitativen Inhaltsanalyse. Ansätze der quantitativen, mathematisch formalisierten Netzwerkanalysen werden bislang im deutschsprachigen Raum für Themen der Planungs- und Konfliktforschung nicht genutzt. Das ist bemerkenswert, denn zum einen finden sich die frühesten Anwendungen und Entwicklungen der mathematischen Netzwerkanalyse in der Soziologie¹⁰ und Psychologie,¹¹ also durchaus in den Gesellschaftswissenschaften, zu denen man auch die Planungswissenschaften zählen kann. Zum anderen werden Ansätze der quantitativen Netzwerkanalyse heute in einem breiten disziplinären Spektrum verwendet, der sowohl die Informatik, Biologie, Physik und jüngst die Literaturwissenschaft¹² einschließt als auch die Politikwissenschaften als benachbarte Disziplin der Planung.

Für diesen Beitrag haben wir beide Ansätze der Netzwerkanalyse – den mathematisch formalisierten Ansatz und die qualitative Netzwerkanalyse – auf die zwei Stadterneuerungsprojekte des Bahnhofsvorplatzes und des Viktoriakarrees angewendet. Beide Ansätze nutzen dabei dieselbe Datengrundlage: Es sind die Transkripte der 27 leitfadengestützten Interviews, welche im Zeitraum von Juni bis Dezember 2017 mit Vertretern aller beteiligten Akteursgruppen in den Bonner Konflikten aus Politik, Verwaltung, Privatwirtschaft und Zivilgesellschaft geführt wurden. Die Verarbeitung der Daten erfolgt methodisch bedingt unterschiedlich. Während die *qualitative Netzwerkanalyse* auf die inhaltliche Codierung von originalen Textpassagen mittels des Softwareprogramms MaxQDA entlang der eingangs benannten zentralen Forschungsfragen setzt und damit auch die offene Frage des

„Warum“ behandeln kann, wurden für die mathematische Analyse aus den Interviews manuell komplexitätsreduzierte Informationen herausgesucht und in eine Datenbank eingepflegt. Das heißt: Nach dem einfachen Schema „Akteur 1“ – „Interaktion“ – „Akteur 2“ wurden für alle von den Respondenten genannten Akteure ihre Verbindungen codiert, wobei drei Interaktionskategorien vordefiniert wurden:

- Akteur 1 „informiert“ Akteur 2 (unidirektionale Interaktion),
- Akteur 1 „entscheidet mit“ Akteur 2 (bidirektionale Interaktion) und
- Akteur 1 „diskutiert mit“ Akteur 2 (bidirektionale Interaktion).

Danach erfolgte die numerische Auswertung der Daten über das Softwarepaket von Python3 mit dem Modul networkx unter Nutzung über verschiedene Maßzahlen, siehe Tabelle 1.

Die Grundlagen und Werkzeuge der *mathematisch formalisierten und graphenbasierten Netzwerkanalyse* (oft auch nur kurz Netzwerktheorie) ermöglichen nun durchaus Analogieschlüsse zu dem Netzwerkverständnis in den Planungswissenschaften. Grundlegend für diese quantitative Netzwerkbeschreibung sind *Knoten*, welche durch *Kanten* verbunden sein können. Sie werden als v_1, v_2, \dots, v_k (vertices) beziehungsweise e_1, e_2, \dots, e_l (edges) formalisiert. Zusammen bilden sie den Graphen G . Im Bild der Planungsforschung und ihrer dargelegten Erkenntnisinteressen gesprochen, können wir die Knoten als die unterschiedlichen Akteure verstehen und die Kanten gleichsetzen mit den Verbindungs- beziehungsweise Interaktionsformen, welche zwischen den Akteuren bestehen.¹³

In der visuellen Darstellung der Netzwerke als Graphen (Abbildung 1 und 3) markiert die Breite der Strichstärke die relative Häufigkeit der Verbindungen beziehungsweise Interaktionen zwischen den Akteuren, zum Beispiel ein mehrmaliges Diskutieren. Die Reihenfolge und graphische Anordnung der Akteure in den Abbildungen sind jedoch rein zufällig gewählt. In Anlehnung an *strukturelle* und *funktionale Netzwerke* aus der medizinisch-biologischen Gehirnforschung¹⁴ wurde für die Graphen zudem das Verhältnis aus funktionalem Anteil (im Sinne aktiver Akteure für eine bestimmte Interaktion) zum strukturellen Gesamtnetzwerk (im Sinne aller beteiligten Akteure) als sogenannte *activity ratio* bestimmt. Weiterhin wurde(n) über die *graph clique number* die größte(n) Clique(n) im Graphen identifiziert. Cliques sind dabei definiert als Knotenmenge, in der alle Knotenpaare untereinander verbunden sind, zum Beispiel diskutiert in einer ‚Clique‘ jeder Akteur mindestens einmal mit jedem anderen.

Die einzelnen Akteure beziehungsweise Knoten des Netzwerks wurden über Maße der *Zentralität* und *Vitalität* quantifiziert (Abbildung 2 und 4). Die *degree centrality* ist ein klassisches Maß, das den relativen Anteil der Verbindungen eines einzelnen Knotens auf die Gesamtzahl aller Verbindungen der jeweiligen Interaktion (Informieren, Entscheiden, Diskutieren) bestimmt. *In* und *out degree centrality* beziehen sich dabei auf gerichtete ein- beziehungsweise ausgehende Verbindungen. Diese Zentralitätswerte sind höher, je mehr entsprechende Verbindungen ein Knoten aufweist. Die *betweenness centrality* fokussiert auf die vermittelnde Rolle der Akteure; sie ist am höchsten, wenn ein Knoten die kürzeste Verbindung zwischen anderen Knoten ermöglicht. Als Abstandsmaß gilt in der vorliegenden Untersuchung die Anzahl der dazwischenliegenden Kanten ohne weitere Gewichtung. Im Gegensatz zu Zentralitätsmaßen quantifizieren *Vitalitätsmaße* Knoten üblicherweise durch den Vergleich einer Maßzahl mit und ohne diesen Knoten. Die *closeness vitality* beschreibt, wie sehr sich alle Knotenabstände erhöhen würden, wenn der untersuchte Knoten wegfällt, etwa weil die Knoten nur durch einen längeren Umweg verbunden bleiben. Dabei gibt es den Spezialfall, dass die Wegnahme des Knotens die Distanz zwischen zwei anderen nicht nur verlängert, sondern komplett unterbricht. Dieser Spezialfall ist mathematisch an einer Singularität mit dem Wert $\pm\infty$ besonders gut zu erkennen und zeigt an, dass der Knoten eine essenzielle Vermittlerrolle spielt, da das Netzwerk ohne ihn nicht mehr verbunden bleibt und andere Knoten ihren Zugang verlieren.

Diese Maße stellen nur einen kleinen Auszug der Möglichkeiten dar, Netzwerke zu charakterisieren. Sie sind quasi ein erster Blick auf die quantitativen Werkzeuge der Netzwerktheorie. Dabei sind die Bedingungen für den Einsatz der Werkzeuge zu beachten. Manche Maßzahlen sind beispielsweise nur für gerichtete Kanten einsetzbar (z. B. Knoten 1 informiert Knoten 2), wohingegen andere ungerichtete Kanten erfassen (z. B. Knoten 1 und Knoten 2 diskutieren). Für die Kennzahlen in den Abbildungen 2 und 4 ist zu beachten, dass die Maße auf das Intervall $[0,1]$ normalisiert sind. Dadurch lassen sich übersichtlich etwa die wichtigsten Akteure, zum Beispiel gemäß *in degree centrality* und *out degree centrality*, identifizieren. Allerdings bedeutet ein Wert von 1 für beide Zentralitätsmaße nicht zwangsläufig dieselbe Anzahl an Verbindungen, sondern nur die höchste erreichbare Zentralität innerhalb des jeweiligen Maßes. Mathematisch besondere Ergebnisse wie unendlich große Werte der *closeness vitality* (bei Auftrennung des Graphen in zwei disjunkte Graphen durch hypothetische Wegnahme des Knotens) werden an der Obergrenze des Darstellungsdiagramms (beim numerischen Wert von 1,1) angezeigt.

5 Ausgewählte Ergebnisse der Netzwerkanalysen

Doch zu welchen Ergebnissen führen die unterschiedlichen Ansätze der Netzwerkanalyse, wenn sie auf die konkreten Planungsbeispiele angewendet werden? Welche Strukturen und funktionalen Zusammenhänge lassen sich in den komplexen Stadtplanungsnetzwerken aus Sicht der interviewten Personen erkennen und erklären? Oder anders gefragt: Auf welchen Ebenen interagieren wie welche Akteure miteinander? Welche Akteure beziehungsweise Akteursgruppen treten als die zentralen beziehungsweise marginalen hervor und warum?

Aus den Ergebnissen der Netzwerkanalysen zu den Bonner Beispielen des Bahnhofsvorplatzes und des Viktoriakarrees lassen sich diesbezüglich unter anderen die folgenden fünf Kernpunkte herausarbeiten:

Zum Ersten verdeutlichen die Analysen, dass sich in beiden Planungsfällen die *funktionalen Netzwerke* auf den Interaktionsebenen Informieren, Diskutieren und Entscheiden deutlich voneinander unterscheiden. In beiden Planungsprojekten waren aus Sicht der interviewten Personen jeweils die Mehrheit aller Netzwerkakteure an den *Diskussionen* der Projekte beteiligt und im *Informationsaustausch* aktiv. Das funktionale Netzwerk derjenigen Akteure jedoch, die im Planungsprozess *entscheiden*, ist im Vergleich dazu relativ klein. Sehr gut lässt sich dieses Muster in der mathematischen Maßzahl der *activity ratio* ablesen: Sie zeigt, dass von den 35 Akteuren im Falle des Bahnhofsvorplatzes 94 % und von den 45 Akteuren im Falle des Viktoriakarrees 93 % an den Diskussionen beteiligt waren. Demgegenüber stehen 46 % beziehungsweise 44 % Beteiligte am *Informationsaustausch*. Zum Netzwerk der Entscheider zählten die Interview-Respondenten aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Zivilgesellschaft allerdings nur 20 % der Akteure im Fall des Bahnhofsvorplatzes und 39 % im Falle des Viktoriakarrees.

Welche Akteure sind Teil welcher funktionalen Netzwerke? Die mathematische Netzwerkanalyse entdeckt für diese Frage und mit Blick auf die *Interaktionsebene des Informierens* ähnliche Muster für den Bahnhofsvorplatz wie für das Viktoriakarree. In beiden Fällen sind die lokale Zivilgesellschaft und ihre Vertreter (wie Bürgerinitiativen) der mit Abstand wichtigste Adressat beziehungsweise Empfänger von Informationen. Das zeichnet sich in deren hohem Grad an eingehenden Verbindungen ab, der Maßzahl der *degree centrality* (Abbildung 2 und 4). Informationen erhalten die Bürger und ihre Vertretungen allen voran von der Stadtverwaltung und den Investoren. Auch informiert die aktive Zivilgesellschaft stark den Bürger. Nach der Zivilgesell-

schaft ist die Stadtpolitik, einschließlich des Stadtrates, der bedeutsamste Informationsrezipient. Diese wird vor allem von der Stadtverwaltung und – das ist wichtig – von den unterschiedlichen zivilgesellschaftlichen Bürgerinitiativen informiert. Letzteres spiegelt die Erfahrungen und strategische Handlungsweise urbaner Aktivisten wider, welche in der Stadtpolitik für sie ‚erreichbare‘ Partner finden können. In einer parlamentarischen Demokratie gelingt es ihnen, über die Politiker indirekt, aber vergleichsweise effektiven Einfluss auf Stadtentwicklungsfragen zu nehmen. Die Lokalpolitik nimmt wiederum die bürgerschaftlichen Initiativen und Gruppen als Stimmungsbarmometer wahr in den Zeiten zwischen und insbesondere kurz vor Stadtrats- und Bürgermeisterwahlen, wie die Konfliktgeschichten und Interviews zeigen. Die mathematischen und qualitativen Netzwerkanalysen zeichnen damit das Bild einer differenzierten Zivilgesellschaft: Einerseits sind Bürger nach wie vor ‚nur‘ Informationsempfänger. Andererseits gestalten die engagierten und organisierten Bürger aktiv Informationsflüsse und nehmen damit Einfluss auf Stadtplanungsprozesse, und zwar vor allem auch jenseits der öffentlichen Planauslegungen und repräsentativen Stadtratswahlen.

Ein *drittes Kernergebnis* betrifft die *Interaktionsebene des Diskutierens*. Zum einen sehen wir hier – wie eingangs erwähnt – die größte Aktivität aller Akteure in den Netzwerken (siehe *activity ratio*) und damit das breiteste Akteursspektrum. Als neuer Akteur tritt hier im Übrigen die Tagespresse in Erscheinung, welche in beiden Bonner Konfliktfällen als bedeutsames Diskussionsmedium fungiert. Zum anderen sehen wir in den funktionalen Netzwerken des Diskutierens erneut relevante akteurspezifische Orientierungen. Das heißt: Nicht jeder Akteur diskutiert mit jedem gleich viel, wie die Abbildungen 1 und 3 mit ihren Linienstärken sowie die Zentralitätswerte verdeutlichen. So dominieren beispielsweise die Stadtverwaltung und der/die Investor/en in den Diskussionsnetzen beider Konfliktfälle, aber auf unterschiedliche Weise. Während die Stadtverwaltung viele Einzeldiskussionen mit verschiedenen Akteuren führt und damit ihrer zugeschriebenen Steuerungsrolle nachzukommen versucht, zeigen die Investoren deutlich kleinere und intensivere Diskussionsnetze. Zu ihren Netzwerken zählen vor allem die Stadtverwaltung, Stadtpolitik und lokalen Wirtschaftsakteure (wie die IHK, Eigentümer). Erneut helfen hier die qualitativen Inhaltsanalysen, diesen Befund zu erklären: So streben die Investoren und Projektentwickler nach frühzeitiger Planungs- und Investitionssicherheit für das jeweilige Bauprojekt, welche sie nicht direkt vom Bürger oder von den Bürgerinitiativen erhalten können, sondern nur von Stadtverwaltung und dem Stadtrat auf der Rechtsgrundlage des Baugesetzbuches. Dem-

entsprechend stringent und selektiv orientieren sie ihre funktionalen Netzwerke des Diskutierens und Abstimmens. Die quantitative Analyse erlaubt darüber hinaus eine schnelle Identifikation von vitalen Verbindungsstellen. Für das Viktoriakarree weist die kommunale Wirtschaftsförderung zwar nur moderate Zentralitätswerte auf, aber einen besonders hohen (sogar unendlichen) Wert der *closeness vitality*. Dies deutet darauf hin, dass das Gesamtnetzwerk ohne diesen Knoten nicht mehr vollständig zusammenhängt, und in der Tat bildet die kommunale Wirtschaftsförderung den wichtigen Zugang für die Einzelhändler zum funktionalen Diskussionsnetzwerk. Auch für andere Akteure, wie zum Beispiel die Tageszeitung, lässt sich eine solch vitale Rolle als Vermittler direkt aus den Kennzahlen ablesen.

Für die *Interaktionsebene des Entscheidens* unterstreichen die *activity ratio* und die Zentralitätswerte der Abbildungen 2 und 4 den Befund der kleinen Entscheider-Netzwerke. Die Untersuchung der Cliques bestätigt in diesem Sinne sehr kleine Cliques mit maximal drei Akteuren. Zu ihnen zählen in beiden Planungsfällen die Stadtverwaltung und die Stadtpolitik (beide im Viktoriakarree auch vertreten durch die „Jury/Empfehlungskommission“) sowie den / die Investor / en. Die Bürger und ihre Vertretungen gehören hingegen nur sehr selten zu den entscheidungstragenden Zirkeln.¹⁵ Akteurübergreifend überwiegt vielmehr die Einschätzung, dass privatwirtschaftliche Interessen die Bonner Stadtplanung beherrschen. Das Bild der Cliques verweist damit auf ein Dilemma, das in den qualitativen Interviewanalysen noch deutlicher wird: Auf der einen Seite sollte insbesondere durch die Einführung formeller und informeller Formen der Bürgerbeteiligung in die Planung (seit Ende der 1970er-Jahre) die Mitsprache der Bürger gestärkt werden, und tatsächlich streben viele der Bonner Aktivisten nach einer direkten Form der Mitgestaltung und Mitentscheidung. Auf der anderen Seite lehnen die Vertreter der Politik, Verwaltung und Privatwirtschaft – mit verschiedenen Argumenten, wie dem Verweis auf die parlamentarische Vertretung der Bürger, die Planungsprozessdauer oder die Finanzknappheit der Kommunen – mehrheitlich die stärkere direkte Mitentscheidungsmacht der Bürger in der Stadtplanung ab. Dabei nutzten sie in den beiden Bonner Fällen zunächst planungsrelevante Schritte, welche die Interessengemeinschaft zwischen öffentlicher Hand und Investor(en) im Sinne einer Public-Private-Partnership-Logik potenziell bevorzugte.¹⁶ Diese Verfahrensschritte ermöglichen es, die Planungsdiskussionen lange den Einblicken und der Mitsprache der Bürger zu entziehen und die Abstimmung mit potenziellen Investoren zu forcieren, im Unterschied zum Verfahren der hoheitlichen Bebauungsplanung, wel-

che die unabhängige Entwicklung der Planungsidee durch die Kommune und unter Beteiligung der Stadtöffentlichkeit in den Vordergrund stellt. In beiden Fällen war es unter anderem die Wahrnehmung dieser Intransparenz der PPP-getragenen Planung, wegen der die Bürger sich mobilisierten und sie kritisierten. Wie steht es also mit einer ausgewogenen Mitsprache und Kräfteverteilung, beispielsweise zwischen Bürgern und Investor(en) in der Stadterneuerungsplanung? Nehmen Stadtverwaltung und Stadtpolitik ihre Rolle als zentrale Gestalter von Stadterneuerungsprozessen wahr, die ihnen aufgrund der Gesetzeslage zukommt?

Diese Frage leitet zum *fünften Punkt* über und zu der Herausforderung, (Akteurs-)Netzwerke und ihre funktionalen Zusammenhänge zu interpretieren und kontextualisieren. Mit Blick auf die Stadtverwaltung und die Stadtpolitik und ihre Rolle in den Planungsprozessen zeigen uns die mathematischen Analysen vor allem die hohe Zentralität der Stadtverwaltung auf allen Interaktionsebenen an – im Vergleich zur deutlich nachgeordneten Bedeutung der Stadtpolitik (vgl. Zentralitätswerte der Abbildungen 2 und 4). Die Zentralitätswerte können damit durchaus große Macht, Selbstsicherheit, Gestaltungswillen oder auch Unabhängigkeit der Stadtverwaltung gegenüber anderen Akteuren in den Planungsprozessen suggerieren. Tatsächlich zeichnen die Interviewdaten ein anderes Bild der Verwaltung, ein Bild des Zerriebenseins und des Rückzugs: Die Vertreter der Stadtplanung schilderten die eigene Zermürbung, wo auf der einen Seite die vielfältigen, zum Teil widersprüchlichen und wandelbaren Einwände der aktiven Bürger standen. Auf diese reagierte die Kommunalpolitik wechselhaft, welche der Verwaltung infolgedessen keine verlässlichen Zielrichtungen für die Facharbeit bot. Auf der anderen Seite stand die Verwaltung der starken und fordernden Privatwirtschaft, den Investoren, gegenüber. Viele der eingangs geschilderten Konfliktepisoden plausibilisieren diese Wahrnehmungen der Stadtverwaltung und -planung. Erinnerung sei beispielsweise an den Moment im Bahnhofsvorplatzkonflikt, als die CDU im Wahlkampf das Brune-Konzept fallen ließ, oder an die Episode, als die Stadtverwaltung die Konzessionswünsche des Investors ablehnte, um der Vereinbarung der Bürgerwerkstatt nachzukommen, aber einige Bürgerinitiativen dem Investor und nicht der Verwaltung beisprangen. Im Ergebnis zeigt sich für die Stadtverwaltung ein differenziertes Bild: Zwar ist sie organisatorisch und juristisch tatsächlich zentral für die Planungsprozesse. Aufgrund der dargestellten widerstrebenden und vor allem wechselhaften Einflussnahmen und Abhängigkeiten nahm die Stadtplanung jedoch die gesetzlich vorgeschriebene Aufgabe der hoheitlichen Stadtgestaltung nur (noch) schwer wahr. Letztlich unter-

streicht dieser beispielhafte Exkurs zur Stadtverwaltung einmal mehr das erklärende, kontextualisierende und differenzierende Potenzial der qualitativen Netzwerkanalyse in wichtiger Ergänzung zu den mathematischen, netzwerkanalytischen Befunden.

6 Schlussfolgerungen

Worin liegen nun die *Potenziale* und *Herausforderungen* der zwei verschiedenen netzwerkanalytischen Zugänge und welche *Ideen für die weitere interdisziplinäre Zusammenarbeit* zeichnen sich ab?

Aus unserer Sicht verdeutlichen die Beispiele im Beitrag die Stärke und das Potenzial, mittels der mathematisch formalisierten und graphenbasierten Netzwerkanalyse große Datenmengen schnell, automatisiert und anschaulich zu strukturieren. Der Ansatz nützt der Mustererkennung, nämlich der Identifikation funktionaler Netze sowie der Beschreibung von Knoten und ihren Rollen in diesen Netzen. Im Zusammenspiel mit der qualitativen Netzwerkanalyse liegt ein Mehrwert darin, über die Netzwerkcharakterisierungen neue fachthemenische (hier planungswissenschaftliche) Fragestellungen aufwerfen zu können. Ein Beispiel dafür ist die Identifikation sogenannter ‚vermittelnder Akteure‘ über die Vitalitätsberechnung. Diese Intermediäre entgehen sehr oft in der Planungsforschung der Aufmerksamkeit und Erörterung, welche sich vor allem um die Extrema bemüht, nämlich um die dominierenden und marginalisierten Akteure. Was heißt es nun aber, wenn beispielsweise in beiden Planungsverläufen die lokale Tageszeitung einen (unendlich) hohen Wert an *closeness vitality* auf der Ebene des Diskutierens aufweist? Wen binden die Lokalmedien wie ein, der sonst nicht zum funktionalen Netzwerk gehörte? Im Zusammenspiel der mathematischen und qualitativen netzwerkanalytischen Ansätze kann es außerdem sehr gut gelingen, entdeckte Netzwerkstrukturmuster wechselseitig kritisch zu hinterfragen und damit die Interpretation und Erklärung von funktionalen Netzwerkstrukturen voranzutreiben.

Letztere – die Erklärung – sowie die Kontextualisierung und Differenzierung von funktionalen Netzwerken ist aus unserer Sicht die Stärke und das Potenzial der qualitativen Netzwerkanalyse. Mittels der qualitativen Inhaltsanalysen gelingt es beispielsweise, die Handlungsmotivationen, -logiken und -ressourcen der Netzwerkakteure aufzudecken und in Abhängigkeit von situativen und weiteren Rahmenbedingungen, wie wahlpolitischen Konstellationen oder planungsinstrumentellen Möglichkeiten, zu erklären. Damit gehen bedeutsame Differenzierungen in der Beschreibung der Akteure (Knoten) und ihrer Verhaltensweisen (Kanten) im Netz einher. Beispiels-

weise werden ihre Dilemmata, aber auch Handlungsspielräume deutlich, in dem einen Planungsprozess so und im nächsten Prozess anders agieren und damit veränderte funktionale Netzwerkmodelle evozieren zu können.

Vor diesem Hintergrund zeichnen sich aus planungswissenschaftlicher Perspektive interessante Möglichkeiten ab, qualitative und mathematisch formalisierte Ansätze der Netzwerkanalyse zusammen weiterzudenken und zu nutzen. Beispielsweise wäre es damit möglich, die größeren Mengen qualitativer Daten (z. B. Interviewtranskripte) aus verschiedenen Forschungen in Meta-Forschungsprojekten zu erschließen und netzwerkanalytisch auszuwerten. Rein qualitative Netzwerkanalyseansätze fänden hier eine wertvolle mathematische Ergänzung. Ein weiterer Punkt wäre es, mittels der mathematischen Verfahren die Dynamik, das heißt die Veränderlichkeit der Akteursnetzwerke und ihrer funktionalen Beziehungen über die Zeit hinweg, zu erfassen und die erklärenden Faktoren dafür zu identifizieren. Letztlich wäre es aber auch gewinnbringend, mittels kombinierter qualitativer und quantitativer Netzwerkanalysewerkzeuge Fragen der Quellenkritik (erneut) zu diskutieren. Wie unterschiedlich wären beispielsweise die ‚erinnerten Netzwerke‘, welche im vorliegenden Beitrag im Mittelpunkt der Analyse standen, von den Netzwerken, welche die Tageszeitungen (Medien) während des Prozesses selbst dokumentiert(en)?

Fragen nach der Datenbasis (Menge und Qualität) und der Dynamik (der zeitlichen Veränderbarkeit) funktionaler und struktureller Netzwerke könnten letztlich die methodisch-konzeptionellen Fragestellungen der Netzwerkforschung bereichern. Hier ist zu unterstreichen, dass die Entwicklung von problemspezifischen Maßen für Knoten und Graphen ein kontinuierlicher Gegenstand der Forschung ist. Ihre Interpretation bedarf sowohl mathematischer wie auch problembezogener Erfahrung und ermöglicht erst durch die interdisziplinäre Annäherung weitere Einsichten in die Netzwerkeigenschaften der Stadtplanungskonflikte.

Netzwerkmaß für Graph G oder Knoten v_i	Berechnungsvorschrift	Beschreibung	Beispiel
Activity ratio (G)	$\frac{1}{k} \sum_{v_a} 1$ (falls v_a mindestens eine Kante hat)	misst den relativen Anteil an Knoten mit mindestens einer Kante für die jeweilige Art der Interaktion (Diskutieren, Entscheiden, Informieren)	Wenn alle Teilnehmenden einer Diskussion einen Redebeitrag leisten, liegt der Wert bei 100 % bzw. 1.
Graph clique number (G)	$\max\{ clique\ c\ \subseteq\ G \}$	benennt die Größe der größten Clique im Graphen – in einer Clique sind alle Knotenpaare untereinander verbunden	Wenn drei Akteure miteinander diskutieren und nur einer von ihnen mit einer vierten Person spricht, dann bilden die ersten drei die größte Clique.
Degree Centrality (v_i)	$\frac{1}{k} \sum_{v_a} 1$ (falls Kante zwischen v_a und v_i)	misst den Anteil an Verbindungen, die ein Knoten in Relation zum Gesamtnetzwerk aufweist	Jemand, der am häufigsten mit anderen Akteuren diskutiert, ist in diesem Sinne am zentralsten.
In Degree Centrality (v_i)	$\frac{1}{k} \sum_{v_a} 1$ (falls Kante von v_a nach v_i)	misst den Anteil der eingehenden Verbindungen, die ein Knoten in Relation zum Gesamtnetzwerk aufweist	Eine Person, welche die meisten Informationen entgegennimmt, ist in diesem Sinne am zentralsten.
Out Degree Centrality (v_i)	$\frac{1}{k} \sum_{v_a} 1$ (falls Kante nach v_a von v_i)	misst den Anteil der ausgehenden Verbindungen, die ein Knoten in Relation zum Gesamtnetzwerk aufweist	Eine Person, welche die meisten Informationen ausgibt, ist in diesem Sinne am zentralsten.
Betweenness Centrality (v_i)	$\sum_{v_a, v_b} \frac{\text{kürzester Weg von } v_a \text{ über } v_i \text{ nach } v_b}{\text{kürzester Weg von } v_a \text{ nach } v_b}$	beschreibt die relative Bedeutung eines Knotens als Verbindungsstelle zwischen anderen Knoten im Gesamtnetzwerk, nämlich indem er die Verbindung zwischen den Knoten verkürzt	Wenn sich Mitarbeiter einer Baufirma und die Mitarbeiter der Stadtverwaltung nur über den Architekten austauschen, so ist Letzterer in diesem Sinne am zentralsten.
Closeness Viality (v_i)	$\sum_{\text{Knotenpaare } v_a, v_b} \text{Abstand}(v_a, v_b) - \sum_{\text{Knotenpaare } v_a, v_b} \text{Abstand}(v_a, v_b)$	misst die Änderung des summierten Abstandes zwischen allen Knotenpaaren bei Herausnehmen dieses Knotens	Bestehen zwei Informationsketten $A \rightarrow B \rightarrow C$ sowie $A \rightarrow X \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow C$, so ist B besonders vital, weil ohne B der Informationsweg von A nach C verlängert würde.

Tabelle 1: Übersicht der genutzten Netzwerkmaße für Knoten v_1, v_2, \dots, v_k und Kanten e_1, e_2, \dots, e_l des Graphen G .

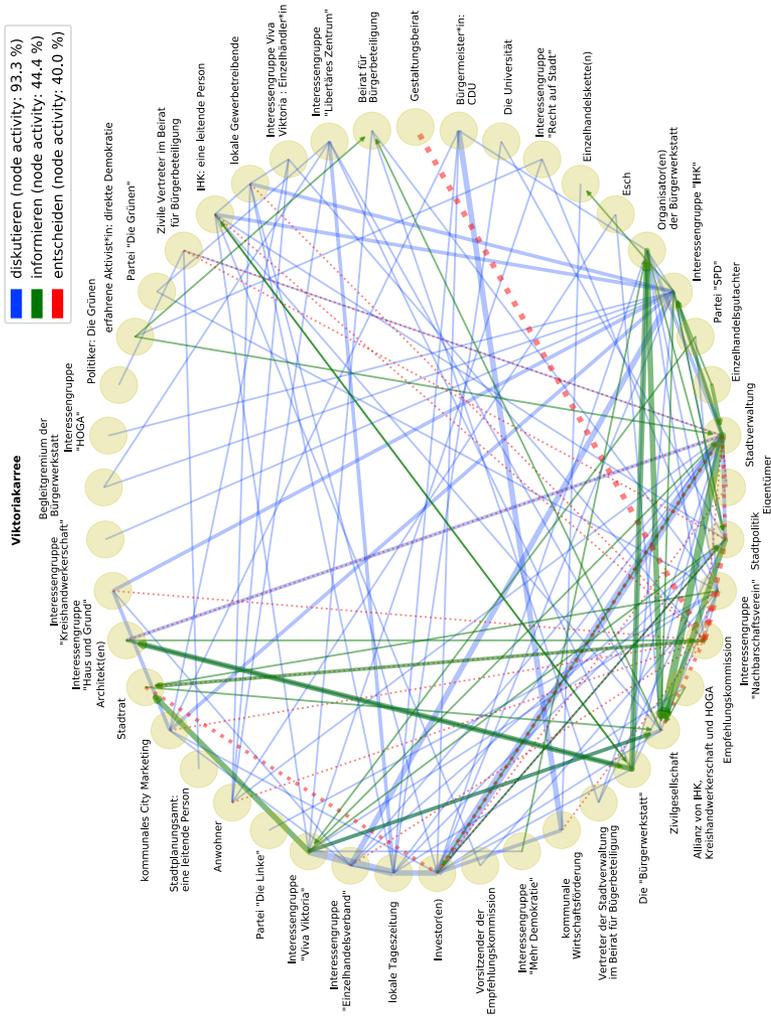


Abbildung 3: Graph des Viktoriakarrees.

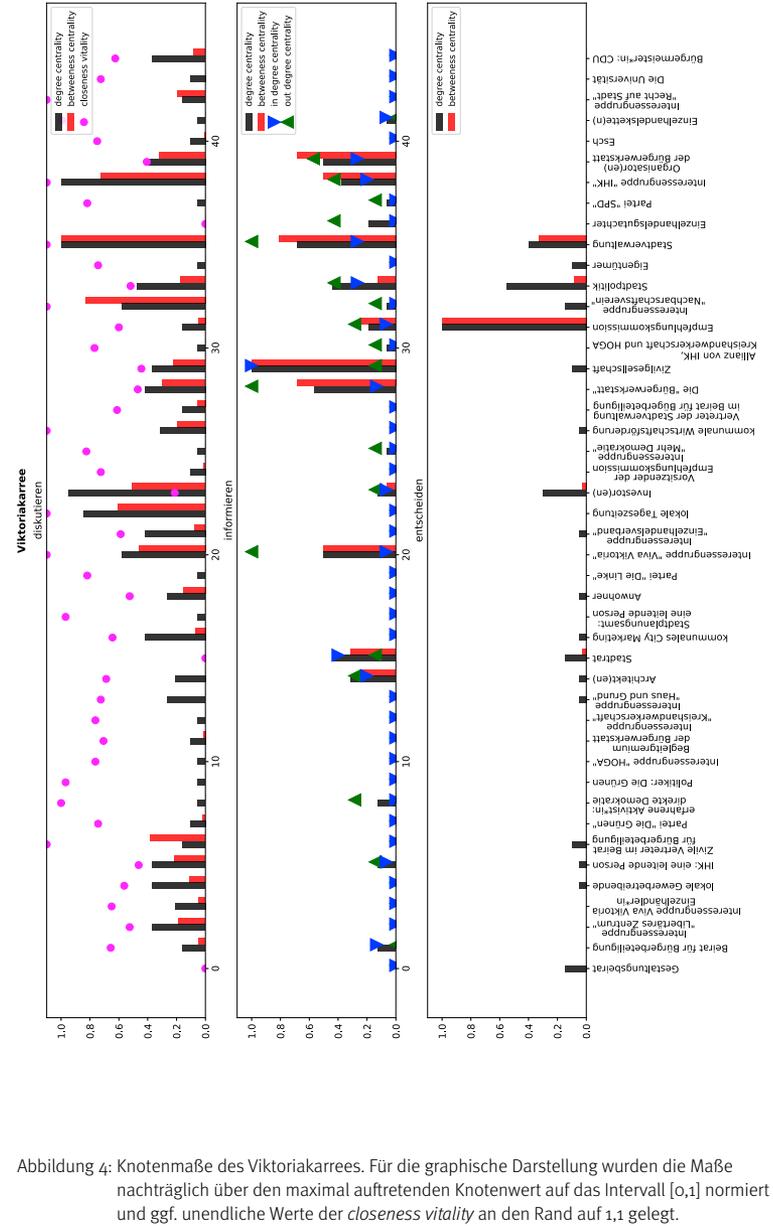


Abbildung 4: Knotenmaße des Viktoriakarrees. Für die graphische Darstellung wurden die Maße nachträglich über den maximal auftretenden Knotenwert auf das Intervall [0,1] normiert und ggf. unendliche Werte der *closeness vitality* an den Rand auf 1,1 gelegt.

Anmerkungen

- 1 Die empirischen Daten für diesen Beitrag stammen aus dem Forschungsprojekt TRIPAR (*Shifting Planning Paradigms – Towards participatory and effective urban planning in Ukraine, Russia and Germany*), welches von 11/2016 bis 5/2019 durchgeführt und von der Volkswagen Stiftung gefördert wurde. Für die deutsche Fallstudie Bonn zeichnete Carola Neugebauer verantwortlich: Neben einer Desktop-Studie zu den lokal relevanten Planungsdokumenten, Planungskonzepten, Statistiken sowie institutionellen, politischen und sozioökonomischen Entwicklungen in Bonn wurde zum einen eine systematische und themenbezogene Medienanalyse der Tageszeitung Bonner Generalanzeiger durchgeführt. Die Studie analysierte Zeitungsbeiträge in dem Zeitraum von 1/2000 bis 12/2016. Die Ergebnisse der Medienanalyse sind die Grundlage des Abschnittes 2 im vorliegenden Beitrag: Sie werden genutzt, um die Planungs- und Konfliktgeschichten zum Bahnhofsvorplatz sowie zum Viktoriakarree chronologisch zu rekonstruieren. Zum anderen wurden in Bonn mit Blick auf die zwei Konfliktfälle 27 leitfadengestützte Interviews im Zeitraum von Juni bis Dezember 2017 geführt – und zwar mit Vertretern der Stadtpolitik, der Stadtplanung/Verwaltung, der Privatwirtschaft (einschließlich Investoren) und der aktiven Zivilgesellschaft. Im vorliegenden Beitrag werden die Transkripte dieser Interviews sowohl für die mathematisch formalisierte Netzwerkanalyse genutzt als auch für die qualitative. Die Ergebnisse beider Analysen werden im Abschnitt 4 vorgestellt.
- 2 Linke, H.–J.: *Public Private Partnership (PPP) bei Bauleitplanung und Bodenordnung*, in: *fub* 1 (2006), S. 1–8.
- 3 Sie stützen sich – wie eingangs erläutert – auf die systematische und themenbezogene Medienanalyse der Tageszeitung Bonner Generalanzeiger zum Zeitraum 1/2000–12/2016.
- 4 Nämlich das Bonner Einzelhandels- und Zentrenkonzept (2008), ein detaillierter Einzelhandelsbericht und eine Potenzialanalyse zum Viktoriakarree (2013).
- 5 <https://www.bonn.de/themen-entdecken/planen-bauen/masterplan-innere-stadt.php> (letzter Zugriff: 13.10.2020).
- 6 Pressemitteilung Mai 2014 von Beu/Lohmeyer. In: TRIPAR Projektbericht, Fallstudie Bonn, 3/2017:33; unveröffentlicht, RWTH Aachen, Juniorprofessur SKE.
- 7 2 CDU, 1 SPD, 1 FDP, 1 Grüne, vgl. *Amtsblatt Bundesstadt Bonn* 2014.
- 8 Der Städtebaubeirat hatte das Projekt von Signa als inakzeptabel kritisiert und Hochtief als romantisch (vgl. Medienanalyse zum Bonner Generalanzeiger, zusammengefasst in: TRIPAR Projektbericht, Fallstudie Bonn, 3/2017:33. unveröffentlicht, RWTH Aachen, Juniorprofessur SKE).
- 9 Zu Netzwerktheorien in den Geistes- und Sozialwissenschaften siehe auch den Beitrag „Strukturelle, funktionale und effektive Konnektivität“ von Lore Knapp in diesem Band.
- 10 Davis, J. A.: *Clustering and Structural Balance in Graphs*, in: *Human Relations* 20:2 (1967), S. 181–187; Freeman, L. C.: *Centrality in social networks: Conceptual clarification*, in: *Social Networks* 1:3 (1979), S. 215–239.
- 11 Heider, F.: *Attitudes and Cognitive Organization*, in: *The Journal of Psychology* 21 (1946), S. 107–112.
- 12 Prado, S., Dahmen, S. R., Bazzan, A. L. C.: *Temporal Network Analysis of Literary Texts*, in: *Advances in Complex Systems* 19:3&4 (2016), 1650005; Dahmen, S. R., Bazzan, A. L. C., Gramsch, R.: *Community Detection in the Network of German Princes in 1225: A Case Study*, in: *Springer Proceedings in Complexity (Complex Networks VIII)*, Cham, Switzerland: Springer, 2017, S. 193–200; Dahmen, S. R.: *Die Mathematik der Epen: Die Netze der Helden und Täter*, in: *Frankfurter Allgemeine Zeitung* (2015). <https://www.faz.net/aktuell/wissen/physik-mehr/die-mathematik-der-epen-die-netze-der-helden-und-taeter-13890209.html> (letzter Zugriff: 13.10.2020).
- 13 Für die Darstellung der mathematischen Grundlagen werden wir folgend weiterhin die Begriffe ‚Knoten‘ und ‚Kanten‘ nutzen. Für die Beschreibung und Diskussion der Stadtplanungsprozesse werden wir jedoch von ‚Akteuren‘ und ‚Verbindungen beziehungsweise Interaktionen‘ sprechen, da diese Begriffe sinnfälliger für die vorliegenden Fallbeispiele sind.
- 14 Unterschieden werden in der Regel *structural connectivity* (das Vorhandensein von Faserbündeln), *functional connectivity* (durch Korrelation gemessene Knotenaktivität) sowie *zustands-/kontextabhängige effective connectivity* (Einfluss eines Knotens auf andere), siehe etwa Park, H.–J., Friston, K.: *Structural and Functional Brain Networks: From Connections to Cognition*, in: *Science* 342 (2013) 1238411.
- 15 Das ist der Fall im Viktoriakarree, wo die Bürgerinteressen indirekt in einer Entscheidungsclique durch den „Beirat für Bürgerbeteiligung“ zusammen mit der „Stadtpolitik“ und „Stadtverwaltung“ als Entscheider wirkten. Im Projekt um den Bahnhofsvorplatz bildeten die Bürgerinitiativen „Pro Bahnhofsvorplatz“ und die „Bürgerwerkstatt“ eine von Stadtverwaltung, Politik und allen sonstigen Akteuren losgelöst wahrgenommene Entscheidungsclique.
- 16 In diesem Sinne können die Ausschreibungen zur Investorensuche (Tender), Vorhabenbezogene Bebauungspläne (BauGB §12) und informelle Investorengespräche ausgestaltet und genutzt werden.

Netzwerkanalyse in der Geschichtswissenschaft am Beispiel von Bedas *Historia Ecclesiastica Gentis Anglorum*

Sílvio R. Dahmen

Abstract

Die große Zahl von Akteuren, die über mehrere Jahre hinweg an historischen Ereignissen beteiligt sind, macht die Analyse von Motiven, Ursachen, Folgen und Deutungen relevanter historischer Fakten zu einer schwierigen Aufgabe. Man kann die Geschichte von dem Standpunkt der ‚Great-Man-Theorie‘ betrachten: Geschichte sei maßgeblich von großen Persönlichkeiten beeinflusst und geleitet, die spezifische Führungsqualitäten besitzen. Trotz der methodologischen Anziehungskraft dieser Idee – da man Geschichte als Resultat des Wirkens von einer kleinen Zahl ‚besonderer‘ Menschen greifbar macht – lässt diese Theorie die Komplexität menschlicher Beziehungen außer Acht. In den letzten Jahrzehnten ist der Geschichtsforschung indes bewusst geworden, dass Netzwerke ein gut fundiertes und zuverlässiges Werkzeug für die Analyse komplexer Ereignisse bilden. Die Vernetzung Hunderter Akteure kann mithilfe mathematischer Modelle verstanden und analysiert werden, womit die Anwendung von Netzwerken in der Geschichtswissenschaft ein logischer nächster Schritt ist. Anhand eines Beispiels, nämlich der *Historia Ecclesiastica Gentis Anglorum* (*Kirchengeschichte des Englischen Volkes*) des angelsächsischen Mönchs Beda, des Ehrwürdigen, wird diskutiert, wie die Netzwerktheorie uns hilft, ein neues Licht auf die Relevanz der Akteure zu werfen; insbesondere auf das Wirken von Frauen, die bis zum heutigen Zeitpunkt ignoriert wurden.

1 Einleitung

Netzwerke gehören zu den am schnellsten wachsenden Forschungsfeldern in der Schnittstelle zwischen angewandter Mathematik, Physik und Informatik. Kurz gesagt, ist Netzwerktheorie die Erforschung von Graphen als Darstellung von Beziehungen zwischen diskreten Objekten. In den letzten Jahren war eine

explosionsartige Nutzung von Netzwerken als quantitatives Werkzeug zu beobachten, mit denen man zwischenmenschliche Beziehungen in menschlichen Gesellschaften analysieren und quantifizieren kann.¹ Ungeachtet der Tatsache, dass die Anwendung von Netzwerken in den Sozialwissenschaften auf mehr als fünf Jahrzehnte zurückgeht,² ist das Interesse an diesem Thema erst in den letzten Jahren wieder gestiegen. Dies geschah vor allem aufgrund der Zunahme der Rechenleistung, was es ermöglicht hat, immer komplexere Systeme zu analysieren. In jüngerer Zeit wird diesen Methoden in der Hoffnung, neue Einblicke in historische Ereignisse zu gewinnen, mehr Beachtung geschenkt.³ Dieser Ansatz wird auch von detaillierten Studien zu ‚Charakternetzwerken‘ in Erzählungen unterstützt.⁴

Die Erzählung historischer Ereignisse beinhaltet die Beschreibung und Konstruktion komplexer Beziehungen zwischen einer Vielzahl von Akteuren. Solche Ereignisse können sich über Tage, Monate, Jahre oder sogar Jahrhunderte erstrecken, was sie auch zu einem idealen Testgelände für die Untersuchung von zeitlich veränderlichen Netzwerken macht.⁵ Da wir jedoch nicht in der Lage sind, eine so große Menge an Informationen auf prägnante und kohärente Weise zu verarbeiten, konzentrieren sich die Interpretationen in der Regel auf einige wenige Schlüsselfiguren und Ereignisse in der Hoffnung, dass der Fokus auf einige Hauptstränge zu einem besseren Verständnis verhilft. Das bedeutet jedoch nicht, dass unsere Quellen die erkenntnistheoretische Sichtweise unterstützen, die von der sogenannten ‚Theorie des großen Mannes‘ von Thomas Carlyle vertreten wird, nämlich, dass es die wenigen ‚Auserwählten‘ sind, die den Lauf der Geschichte bestimmen.⁶

Ein verengter Blickwinkel hat dennoch in der Vergangenheit die Art und Weise geprägt, wie wir Geschichte wahrnehmen, und unter anderem dazu geführt, dass Frauen als Nebenfiguren wichtiger historischer Ereignisse dargestellt werden. Geschlechtsspezifische Annahmen, welche die heutige Gesellschaft strukturieren, haben tiefe Wurzeln in der Vergangenheit, und es bleibt die Frage, ob frühere Gesellschaften Frauen eine weitreichendere Rolle beim Aufbau von Gemeinschaften und Netzwerken eingeräumt haben, als wir oft annehmen. Aus dieser Perspektive kann die Netzwerktheorie von großem Wert sein, da sie komplexe verborgene Strukturen aufdeckt, die bestimmend dafür sein können, wie weniger bekannte historische Persönlichkeiten eine wichtige Rolle in historischen Ereignissen gespielt haben.

Die Zeit von ca. 330 bis 735 n. Chr. stellt eine besonders fruchtbare Ära dar, um die Rolle von Frauen als Verbindungsagenten von Männern zu

studieren. Diese Periode war in Britannien von Kriegen, Fehden und religiösen Konflikten sowie schnellen Veränderungen in der politischen Autorität bestimmt. Texte aus dieser Zeit wurden oft so interpretiert, dass sie die gesellschaftliche Rolle der Frau entweder darauf reduzierten, Konflikte zwischen Männern zu säen oder sie zu versöhnen. Dies wird zum Beispiel durch die Verwendung des Begriffs *peaceweavers* demonstriert, eine direkte Entlehnung aus dem altenglischen Kenning *freothuwebbe* für weibliche Dynastiemitglieder, die zur Etablierung dynastischer Verbindungen mit Männern anderer Herrscherhäuser verheiratet wurden.⁷ Argumentiert wird, dass in den damaligen Gesellschaften die primäre soziale Erwartung an Frauen darin bestand, Männer miteinander zu verbinden. Diese Ansätze übersehen jedoch, dass zu der damaligen Zeit nicht nur ihr Geschlecht für die Handlungsmöglichkeiten adliger Frauen bestimmend gewesen sein muss, sondern auch ihre sozialen Beziehungen und ihre Positionswechsel in verschiedenen sozialen Netzwerken. Die Interpretation ihrer Handlungsfähigkeit wurde in den letzten Jahrzehnten entsprechend infrage gestellt.⁸

Vor diesem Hintergrund werfen wir hier einen genaueren Blick auf ein Netzwerk historischer Persönlichkeiten, das in Bedas *Historia Ecclesiastica Gentis Anglorum* (im Folgenden *Historia* genannt) beschrieben wird, um die Rolle der Frau zu der Zeit von ca. 330 bis 735 n. Chr. in Britannien zu beurteilen.⁹ Bedas *Historia* bietet ein ungewöhnlich umfassendes und kohärentes Bild der Ereignisse in Großbritannien während dieser Zeit und ermöglicht es uns auch, verschiedene Arten von Netzwerken zu erforschen, da die Verbindungen nach 21 verschiedenen Beziehungstypen kategorisiert werden können (wir beschreiben diese im nächsten Abschnitt ausführlicher).

Als Maßstab der Relevanz von Frauen analysieren wir die Kommunikationsfähigkeit von Knoten, das heißt ihre Fähigkeit, Informationen zu senden oder zu empfangen.¹⁰ Die Ergebnisse werden zum einen die Relevanz einiger Frauen innerhalb der Netzwerkstruktur der Erzählung aufzeigen und zum anderen illustrieren, dass diese Bedeutung unabhängig von den mächtigen Männern bestand, mit denen sie verbunden waren. Erst durch die hier angewandten Techniken kristallisiert sich die konstitutive Rolle bestimmter Frauen in diesem historischen Charaktergeflecht heraus.

2 Beda Venerabilis: *Historia Ecclesiastica Gentis Anglorum*

Der Ehrwürdige Beda (ca. 672 / 3–735 n. Chr.) war ein Mönch in Northumbria und einer der führenden Gelehrten Westeuropas seiner Zeit, der ausführlich über Theologie, Geschichte, Mathematik, Naturphänomene und Zeitrechnung schrieb.¹¹ Doch trotz der umfangreichen Bandbreite seines literarischen Schaffens ist er aus gutem Grund als ‚Vater der englischen Geschichte‘ in die Geschichte eingegangen: Seine Darstellung der frühen Geschichte Großbritanniens ist die ausführlichste und die wichtigste Quelle für Informationen, die wir aus dieser Zeit haben. Beda war Teil umfangreicher intellektueller und kirchlicher Netzwerke. Er stand in engem Kontakt mit dem Erzbistum Canterbury und anderen Klöstern und Kirchen in ganz Großbritannien, von denen ihm viele bei seinen Bemühungen halfen, mehr über die Geschichte seines Volkes zu erfahren. Dank der Bemühungen des Gründerabtes seines Klosters, Benedict Biscop (gest. 690), der Rom fünfmal besuchte und immer mit Büchern und anderen kirchlichen Ressourcen zurückkehrte, hatte Beda zu diesem Zeitpunkt Zugang zu einer der am besten ausgestatteten Bibliotheken in ganz Europa. Die Tiefe seiner Gelehrsamkeit zeigt sich in seinen Schriften. In der *Historia*¹² bemühte sich Beda, die Rolle seines eigenen Volkes in der Entfaltung der Heilsgeschichte aufzuzeigen, indem er die Geschichte ihrer Bekehrung zum Christentum und ihrer Mitgliedschaft in der Weltkirche erzählte. Sein Werk umfasst etwa 800 Jahre, von der römischen ‚Invasion‘ Britanniens durch C. Iulius Caesar im Jahr 55 v. Chr. bis zur ersten Hälfte des 8. Jahrhunderts. Bedas *Historia* ist in fünf Bücher gegliedert, die zu großen Teilen chronologisch geordnet sind. Diese Bücher sind je nach Buch weiter in 20 bis 34 Kapitel unterteilt. Buch 1 beginnt mit einer Beschreibung der geografischen Lage Großbritanniens und deckt den längsten Zeitraum ab. Dieser reicht von der ersten Invasion durch Caesar im ersten Jahrhundert v. Chr. bis zum späten sechsten Jahrhundert mit der Ankunft christlicher Missionare aus Rom in Kent. Die Bücher 2 bis 5 erzählen die allmähliche Bewegung des Christentums von Kent in das nördliche Königreich Northumbria, einschließlich der bedeutenden Rückschläge, die die Missionare erlebt haben. Am Ende des zweiten Buches weist Beda darauf hin, dass die ganze Insel das Christentum angenommen hat. Die Bücher 3 und 4 zeichnen die Entwicklung vom frühen Christentum bis zur Gründung der Kirche, einschließlich der Ausbreitung von Klöstern in der zweiten Hälfte des siebten Jahrhunderts. Forschende haben seit Langem die Bedeutung der Bücher 3 und 4 für die

übergreifende Erzählung der *Historia* bemerkt und die vorliegende Untersuchung zeigt, dass diese beiden Bücher auch die Erzählung in Bezug auf die Anzahl der Personen und deren Verbindungen dominieren. Seit den 1970er-Jahren¹³ haben sich Forschungsarbeiten auf die Darstellung von Frauen in Bedas Hauptwerk konzentriert und sind zu verschiedensten Schlüssen gekommen: Auf der einen Seite sahen viele diese Periode als eine goldene Zeit für Frauen,¹⁴ während andere meinten, Beda habe in seiner Darstellung die Frauen in eine Nebenrolle verdrängt.^{15, 16}

3 Data Gathering

Um die Eigenschaften einer Reihe unterschiedlicher Quellen aus dem vierten bis achten Jahrhundert zu vergleichen, wurde ein Datenmodell entwickelt, das die Arten von Beziehungen, denen wir in unseren Quellen begegnen, in 21 verschiedene Beziehungskategorien einteilt. Dieses Modell bietet eine tiefgreifende Analyse, da wir die Beziehung zwischen Ehepartnern von denen von Familienmitgliedern, Geistlichen in einer klösterlichen Gemeinschaft oder Militärlämpfern unterscheiden können. Die Datenbasis der 21 Netze ist durch die unterschiedliche Verteilung der Daten auf die jeweiligen Beziehungskategorien auch unterschiedlich dicht. Die Unterteilung ist dabei gleichzeitig nicht so groß, dass die Datenbasis einzelner Netzwerke für die Analyse zu stark ausgedünnt wird. Die Kategorien können weiter in zwei große Gruppen eingeteilt werden, nämlich freundschaftliche und feindliche Beziehungen. Die freundlichen sind: Verwandtschaft, Ehe, Konkubinat, häusliche Beziehungen, Pflege, Freundschaft, Kirchentreffen,¹⁷ Klosterfamilie,¹⁸ geistliche Verwandtschaft, Patronage, politische Verbindungen, persönliche diplomatische Beziehungen, Briefempfänger und Textübermittlung. Von diesen Beziehungen sind drei gerichtet: Briefempfänger, Textübertragung und Patronage. Feindseligkeiten können von militärischer, politischer, religiöser, häuslicher, sozialer oder geschlechtsspezifischer Natur sein. Zwei weitere Kategorien, die freundlich oder feindselig sein können, sind *post mortem*, was Interaktionen zwischen Menschen und Verstorbenen sowie übernatürliche Interventionen beschreibt. Das passiert, wenn Engel, Geister, Dämonen usw. in das tägliche Geschehen eingreifen. Aus moderner Sicht können diese letzten beiden Kategorien irrelevant erscheinen, aber für die Menschen, die zu der Zeit von ca. 330 bis 735 n. Chr. lebten, waren diese Eingriffe real und ein fester Bestandteil der

Erzählung. Daher haben wir sie aus Gründen der Vollständigkeit aufgezeichnet. Da es sich jedoch um separate Beziehungskategorien handelt, können wir sie auch aus unserer Analyse des Netzwerks entfernen, wenn wir dies wünschen.

Immer wenn zwei oder mehr Personen von Beda in irgendeiner Art von Interaktion beschrieben werden, wird eine Kante zwischen ihnen unter der Kategorie aufgezeichnet, die diese Interaktion am besten darstellt. Die Personen selbst werden dabei auch als Knoten des Netzwerks bezeichnet, zwischen denen die Kante liegt. Das heißt, wir verbinden Charaktere, wenn uns ausdrücklich gesagt wird, dass sie verbunden sind, zum Beispiel wenn zwei Charaktere als Brüder dargestellt werden, oder implizit, wenn zwei Charaktere gleichzeitig als Teil desselben Unternehmens dargestellt werden. Dies geschieht manuell, da wir nur so Netzwerke mit einer solchen Tiefe in Beziehungskategorien erfassen können. Darüber hinaus sind viele der Charaktere unbenannt oder sie sind eine kollektive Gruppe und keine automatisierte Lesemethode wäre in der Lage, sie herauszufiltern. Dazu kommt auch, dass die Originalfassung (Latein) genutzt wurde. Kanten werden gewichtet, das heißt, wir ordnen ihnen einen Wert $w \geq 1$ zu, der die Häufigkeit berücksichtigt, mit der die entsprechenden Charaktere in der gesamten Erzählung interagiert haben. Wenn Kategorien kombiniert werden, werden Kantengewichte für alle betreffenden Kategorien hinzugefügt.

Bei der Untersuchung der Kommunikationsfähigkeit von Knoten müssen wir unterscheiden zwischen ihrer Fähigkeit, Informationen zu senden oder zu empfangen. Auf der einen Seite ist diese Unterscheidungsmöglichkeit für gerichtete Netzwerke trivial. Auf der anderen Seite entsteht sie für ungerichtete Netzwerke jedoch erst aus der zeitlichen Reihenfolge der Verbindungen. Ein Ereignis kann zeitlich zum Beispiel nur in die Zukunft wirken. Da uns für die Analyse der Netzwerkentwicklung besonders die zweite Art der Asymmetrie interessiert, nämlich die zeitlich bedingte, untersuchen wir diesbezüglich nur Netzwerke, die auf ungerichteten Verbindungen beruhen. Außerdem wurden *post-mortem*- und *übernatürliche* Verbindungen nicht berücksichtigt, da diese eine Mischung aus gerichteten und ungerichteten Verbindungen innerhalb derselben Kategorie haben können. Darüber hinaus hat Beda keinen Fall von geschlechtsspezifischer Gewalt in seiner Erzählung, sodass sich effektiv ein Netzwerk aus 15 ungerichteten Kategorien ergibt. In diesem Fall hat das Netzwerk 473 Akteure, von denen 62 Frauen sind. Die Anzahl der Verbindungen beträgt 2340. Unten präsentieren wir eine Tabelle mit der Anzahl der Personen (P) und Verbindungen (V) für jedes Buch:

	P	V	% der Verbindungen
Buch 1	87	276	12
Buch 2	89	456	19
Buch 3	143	712	31
Buch 4	144	572	24
Buch 5	117	324	14
Insgesamt	473	2340	100

Tabelle 1: Anzahl der Personen / Knoten P und ungerichteten Verbindungen / Kanten V in Bedas *Historia*. Die letzte Spalte ist der Prozentsatz der Verbindungen jedes Buches im Verhältnis zur Gesamtzahl der Verbindungen. Manche Personen werden in mehreren Büchern erwähnt und gezählt. Für die Gesamtzahl werden sie jedoch nur einmal gezählt, sodass diese kleiner ausfällt als die Summe über alle einzelnen Bücher.

Obwohl es in Buch 4 nur eine Person mehr gibt als in Buch 3, hat Letzteres eine erheblich größere Anzahl von Verbindungen und folglich mehr Gewicht als alle anderen Bücher. Die Auswirkung dieser Dominanz von Buch 3 wird in dem Abschnitt der Ergebnisse diskutiert.

4 Die Communicability

Die *Communicability* oder Kommunikationsfähigkeit zwischen zwei Knoten wird normalerweise definiert als der kürzeste Weg, der sie verbindet. Sie verdankt ihren Namen der Idee, dass selbst wenn zwei Knoten nicht direkt miteinander verbunden sind, ein Signal, das von einem Knoten ausgeht, den anderen über dazwischenliegende Knoten erreichen kann. In diesem Zusammenhang spielt die Kommunikationsfähigkeit eine Rolle bei der Ausbreitung von Epidemien, der Signalübertragung und der Unterwerfung / Anpassung an gesellschaftliche Normen, um nur einige Beispiele zu nennen. Intuitiv ist auch klar, dass in bestimmten Situationen die Kommunikation zwischen zwei beliebigen Knoten möglicherweise nicht auf dem kürzesten Verbindungsweg erfolgt, sondern auf längeren. So kann die Idee eines ‚Pfad‘ (*path*) zwischen zwei beliebigen Knoten i und j auf die eines ‚Spazierweges / Weges‘ (*walk*) verallgemeinert werden. Ein Pfad der Länge k ist eine Folge von k verschiedenen Kanten $e_1, e_2, \dots, e_{k-1}, e_k$, die i mit j verbinden. Andererseits ist ein *walk* der Länge k zwischen i und j eine Folge von nicht notwendigerweise unterschiedlichen Kanten, die beide Knoten verbinden,

das heißt, Kanten können mehr als einmal durchlaufen werden. Ein *path* impliziert, dass eine Kante nur einmal überquert wird, während wir bei einem *walk* dieselbe Kante immer wieder passieren dürfen, solange sie ungerichtet ist. Gerichtete Kanten können in einer bestimmten Richtung nur einmal durchlaufen werden. Diese Idee kann wie folgt präzisiert werden.

Es folgt ein kurzer mathematischer Rahmen, um die Kommunikationsfähigkeit der Charaktere in Bedas Werk zu quantifizieren, bevor die Ergebnisse präsentiert und diskutiert werden. Ein Netzwerk ist eine Menge von Knoten $\{V\}$ (englisch *vertices*) und Kanten $\{E\}$ (englisch *edges*), die als Graph $G = (V, E)$ dargestellt werden können. Im vorliegenden Fall bilden die Personen in Bedas Geschichte die Knoten und ihre Verbindungen die Kanten. Es sei weiter $|V| = P$ die Anzahl der Knoten und $|E| = L$ die Anzahl der Kanten. Für diesen Graphen kann man die sogenannte Adjazenzmatrix $A(G) = A$ definieren, deren Elemente angeben, ob Knoten i und j verbunden sind:

$$(1) \quad A_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{falls } i \text{ und } j \text{ verbunden sind} \\ 0 & \text{falls nicht} \end{cases}$$

Aus dem Bereich der algebraischen Graphentheorie ist bekannt, dass der (i, j) -Eintrag der k -ten Potenz der Adjazenzmatrix $(A^k)_{ij}$ der Anzahl der Wege (*walks*) der Länge k zwischen den Knoten i und j entspricht.¹⁹ Daher kann man die Kommunikationsfähigkeit C_{ij} zwischen den Knoten i und j als Summe aller Wege zwischen ihnen definieren:

$$(2) \quad C = A + A^2 + A^3 + \dots$$

Wegen ungerichteter Verbindungen kann diese Summe divergieren. Um dieses Problem zu umgehen, können wir es modifizieren, indem wir einen ‚Dämpfungs‘-Faktor $\alpha < 1$ einfügen,²⁰ sodass die Summe für einen richtig gewählten Wert von α konvergiert:

$$(3) \quad C = \alpha A + \alpha^2 A^2 + \alpha^3 A^3 + \dots = (I - \alpha A)^{-1} = \text{Res}(A, \alpha)$$

wobei *Res* die Resolvente bezeichnet und I für die Identitätsmatrix steht. Man kann zeigen, dass C für $\alpha = 1/|A_{\max}|$ garantiert konvergiert. Dabei ist A_{\max} der größte Eigenwert von A und sein Betrag $|A_{\max}|$ der sogenannte Spektralradius.

Definition (3) kann auf Adjazenzmatrizen angewendet werden, die gerichtete oder ungerichtete Netzwerke darstellen. Daraus lassen sich zwei unterschiedliche Instanzen von Kommunikationsfähigkeit definieren, eine sogenannte eingehende Empfangsfähigkeit (*in-communicability*) und eine ausgehende Sendungsfähigkeit (*out-communicability*). Sie ergeben sich für jeden Knoten beziehungsweise jeden Charakter des Werkes aus der Summe der Einträge einer Zeile beziehungsweise Spalte von C .²¹ Mathematisch folgt dies aus dem inneren Produkt mit dem Einsvektor $\mathbf{1}$ gemäß

$$(4) \quad C^{aus} = C^T \cdot \mathbf{1}; \quad C^{ein} = C \cdot \mathbf{1}$$

wobei C^T die Transponierte von C ist.

Für den Kontext der vorliegenden Arbeit besitzen diese Definitionen nun eine vorteilhafte methodische Eigenschaft, da man sie leicht erweitern kann, um temporale, das heißt zeitlich veränderliche, Netzwerke zu behandeln. Aus Gründen der Vollständigkeit gehen wir vor der Darstellung der Ergebnisse noch kurz auf diese Erweiterung ein.

Netzwerke können sich mit der Zeit ändern. Dies gilt auch für Charakternetzwerke, die in historischen Quellen beschrieben werden, da Ereignisse, an denen historische Figuren teilnehmen, sequenziell angeordnet und daher von Natur aus dynamisch sind. Der natürliche Ansatz zur Erweiterung einer Adjazenzmatrix A , die über einen bestimmten Zeitraum M unterschiedliche Realisierungen hat, ist, sie auf einen Rang-3-Tensor des Typs A_{ijk} zu erweitern, wobei $k = 1, 2, 3, \dots, M$. Um diesen Rang-3-Tensor mit den bekannten Methoden der Netzwerkanalyse zu handhaben, greift man in der Regel auf die Umformung eines Rang-3-Tensors auf einen Rang-2-Tensor zurück. Eine solche Methode wurde von Taylor et al. eingeführt²² und besteht darin, die Adjazenzmatrizen verschiedener Zeiten zu einer großen Supraadjazenzmatrix zu kombinieren. Da im vorliegenden Fall einige Matrizen für vorgegebene Zeiten zu spärlich besetzt waren, wurden diese zu einer einzelnen zeitunabhängigen Matrix kombiniert. Wegen der Struktur von Bedas Arbeit dominiert Buch 3 das Narrativ und die anderen Bücher tragen wenig zum Endresultat bei.

5 Die Ergebnisse

Uns interessiert, welche Frauen, wenn überhaupt, eine wichtige Rolle in Bedas Netzwerk spielen. Die Ergebnisse für die Kommunikationsfähigkeit in zeitabhängigen Netzwerken sind in Abbildung 1 dargestellt. Aus Grün-

Bei Beda sieht man zudem auch kaum einen Einfluss, der einen Unterschied zwischen den Kommunikationsformen Senden und Empfangen bedingen würde. Dies lässt sich auf Bedas Narrativ zurückführen: Buch 3 der *Historia* beinhaltet die meisten Ereignisse und Verbindungen des gesamten Werkes und überschattet daher die anderen Bücher. Dies hängt damit zusammen, dass die Ereignisse im Buch 3 zeitlich kurz vor oder sogar zu Bedas eigener Zeit einzuordnen sind, während die Berichte der ersten Bücher Jahrhunderte vor ihm lagen.

Ein überraschendes Ergebnis – und für diese Arbeit von großer Bedeutung – ist das Erscheinen von vier Frauen unter den Hauptfiguren. Eine von ihnen, *Eanflaed*, hat den fünfthöchsten Kommunikationswert unter allen 473 Personen, die im Werk genannt werden. Im historischen Kontext der *Historia* signalisiert das Erscheinen von Eanflaed eine Warnung: Eanflaed war eine Königin (die Gemahlin von König Oswiu von Northumbria in zweiter Ehe) und die Tochter des Königs Edwin mit der Königin Ethelburh of Northumbria. Aelfflaed war ihre Tochter mit König Oswiu, und damit sind diese drei Frauen mit mächtigen Monarchen verbunden. Daher könnten ihre hohen Werte der Kommunikationsfähigkeit die Auswirkung von König Oswiu sein, der den höchsten Wert überhaupt aufweist. Um diese Behauptung zu überprüfen, nämlich ob der Wert der Kommunikationsfähigkeit einer Frau im Wesentlichen an jene eines hochrangigen Mannes gebunden war, haben wir einen Test durchgeführt: Die Topologie des Netzes wurde durch die Entfernung eines einzelnen mächtigen Mannes geändert und die Werte der Frauen wurden neu bestimmt.

Dies wird in Abbildung 3 dargestellt. Man sieht, dass neben der *Communicability* von Eanflaed auch jene von Ethelburh of Northumbria, ihrer Mutter, stark von der Anwesenheit / Abwesenheit von bestimmten Männern beeinflusst wird. Dagegen werden die Werte von Aelfflaed, der Tochter von Oswiu und Eanflaed, nicht so sehr beeinflusst. Dies gilt auch für diejenigen von Etheldreda (Sankt Audrey, berühmt wegen ihres medizinischen Wissens) und Hild (Sankt Hild von Whitby), deren Kommunikationsfähigkeitswert kaum von anderen Männern beeinflusst wird.

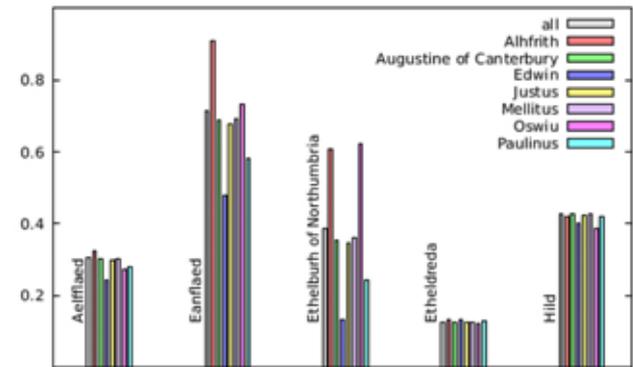


Abbildung 3: Die Änderung der Kommunikationsfähigkeit von fünf wichtigen Frauen in Bedas Netzwerk durch die Entfernung mächtiger Männer. Die *Communicability* mit allen 473 Charakteren wird durch einen grauen Balken dargestellt. Durch die Entfernung von König Alhfrith, Sohn des Königs Oswiu, ändern sich die Werte von Eanflaed und Ethelburh drastisch, aber die von Aelfflaed, Etheldreda und Hild kaum. Der neue Wert wird durch einen roten Balken dargestellt. Die anderen Balken (farbcodiert) entsprechen der Entfernung anderer Männer, deren Namen auf der oberen rechten Seite des Bildes zu sehen sind.

Das bedeutet, dass ihre Kommunikationsfähigkeit in Bedas Darstellung ihnen weitgehend selbst zuzuschreiben ist und nicht ihren Verbindungen zu relevanten Männern, etwa Ehemännern oder Söhnen. Historisch ließe sich dies dadurch erklären, dass Aelfflaed bereits im jungen Alter einem religiösen Orden übergeben wurde und den größten Teil ihres Lebens nicht unter dem Einfluss ihrer Eltern stand. Sie wurde von Hild, der Gründerin und Äbtissin von Whitby, erzogen und blieb ihrer Zieh Mutter ihr ganzes Leben lang verbunden. Hild besaß zu ihrer Lebenszeit ein immenses Ansehen. Dies spiegelt sich in ihrer ‚selbstständigen‘ Kommunikationsfähigkeit wider und ermöglicht uns, einen differenzierteren Blick auf ihre Relevanz im Netzwerk zu werfen. Obwohl ihre Kommunizierfähigkeit kleiner ist als diejenige von Eanflaed und Ethelburh, stellt die eigenständige Bedeutung der Äbtissinnen im sozialen Netzwerk dieser Gesellschaft ein bedeutendes Ergebnis dieser Arbeit dar. Die Macht der Königinnen beruhte meistens auf der Macht ihrer Ehemänner und ging normalerweise nach deren Tode verloren. Äbtissinnen waren besser gegen solche Unwägbarkeiten geschützt.

6 Zusammenfassung

Die herkömmliche historische Analyse von Bedas *Historia* priorisiert die Aktionen und Interaktionen von männlichen Charakteren. Einige Forschende haben jedoch spekuliert, dass die Frauen, die in seinem Hauptwerk dargestellt wurden, ebenfalls Macht innehatten. Der aktuelle Konsens ist jedoch, dass die Wirkung einiger Frauen nur durch ihre Verbindung zu mächtigen Männern entstand.

In dieser Arbeit haben wir die Kommunikationsfähigkeit von Netzwerkknoten benutzt, um die Relevanz von Frauen in einem Netzwerk zu quantifizieren. Durch die Entfernung von ihren männlichen Verbindungen, wie Ehemännern, Söhnen oder Stiefsöhnen, waren wir schließlich in der Lage, eine Frau zu identifizieren, deren Position im Netzwerk nicht durch ihre männlichen Verbindungen beeinflusst wurde: die Äbtissin von Whitby, Hild. Sie ist eine historische Figur von großer Bedeutung in der Geschichte des angelsächsischen Englands und hat eine wichtige Rolle in dessen Christianisierung gespielt.

Unsere Berechnung ersetzt keinesfalls andere Methoden zur Bewertung der historischen Bedeutung dieser Frauen. Allerdings ist die Idee, Methoden von sozialen Netzwerken anzuwenden, ein Versuch, unterschiedliche Interpretationen und nicht intuitive Ansichten über die Rolle dieser Frauen in den Vordergrund zu rücken.

Der Zusammenhang zwischen Geistes- und Naturwissenschaften ist offenbar nicht eine direkte oder selbstverständliche Tatsache. Wenn man sich eine Vorstellung von Personen als Knoten eines Netzwerks macht und behauptet, dadurch Einblicke in die Beeinflussung von Menschen auf historische Ereignisse gewinnen zu können, sollte die Behauptung *cum grano salis* verstanden werden. Man befindet sich am Anfang der Anwendung von Netzwerken in der Geschichtsforschung, aber dies sollte uns nicht davon abhalten, neue Arbeitsmethoden zu testen und zu suchen. Im Prolog seines Hauptwerkes *Das Glasperlenspiel* hat Hermann Hesse diesen offenen und vorurteilslosen Ausblick in die Methoden der Geschichtswissenschaft präzise auf den Punkt gebracht. Er sagt:

[...] denn mögen auch in gewisser Hinsicht und für leichtfertige Menschen die nicht existierenden Dinge leichter und verantwortungsloser durch Worte darzustellen sein als die seienden, so ist es doch für den frommen und gewissenhaften Geschichtsschreiber gerade umgekehrt: nichts entzieht sich der Darstellung durch Worte so sehr und nichts ist doch not-

wendiger, den Menschen vor Augen zu stellen, als gewisse Dinge, deren Existenz weder beweisbar noch wahrscheinlich ist, welche aber eben dadurch, daß fromme und gewissenhafte Menschen sie gewissermaßen als seiende Dinge behandeln, dem Sein und der Möglichkeit des Geborenwerdens um einen Schritt näher geführt werden.²³

Die Existenz einer Brücke, welche die Geisteswissenschaften mit den Naturwissenschaften verbindet, scheint weder beweisbar noch wahrscheinlich zu sein. Man sollte aber versuchen, eine solche Brücke zu bauen. Vielleicht ist sie schon da, wir müssen uns nur wagen, einen Schritt weiterzugehen.

Anmerkungen

- 1 P. J. Carrington, J. Scott and S. Wasserman (ed.), *Models and Methods in Social Network Analysis*, Cambridge University Press, 2005; S. P. Borgatti, A. Mehra, D.J. Brass and G. Labianca, *Network Analysis in the Social Sciences*, Science 323 (2009), S. 892–895.
- 2 S. Wasserman and K. Faust, *Social Network Analysis in the Social and Behavioral Sciences in Social Network Analysis: Methods and Applications*, Cambridge University Press, Cambridge, 1994.
- 3 P. Bearman, J. Moody and R. Faris, *Networks and History*, Complexity 8 (2002), S. 61–71; R.V. Gould, *Uses of network tools in comparative historical research in Comparative Historical Analysis in the Social Sciences*, J. Mahoney and D. Rueschemeyer (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 2003, S. 241–269; C. Lemerrier and C. Zalc, *Quantitative Methods in the Humanities: An Introduction*, University of Virginia Press, Charlottesville, 2019.
- 4 R. Kenna, M. MacCarron and P. MacCarron, *Math meets Myths: Quantitative Approaches to Ancient Narratives*, Springer Verlag, Basel, 2017; J. Yose, R. Kenna, M. MacCarron and P. MacCarron, *Network analysis of the Viking Age in Ireland as portrayed in Cogadh Gaedhel re Gallaibh*, Royal Society Open Science 5,1 (2018), S. 1–21; S.D. Prado, S.R. Dahmen, A.L.C. Bazzan, P. MacCarron and R. Kenna, *Temporal Network Analysis of Literary Texts*, Advances in Complex Systems 19 (2016), 1650005; V. Labatut and X. Bost, *Extraction and Analysis of Fictional Character Networks: A Survey*, ACM Computing Surveys (CSUR) 52 (2019), S. 1–40.
- 5 P. Holme, *Modern Temporal Network Theory: a Colloquium*, Eur. Phys. J. B 88 (2015), S. 234.
- 6 T. Carlyle, *On Heroes, Hero-Worship, and the Heroic in History*, D. R. Sorensen and B. E. Kinser (ed.), Yale University Press, New Haven, 2013.

- 7 J.T. Rosenthal, *Marriage and the blood feud in heroic Europe*, *The British Journal of Sociology* 17:1 (1966), S. 133–144; J.L. Nelson, *Queens as Jezebels: the careers of Brunhild and Balthild in Merovingian history*, D. Baker (ed.), *Medieval Women*, Oxford University Press, Oxford, 1978, S. 31–77.
- 8 E. Rooney, *Community development in times of trouble: reflections on the community women's sector in the north of Ireland*, *Community Development Journal* 37 (2002), S. 33–46; P. Meth, *Unsettling insurgency: reflections on women's insurgent practices in South Africa*, *Planning Theory and Practice* 11 (2010), S. 241–263; S. Ramnarain, *Interrogating womens peace work: community-based peacebuilding, gender, and savings cooperatives in post-conflict Nepal*, *Community Development Journal* 50 (2015), S. 677–692.
- 9 Beda Venerabilis, *The Ecclesiastical History of the English People*, J. McClure and R. Collins ed., Oxford University Press, Oxford, 1969.
- 10 E. Estrada and N. Hatano, *Communicability in complex networks*, *Phys. Rev. E* 77 (2008), 036111.
- 11 Bede, *The Reckoning of Time*, F. Wallis transl., Liverpool University Press, Liverpool, 2009; *On the Nature of Things and On Times*, C.B. Kendall and F. Wallis transl., Liverpool University Press, Liverpool, 2010; M. MacCarron, *Bede and Time: Computus, Theology and History in the Early Medieval World*, Taylor & Francis Ltd., London, 2019.
- 12 Beda der Ehrwürdige, *Kirchengeschichte des Englischen Volkes*, Günter Spitzbart (Hg.), Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 2. Aufl., 1997.
- 13 J. Nichoson, *Feminae Glorisiae: Women in the Age of Bede*, Baker, D. ed., *Medieval Women*, Blackwell, Oxford, 1978, S. 15–29.
- 14 M. MacCarron, *Royal marriage and conversion in Bede's Historia Ecclesiastica Gentis Anglorum*, *J. Theological Stud.* NS 68 (2017), S. 650–670.
- 15 S. Hollis, *Anglo-Saxon Women and the Church: Sharing a Common Fate*, Boydell, Woodbridge, 1992.
- 16 C. A. Lees and G. R. Overing, *Birthing bisops and fathering poets: Bede, Hild, and the relations of cultural production*, *Exemplaria* 6 (1994), S. 35–65.
- 17 Kirchentreffen müssen nicht zwangsläufig zu freundschaftlichen Beziehungen gerechnet werden. Im feindseligen Fall finden sie sich unter dem Begriff der religiösen, feindlichen Beziehungen wieder.
- 18 Klosterfamilie beinhaltet Verbindungen zwischen Menschen, die Teil derselben Kirchengemeinde waren, aber nicht unbedingt am selben Ort.
- 19 E. Estrada and N. Hatano, op. cit.; N.L. Biggs, *Algebraic Graph Theory*, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- 20 C. Fenu and D.J. Higham, *Block Matrix Formulations for Evolving Networks*, *SIAM J. Matrix Analysis Applications* 38 (2015), S. 343–360.
- 21 C. Fenu and D.J. Higham, *Block Matrix Formulations for Evolving Networks*, *SIAM J. Matrix Analysis Applications* 38 (2015), S. 343–360.
- 22 D. Taylor, S.A. Myers, A. Clauset, M.A. Porter and P.J. Mucha, *Eigenvector-based centrality measures for temporal networks*, *Multiscale Model. Simul.* 15 (2017), S. 534–567.
- 23 Hermann Hesse, *Das Glasperlenspiel: Versuch einer Lebensbeschreibung des Magister Ludi Josef Knecht samt Knechts hinterlassenen Schriften*, Suhrkamp Verlag, Berlin, 2012.

Teil III:
Netzwerkmetaphern
und -theorien

Das menschliche Gehirn – Netzwerkarchitektur, Hirnkarten und Simulation

Kai Kiwitz / Katrin Amunts

Abstract

Das menschliche Gehirn kann als überaus komplexes und keineswegs zufälliges ‚Netzwerk aus Netzwerken‘ beschrieben werden. Obgleich die Nervenzellen des Gehirns und ihre Verbindungen schon lange Gegenstand intensiver Forschung sind, haben es neuere Methoden, Modellierungs- und Simulationstechniken – darunter auch die Einbindung netzwerktheoretischer Konzepte aus der Mathematik und künstlicher neuronaler Netzwerke – vermocht, den Bau und die Funktionsweise des Gehirns wesentlich zu erhellen. Die gewonnenen Erkenntnisse sind dabei jenseits der Grundlagenforschung auch bei Gehirnerkrankungen für Diagnostik und Therapie vielversprechend wie auch für die Entwicklung neuro-inspirierter Technologien.

Das menschliche Gehirn ist zweifellos eine der beeindruckendsten Schöpfungen der Natur. Als ein Netzwerk aus Netzwerken ermöglicht es uns, die Welt um uns herum wahrzunehmen, Informationen zu verarbeiten und komplexe Gedanken und Gefühle zu erleben. Die modernen Neurowissenschaften studieren dieses komplexe Netzwerk von Milliarden von Nervenzellen und ihren Verbindungen. Schon frühe histologische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Anordnung der Nervenzellen und deren Verbindungen im Gehirn keineswegs zufällig ist. Tatsächlich folgt sie einer strukturellen Architektur, die die Grundlage für die Funktion des menschlichen Gehirns bildet. Durch den Einsatz moderner Färbetechniken und Bildgebungsmethoden können Neurowissenschaftler so die Funktionsweise von Netzwerken im Gehirn untersuchen, die zum Beispiel kognitive Leistungen ermöglichen und für das Verständnis und die Produktion von Sprache von entscheidender Bedeutung sind. Modellierungs- und Simulationstechniken haben in den letzten Jahren auch zu neuen Erkenntnissen in der Diagnostik und Therapie von Erkrankungen des Gehirns geführt, wie beispielsweise der Epilepsieforschung. Auf der anderen Seite treibt das Studium des menschlichen Gehirns auch die Entwicklung

neuro-inspirierter Technologien voran. So bildet die Entschlüsselung eines der komplexesten Organe in der Natur die Grundlage für die Entwicklung neuer Technologien, die wiederum dabei helfen, neue therapeutische und diagnostische Ansätze voranzutreiben.

Als Teil des zentralen Nervensystems leistet unser Gehirn täglich Erstaunliches: Es verarbeitet Sinneswahrnehmungen, speichert Informationen ab, lässt uns komplexe Gedanken und Gefühle erleben und plant und koordiniert Bewegungen und Sprache. Dabei wiegt es gerade einmal rund 1,4 kg und benötigt täglich so viel Energie wie in fünf Scheiben Brot (ohne Butter) enthalten sind. Die modernen Neurowissenschaften studieren das Netzwerk des menschlichen Gehirns auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Ebenen, um dessen Funktionsweise zu verstehen und neue klinische Anwendungen und Therapien zu entwickeln. Dabei entpuppt sich das Gehirn als ein Netzwerk aus Netzwerken.¹ Schon auf der Ebene einer einzelnen Nervenzelle (Neuron) spiegelt sich der Netzwerkcharakter des Gehirns eindrücklich wider: Neurone sind über Synapsen mit anderen Neuronen verbunden und nutzen dabei chemische und elektrische Signalwege. Bis zu 10.000 Verbindungen kann ein Neuron haben. So lässt sich schon auf der Ebene eines einzelnen Neurons der komplexe Netzwerkcharakter unseres Gehirns erahnen.

Die Informationsweiterleitung erfolgt über elektrische Signale entlang der Zellfortsätze (Axone) der Neurone. An den Synapsen zwischen Neuronen übernehmen chemische Botenstoffe (Neurotransmitter) die Signalweiterleitung dieser elektrischen Impulse. Durch eine Vielzahl von Neurotransmittern und Rezeptoren für die Botenstoffe kann diese Signalweiterleitung aktivierend oder dämpfend sein und je nach Lage und Art der Rezeptoren ergeben sich viele Möglichkeiten der Beeinflussung des Signals.

Die Gesamtheit der Verbindungen von Neuronen wird auch Konnektom genannt. Schon frühe histologische Untersuchungen haben gezeigt, dass Neurone keinesfalls zufällig im Gehirn verteilt sind. Im Gegenteil: Sie sind besonders in der Hirnrinde des Groß- und Kleinhirns (Cortex cerebri und Cortex cerebelli) sowie in Kerngebieten (Nuclei) in der Tiefe des Gehirns dicht gepackt und bilden dort die sogenannte graue Substanz. Axone hingegen bilden maßgeblich die Grundlage der unter dem Cortex liegenden weißen Substanz (Abbildung 1). Dieser prinzipielle Aufbau des Gehirns wird durch eine fein differenzierte Schichtung der Neurone im Cortex ergänzt. Je nach Cortexbereich unterscheidet sich die Verteilung der Neurone und die Ausprägung der Schichten, wobei der entwicklungs geschichtlich jüngste

und auch größte Teil, der sogenannte Neocortex, sechs Schichten aufweist.² Die einzelnen Schichten unterscheiden sich dabei sowohl durch verschiedene Zelltypen und -dichten als auch in den Verbindungen der Neurone zu Neuronen anderer Schichten und anderen Cortexbereichen. Auf makroskopischer Ebene werden die verschiedenen Bereiche des Gehirns über große Faserbündel von Axonen miteinander verbunden (Abbildung 1). Durch diese Faserbahnen stellt unser Gehirn sicher, dass Informationen effizient zwischen den einzelnen Bereichen des Gehirns oder auch zwischen den beiden Hirnhälften ausgetauscht werden können. Diese Verbindungen lassen große Teilnetzwerke unseres Gehirns entstehen, die zum Beispiel kognitive Leistungen ermöglichen und für das Verständnis und die Produktion von Sprache von großer Wichtigkeit sind.

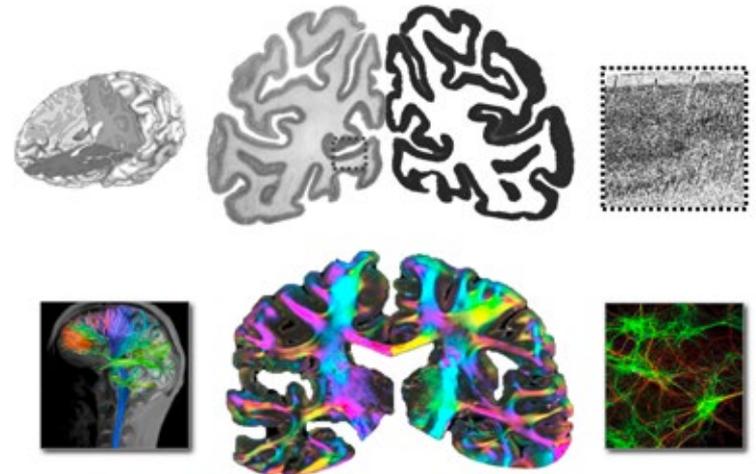


Abbildung 1: Neurone und ihre Verbindungen im menschlichen Gehirn. Die obere Bildreihe zeigt die neuronale Zusammensetzung auf einem histologisch gefärbten Schnitt durch ein menschliches Gehirn, dem sogenannten BigBrain (Amunts et al. 2013). In der Mitte ist ein gefärbter Schnitt zu sehen, auf dem die Aufteilung in weiße und graue Substanz hervorgehoben wurde. Rechts sieht man eine vergrößerte Darstellung an der Grenze zweier Areale mit der für diesen Bereich charakteristischen Schichtung. Die untere Bildreihe illustriert die Verbindungsstruktur der Neurone. In der Mitte sind die Axone der weißen Substanz mit Polarisationsbildgebung dargestellt. Auf dem linken Bild sieht man eine Faserbahnrekonstruktion, begleitet von einer fluoreszenzmikroskopischen Aufnahme einiger weniger Neurone auf der rechten Seite.³

Schon im frühen 20. Jahrhundert haben histologische Untersuchungen gezeigt, dass die Verteilung der Neurone im Cortex und deren Verbindungen über das Gehirn hinweg variiert.⁴ Das war die Grundlage für eine Aufteilung der Großhirnrinde in verschiedene Areale. Allen voran stehen dabei Korbinian Brodmanns Charakterisierung und die damit verbundene Erstellung einer Karte von 43 Arealen des menschlichen Gehirns.⁵ Solche Karten des Gehirns erlauben es, besser zu verstehen, wo sich im Gehirn welches Areal befindet und was dessen funktionelle Bedeutung ist (Abbildung 2). Jedoch hat die Brodmann-Karte für heutige Untersuchungen am lebenden menschlichen Gehirn viele Nachteile – Brodmann zeichnete damals nur eine Ansicht eines ‚typischen‘ menschlichen Gehirns, wohingegen wir heute wissen, dass es Unterschiede im Bau zwischen den Gehirnen gibt. Auch sind seine und andere Karten nicht kompatibel mit heutigen, dreidimensionalen Bildgebungsbefunden. Schließlich wissen wir, dass viele Bereiche anders oder detaillierter kartiert werden müssen.

Bis heute ist die mikroskopische Kartierung des menschlichen Gehirns nicht vollständig abgeschlossen. Neurowissenschaftler arbeiten an immer feineren Methoden, um eine möglichst genaue und objektive Kartierung zu erhalten und sie anderen Wissenschaftlern webbasiert zur Verfügung zu stellen.⁶ In Form von Hirnatlanten helfen solche Karten dabei, das menschliche Konnektom auf verschiedenen Ebenen und Auflösungen zu studieren (Abbildung 2) – von Verteilungen einzelner Moleküle bis hin zu großen Netzwerken des Gehirns, die für spezielle Funktionen wie die Sprachproduktion oder das Lernen zuständig sind. Solche Netzwerke sind in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus der Wissenschaft gerückt. Zum einen hofft man, über die Analyse von Netzwerken Hirnfunktionen besser zu verstehen. Zum anderen liegen Schädigungen von Netzwerkstrukturen den Symptomen vieler Erkrankungen zugrunde, und die genaue Kenntnis dieser Netzwerke ist wichtig, um die Entstehungen der Symptome besser verstehen und geeignete Therapieverfahren entwickeln zu können.

Um die verschiedenen Ebenen des Konnektoms experimentell zu untersuchen, bedarf es unterschiedlicher methodischer Herangehensweisen. Die moderne Neuro-Bildgebung hat in den letzten Jahrzehnten wichtige Prinzipien der strukturellen und funktionellen Netzwerkorganisation des Gehirns aufgedeckt.⁷ Im Fokus steht dabei häufig, welche Hirnareale bei welchen Aufgaben aktiv sind und welche Bereiche des Gehirns zusammen in funktionell relevanten Netzwerken wirken – im gesunden sowie im erkrankten Gehirn. Auch ist es möglich geworden, große Faserbündel durch diffusionsgewichtete Bildgebung zu rekonstruieren⁸ und so einen Überblick über die Konnektivität

der Hirnareale zu erlangen (Abbildung 2). Obwohl dadurch immer genauere Messungen möglich werden,⁹ liegt der Vorteil dieser Methoden vor allem darin, dass Daten von lebenden Probanden und Patienten (*in vivo*) erhoben werden können. Um einen noch detaillierteren Blick auf die zelluläre Zusammensetzung des menschlichen Gehirns zu erlangen, werden Färbe- und Tracingmethoden sowie optische Verfahren wie die Polarisationsbildgebung angewendet.¹⁰ Diese Methoden basieren auf der Analyse von Postmortem-Schnittserien von mehreren Tausend hauchdünnen Schnitten pro Gehirn (Abbildung 1). So lässt sich ein möglichst genaues Gesamtbild des Konnektoms auf der Mikroebene rekonstruieren.¹¹

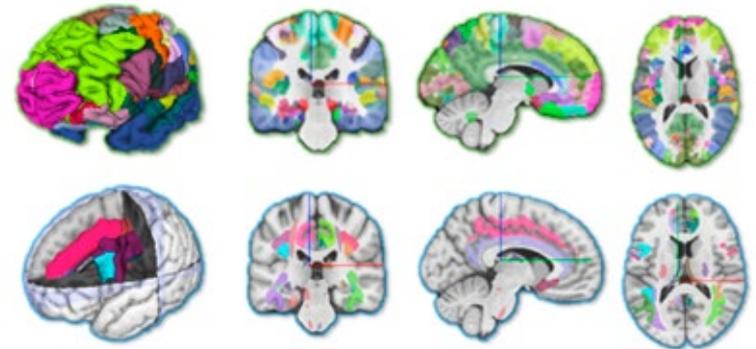


Abbildung 2: Der Julich Brain Atlas. Der Atlas erlaubt es, verschiedene Facetten des menschlichen Konnektoms in einem gemeinsamen Referenzraum zusammenzuführen (Amunts et al. 2020). Die obere Bildreihe zeigt die Einteilung der grauen Substanz des Gehirns in verschiedene Hirnareale. Die Einteilung basiert auf histologischen Analysen von Postmortem-Gehirnen und ist das Ergebnis andauernder Bemühungen, eine mikroanatomisch definierte Karte des menschlichen Gehirns zu erstellen (Amunts et al. 2020). In der unteren Bildreihe sind große Faserbündel der weißen Substanz im selben Referenzraum dargestellt. Sie wurden durch diffusionsgewichtete Bildgebung im Magnetresonanztomografen an Probanden gemessen.¹²

Beim Studium des menschlichen Konnektoms nutzen die Neurowissenschaften nicht nur empirische Befunde. Es finden auch zunehmend netzwerktheoretische Konzepte aus der Mathematik und künstliche neuronale Netzwerke Anwendung, um das Konnektom auf verschiedenen Ebenen zu entschlüsseln und zu modellieren. Neben einem hohen Arbeitsaufwand zur Erfassung der Daten und der Komplexität der Netzwerkstruktur stellen vor allem die bei mikroskopischen Untersuchungen anfallenden großen Datenmengen die Wissenschaft vor große Herausforderungen.¹³ Deshalb verwenden Neurowissenschaftler zur Datenintegration immer häufiger

Supercomputer und wenden dabei Modellierungen, Simulationen und Verfahren des maschinellen Lernens an. So sind in den letzten Jahren auch neue Ansätze für die Diagnostik und Therapie von Erkrankungen des Gehirns entstanden, zum Beispiel im Bereich der Modellierung und Simulation von Hirnaktivität bei Patienten mit Epilepsie. Die Integration von individuellen Bildgebungsdaten, physiologischen Befunden und Atlasdaten erlaubt es, auf den Patienten zugeschnittene, personalisierte Hirnmodelle zu entwickeln (Abbildung 3). Solche Modelle werden schon jetzt erprobt, um therapeutische Interventionen bei Epilepsiepatienten zu planen¹⁴ oder auch um neurodegenerative Krankheiten wie Alzheimer besser zu verstehen.¹⁵

Dabei unterscheiden sich die Modelle und Architekturen künstlicher neuronaler Netzwerke von biologischen Netzwerken in ihrer Struktur und Funktionalität. In zunehmendem Maße gelingt es jedoch, Erkenntnisse vom Bau und der Funktionsweise des Gehirns in neuro-inspirierte Technologien umzusetzen und sie so zu verbessern. Aktuelle Beispiele kommen unter anderem aus dem Bereich der Verarbeitung visueller Reize¹⁶ oder des Lernens.¹⁷ Die Implementierung der Erkenntnisse über die Funktionsweise des menschlichen Gehirns verläuft jedoch nicht ohne Hindernisse. Dies zeigt sich beispielsweise in den bisher limitierten Fähigkeiten künstlicher Intelligenzsysteme, adaptiv auf Veränderungen in der Umwelt zu reagieren. Als biologisches Netzwerk meistert das menschliche Gehirn diese Aufgaben mit Bravour: Es ist fähig, zu lernen und sich auf Veränderungen einzustellen. Neurobiologisch spielen sich diese Veränderungen auf unterschiedlichen zeitlichen Ebenen von wenigen Millisekunden bis hin zur gesamten Lebensspanne eines Menschen ab. Die Themen Plastizität und Lernen werden deshalb intensiv beforscht. Es ist diese Plastizität des Gehirns in Kombination mit seiner Energie-Effizienz, die eine Simulation des menschlichen Gehirns sowie Implementierungen seiner Funktionsweise herausfordernd macht. Aber auch zu diesem Thema wird intensiv geforscht, und es ist zu erwarten, dass neue, realistischere, biologisch inspirierte Netzwerkmodelle, Lernalgorithmen und Technologien daraus hervorgehen werden.¹⁸ Die Entschlüsselung eines der komplexesten Organe in der Natur wird von diesen Entwicklungen profitieren und bildet gleichzeitig eine Grundlage, um die Entwicklung neuer therapeutischer und diagnostischer Ansätze zu ermöglichen und Technologien voranzutreiben.

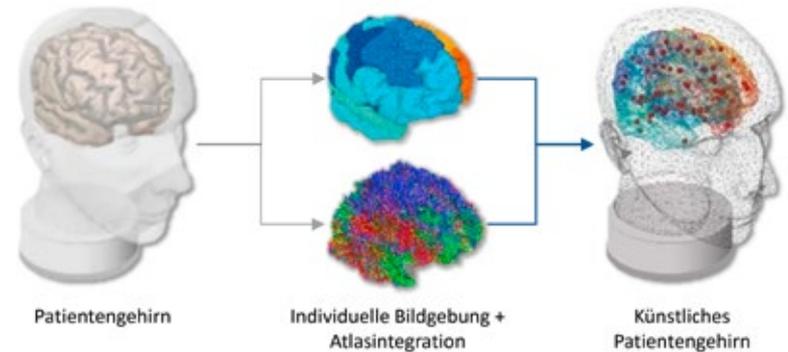


Abbildung 3: Decodierung und Simulation des menschlichen Konnektoms mithilfe biologisch inspirierter künstlicher Netzwerkmodelle. Die Darstellung zeigt, wie individuelle Bildgebungsdaten eines Patienten mit Informationen aus Hirnatlanten verbunden und in ein künstliches Netzwerkmodell des Patientengehirns transferiert werden. Mithilfe von Supercomputern können solch personalisierte Hirnmodelle dazu genutzt werden, um unter anderem epileptische Anfälle zu simulieren und Epilepsieherde zu identifizieren (Jirsa et al. 2017; Jirsa et al. 2023). Die Abbildung wurde adaptiert und leicht verändert mit Genehmigung von Viktor Jirsa (INS, Aix-Marseille University, Inserm).

Anmerkungen

- 1 Katrin Amunts; Markus Axer; Lise Bitsch; Jan Bjaalie; Andrea Brovelli; Svenja Caspers et al.: *The coming decade of digital brain research – A vision for neuroscience at the intersection of technology and computing*. *Imaging Neuroscience* (2024) 2: 1–35.
- 2 Santiago Ramón y Cajal: *Histologie du système nerveux de l'homme & des vertébrés*. Ed. française rev. & mise à jour par l'auteur, tr. de l'espagnol par L. Azoulay. Paris: Maloine. Online verfügbar unter <https://www.biodiversity-library.org/bibliography/48637>; K. Brodmann: *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt aufgrund des Zellenbaues*. Leipzig 1909.
- 3 Wir danken Prof. Dr. Markus Axer für die Bereitstellung des Bildmaterials.
- 4 C. Vogt; U. O. Vogt: *Allgemeine Ergebnisse unserer Hirnforschung*. Leipzig 1919 (*Journal für Psychologie und Neurologie*); Brodmann: *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde*.
- 5 Ebd.
- 6 Katrin Amunts; Hartmut Mohlberg; Sebastian Bludau; Karl Zilles: *Julich-Brain: A 3D probabilistic atlas of the human brain's cytoarchitecture*. In: *Science* 369 (6506) (2020), S. 988–992. DOI: 10.1126/science.abb4588.

- 7 Nancy Kanwisher; Josh McDermott; Marvin M. Chun: *The Fusiform Face Area: A Module in Human Extrastriate Cortex Specialized for Face Perception*. In: *J. Neurosci.* 17 (11) (1997), S. 4302–4311. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.17-11-04302.1997; Bo Gong; Sadiq Naveed; Dawood M. Hafeez; Khalid I. Afzal; Salman Majeed; Jonathan Abele et al.: *Neuroimaging in Psychiatric Disorders: A Bibliometric Analysis of the 100 Most Highly Cited Articles*. In: *Journal of Neuroimaging* 29 / 1 (2019), S. 14–33. DOI: 10.1111/jon.12570.
- 8 Fan Zhang; He Alessandro Daducci; Schiavi Yong; Caio Seguin Simona; Robert E. Smith et al.: *Quantitative mapping of the brain's structural connectivity using diffusion MRI tractography: A review*. In: *NeuroImage* 249 (2022), 118870. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2021.118870.
- 9 Federico de Martino; Essa Yacoub; Valentin Kemper; Michelle Moerel; Kâmil Uludağ; Peter de Weerd et al.: *The impact of ultra-high field MRI on cognitive and computational neuroimaging*. In: *NeuroImage* 168 (2018), S. 366–382. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2017.03.060.
- 10 Markus Axer; Katrin Amunts: *Scale matters: The nested human connectome*. In: *Science* 378 (6619) (2022), S. 500–504. DOI: 10.1126/science.abq2599; Markus Axer; David Grässel; Melanie Kleiner; Jürgen Dammers; Timo Dickscheid; Julia Reckfort et al.: *High-resolution fiber tract reconstruction in the human brain by means of three-dimensional polarized light imaging*. In: *Frontiers in Neuroinformatics* 5 (2011), S. 34. DOI: 10.3389/fninf.2011.00034.
- 11 Katrin Amunts; Claude Lepage; Louis Borgeat; Hartmut Mohlberg; Timo Dickscheid; Marc-Étienne Rousseau et al.: *BigBrain. An ultrahigh-resolution 3D human brain model*. In: *Science* 340 (6139) (2013), S. 1472–1475. DOI: 10.1126/science.1235381.
- 12 Claudio Román Guevara; Josselin Houenou; Delphine Duclap; Cyril Poupon; Jean François Mangin; Pamela Guevara: *Reproducibility of superficial white matter tracts using diffusion-weighted imaging tractography*. In: *NeuroImage* 147 (2017), S. 703–725. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2016.11.066.
- 13 Katrin Amunts; Alois C. Knoll; Thomas Lippert; Cyriel M. A. Pennartz; Philippe Ryvlin; Alain Destexhe et al.: *The Human Brain Project-Synergy between neuroscience, computing, informatics, and brain-inspired technologies*. In: *PLOS Biology* 17 (7) (2019), e3000344. DOI: 10.1371/journal.pbio.3000344.
- 14 V. K. Jirsa; T. Proix; D. Perdikis; M. M. Woodman; H. Wang; J. Gonzalez-Martinez et al.: *The Virtual Epileptic Patient: Individualized whole-brain models of epilepsy spread*. In: *NeuroImage* 145 (Pt B) (2017), S. 377–388. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2016.04.049; Viktor Jirsa; Huifang Wang; Paul Triebkorn; Meysam Hashemi; Jayant Jha; Jorge Gonzalez-Martinez et al.: *Personalised virtual brain models in epilepsy*. In: *The Lancet. Neurology* (2023). DOI: 10.1016/S1474-4422(23)00008-X.
- 15 Leon Stefanovski: *Amyloid-basierte Gehirnsimulation der Alzheimer-Krankheit mit The Virtual Brain*. Charité – Universitätsmedizin Berlin 2021.
- 16 Fuyou Liao; Zheng Zhou; Beom Jin Kim; Jiwei Chen; Jingli Wang; Tianqing Wan et al.: *Bioinspired in-sensor visual adaptation for accurate perception*. In: *Nat Electron* 5 (2) (2022), S. 84–91. DOI: 10.1038/s41928-022-00713-1.
- 17 Judith Nicolas; Bradley R. King; David Levesque; Latifa Lazzouni; Emily Coffey; Stephan Swinnen et al.: *Sigma oscillations protect or reinstate motor memory depending on their temporal coordination with slow waves*. In: *eLife Sciences* 11 (2022). DOI: 10.7554/eLife.73930.
- 18 Amunts et al.: *The coming decade of digital brain research*.

Strukturelle, funktionale und effektive Konnektivität

Anregungen aus der Neurowissenschaft für die Literaturtheorie

Lore Knapp

Abstract

Die literaturwissenschaftliche Netzwerkforschung geht zunächst wie auch die Neurowissenschaft von einem metaphorischen Verständnis von Netzwerken aus und nutzt darüber hinaus soziologische Theorien und quantitative Methoden. In diesem Aufsatz wird in Erwägung gezogen, die alle Netzwerke verbindende Definition der Knoten und Kanten oder der Elemente und Relationen durch die Bedingung einer Aktivität der Elemente zu ergänzen. Außerdem geht es um das Potenzial einer Übertragung der neurowissenschaftlichen Unterscheidung struktureller, funktioneller und effizienter Konnektivität nach Karl Friston auf die Analyse literarischer Texte sowie des Literaturbetriebs.

Jürgen Barkoff, Hartmut Böhme und Jeanne Riou schrieben im Jahr 2004: *Wenn es richtig ist, dass Netzstrukturen politische Prozesse (wie Globalisierung) und sozialen Verkehr (wie Post, Telekommunikation) ebenso wie künstlerische Werke kreieren, steuern und regeln, und dass diese Strukturen andere Modelle wie den ‚Nationalstaat‘, die ‚Industrie‘, die ‚Kultur‘, den ‚Geist‘ oder die ‚Kunst‘ allmählich durchdringen, dann ist die Geschichte der Vernetzungen eine zentrale Dimension der modernen Kulturgeschichte.¹*

Seit 2004 hat sich die Relevanz von Netzwerken sowohl im Alltag als auch in den verschiedenen Wissenschaften noch deutlich verstärkt. Dieser Aufsatz gibt zunächst einen Überblick über die literaturwissenschaftliche Netzwerkforschung und stellt diese sodann in den Kontext der interdisziplinären Netzwerkmetaphorik. Dabei führt der Ansatz, funktionale und strukturelle Verbindungen zu unterscheiden, zur Orientierung an Modellen, die in der Neurowissenschaft seit Jahrzehnten etabliert sind.² So wird hier der Versuch unternommen, die von Karl Friston im Jahr 1995 differenzierte, neurowissenschaftliche Unterscheidung verschiedener Formen von

Konnektivität als begriffliches Instrumentarium auf ausgewählte Beispiele der literaturwissenschaftlichen Netzwerkforschung zu übertragen.

1 Literaturwissenschaftliche Netzwerkforschung

Zu den Netzwerken in der Literatur und im Literaturbetrieb gehören erstens die Intertextualität, wenn Texte durch Anspielungen, Zitate oder Übernahmen aufeinander verweisen, zweitens gibt es die unterschiedlichsten Netzwerke auf der Ebene der sprachlichen Fiktion, z. B. Figurenkonstellationen in Romanen oder Dramen. Drittens zu nennen sind Zusammenhänge der Entstehung, Veröffentlichung und Rezeption von Literatur, viertens strategisches Netzwerken im Literaturbetrieb, wenn einzelne Personen gezielt soziale Verbindungen knüpfen.

Im Fokus der literaturwissenschaftlichen Netzwerkforschung stehen Zusammenhänge im Literaturbetrieb bei denen Akteure und Verbindungen konkret benennbar sind. Es geht also weniger darum, darzustellen, wie Goethe sich im Netz seiner autobiographischen Liebeslyrik verheddert und statt Texte ganz generell als Gewebe zu verstehen, können konkrete Textstellen angeführt werden, die aufeinander verweisen. In literaturwissenschaftlichen Arbeiten, die Netzwerke mit konkreten Akteuren und Verbindungen beschreiben, finden sich wiederum drei verschiedene Arten der Bezugnahme: Entweder sie halten sich an ein Verständnis, das am metaphorischen Sprachgebrauch orientiert ist, oder sie nutzen darüber hinaus die Erkenntnisse von Theorien aus anderen Disziplinen wie der Soziologie oder sie analysieren in computerphilologischer Manier Daten über die Verbindungen zwischen einzelnen Akteuren.³

Neben solchen theoretischen Ansätzen (oder auf ihnen aufbauend) geht es in der aktuellen Forschungsentwicklung häufig um quantitative Methoden für die literaturhistorische Beschäftigung mit Netzwerken. Diese umfasst neben der Untersuchung der Beziehungen zwischen Akteuren der Gesellschaft auch die systematische Erhebung und Auswertung empirischer Netzwerkdaten sowie computergestützte Wege ihrer grafischen Präsentation. Die empirische Netzwerkforschung setzt voraus, dass sich ihr Gegenstand als Knoten und Kanten darstellen und berechnen lässt. Im Bereich der Digital Humanities und der Computerphilologie wird an der Vermittlung und Erschließung entsprechender Methoden wie der Graphentheorie gearbeitet.⁴ Algorithmen wie die des Programms NodeXL werden genutzt, um z. B. zu fragen, wie drei Zeitschriften des 18. Jahrhunderts miteinander vernetzt sind, welche Texte mehrfach abgedruckt wurden und zu welchen

Orten dabei Verbindungen bestehen.⁵ Außerdem werden Forschungsdesiderate für quantitative Untersuchungen der Literatur formuliert: Bei Briefnetzwerken, gegenseitigen Zitationen oder persönlichen Treffen könnte erschlossen werden, was quantifizierbar ist, also die Verbindungen zwischen den Akteuren und ihre Zentralität, die Häufigkeit, Dauer und Wechselseitigkeit ihres Kontakts. Untersuchungen zum 18. Jahrhundert könnten sich auch auf die Taktiken aufstrebender Verlage wie Göschen und Cotta oder die Beiträgerstruktur, Themen und Gattungen in Zeitschriften konzentrieren.⁶

Literaturwissenschaftliche Ansätze im Bereich der Netzwerkforschung oder Netzwerkansätze in der Literaturwissenschaft gehen normalerweise vom metaphorischen Denken aus und ziehen dann Theorien oder Berechnungsmethoden hinzu. Zuerst wird also das Potential einer Netzstruktur innerhalb der Texte oder im Literaturbetrieb erkannt und benannt. Die Beschreibung ist häufig bereits theoriegeprägt und Voraussetzung für quantitative Analysen.⁷ Theoretische und empirische Zugriffe existieren in der Literaturwissenschaft also sowohl getrennt als auch kombiniert.

2 Interdisziplinäre Metaphorik

Trotz ihrer vielfältigen Ansätze neigen Literaturwissenschaftler:innen dazu, sich selbst am Rande der Netzwerkforschung zu platzieren. Da Netzwerkforschung vor allem dann interessant ist, wenn sie theoretisch fundiert oder auf der Basis großer Datenmengen stattfindet, betonen sie bei Fragestellungen zu brieflichen oder sonstigen Verbindungen im Literaturbetrieb oder bei der Verweisstruktur von Texten, es handele sich ‚bloß‘ metaphorisch um Netzwerke. Doch auch die Rede vom künstlichen neuronalen Netzwerk ist ein metaphorischer, sich an der Struktur des Gehirns orientierender Ausdruck für computergestützte mathematische Berechnungen in mehreren, parallel ablaufenden und voneinander abhängigen Schritten. Selbst die Neurowissenschaft drückt sich metaphorisch aus, liegt den Netzwerken des Gehirns doch die Anatomie, Biochemie und Elektrizität der Zellen zugrunde. Der Ursprung des Begriffs „Netzwerk“ liegt auch gar nicht in technischen Disziplinen, die in den Bereichen Computer und Internet viel jünger sind, sondern in der Gesellschaftswissenschaft. Soziologisch werden Netzwerke seit den 1930er Jahren beschrieben.⁸ Als einer der Ersten nutzte Jacob Levy Moreno den Begriff. Er verglich zufällige und rechnerisch wahrscheinliche Verteilungen sozialer Beziehungen in Gruppen mit tatsächlichen Verhältnissen.

Die ausgeprägten Abweichungen ließen ihn auf zahlreiche Faktoren schließen, die auf die Beziehungen zwischen Akteuren einwirken.⁹ Doch auch hier ging es nicht um gegenständliche Knoten und Kanten, sondern um Menschen, Institutionen und andere Akteure der Gesellschaft, auch hier war die Rede von Netzwerken daher von Anfang an metaphorisch. Literaturwissenschaftler brauchen sich also nicht zu entschuldigen, wenn sie den Ausdruck ‚nur metaphorisch‘ auf textuelle Verweiszusammenhänge, Briefkontakte oder Akteure des Literaturbetriebs anwenden. Auch im Bereich der Computer, auch im Bereich des Internets, selbst im Bereich der Neurowissenschaft ist die Rede von Netzwerken metaphorisch, sobald Verbindungen nicht z. B. in Form von Kabeln vorliegen. So wie in der Neurowissenschaft einzelne neuronale Bereiche herausgegriffen und als Netzwerk betrachtet werden, kann z. B. bei Bruno Latour alles zum Akteur eines Netzwerks werden. Auch die möglichen Verweiszusammenhänge in der Literatur sind mindestens so zahlreich wie die synaptischen Verbindungen im Gehirn oder die Follower bei Twitter. Alle Disziplinen nutzen und entwickeln also Theorien, um strukturelle oder funktionale Erkenntnisse zu gewinnen. Das interdisziplinäre Denken hilft dabei, die Wertungen innerhalb der Literaturwissenschaft zu perspektivieren und zu sehen, dass den Theorien ebenso wie den Berechnungen metaphorisches Denken zugrunde liegt.¹⁰

Nun wird bei der metaphorischen Rede nicht streng zwischen Netz und Netzwerk getrennt. Im Englischen werden Fischernetze als *net* und Computernetzwerke als *network*, verlinkte Internetseiten und Spinnennetze dagegen als *web* bezeichnet. Im Französischen heißen ‚Netz‘ und ‚Netzwerk‘ jeweils *réseau*. Sobald Akteure aktiv sind, bietet es sich aber eher an, von einem Netz|Werk als von einem Netz zu sprechen, weil der Bestandteil ‚Werk‘ Aktivität ausdrückt. Netzwerke aus Menschen, Computern oder Neuronen sind für die Netzwerkforschung interessanter als Apfelsinennetze. Die alle Netzwerke verbindende Definition der Knoten und Kanten oder der Elemente und Relationen müsste eigentlich ergänzt werden, und zwar durch die Bedingung einer Aktivität der Elemente. Das wäre ein die verschiedenen Disziplinen übergreifender Begriff, der sich von der Alltagssprache unterscheidet und den wissenschaftstheoretischen Vergleich ermöglicht. Selbst bei vermeintlich statischen Netzen wie festen Gittern oder Schwammformen werden die stabileren Knotenpunkte oder Ecken materialwissenschaftlich mit Blick auf die Funktionalität betrachtet, womit eine Form der Aktivität des Materials und damit ein Netzwerk in den Blick gerät. Es gibt jedoch quantitative Netzwerkanaly-

sen, für die dieser Begriff nicht geeignet ist, weil ihre Knoten keine aktiven Akteure beschreiben. Daher empfiehlt es sich, noch allgemeiner zu fragen, wie Struktur und Funktion der Netzwerke in der jeweiligen wissenschaftlichen Fragestellung von regelmäßigen Netzen abweichen. Diese Fragestellung entspricht dem neurowissenschaftlichen Modell, strukturelle, funktionelle und effektive Konnektivität zu unterscheiden.

3 Strukturelle, funktionelle und effektive Konnektivität in der Neurowissenschaft

Die Suche nach Relationen zwischen Struktur und Funktion der synaptischen Verbindungen ist „eine der wichtigsten und ältesten Fragen der Hirnforschung“,¹¹ die bis in die Phrenologie des 18. Jahrhunderts zurückgeht. Von Konnektivität wird in Zusammenhängen der Verrechnung von messbaren Reizen gesprochen. Es wird zwischen struktureller, funktioneller und effektiver Konnektivität unterschieden. Die strukturelle oder anatomische Konnektivität meint allgemein „das Vorhandensein struktureller Verbindungen zwischen einzelnen Neuronen, die einen Informationstransfer zwischen den Neuronen ermöglichen.“¹² Die funktionelle Konnektivität beschreibt dagegen statistisch berechenbare Abhängigkeiten zwischen zwei Mengen neurophysiologischer Daten¹³ und charakterisiert funktionelle Interaktionen innerhalb neuronaler Systeme.¹⁴ Wenn sich bei Messungen abzeichnet, dass zwischen zwei Bereichen besonders viele Reize ausgetauscht werden, dann wird an dieser Stelle eine funktionelle Konnektivität angenommen.¹⁵ In neurowissenschaftlichen Darstellungen geht man generell davon aus, dass sich strukturelle und funktionelle Netzwerke nicht entsprechen, weil das Potenzial für neuronale Tätigkeit im Gehirn viel größer ist als die tatsächliche Verwendung von Synapsen. Entsprechen sie sich doch, dann ist das erwähnenswert.¹⁶

Effektive Konnektivität ist nach Karl Friston als der kausale Einfluss definiert, den eine neuronale Einheit tatsächlich auf eine andere ausübt.¹⁷ Innerhalb der Neurowissenschaft heißt das, dass die Verbindung an dieser Stelle einem Modell folgt, also theoretisiert ist. Effektive Konnektivität ist also die erklärte oder gedeutete funktionale Konnektivität. Solch eine modellabhängige Beschreibung einer genauer bestimmten Funktion kann sowohl auf synaptischer als auch auf pluraler Ebene geschehen.¹⁸ Karl Friston fasst es so zusammen:

Put succinctly, functional connectivity is an observable phenomenon that can be quantified with measures of statistical dependencies, such as cor-

*relations, coherence, or transfer entropy. Conversely, effective connectivity corresponds to the parameter of a model that tries to explain observed dependencies (functional connectivity).*¹⁹

Er sieht strukturelle und funktionelle Konnektivität als Vorannahmen oder auch Bedingungen effektiver Konnektivität. Mit anderen Worten: Effektive Konnektivität hängt von struktureller und funktioneller Konnektivität ab, die *per se* weder eine ausreichende noch eine vollständige Beschreibung neuronaler Konnektivität erlauben.²⁰

4 Strukturelle und funktionale Konnektivität in der Literatur und im Literaturbetrieb

Die sich in den verschiedenen Wissenschaften ähnelnde Netzwerkmetaphorik regt zur Übertragung von Theorien an. So ist es nützlich, die Unterscheidungen zwischen struktureller, funktioneller und effektiver Konnektivität auch für die literaturwissenschaftliche Beschreibung von Netzwerken zu verwenden. Bei der literarischen Intertextualität handelt es sich beispielsweise eher um strukturelle Verbindungen, denen jedoch je nach Interpretation Funktionen zugesprochen werden. Das gibt neue Impulse, ist aber schwieriger als die Übertragung sozialwissenschaftlicher Netzwerktheorien auf den Bereich der Literatursoziologie, weil sich die betrachteten Verbindungen im Fall von struktureller, funktioneller und effizienter Konnektivität stärker unterscheiden. Einige Anpassungen in der Begriffsbestimmung sind daher notwendig. Funktionelle Konnektivität meint bei den organischen Elementen des Gehirns deren Leistungsfähigkeit auch bezogen auf organische Störungen und Erkrankungen. Bezogen auf die Literatur sei hier im Deutschen jedoch von funktionaler Konnektivität gesprochen. Der Begriff ist eingängiger und kommt ohne die körperliche Spezifizierung aus.

Im Folgenden soll das Beschreibungspotenzial der Unterscheidung zwischen struktureller und funktionaler Konnektivität an drei gängigen Netzwerkanalysen aus dem Bereich der Literaturgeschichte getestet werden. Verschiedene Berechnungen, Graphen und Visualisierungen literarischer Netzwerke lassen sich etwa dahin gehend unterscheiden, inwiefern die beschriebenen Verbindungen primär strukturell oder primär funktional sind. Wenn quantitative Analysen Verteilungen – etwa von Orten der Buchproduktion – herausarbeiten, visualisieren sie Zentren und deren Gewichtungen, während alle Verbindungen gleich sind. So lassen sich im Literaturbetrieb, wie im Gehirn auch, rein strukturelle Verbindungen

beschreiben, die keine Funktion haben. Strukturelle Konnektivität ist in der Literaturwissenschaft bedeutungsvoll, wenn Strukturen aussagekräftig sind, ohne dass die einzelnen Verbindungen hinsichtlich ihrer Funktionalität betrachtet werden. So kann bei Briefnetzwerken zunächst bloß auf die räumliche Struktur der Akteure geachtet werden, die durch ihre Briefe miteinander verbunden sind. Auch wenn ein Akteur hundert Mal so viele Briefe schreibt und bekommt wie ein anderer, daher also einen hohen Zentralitätswert hat, kann das Netzwerk rein strukturell dargestellt und betrachtet werden. Interessant ist dann, welche Personen und Orte integriert sind. Wird jedoch verfolgt, was die einzelnen Briefe bewirken, geht es um deren Inhalte oder wird die Kommunikationsform mit anderen verglichen, dann kommen funktionale Komponenten ins Spiel. Sobald verschiedene Verbindungstypen multimodal, also nicht nur quantitativ unterschieden werden, kann das als funktionale Konnektivität gelten.²¹

Boundary Object ist der Schlüsselbegriff einer Theorie von Susan Leigh Star, nach der einzelne Objekte im Zentrum von Netzwerken stehen und die verschiedensten gesellschaftlichen Bereiche miteinander verbinden.²² Solche Verbindungsobjekte können sowohl hinsichtlich ihrer strukturellen als auch hinsichtlich ihrer funktionalen Konnektivität betrachtet werden. Beispielsweise steht der Autor Albrecht von Haller im Zentrum eines weit verzweigten Briefnetzwerks.²³ Es ist aber auch möglich, seinen Text *Die Alpen* (entstanden 1730–1770) ins Zentrum der Betrachtung zu stellen und mit den verschiedenen Akteuren zu verbinden, die über die 40 Jahre der Entstehung und Umarbeitung Einfluss auf den Text genommen haben. Das sind hier die Politik, die Mäzene oder das Hochdeutsche, auf die mit Anpassungen, Widmungen und Verweisen reagiert wird. Dazu kommen Drucker, Kritiker, Illustratoren, Verlage und Leser in der Schweiz und in Deutschland. Diese Perspektivverschiebung macht den Text zu einer Art Verbindungsstück. Dem Gedicht kommt „netzwerkbildende Kraft“²⁴ zu. Indem von Hallers Gedichte Institutionen, Menschen, Orte und Gegenstände verbinden, strukturieren sie Wirklichkeit. Würde die Verbindung dabei nicht jeweils auch funktional sein und – etwa im oben beschriebenen Fall des Gedichts *Die Alpen* – die Form des Textes oder dessen Lektüre beeinflussen, dann bestünde sie gar nicht.

Ein weiterer Klassiker der relationalen Soziologie, der Eingang in die literaturwissenschaftliche Forschung gefunden hat, ist Ronald Burts Theorie von der *Brokerage-Strategie*,²⁵ die dem strategischen Aufbau von Kontakten entspricht, wie er sich etwa bei der Schriftstellerin Elisa von der Recke (1754–1833) beobachten lässt, die von Kurland, in den heutigen baltischen Staaten aus lange Europareisen unternahm, um weit voneinander entfernt gele-

gene Wissensgebiete zu überbrücken. Recke knüpfte an Orten wie Weimar, Berlin, Halberstadt und Hamburg jeweils einen zuverlässigen Kontakt, von dem sie alles aus dessen jeweiligem literarischem Zirkel hörte.²⁶ Die Struktur von Netzwerken, die mit der *Brokerage*-Strategie entstehen, ist durch die Funktion bedingt. Nur wenn es Gruppen mit einem hohen internen Austausch gibt, dann lohnt es sich, sich als Einzelperson zwischen diesen Gruppen zu positionieren.

Anschließend an den Vorschlag, Netzwerke hinsichtlich ihrer strukturellen und funktionalen Besonderheiten zu unterscheiden, würde es sich anbieten, rein strukturelle Konnektivität lediglich als Netz zu bezeichnen. Selbst strukturell dargestellte Briefnetze werden jedoch Briefnetzwerk genannt, weil es sich bei den Knoten, den Briefschreibern, um aktive Akteure handelt, zudem sind literaturwissenschaftliche Fragen meistens auf Funktionen oder Bedeutungen der Verbindungen fokussiert.

5 Effektive Konnektivität im Rahmen literarischer Akteur-Netzwerke

Besonders sinnvoll scheint die Übernahme des Begriffs effektiver Konnektivität mit Bezug auf die in der Literaturwissenschaft vielfach angewendete Akteur-Netzwerk-Theorie. Während in praktischen Beispielen für Netzwerke immer Akteure nur einer Art, also Computer oder Menschen, miteinander verbunden sind, ist es mit Blick auf die Literatur und den Literaturbetrieb häufig sinnvoll, belebte und unbelebte Elemente zu kombinieren, Netzwerke also gegenstandsunspezifisch zu bestimmen.²⁷ In der Akteur-Netzwerk-Theorie, die Bruno Latour seit den 1980er-Jahren, zunächst zusammen mit Kollegen aus der Pariser Wissenschafts- und Techniksoziologie, entwickelte, wird unsere Lebenswirklichkeit in ‚Aktanten‘ und ‚Akteuren‘ gedacht, wobei Aktanten potenzielle Akteure sind. Alles ist prinzipiell Aktant und wird erst dann zum Akteur, also aktiv und relevant, wenn es Wirkungen ausübt.²⁸ Die Wirkung besteht darin, einen weiteren Aktanten ‚anzustoßen‘, der, indem er in Bewegung kommt, seinerseits zum Akteur wird und Wirkungen ausübt. Akteure können also nicht nur menschlich, sondern auch gegenständlich oder immateriell sein. Die Wirklichkeit wird zum Wirkungsgefüge, zum ‚Werknetz‘,²⁹ wie Latour sagt, oder auch ‚Wirknetz‘. Was nicht wirkt, ist nicht relevant. Das gilt auch für Literatur, die nur dann von Interesse ist, wenn sie in die Wirkungsgefüge der Wirklichkeit eintritt.³⁰ So kann Latour sagen: „There is nothing but networks.“³¹ Bei dieser Methode wird deutlich, wie das Netzwerk nicht *a priori* gegeben ist, sondern auf Basis von Latours Prämissen überhaupt erst geschaffen wird. Erst im Nachzeichnen bestimmter Wirkungszusammenhänge

– etwa bei der Entstehung einer Zeitschrift – werden Akteure und Verbindungen ins Bewusstsein gerückt. Die relationale Grundbestimmung von Netzwerken wird erfüllt, da nicht die Akteure selbst, sondern deren Wirkungsimpulse im Zentrum stehen, die Verbindungen kreieren.

Im Gegensatz zu strukturellen Netzwerken der Literatur beschreiben Latours Verbindungen nichts anderes als Wirkungen. Die Akteur-Netzwerk-Theorie vermeidet es, eine Struktur zu geben, wie sie auch andere Strukturen vermeidet. Ihre Verbindungen sind ausschließlich funktional. Im Bereich des Literaturbetriebs oder von anderen sozialen Gefügen ist also im Gegensatz zum Gehirn auch rein funktionale Konnektivität denkbar. Zwar ist ein Netzwerk, das nachgezeichnet wurde, ein Ausschnitt der Wirklichkeit, der damit auch Struktur verleiht. Da aber zu einer Zeit nur ein Wirkungsimpuls beschrieben werden kann und die Stärke von Wirkungsimpulsen nur an der Anzahl der Folgeimpulse gemessen wird, kann die Struktur kaum dazu dienen, verschiedene Akteur-Netzwerke voneinander zu unterscheiden. Welcher Akteur welchen Aktanten wozu anstößt, ist die beschreibbare funktionale Verbindung. In einer Erweiterung der durch die Akteur-Netzwerk-Theorie geprägten Methode bietet es sich zudem an, die Unterscheidung von funktionaler und effektiver Konnektivität zu übernehmen. Denn für Latour haben alle Aktanten das Potenzial funktionaler Konnektivität, während nur diejenigen, die aktuell betrachtet werden, weil sie Wirkungen ausüben, effektiv Verbindungen herstellen.

Es ist Latours Anliegen, etablierte Gesellschaftsmodelle und deren Fokussierung auf den Menschen zu hinterfragen und auch all die Dinge, Ideen und physischen Prozesse zu berücksichtigen, von denen Menschen sich leiten lassen und mit denen sie die Wirklichkeit gestalten. Im Aufsatz *The Powers of Association* (1984) aus der Anfangsphase der Konzeption der Akteur-Netzwerk-Theorie wendet sich Latour gegen ein Bild von Machtstrukturen.³² Der gängigen Auffassung nach liege Macht in einer Person konzentriert vor und verbreite sich von dort aus gegen mehr oder weniger große Widerstände. Dieses Konzept hält Latour für paradox, weil ‚Macht ausüben‘ bedeute, dass andere handeln, die Macht als Handlungsressource also eigentlich in ihnen liege. Hier setzt Latours Übersetzungsmodell an, das davon ausgeht, dass jede Person Macht umwandeln oder umlenken kann, indem sie nicht handelt, ablenkt, der eigenen Auffassung folgt oder betrügt.³³ Auch Latours Machtbeispiel entspricht dem Modell der effektiven Konnektivität. Denn gerade dort, wo funktionale Verbindungen angenommen werden, kommt es nach Latour auf die tatsächliche Ausführung oder Informationsübermittlung an.

Wenn sich in der Literaturwissenschaft historisch das Bild mächtiger Autoren, Institutionen oder einflussreicher Werke durchgesetzt hat, so lassen sich die jeweiligen Ausschnitte aus der Geschichte mit der Akteur-Netzwerk-Theorie neu beschreiben, indem die Effektivität unbekannter Vorgänge, Texte und Lektüren in den Blick gerückt wird. Ich habe daher die Methode entwickelt, Literaturgeschichte streng nach dem Ursache- und Wirkungsprinzip darzustellen, indem nicht vorgegebene Strukturen übernommen, sondern Einzelimpulse verfolgt werden.³⁴ Das betrifft zum Beispiel die hohe Relevanz von sonst als marginal betrachteten Übersetzern und Übersetzungen für die Formung der ästhetischen Theoriebildung im deutschsprachigen Raum des 18. Jahrhunderts,³⁵ die zutage tritt, wenn die Effektivität ihrer Wirkungsimpulse beleuchtet wird. So wie in der Neurowissenschaft einzelne neuronale Bereiche herausgegriffen und als Netzwerk betrachtet werden, kann bei Latour alles zum Akteur eines Netzwerks werden. Die möglichen Zusammenhänge im Literaturbetrieb sind mindestens so zahlreich wie die synaptischen Verbindungen im Gehirn oder die Follower von Influencern in den sozialen Netzwerken.

6 Fazit

In der Literaturwissenschaft gibt es nicht den einen Netzwerkbegriff, sondern „je nach Metapher, Theorie oder Analyseinteresse statische und dynamische, dauerhafte und flüchtige, hierarchische und unhierarchische, öffentliche und geheime, gegenstandsspezifische und -unspezifische“³⁶ sowie beschreibende und analytische Modelle. Allen gemein ist lediglich die Unterscheidung von „Elementen und Relationen“.³⁷ Dieser Beitrag steht für die Offenheit, weitere theoretische Ansätze zu integrieren.

Durch die Unterscheidungen struktureller, funktionaler und effektiver Konnektivität lassen sich nicht nur die vielfältigen literaturwissenschaftlichen Ansätze, die von Netzwerktheorien geleitet sind, ordnen und unterscheiden, sondern auch direkt literarische und literaturpolitische Zusammenhänge präzisieren.

Anmerkungen

1 Jürgen Barkoff, Hartmut Böhme, Jeanne Riou: „Vorwort“, in: *Dies.: Netzwerke. Eine Kulturtechnik der Moderne*, Köln: Böhlau, S. 7–16, hier S. 8. Zum Zusammenhang der Netzwerkansätze mit dem Cultural Turn in den Geisteswissenschaften vgl. auch den Beitrag von Jan-Markus Kötter in diesem Band.

- 2 Für die Anregung im Rahmen des Treffens der Arbeitsgruppe ‚Netzwerke‘ des Jungen Kollegs der Akademie der Wissenschaften und der Künste mit der Arbeitsgruppe ‚Network Science‘ der Hamburger Akademie der Wissenschaften am 9.12.2019 danke ich Claus Christian Hilgetag.
- 3 Vgl. Lore Knapp: *Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert: theoretisch, empirisch, metaphorisch. Zur Einleitung*, in: *Dies. (Hg.) Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert. Mit den Übersetzungen zweier Aufsätze von Latour und Sapiro*. Bielefeld 2019, S. 9–31, hier S. 9.
- 4 Fotis Jannidis: *Netzwerke*, in: *Ders.; Hubertus Kohle; Malte Rehbein (Hg.): Digital Humanities. Eine Einführung*. Stuttgart: Metzler 2017, S. 147–161. Durch die „Entwicklung und Verbreitung von Bibliotheken für Programmiersprachen, aber auch von kompletten Anwendungen“ zur Visualisierung und Berechnung, können Literaturwissenschaftler auch ohne umfangreiches Spezialwissen Netzwerkanalysen durchführen. Ebd. S. 160, vgl. auch S. 152.
- 5 Tobias Winnerling: *Wie und wozu Werke verknüpfen? Relationale Perspektiven auf eine Satire des frühen 18. Jahrhunderts*, in *ZfG* 29:1 (2019), S. 24–46.
- 6 Daniel Ehrmann; Norbert Christian Wolf: *Einführung [zu Gisèle Sapiro: Netzwerke, Institutionen und Feld]*, in: *Knapp (Hg.): Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert*, S. 187–206, hier S. 199.
- 7 Vgl. Gisèle Sapiro: *Netzwerke, Institutionen und Feld, aus dem Französischen von Bernd Schwibs*, in: *Knapp (Hg.): Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert*, S. 207–222.
- 8 Michael Schnegg: „Die Wurzeln der Netzwerkforschung“, in: *Roger Häußling; Christian Stegbauer (Hg.): Handbuch Netzwerkforschung*, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2010, S. 21–28, hier S. 23.
- 9 Ebd.
- 10 Siehe dazu die These von Jan-Markus Kötter in diesem Band, dass zwischen Netzwerktheorie und Netzwerkanalyse kein theoretischer, sondern nur ein methodischer Unterschied liegt.
- 11 Klaas Enno Stephan: *Untersuchungen zur funktionellen Konnektivität des Gehirns*, Dissertation, C. & O. Vogt Institut für Hirnforschung der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2003, S. 8 mit Verweis auf Korbinian Brodmann: *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde*. In ihren Principien dargestellt auf Grund des Zellenbaues, Leipzig: Johann Ambrosius Barth Verlag, 1909 (Reprint mit einem Nachwort und einem Literaturverzeichnis von Ernst Winkelmann und Karl Seidel, ebd. 1985).
- 12 Stephan: *Untersuchungen zur funktionellen Konnektivität des Gehirns*, S. 8. Stephan beschränkt den „Begriff der anatomischen Konnektivität auf synaptische Verbindungen zwischen den Axonen des ‚sendenden‘ Neurons einerseits

- und den Dendriten oder dem Soma des ‚empfangenden‘ Neurons andererseits“. Ebd.
- 13 Klaas Enno Stephan; Karl J. Friston: *Functional Connectivity*, in: *Encyclopedia of Neuroscience*, hg. v. Larry R. Squire, Amsterdam u. a.: Elsevier Academic Press, 2009, S. 391–397, hier S. 391.
 - 14 Stephan: *Untersuchungen zur funktionellen Konnektivität des Gehirns*, S. 9.
 - 15 Karl Friston: *Functional and Effective Connectivity: A Review*, in: *Brain Connectivity* 1:1 (2011), S. 13–36, hier S. 14.
 - 16 Ed Bullmore; Olaf Sporns: *Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems*, in: *Nature Reviews Neuroscience* 10 (2009), S. 186–198, siehe Key Points; vgl. auch Mikail Rubinov; Olaf Sporns: *Complex network measures of brain connectivity: Uses and interpretations*, in: *NeuroImage* 52:3 (2010), S. 1059–1069, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S105381190901074X/>.
 - 17 Karl J. Friston: *Functional and Effective Connectivity in Neuroimaging: a Synthesis*, in: *Hum. Brain Mapp.* 2 (1995), S. 56–78.
 - 18 Friston: *Functional and Effective Connectivity*, S. 14.
 - 19 Ebd., S. 15.
 - 20 Ebd., S. 16.
 - 21 Vgl. die Analysen in *Winnerling: Wie und wozu Werke verknüpfen?*, S. 34–37.
 - 22 Susan Leigh Star; James R. Griesemer: *Institutional Ecology, „Translations“ and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley’s Museum of Vertebrate Zoology, 1907–39*, in: *Social Studies of Science* 19:3 (1989), S. 387–420.
 - 23 Uwe Maximilian Korn: *Das Werk im Netzwerk. Zur Bearbeitungsgeschichte von Albrecht von Hallers „Die Alpen“*, in: *ZfG* 29:1 (2019), Schwerpunkt: *Werke im Netzwerk. Relationale Autorschaft im 18. Jahrhundert*, hg. v. Steffen Martus; Erika Thomalla; Carlos Spoerhase, S. 65–84.
 - 24 Hannes Fischer; Daniel Zimmer: *Werke im Netzwerk. Relationale Autorschaft im 18. Jahrhundert (Workshop in Berlin v. 11.–12.5.2017)*. Konferenzbericht, in: *ZfG* 28:1 (2018), S. 137–140, hier S. 140.
 - 25 Ronald Burt: *Struktural Holes. The Social Structure of Competition*, Cambridge: Harvard University Press, 1992.
 - 26 Valérie Leyh: *Relationales Schreiben und Lesen. Elisa von der Recke als strategische Netzwerkerin*, in: Knapp (Hg.): *Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert*, S. 225–250.
 - 27 Vgl. Lore Knapp: *Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert: theoretisch, empirisch, metaphorisch*. Zur Einleitung, in: Dies. (Hg.): *Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert*, S. 9–31, hier S. 12–13.
 - 28 Bruno Latour: *Eine neue Soziologie für eine neue Gesellschaft. Einführung in die Akteur-Netzwerk-Theorie*, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 2007.
 - 29 Ebd., S. 160.
 - 30 Walter Erhart: *Strategien, Kalküle, Existenzweisen – Literaturwissenschaft und Netzwerktheorie. Ein Kommentar*, in: Knapp (Hg.): *Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert*, S. 67–78, hier S. 77.
 - 31 Bruno Latour: *On actor-network theory. A few clarifications*, in: *Soziale Welt* 47:4 (1996), S. 369–381, hier S. 370. Vgl. die Übersetzung von Eike Kronshage: *Über die Akteur-Netzwerk-Theorie. Einige Klarstellungen*, in: Knapp (Hg.): *Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert*, S. 45–66.
 - 32 Der Aufsatz wurde zuerst 1984 in *The Sociological Review* (Volume 32, Issue 51, May 1984, S. 264–280), dann 1986 in einem Band über *A New Sociology of Knowledge* publiziert (J. Law [Hg.]: *Power, Action and Belief: a New Sociology of Knowledge?* London, Boston and Henley: Routledge and Kegan Paul). Die deutsche Übersetzung *Die Macht der Assoziation* erschien zwanzig Jahre später in: Andréa Belliger; David J. Krieger (Hg.): *ANThology. Ein einführendes Handbuch zur Akteur-Netzwerk-Theorie*, Bielefeld: transcript, 2006, S. 561–572; Bruno Latour: *How Better to Register the Agency of Things*. Yale: Tanner Lectures, online unter: <http://www.bruno-latour.fr/sites/default/files/137-YALE-TANNER.pdf> (zuletzt 18.12.2017).
 - 33 Vgl. Lore Knapp: *Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert: theoretisch, empirisch, metaphorisch*. Zur Einleitung, in: Dies. (Hg.): *Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert*, S. 9–31, hier S. 18–19.
 - 34 Lore Knapp: *Akteur-Netzwerk-Theorie als Methode der Geschichtsschreibung. Wirkungen und Prozesse im britisch-deutschen Literaturtransfer*, in: Dies. (Hg.): *Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert*, S. 137–158.
 - 35 Lore Knapp: *„Durch die Akteur-Netzwerk-Theorie kann auch die Geschichte der Ästhetik neu beleuchtet werden.“ Drei Fragen zu Bruno Latour*, in: *Soziopolis*, 20.10.2022. <https://www.sozio.polis.de/durch-die-akteur-netzwerk-theorie-kann-auch-die-geschichte-der-aesthetik-neu-beleuchtet-werden.html> (zuletzt 21.10.2022).
 - 36 Lore Knapp: *Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert: theoretisch, empirisch, metaphorisch*. Zur Einleitung, in: Dies. (Hg.): *Literarische Netzwerke im 18. Jahrhundert*, S. 9–31, hier: S. 12.
 - 37 Ebd. Boris Holzer: *Netzwerke*. Bielefeld: transcript, 2006, S. 54.

Das Potenzial relationaler Deutungsansätze in der Geschichtswissenschaft am Beispiel der Nobilität der Römischen Republik

Jan-Markus Kötter

Abstract

Der vorliegende Beitrag entwickelt Perspektiven, um den politischen Wettbewerb hoher Aristokraten in der römischen Republik unter den Maßgaben der Netzwerktheorie (bzw. der relationalen Soziologie) zu betrachten. Aufbauend auf der allgemeinen Frage, was den Adel in Rom überhaupt konstituierte, werden als Knoten der zu untersuchenden Netzwerke nicht allein die hohen Aristokraten verstanden, sondern auch das römische Volk, welches die unter diesen Aristokraten umkämpften Beamtenstellen in einer Wahl vergab und den ‚Adel‘ damit überhaupt erst konstituierte. Ein großer Wert wird auch dem quasi-aktoralen Charakter bestimmter historischer Konstellationen beigemessen, die für die Möglichkeit der Realisierung bestimmter Netzwerk-Optionen in bestimmten Situationen keineswegs nachrangig waren. Um nun für zwei exemplarische Ereignisse der römischen Geschichte (die Consulwahl des Scipio Aemilianus 147 v. Chr. und die Ermordung Caesars durch [u. a.] Brutus 44 v. Chr.) Impulse für neue Deutungsansätze zu gewinnen, wird der erklärende Fokus – einer netzwerktheoretischen Grundannahme folgend – von den Knoten auf die Kanten verlagert, also auf die Beziehungen zwischen individuellen und kollektiven Akteuren in bestimmten Situationen. Es fällt auf, dass diese Verbindungen oftmals aus gegenseitigen Erwartungen bestanden, die häufig über die Kenntnis (oder ‚Bekanntheit‘) historischer Ereignisse und historischer Personen vermittelt wurden; hierbei spielten insbesondere die Ahnen einzelner Aristokraten eine wichtige Rolle.

1 Netzwerke: Verschiedene Ansätze, theoretisches Kontinuum

Die geisteswissenschaftliche Beschäftigung mit Netzwerken (als Gegenstände und/oder als Paradigmen der Betrachtung) ist eine Folge des

cultural turn, der seit der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts zu einer Neuausrichtung der geisteswissenschaftlichen Forschung geführt hat. Dieser Neuausrichtung lag unter anderem eine Abkehr von substanzialistischen Betrachtungsprämissen zugrunde: Der Fokus verschob sich weg von vorgeblich präexistenten Realien hin zu ‚weichen‘ Phänomenen der Bedeutungskonstruktion und der Bedingtheit.¹ In einem solchen Zusammenhang gewannen auch Netzwerke, mit ihren Implikationen von Informalität und Relativität, an Bedeutung.²

Eine solche, mithin kulturwissenschaftliche Beeinflussung kann dabei für beide maßgeblichen Ansätze der Beschäftigung mit Netzwerken gleichermaßen festgestellt werden, also sowohl für quantifizierende Netzwerk-Analysen als auch für Ansätze, die sich als netzwerk-*theoretisch* verstehen und auf die Erhebung und Auswertung von Daten zum Zwecke der Berechnung statistischer Maßzahlen verzichten. Kritik findet sich dabei an beiden Ansätzen gleichermaßen: Wird der Netzwerkanalyse häufig vorgeworfen, durch ihr quantifizierendes Vorgehen falsche Gewissheiten über faktisch nicht existente Realitäten zu evozieren, trifft die theoretische Seite eher der Vorwurf, die Metapher des Netzwerks für eine postmodern-beliebige Infragestellung jeglicher historischen Realität zu nutzen. Trotz der grundlegend unterschiedlichen Stoßrichtung dieser (natürlich polemischen³) Vorwürfe, die mitunter dazu verleitet, die Differenz der Ansätze zu überschätzen, ist kaum zu übersehen, dass beide Ansätze faktisch auf ganz ähnlichen Grundannahmen beruhen, verweisen doch beide auf Relationalität und Transaktionalität historischen Geschehens. Leitgedanke geisteswissenschaftlicher Netzwerkforschung ist damit immer eine umfassende Einbettung von Akteuren in die Interaktion mit anderen Akteuren: Jeder Einzelakteur wird von den ihn jeweils umgebenden Bindungen bestimmt – seine Rolle, seine Position im Netzwerk, sein Handeln, mithin seine ganze Person sind Ergebnisse spezifischer Bindungskonstellationen. Der analytische und der theoretische Ansatz gehören also demselben Theoriekontinuum an, in welchem nicht präexistente Substanzen von Personen und Dingen im Fokus stehen, sondern interaktionale Beziehungen zwischen Akteuren sowie die Wirkungen, die sie aufeinander ausüben und durch die sie selbst, ihr jeweiliges Gegenüber und ihre Netzwerke beständig verändert (und überhaupt erst geschaffen) werden.⁴

Die auf den ersten Blick so große Differenz zwischen analytischen und theoretischen Ansätzen ist also zu relativieren, sie betrifft allein Fragen der Konsequenz des Vorgehens: Sofern eine Studie vom relational-transaktionalen Verständnis sozialer Verhältnisse ausgeht, ist es in theoretischer

Perspektive nachrangig, ob sie in eine regelrechte Analyse mündet; wichtiger ist, dass ihre Überlegungen aufgrund der ähnlichen Grundannahmen in solch eine Analyse überführt werden *könnten*. Dass dieser methodisch konsequente Schritt im Bereich der Geschichtswissenschaft selten gemacht wird, liegt oft eher an der dünnen Datengrundlage (und der mangelnden Vertrautheit mit entsprechender Analyse- und Visualisierungssoftware) als an prinzipiellen Vorbehalten gegenüber Netzwerkanalysen. Üblicherweise wird argumentiert, dass die Quellenlage für vormoderne Epochen so schlecht (ausgedünnt, selektiv, fragmentarisch, überformt etc.) sei, dass Zentralitätswerte und andere netzwerkanalytische Maßzahlen überhaupt nicht seriös erhoben werden können.⁵

Diese Feststellung geht meines Erachtens aber am eigentlichen Punkt vorbei: Natürlich wird niemand, dem die Lückenhaftigkeit der Datengrundlage bewusst ist, die Aussagekraft der auf ihrer Basis erhaltenen analytischen Ergebnisse *a priori* überschätzen; gleichzeitig argumentiert das im Fach klassische texthermeneutische Vorgehen auf Basis eben derselben defizitären Quellenlage, ohne dass hier ebenfalls grundlegende Zweifel an der Durchführbarkeit historischer Studien angemeldet würden. Das Hemmnis für historische Netzwerkanalysen liegt insofern weniger in der Quantität erhaltener Informationen über die Vergangenheit *per se* als vielmehr in praktischen Erwägungen: Gerade in Fällen geringer Quellendichte kann es fraglich erscheinen, ob die zu erwartenden Ergebnisse den erhöhten Aufwand rechtfertigen, der zu betreiben ist, um die vormodernen – und meist literarischen – Quellen in ein für die Analyse notwendiges binärrelationales Datenmaterial zu ‚übersetzen‘. Diese Frage ist von Fall zu Fall zu beantworten.⁶

Angesichts dessen lohnt sich ein Blick darauf, welches heuristische Potenzial bereits in einer Anwendung netzwerktheoretischer Ansätze (also ohne ihre Ausweitung zu Netzwerkanalysen) liegt. Dieses Potenzial soll im Folgenden am Beispiel der Nobilität der Römischen Republik beleuchtet werden. Mein Beitrag versteht sich dabei nicht als genuin fachwissenschaftlich: Inhaltlich mögen Experten durch die Kürze der Betrachtung und einige Vereinfachungen sogar enttäuscht sein; auch dürften die meisten der aufzuzeigenden Aspekte Fachvertreter kaum überraschen.⁷ Im Rahmen des Symposiums, für das dieser Beitrag ursprünglich entstanden ist, ging es primär darum, die Potenziale des Netzwerkparadigmas in der Geschichtswissenschaft für Nichtexperten anschaulich darzustellen und damit der interdisziplinären Diskussion zu öffnen. Einige der notwendigen fachlichen Diskussionen werde ich an anderer Stelle nachreichen.⁸

2 Die Römische Republik: Nobilität, Volk, Geschichte

Die Macht in der Römischen Republik (510–27 v. Chr.)⁹ lag bei der Aristokratie. Das gemeine Volk spielte jedoch eine durchaus bedeutende Rolle, da ihm im politischen Prozess die Aufgabe zukam, durch Wahlen in die hierarchisierten Jahresämter einzelnen Akteuren aristokratischen Status zuzuweisen beziehungsweise zu bestätigen;¹⁰ das zentrale den Adel konstituierende Element in Rom war nämlich die politische Betätigung, und das klassische Dictum des Althistorikers Christian Meier gilt nach wie vor: „Wer Politik trieb, gehörte zum Adel, und wer zum Adel gehörte, trieb Politik.“¹¹ Gerade um das höchste Staatsamt, das jährlich von nur zwei Personen bekleidete Konsulat, gab es dabei einen intensiven Wettbewerb. Es waren denn auch diejenigen Personen, die es bis in das Konsulat geschafft hatten, die als sogenannte *Nobiles* den Kern der römischen Aristokratie bildeten. Wörtlich bezeichnet *Nobilitas* (Nobilität) dabei wenig anderes als den Umstand, *bekannt zu sein*: Wer es bis ins höchste Amt geschafft hatte, war jemand in Rom, den man kannte und dem man – das war die Konsequenz aus dieser Bekanntheit – vertraute.¹²

Dieser Status der Bekanntheit war tendenziell auf Kinder und Enkel vererbbar; zumindest erhoben diese qua Geburt den Anspruch, ebenso bekannt zu sein wie ihre (zumeist gleichnamigen) Ahnen. Da der Anspruch auf Bekanntheit unmittelbar aus der politischen Betätigung der Ahnen erwachsen war, betraf er auch für nachfolgende Generationen primär das politische Feld: Der Nobilis qua Geburt erhob Anspruch auf die Bekleidung politischer Ämter, erhob Anspruch auf eine eigene politische Karriere und damit auf die Bestätigung seiner, zunächst einmal ja nur ererbten, Nobilität durch eine qua Amt erworbene Nobilität. Hierin lag eine wichtige Spezifik des römischen Adels, der eine eigentümliche Mischung aus Erb- und Verdienstadel darstellte, in der adlige Herkunft allein zwar nicht ausreichte, um den adligen Status dauerhaft zu erhalten, in der aber die hierzu notwendige politische Karriere leichter für solche Akteure zu erreichen war, die bereits von Haus aus als adlig galten.¹³ Der gute Name eines Kandidaten, die Bekanntheit seines Namens durch die Erinnerung an Amtsträger aus vorangegangenen Generationen seiner Familie, brachte für die jeweils eigenen Ämterbewerbungen (und damit für die angestrebte Bestätigung des Erbadels) wichtige Wettbewerbsvorteile mit sich, weil das Wahlvolk dazu neigte, die ererbte Nobilität zum Auswahlkriterium seiner Wahlentscheidung zu machen.¹⁴

Nobilität wurde also zwar vererbt, nichtsdestoweniger stellte sie nur auf den ersten Blick ein der Person von vornherein unwiderruflich zugehöriges Merkmal dar.¹⁵ Faktisch handelte es sich um eine relationale Kategorie: Jeder Nobilis blieb davon abhängig, dass sein Adel als solcher anerkannt wurde, nämlich durch die für die Nobilität letztlich genuin konstitutive Wahl zum Konsul. Wer es trotz ererbter Bekanntheit nicht zum Konsulat brachte, war in letzter Konsequenz auch kein Nobilis, weil ihm das Volk zurückmeldete, ihn nicht zu kennen beziehungsweise nicht anzuerkennen. Diese grundlegende Transaktionalität der Zugehörigkeit zur Nobilität wird auch beim Blick auf die Darstellung der republikanischen Geschichte in den Quellen deutlich, steht diese Darstellung doch im doppelten Zusammenhang zur Nobilität an sich: Die Werke der römischen Historiografie¹⁶ liefern uns nicht allein Informationen über die bekannten Männer, sondern waren selbst unmittelbar an der Produktion und der Verfestigung nobilitärer Ansprüche beteiligt, indem sie ein Bewusstsein für die Ahnen und ihre Taten schufen und wachhielten, welches wiederum als Unterpfand der Nobilität der jeweils eigenen Zeit diente. Es ist kein Zufall, dass die frühesten Geschichtsschreiber in Rom Angehörige der politisch aktiven Oberschicht waren: Ein literarisch vermitteltes Geschichtsbewusstsein ging Hand in Hand mit den politischen Führungsansprüchen der Nobilität.¹⁷

3 Potenzial relationaler Deutungsansätze: Zwei Fallbeispiele

Das skizzierte relationale Verständnis der römischen Nobilität, das sowohl die Notwendigkeit von Statuszuweisung und -anerkennung durch das Volk im Wahlakt fokussiert als auch die generative Spiegelung nobilitärer Ansprüche in der römischen Historiografie (die hier etwas unterkomplex als Geschichtsbewusstsein *per se* verstanden werden soll), trägt zu einer vertieften Durchdringung aristokratischen Handelns in Rom bei. Diese Feststellung ist keineswegs trivial: Denn geht man davon aus, dass die Nobilität eines Akteurs nicht *per se* vorhanden war, so fällt sie als unmittelbare Erklärung für historisches Geschehen oder Verhalten aus; sie muss zunächst einmal selbst erklärt werden. Dieser Perspektivwechsel und seine Konsequenzen sollen an zwei Beispielen erläutert werden, zunächst anhand von Scipio Aemilianus, der zur Mitte des zweiten Jahrhunderts v. Chr. eine spezifische Akteur-Kontext-Konstellation nutzte, um sich seinen Anspruch auf Nobilität bestätigen zu lassen, sodann an M. Iunius Brutus, der sich offenbar aus Sorge um seinen nobilitären Status den Verschwörern gegen den Dictator Caesar anschloss.

3.1 Der neue Africanus

Eine als ‚Bekanntheit‘ verstandene Nobilität muss, wie wir sehen konnten, stets in Relation zu ihrer Bezugsgruppe gedacht werden: Das Volk hatte die Aufgabe, nobilitären Status durch die Wahl zum Konsul zu verleihen beziehungsweise zu bestätigen, eine Aufgabe, die in den Quellen Niederschlag im Diskurs ‚Das Volk darf wählen, wen es will‘ findet.¹⁸ Nun stellte dieser Diskurs mitnichten einen festen formalen Rechtssatz dar, war er doch niemals von der Beziehung des Volkes zu eben derjenigen Person zu trennen, die es in einer gegebenen Situation wählen wollte.¹⁹ Und der Normalfall war ein Engagement des Volkes für eine bestimmte Person nicht: In der Regel wiesen die Wähler recht geringe Präferenzen bei der Auswahl zwischen den Kandidaten auf. Eine punktuelle Durchbrechung dieser latenten Indifferenz war zwar möglich, verlangte aber eine ganz bestimmte Akteur-Kontext-Konstellation: Es brauchte eine Situation, die problematisch genug erschien, um die gezielte Wahl eines bestimmten Kandidaten zu betreiben. Bei diesem Kandidaten handelte es sich dann fast notwendigerweise um einen Nobilis, da das Volk angesichts der Problemsituation sehr konkrete Vorstellungen von der Qualität einer zu wählenden Person haben musste, die sich naturgemäß in erster Linie an bereits bekannte (oder besser: an als bekannt wahrgenommene) Personen, mithin an Nobiles, binden konnten.²⁰

Im Jahr 148 v. Chr. war eine ausreichend bedrohliche Situation gegeben, um das Volk für eine bestimmte Person einzunehmen: Seit dem Vorjahr befand sich Rom im Krieg mit Karthago (Dritter Punischer Krieg, 149–146). Dieser Krieg wollte nicht recht vorangehen und drohte sich zu einem veritablen Problem auszuweiten.²¹ Als die Wahlen für 147 anstanden, wollte das Volk daher sichergehen, eine Person ins Konsulat zu bringen (und mit dem Kommando des Feldzugs in Nordafrika zu betrauen), von der erwartet werden konnte, den Krieg zu einem erfolgreichen Ende zu führen: Der Ruf nach einem militärischen Experten wurde laut. Nun war es aber so, dass die Kandidaten für das Konsulat für gewöhnlich allesamt recht ähnlich qualifiziert waren: Alle hatten vor Beginn ihrer politischen Karriere zehn Jahre Militärdienst abgeleistet, alle hatten eine vorgegebene Ämterlaufbahn absolviert und alle hatten ein bestimmtes Mindestalter erreicht. Hierüber hinausgehende individuelle Qualifikationen, vor allem die Fähigkeit zur verantwortlichen Führung einer Armee im Feld, blieben bis zu einer etwaigen Bewährungsprobe im Oberkommando letztlich unbekannt: Dass die bisher glücklos gegen Karthago ausgesandten Feldherren allesamt die vorgegebe-

nen Karrierestufen durchlaufen hatten, zeigt, dass die Formalqualifikation den Kriegserfolg keineswegs garantieren konnte. Wenn man einen fähigen General als Konsul haben wollte, blieb daher kaum etwas anderes übrig, als die gewünschte Fähigkeit aus bereits erwiesenen Fähigkeiten der jeweiligen Ahnen der einzelnen Kandidaten zu deduzieren.²²

Die Beziehung des Volkes zu einem Kandidaten wurde also in einer Beziehungstriade gestiftet, und der dritte Knoten dieser Triade war der Ahn: Der für das Amt gewünschte Nobilis wies eine familiäre Bindung zu einem erfolgreichen Vorfahren auf, zu dem auch das Volk eine positive Beziehung hatte, die sich aus der Erinnerung an seine Taten speiste und aus der sich mit einer gewissen Zwangsläufigkeit eine positive Voreingenommenheit des Volkes gegenüber dem Nachkommen ergab.²³ Nun erklärt eine solche Beziehungstriade zwar den relational begründeten Wettbewerbsvorteil der Nobilität im Allgemeinen, aber noch nicht die gezielte Wahl *recte* bestimmten Nobilis in einer gegebenen Situation. Hierzu ist es notwendig, nicht allein auf die personalen Akteure zu blicken, sondern zusätzlich auf die jeweilige Situation, in der sich eine Wahl vollzog und in der ein zweiter wichtiger Schlüssel zum Verständnis gezielter Wahlvorgänge liegt: Um die latent gegebene positive Beziehung zwischen nobilitärem Prätendenten und wählendem Volk auch tatsächlich zu aktivieren, musste es eine eindeutige Passung geben zwischen der als Krise wahrgenommenen Situation und dem, wofür der Nobilis mittels seiner Ahnen ganz spezifisch als bekannt galt.²⁴

Kehren wir zurück ins Jahr 148: Die vorliegende Krisensituation (zumindest wurde die militärische Situation von einem Großteil des Wahlvolkes offenbar als Krise wahrgenommen) betraf einen Krieg gegen Karthago, und der Blick fiel in dieser Situation auf einen jungen Nobilis, dem man offenbar zutraute, diesen Krieg erfolgreich zu beenden: P. Cornelius Scipio Aemilianus (185–129 v. Chr.). Dieser war der (adoptierte)²⁵ Enkel des berühmten P. Cornelius Scipio Africanus, der ein halbes Jahrhundert zuvor den legendären karthagischen Feldherrn Hannibal besiegt und damit den Zweiten Punischen Krieg beendet hatte. Über die verwandtschaftliche Bindung zum militärisch erfolgreichen Großvater bürgte der jüngere Scipio in den Augen der Öffentlichkeit zum einen ganz allgemein für das nun benötigte militärische Geschick; zum anderen verhieß in Kriegen gegen den konkreten Gegner Karthago gerade seine Familie Erfolg. Der römische Historiker Florus bringt diesen Gedanken auf den Punkt, wenn er feststellt, dass es so schien, als hätte erst der Name der Scipionen das Schicksal Karthagos endgültig besiegelt.²⁶ Scipio Aemilianus galt dem Volk gerade deshalb als richtige Wahl, weil

schon sein Großvater Scipio Africanus sich Jahre zuvor als richtige Wahl erwiesen hatte.

Es war also keineswegs ein Zufall, dass die beiden Scipionen jeweils in einem punischen Krieg ins Konsulat gelangten; insbesondere für den Jüngeren war dieser punische Krieg sogar die notwendige Voraussetzung zur Wahl. Dies gilt umso mehr, als Scipio für das Konsulat formal eigentlich gar nicht infrage kam, weil er das erforderliche Mindestalter noch nicht erreicht hatte. Er kandidierte 148 lediglich für das dritthöchste Amt, die Aedilität.²⁷ Aufgrund dieser formalen Unwählbarkeit bedurfte seine Bestellung eines rechtlichen Dispenses; und dieser Dispens machte das dezidierte Engagement des Volkes nötig, weil der anfangs widerstrebende Senat, das faktische Machtzentrum der Republik, erst überzeugt werden musste, die Wahl zu akzeptieren. Hierzu wurde aus Reihen des Volkes unmissverständlich klargemacht, dass man nicht gewillt war, einen anderen Kandidaten zu akzeptieren. Man erinnerte die Senatoren daran, dass bei der Ämtervergabe dem Volk die Letztentscheidung zukam – es eben wählen durfte, wen es wollte.²⁸ Für Scipio war der Gang der Ereignisse höchst erfreulich, weil er unverhofft die vorzeitige Anerkennung seiner Nobilität erreichen konnte, nach welcher er ohnehin hätte streben müssen, wenn auch formalkorrekt erst einige Jahre später. Darüber hinaus steigerten die Umstände seiner Wahl sein Gewicht im auf Anerkennung ausgelegten politischen System noch zusätzlich: Dass er etwas Außergewöhnliches erreicht hatte, schlug sich daher auch in den Quellen nieder, in denen er zur alles dominierenden Figur seiner Wirkungszeit stilisiert werden sollte.²⁹

Es sollte klar geworden sein, dass die Ereignisse von 148 weniger einer (wie auch immer gearteten) politischen ‚Genialität‘ des jüngeren Scipio geschuldet waren als der Kombination aus militärischer Situation und der über den älteren Scipio vermittelten Passung zwischen dieser Situation und der Person des unverhofften Prätendenten. Erst das Zusammenspiel dieser beiden Faktoren führte das Volk zur handlungswirksamen Annahme, dass der jüngere Scipio das Zeug zum neuen Africanus hatte, und brachte es dazu, sich für diesen potenziellen neuen Africanus zu engagieren. Scipios Eigenanteil bestand darin, zu erkennen, dass ihm diese spezifische Konstellation in die Karten spielen könnte, sodass er möglicherweise aktiv dazu beigetragen hatte, die Erinnerung an seinen Großvater wachzurufen.³⁰ Im Netzwerk des Jahres 148 wirkten also verschiedene, sich wechselseitig beeinflussende, Akteure an der Wahl des jüngeren Scipio mit, allen voran das römische Volk (als Kollektivakteur), der ältere Africanus (obwohl er schon seit gut vierzig Jahren tot war) und der Punische Krieg.³¹

3.2 „Du bist kein Brutus!“

Wegen der notwendigen Bestätigung der Nobilität durch das Volk blieb der Anspruch eines jungen Nobilis auf Bekanntheit bis zu deren Anerkennung in der Konsulwahl prekär.³² Der Fall des jüngeren Scipio, in dem sich eine Situation in kürzester Zeit (und damit ungeplant) dergestalt verändert hatte, dass sie exakt auf seine Bindungspotenziale passte und die vorzeitige Anerkennung seiner Nobilität herbeiführte, war eine absolute Ausnahme. Der Normalfall sah deutlich längere Zeiträume vor: Junge Nobiles mussten ihren Anspruch darauf, bekannt zu sein, über Jahre hinweg in jeglicher Interaktion im politischen Raum erfolgreich untermauern, bis dieser Anspruch, formal frühestens im Alter von 43 Jahren, in eine Wahl zum Konsul münden konnte.³³ Im Kern dieser die Ansprüche untermauernden (Inter-) Aktionen standen dabei allseits bekannte Familiengeschichten der hochadligen Sippen, die ihre Mitglieder in hohem Maße anzuleiten und in ihren Handlungen einzuschränken wussten. Diese Einschränkungen beruhten darauf, dass die Familiengeschichten ein zentrales Medium der Bindung der politischen Öffentlichkeit (hier nun nicht allein das gemeine Volk, sondern auch die Aristokratie³⁴) an einzelne Adlige waren – und auf diesen Bindungen beruhte ja jegliches Erkennen von Nobilität.

Hierzu ein Beispiel: M. Iunius Brutus (85–42 v. Chr.) führte sein Geschlecht auf L. Iunius Brutus zurück, der 509 v. Chr. den letzten König aus Rom vertrieben und damit die Republik begründet hatte.³⁵ Zwar kann diese Episode aus der Frühzeit Roms in heutiger Sicht nicht als im eigentlichen Sinne historisch gelten; da sie in Rom selbst aber als gesichertes historisches Wissen galt,³⁶ konnte sie auf den jüngeren Brutus und seine Mitbürger nichtsdestoweniger normative Wirkung ausüben: Durch das in der Erinnerung stets präsente (und auch mehrfach monumentalisierte) Beispiel des berühmten Ahnherren, der einen Alleinherrscher vertrieben und die kollektive Herrschaft aller Adligen über die Stadt gestiftet hatte, codierte der Name ‚Brutus‘ einen entschiedenen Gegner jeglicher Gewaltherrschaft eines Einzelnen gegen gesamtaristokratische Standesinteressen.³⁷ Der jüngere Brutus musste (als Brutus) geradezu als Personifikation der republikanischen Staatsform gelten. Diesem Umstand kam 44 v. Chr. ungeheure Aktualität zu: Brutus war ein Vertrauter des Bürgerkriegssiegers C. Iulius Caesar, der sich Anfang des Jahres zum Dictator auf Lebenszeit ernannt hatte. Diese Machtstellung war mit der Idee einer kollektiven Adelherrschaft natürlich nicht zu vereinbaren und rief eine Gruppe von Verschwörern auf den Plan, die Caesar beseitigen wollte. Die Verschwörer umwarben auch Brutus; offenbar meinten sie, der

Nachkomme des historischen Tyrannenvertreibers sei ein optimales (und vielleicht sogar ein notwendiges) Aushängeschild für die anstehende Vertreibung des neuen Tyrannen.³⁸

Für die politische Interaktion kam der römischen Geschichte also eine weit unmittelbarere Bedeutung zu, als bloß einen Fundus von im Einzelfall zwar launigen, letztlich aber nicht sonderlich relevanten Anekdoten aus längst vergangenen Zeiten bereitzustellen. Geschichte war in der politischen Kultur Roms immer von aktueller Relevanz, weil auf sie sowohl Ansprüche einzelner Akteure auf Nobilität gründeten als auch dazu analoge Erwartungen der Öffentlichkeit an das Verhalten der vorgeblichen Nobiles.³⁹ Diese Ansprüche und Erwartungen ließen sich kaum trennen, weil sich beide auf die jeweils gleichen Ahnen und Geschichten bezogen: So war der ältere Brutus in der Kanonisierung der römischen Geschichte so sehr zum Gründervater der Republik und damit zur Chiffre für eine bestimmte Art politischen Verhaltens geworden, dass man dieses Verhalten (d. h. die Verteidigung der kollektiven Adelsherrschaft gegen die Monarchie) auch von seinem Nachkommen erwartete; und man durfte es legitimerweise auch erwarten, immerhin war dieser Nachkomme selbst mehr als gewillt, aus dem großen Namen seines berühmten Ahnen Kapital zu schlagen. Im System reziproker Ansprüche / Erwartungen konnte es das eine nicht ohne das andere geben: Mittelfristig war es nicht möglich, die Bekanntheit des Namens für sich zu reklamieren, ohne die an diesen Namen gebundenen Handlungserwartungen einzulösen.⁴⁰

Das war auch bei Brutus der Fall. Dieser zeigte sich zwar zunächst unentschlossen, Caesar zu verraten (natürlich auch aufgrund bereits bestehender Bindungen, die dem Ansinnen der Verschwörer zuwiderlaufen mussten), konnte seine eigene Familiengeschichte letztlich aber schlecht weniger ernst nehmen, als es die Gruppe der Verschwörer tat, die ihn für sich zu gewinnen suchte und ihn hierfür beim Namen nahm. Sein eingeeengter Entscheidungsspielraum wurde klar ersichtlich, als er eines Morgens aufs Forum ging, um dort seinen Amtsgeschäften als Praetor nachzugehen: Auf dem Forum hatte jemand die Statue seines berühmten Ahnen mit dem flehentlichen Wunsch verziert, dass Brutus doch noch leben möge; ein anderes Graffito richtete sich unmittelbar und in aller Deutlichkeit an den Nachkommen des Republikgründers: „Du bist kein Brutus!“⁴¹ Auch wenn die Historizität dieser Anekdote naturgemäß unklar bleiben muss, spricht nichts gegen ihre Echtheit; und zumindest dem Publikum der Quelle muss sie glaubhaft erschienen sein.⁴² Darüber hinaus passt sie sich bruchlos in das ein, was in der Folge tatsächlich geschehen sollte: Brutus gab seinen Widerstand auf und schloss sich den Verschwörern an.

Die Botschaften auf dem Forum waren weit mehr als nebensächliche Unverschämtheiten, sie trugen dazu bei, Brutus die Zwänge seiner Situation vor Augen zu führen: Er drohte, das immense symbolische Kapital zu verspielen, das er als Nachfahre des älteren Brutus hatte und auf dem letztlich seine politische Geltung (bzw. sein Anspruch auf eine solche) zu guten Teilen beruhte.⁴³ Wenn er sich seinem Ahnen in der gegenwärtigen Situation nicht gemäß verhielt, das war der Kern der Drohung, wäre er in den Augen der Öffentlichkeit tatsächlich kein Brutus mehr gewesen; zwar hätte er weiterhin den bekannten Namen getragen, aber seinen daraus abgeleiteten Ansprüchen auf Bekanntheit, auf Nobilität, drohte die Delegitimierung, weil sie von seinen Mitbürgern nicht mehr ohne Weiteres rezipierbar gewesen wären: Wenn Brutus seine Loyalität zum Dictator Caesar weiterhin höher gewichtet hätte als die Loyalität zum Paradigma seines eigenen Ahnen, hätte man sich in Rom früher oder später in der Tat fragen müssen, wofür der jüngere Brutus denn überhaupt noch hätte bekannt sein sollen. Diese Aussicht zwang ihn schließlich zum Handeln.

4 Schlussbemerkung: Der Reiz relationaler Ansätze

Der zentrale Mehrwert der relationalen Fokusverschiebung weg vom Bezogenen hin zu den Beziehungen liegt im Perspektivwechsel, der sowohl neue Fragestellungen als auch noch nicht beachtete Pfade der Interpretation eröffnet. Durch die Berücksichtigung je umgebender Akteure – auch im weitesten Sinne abstrakter Akteure – und ihrer Wirkungen im Netzwerk weitet sich zum einen die Perspektive der Betrachtung aus und führt zu größerer Sensibilität für die Kontexte historischen Handelns. So konnten wir sehen, dass im Fall der Consulwahl des Scipio Aemilianus der Dritte Punische Krieg keineswegs ein reines Akzidens war, sondern integraler Bestandteil der Situation von 148 und des Netzwerkes, innerhalb dessen sich das Geschehen verwirklichte. Zum anderen bleibt es gleichzeitig immer möglich, das individuelle Handeln jedes einzelnen Akteurs (eben mitsamt seinen Beeinflussungen) für sich zu betrachten, die Perspektive also wieder auf bestimmte Akteure zu verengen.

Im Netzwerk kann dabei jegliches Handeln als bindungsrelevant gelten, es entfaltet Wirkungen auf andere Akteure, bestätigt oder verändert Netzwerke – oder baut diese überhaupt erst auf. Die Netzwerktheorie, mit ihrem doppelten Fokus auf das (bedingte) individuelle Handeln einerseits und auf die allgemeinen Bindungsgegebenheiten im Netzwerk andererseits, kann dadurch eine sich oft auftuende Mikro-Makro-Lücke historischer Be-

trachtungen überbrücken, indem sie zeigt, auf welche Weise großskalige Handlungsvorgaben in konkrete Handlungen hinein vermittelt werden, nämlich über die Beziehungen im Netzwerk. Im Fall des Brutus war es beispielsweise ein Netzwerk von Akteuren, die über ihre aus der römischen Geschichte gespeisten wechselseitigen Erwartungen verbunden waren, in welchem Brutus zu einer Haltung gegenüber dem Dictator Caesar finden musste. Indem er schlussendlich den Erwartungen an sein ‚Brutus‘-Sein nachkam und Caesar verriet, versicherte er dem Netzwerk und seiner bindungsrelevanten Voraussetzung, vor allem also der normativen Relevanz historischer Vorbilder, seine Gültigkeit. Die im Netzwerk ausgeführte Handlung wirkte also ihrerseits auch auf das Netzwerk zurück.⁴⁴

Dem Netzwerk kann dadurch vor allem im Rahmen biografischer Ansätze Aufmerksamkeit zuteilwerden. Solche Ansätze treffen innerhalb des Faches oft auf Vorbehalte, sind aber gerade bei der Untersuchung vormoderner Epochen kaum gänzlich zu umgehen, weil die Quellen ihre Betrachtungsausschnitte meist sehr elitär halten und die zahlreichen Überlieferungsverluste die Informationen meist auf bestimmte Personen eindampfen, wie wir am Beispiel des Scipio sehen konnten.⁴⁵ Netzwerkansätze eröffnen nun die Möglichkeit personenzentrierter Betrachtungen, ohne dabei Gefahr zu laufen, entweder die viel beschworenen ‚großen Männer‘ wieder in großer Genialität große Geschichte machen zu lassen oder aber individuelle Akteure völlig in determinierenden Zwängen überpersonaler und gänzlich abstrakter Strukturen aufzulösen. Im Netzwerk bleibt das Individuum ein Individuum, es weist individuell spezifische Handlungsvoraussetzungen auf (im Fall der römischen Nobilität z. B. ein jeweils spezifisches Set an Bindungspotenzialen) und handelt im Rahmen dieser Voraussetzungen individuell; nur sind diese Voraussetzungen und das Handeln auf vielfache Weise eingebunden in die (jeweils wiederum akteurspezifischen) Beziehungen zu zahlreichen anderen Akteuren, die sich sowohl handlungseröffnend als gleichzeitig auch handlungsleitend auswirken.

Dies gilt es in der Betrachtung stets zu berücksichtigen. So ist ja auch die Kategorie des Nobilis transaktional bedingt, da Nobiles nicht *per se* Nobiles waren, sondern zunächst einmal nur familiär vermittelte Ansprüche hierauf erhoben. Damit kann in dieser (ja nur vorgeblich präexistenten) personalen Qualität des römischen Hochadels nicht *a priori* eine Erklärung für seinen politischen Erfolg liegen; dieser Erfolg ergab sich überhaupt erst aus den Bindungen, die jeder einzelne Nobilis zu seinen Standesgenossen, zu seinen eigenen Vorfahren, zu den mit seinem Namen verbundenen Situationen und Verhaltensmustern und nicht zuletzt zum Volk aufwies; nur

in ihrer Kombination führten diese Bindungen im Optimalfall schlussendlich zu einer erfolgreichen Konsulwahl. Das, was einem Scipio Aemilianus oder einem Iunius Brutus auf diesem Weg Möglichkeiten eröffnete oder sie im Handeln einschränkte, wird im netzwerktheoretisch inspirierten Betrachtungsansatz recht unmittelbar ersichtlich; Netzwerkanalysen würden sogar sagen: berechenbar.

Quellen

App. civ. = Appian, Römische Geschichte. Zweiter Teil: Die Bürgerkriege, übers. v. O. Veh, durchges., eingel. u. erl. v. W. Will, Stuttgart 1989.

App. Lib. = Appian, Libyca (Punica), in: Römische Geschichte. Erster Teil: Die römische Reichsbildung, übers. v. O. Veh, durchges., eingel. u. erl. v. K. Brodersen, Stuttgart 1987.

Cic. Att. = Cicero, Atticus-Briefe, hg. u. übers. v. H. Kasten, München 1990.

Dio Cass. = Cassius Dio, Roman History. Bde. 1–8. Bücher 1–70, übers. v. E. Cary/H. B. Foster, Cambridge 1914–1925.

Flor. epit. = Florus, Epitoma de Tito Livio, hg. u. übers. v. E. S. Forster, Cambridge 1984.

Liv. = Livius, Ab urbe condita. Römische Geschichte. 11 Bde., hg. u. übers. v. H. J. Hillen, Düsseldorf / Zürich 1997–2008.

Plut. Brut. = Plutarch, Brutus, in: Vitae parallelae. Bd. 2,1, hg. v. K. Ziegler, Stuttgart / Leipzig 1964.

RRC = The Roman Republican Coinage. 2 Bde., hg. v. M. Crawford, Cambridge u. a. 1974.

Suet. Caes. = Sueton, De vita Caesarum, hg. u. übers. v. H. Martinet, Düsseldorf 2006.

Val. Max. = Valerius Maximus, Memorable Doings and Sayings. 2 Bde., hg. u. übers. v. D. R. Shackleton Bailey, Cambridge 2000.

Vell. = Velleius Paterculus, Historiarum Libri Duo, hg. v. W. S. Watt, Stuttgart 1998.

Anmerkungen

* *Dieser Beitrag fußt lose auf den geschichtswissenschaftlichen Teilen des Vortrags, den ich beim Symposium gemeinsam mit Lore Knapp gehalten habe. Von ihrer Begeisterung für Netzwerktheorien habe ich sehr profitiert, nicht allein im Rahmen des Symposiums.*

1 *Einführend zu diesem Paradigmenwechsel mit einem Fokus auf der Geschichtswissenschaft: Ute Daniel: Clio unter Kulturschock. Zu den aktuellen Debatten der*

- Geschichtswissenschaft, in: *Geschichte in Wissenschaft und Unterricht* 48 (1997), S. 195–218 u. S. 259–278.
- 2 Zur Entwicklung der Netzwerkforschung: Matthias Bixler: *Die Wurzeln der Historischen Netzwerkforschung*, in: Düring, Marten u. a. (Hg.), *Handbuch Historische Netzwerkforschung. Grundlagen und Anwendungen (Schriften des KWI zur Methodenforschung 1)*, Münster 2016, S. 45–61; Marten Düring u. a.: *Das Millennium der Netzwerkforschung? Die Bedeutung eines relationalen Paradigmas in der internationalen und deutschen Wissenschaft*, in: Ders. u. a. (Hg.), *Knoten und Kanten III. Soziale Netzwerkanalyse in Geschichts- und Politikforschung*, Bielefeld 2015, S. 7–50, v. a. S. 7–27.
 - 3 Selbstverständlich behaupten Netzwerkanalytiker keineswegs, dass sie mit ihrem Vorgehen auf eine hinter (oder gar über) den Quellen stehende historische Realität Zugriff hätten; Analysen bieten lediglich Ergänzungen geschichtswissenschaftlicher Methoden zur erklärenden oder explorativen Durchdringung des Materials. Ebenso selbstverständlich zielen kulturwissenschaftlich orientierte Netzwerktheoretiker nicht auf eine Auflösung jeglicher historischen Gewissheit zugunsten von Konstruktionen, in denen jeder alles sein kann und niemand noch irgendetwas ist.
 - 4 Die eigentliche Erklärungskraft wird nicht mehr dem Verbundenen zugesprochen, sondern den Verbindungen. Zur Idee der relationalen/transaktionalen Soziologie: Mustafa Emirbayer: *Manifesto for a Relational Sociology*, in: *American Journal of Sociology* 103 (1997), S. 281–317; mit ähnlicher Grundidee Bruno Latour: *Die Macht der Assoziation*, in: Belliger, Andréa/Krieger, David J. (Hg.), *ANThology. Ein einführendes Handbuch zur Akteur-Netzwerk-Theorie*, Bielefeld 2006, S. 195–212. Vgl. für einen Überblick ferner Volker Schneider: *Netzwerke und Relationalismus*, in: Düring, Marten u. a. (Hg.), *Knoten und Kanten III. Soziale Netzwerkanalyse in Geschichts- und Politikforschung*, Bielefeld 2015, S. 53–79.
 - 5 Eva Jullien: *Netzwerkanalyse in der Mediävistik. Probleme und Perspektiven im Umgang mit mittelalterlichen Quellen*, in: *Vierteljahrschrift für Sozial- und Wirtschaftswissenschaften* 100 (2013), S. 135–153, hier S. 139, weist darauf hin, dass die Datengrundlage der Medici-Studie von Christopher Ansell und John Padgett: *Robust Action and the Rise of the Medici, 1400–1434*, in: *American Journal of Sociology* 98 [1993], S. 1259–1319, eine der bekanntesten historischen Netzwerkanalysen, mit ihrem 60.000 Personen umfassenden Datensatz „mit dem Forschungsalltag der meisten Mediävisten [man ergänze: auch der meisten Althistoriker; d. Verf.] wenig gemein“ hat. Tatsächlich verzerrt laut Borgatti schon ein Datenverlust von 10 Prozent Zentralitätswerte so sehr, dass sie kaum noch sinnvoll anzuwenden sind (Stephen P. Borgatti u. a.: *On the Robustness of Centrality Measures under Conditions of Imperfect Data*, in: *Social Networks* 28 [2006], S. 124–136). Diesem methodischen Problem muss und kann sich die Geschichtswissenschaft stellen, vgl. für eine optimistischere Sicht auf die Grenzen und Möglichkeiten bspw. Robert Gramsch: *Zerstörte oder verblasste Muster? Anwendungsfelder mediävistischer Netzwerkforschung und das Quellenproblem*, in: Düring, Marten u. a. (Hg.), *Handbuch Historische Netzwerkforschung. Grundlagen und Anwendungen (Schriften des KWI zur Methodenforschung 1)*, Münster 2016, S. 85–99.
 - 6 Zu den Problemen: Matthias Bixler/Daniel Reupke: *Von Quellen zu Netzwerken*, in: Düring, Marten u. a. (Hg.), *Handbuch Historische Netzwerkforschung. Grundlagen und Anwendungen (Schriften des KWI zur Methodenforschung 1)*, Münster 2016, S. 101–122, v. a. S. 105–109. Ist die Quellenlage zu dünn, so bleibt sie auch ohne analytische Anstrengungen beherrschbar und die Ergebnisse der Netzwerkanalyse bringen – zumindest sofern sich mit der veränderten Herangehensweise nicht auch neue Fragestellungen ergeben – nur wenig Mehrwert gegenüber klassischen Studien. Darüber hinaus machen bereits in der ‚Übersetzung‘ vorzunehmende Vorabinterpretationen des Materials die Analysen a priori angreifbar.
 - 7 Natürlich ist der ‚Cultural turn‘ in den Altertumswissenschaften längst angekommen. So steht insbesondere die deutsche Forschung zur römischen Republik unter der grundlegenden Perspektive einer ‚politischen Kultur‘.
 - 8 Ich werde auf das Thema in meiner Habilitation „*Scipio Aemilianus und das Ende der mittleren Republik*“ zurückkommen. Für die Diskussion und Anwendung analytischer Ansätze auf die späte römische Republik vgl. einstweilen Christian Rollinger: *Amicitia sanctissime colenda. Freundschaft und soziale Netzwerke in der Späten Republik (Studien zur Alten Geschichte 19)*, Heidelberg 2014. Für einen schnellen Einblick in seine Methodik: Christian Nitschke/Christian Rollinger: *„Network Analysis is performed.“ Die Analyse sozialer Netzwerke in den Altertumswissenschaften: Rückschau und aktuelle Forschungen*, in: Düring, Marten u. a. (Hg.), *Knoten und Kanten III. Soziale Netzwerkanalyse in Geschichts- und Politikforschung*, Bielefeld 2015, S. 213–259, v. a. S. 231–238.
 - 9 Von der Vertreibung des letzten römischen Königs Tarquinius Superbus bis zur Einrichtung des Kaisertums durch Octavian/Augustus. Das Anfangsereignis ist legendarisch, genauso wie es weite Teile der frühen Geschichte der Republik sind.
 - 10 Trotzdem war das politische System der Republik keine Demokratie. Anfang der 1980er stieß Fergus Millar eine entsprechende Debatte an, als die Republik auf Basis der formalen Kompetenzen des Volkes als Demokratie beschrieben: Fergus Millar: *The Political Character of the Classical Roman Republic, 200–151 B.C.*, in: *Journal of Roman Studies* 74 (1984), S. 1–19; ders.: *Politics*,

- Persuasion and the People before the Social War (150–90 B.C.)*, in: *Journal of Roman Studies* 76 (1986), S. 1–11. Seine These erntete Widerspruch und konnte sich nicht durchsetzen. Zwar werden die formalen Befugnisse des Volkes weiterhin anerkannt, aber anders bewertet: So sieht Flaig in den römischen Volksversammlungen weniger ein Entscheidungsorgan als ein Organ der legitimierenden Zustimmung zu Entscheidungen, die andernorts getroffen wurden, nämlich im Senat. Vgl. Egon Flaig: *Entscheidung und Konsens. Zu den Feldern der politischen Kommunikation zwischen Aristokratie und Plebs*, in: Martin Jehne (Hg.), *Demokratie in Rom? Die Rolle des Volkes in der Politik der römischen Republik* (Historia Einzelschriften 96), Stuttgart 1995, S. 77–127.
- 11 Christian Meier: *Res Publica Amissa. Eine Studie zur Verfassung und Geschichte der späten römischen Republik*, Wiesbaden 1966, S. 46. Das Standesethos der Aristokratie war ausschließlich auf den Dienst am Gemeinwesen bezogen; hieraus zog die Adelherrschaft ihre Legitimation: Karl-Joachim Hölkeskamp: *Krieg, Konkurrenz und Konsens: Die Expansion in Italien und die Entstehung der Nobilität*, in: Ders. (Hg.), *Senatus Populusque Romanus. Die politische Kultur der Republik – Dimensionen und Deutungen*, Stuttgart 2004, S. 1–48, v. a. S. 32–36. Die Begriffe ‚Adel‘ und ‚Aristokratie‘ werden im Folgenden, trotz einiger Unschärfen, synonym verwendet.
 - 12 Es gab und gibt Versuche, die Definition dieses (dann gar nicht mehr so) exklusiven Kreises der Nobilität um alle Träger kurulischer Ämter zu erweitern, neben den Konsuln also auch auf Praetoren und Aedilen. Ich folge hier der engeren Definition bei Matthias Gelzer: *Die Nobilität der Römischen Republik*, Leipzig/Berlin 1912, S. 22–42. Zur Diskussion: Leonhard Burckhardt: *The Political Elite of the Roman Republic. Comments on Recent Discussion of the Concepts nobilitas and homo novus*, in: *Historia* 39 (1990), S. 77–99.
 - 13 Vertiefend zu dieser verdoppelten Legitimationsbasis des Adels in Rom vgl. Hans Beck u. a.: *Einführung: Begriffe, Fragen und Konzepte*, in: Dies. (Hg.), *Die Macht der Wenigen. Aristokratische Herrschaftspraxis, Kommunikation und ‚edler‘ Lebensstil in Antike und Früher Neuzeit* (Historische Zeitschrift. Beihefte 47), München 2008, S. 1–13, v. a. S. 8–10. Im Sinne der folgenden Überlegungen stellt der Erbadel streng genommen freilich nur eine Variante des Verdienstadels dar, nämlich insofern an einige Personen aufgrund ihrer Abkunft die feste Erwartung künftiger Leistungsbewährung herangetragen wird.
 - 14 Zu den Mechanismen des Wettbewerbs vgl. Karl-Joachim Hölkeskamp: *Konsens und Konkurrenz. Die politische Kultur der Römischen Republik in neuer Sicht*, in: *Klio* 88 (2006), S. 360–396, v. a. S. 385–396. Für unseren Zusammenhang wichtig ist der Hinweis von Jehne, dass es den Wählern meist gleichgültig war, welche Person aus der Oberschicht genau eine Wahl gewann (Martin Jehne: *Integrationsrituale in der Römischen Republik. Zur einbindenden Wirkung der Volksversammlungen*, in: Grütter, Heinrich Th. u. a. [Hg.], *Sinn (in) der Antike. Orientierungssysteme, Leitbilder und Wertkonzepte im Altertum*, Mainz 2003, S. 279–297, hier S. 283; s. u. Kap. 3.1.). In einer solchen Indifferenz war es dann naheliegend, sich bei der Wahlentscheidung von bekannten Namen leiten zu lassen.
 - 15 Überhaupt wurde sie als soziopolitische Kategorie nur in actu relevant: Hätte sich der Sohn eines Konsuls gegen eine politische Laufbahn entschieden, wäre sein Anspruch auf Nobilität ohne Funktion geblieben.
 - 16 Die Geschichtsschreibung der Republik ist nur fragmentarisch erhalten, diente aber als Grundlage späterer Berichte, vor allem für den des frühkaiserzeitlichen Historikers Livius. Zu den frühen römischen Historikern vgl. die kommentierte und eingeleitete Ausgabe von Walter Hans Beck und Uwe Walter (Hg.): *Die Frühen Römischen Historiker (Texte zur Forschung 76 f.)*, 2 Bde., 2. Aufl., Darmstadt 2005. Zu den römischen Historikern gesellt sich als Zeitzeuge des zweiten Jahrhunderts v. Chr. der Grieche Polybios, der sich durch seine Nähe zu Scipio Aemilianus auszeichnete.
 - 17 Zur politischen Bedeutung der Erinnerung an die eigene Geschichte und die Ahnen vgl. Uwe Walter: *Memoria und res publica. Zur Geschichtskultur im republikanischen Rom (Studien zur Alten Geschichte 1)*, Frankfurt 2004, für den hier interessierenden Zusammenhang v. a. S. 84–100. Ferner: Ders.: *Geschichte als Lebensmacht im republikanischen Rom*, in: *Geschichte in Wissenschaft und Unterricht* 53 (2002), S. 326–339. Dabei war die Historiografie nur eines von mehreren sich wechselseitig verstärkenden Medien des Geschichtsbewusstseins, ein recht elitenorientiertes noch dazu. Ähnliche Effekte für das Geschichtsbild der breiteren Bevölkerung hatte beispielsweise die sogenannte pompa funebris, der Leichenumzug beim Tod eines hochrangigen Aristokraten.
 - 18 Dieser Grundsatz wurde nicht nur bei der Wahl des Scipio Aemilianus ins Feld geführt (s. u.), sondern auch schon früher. So hatte bereits 213 v. Chr. der ältere Scipio (Africanus) Zweifel an seiner Wählbarkeit zum Aedil (er galt als zu jung) entgegengehalten: „Wenn mich alle Bürger zum Aedil machen wollen, bin ich alt genug.“ (Liv. 25,2,7).
 - 19 Christoph Lundgreen: *Regelkonflikte in der römischen Republik. Geltung und Gewichtung von Normen in politischen Entscheidungsprozessen* (Historia Einzelschriften 221), Stuttgart 2011, S. 42–49, unterscheidet zwischen ‚harten‘ Regeln und ‚weichen‘ Prinzipien, wobei sich Letztere keineswegs per se als unterlegen erweisen mussten. So handelte es sich beim angesprochenen Diskurs um eine Art Fundamentalnorm, die zwar niemals legal fixiert worden war, die aber auch niemals ernsthaft zur Disposition stand.

- 20 Im Zweiten Punischen Krieg (218–201 v. Chr.) führte das zur weitgehenden Monopolisierung des Konsulats in Händen einer kleinen Gruppe profilierter Militärs, weshalb Walter entsprechende Besetzungsschemata als quasi reguläre Mechanismen der Bewältigung „wirklicher Krisensituationen“ beschreiben kann (Uwe Walter: *Vom integralen Aristokraten zum Karrierespezialisten? Versuch einer Bilanz*, in: Blösel, Wolfgang / Hölkeskamp, Karl-Joachim [Hg.], *Von der militia equestris zur militia urbana. Prominenzrollen und Karrierefelder im antiken Rom*, Stuttgart 2011, S. 223–237, hier S. 231).
- 21 Vgl. die Wahrnehmung dieser Situation in der Schilderung bei App. Lib. 112,528: „Als die Nachrichten von [...] den karthagischen Rüstungen in Rom eintrafen, war das Volk erzürnt und zugleich in Sorge, da sich ein so gewaltiger und unver-söhnlicher Krieg und überdies noch mit einem Nachbarvolk auszuweiten drohte. Man konnte ja mit keiner friedlichen Beilegung rechnen, da man selbst zuerst arglistige Befehle erteilt hatte.“
- 22 Zum Problem: Walter: *Vom integralen Aristokraten zum Karrierespezialisten*, S. 229–231. Der Möglichkeit, einen fähigen General einfach erneut zu bestellen (wie im Zweiten Punischen Krieg praktiziert, s. o. Anm. 145), war durch das Verbot der Iteration des Konsulats seit 151 v. Chr. ein Riegel vorgeschoben.
- 23 Vgl. theoretisch zu Beziehungsqualitäten in Dreierkonstellationen die Ausführungen bei Robert Gramsch: *Das Reich als Netzwerk der Fürsten. Politische Strukturen unter dem Doppelkönigtum Friedrichs II. und Heinrichs (VII.) 1225–1235* (Mittelalter-Forschungen 40), Ostfildern 2013, S. 34–45.
- 24 Im Sinne der Akteur-Netzwerk-Theorie von Bruno Latour (einführend: Bruno Latour: *On Actor-Network Theory. A Few Clarifications*, in: *Soziale Welt* 47 [1996], S. 369–381, v. a. S. 372–374) ließe sich diese Situation konsequenterweise selbst als Akteur beschreiben, da sie klar benennbare Wirkungen auf die (personalen) Akteure hatte.
- 25 Offensichtlich war die leibliche Abkunft für die Vererbung des gentilen Charismas von untergeordneter Bedeutung; Scipio Aemilianus galt seiner Umwelt zweifellos als ‚echter‘ Scipio.
- 26 Flor. epit. 131,12. Florus war zwar kein Zeitgenosse, der ausgedrückte Gedanke an sich war aber sehr wohl zeitgenössisch, begegnet er als Motiv zur Wahl Scipios doch auch in anderen Quellen, zum Beispiel in App. Lib. 109,517.
- 27 App. Lib. 112,530; Vell. 1,12,3. Die Altersgrenzen für die Ämterbewerbung waren 180 v. Chr. von der lex Villia annalis festgelegt worden. Zu diesem Gesetz vgl. ausführlich Jan Timmer: *Altersgrenzen politischer Partizipation in antiken Gesellschaften* (Studien zur Alten Geschichte 8), Berlin 2008, v. a. S. 82–95.
- 28 App. 112,531: „Das war nun gegen die Ordnung, und die Konsuln hielten dem Volk das einschlägige Gesetz vor, vergeblich, die Versammlung ließ mit ihren Bitten nicht nach, wurde immer zudringlicher, und schließlich erklärten die Leute mit lauter Stimme, auf Grund der Gesetze des Tullius und Romulus stehe dem Volke die Entscheidung über die Ämterwahlen zu und es könne daher von den betreffenden Gesetzen jedes außer Geltung setzen oder bestätigen, wie es ihm beliebe.“ Die Volkstribune (als institutionelle Vertretung des Volkes, oder genauer: der Plebejer) drohten darüber hinaus, sie würden die Wahl gänzlich unterbinden, wenn man dem Volk nicht seinen Willen ließ: App. 112,532.
- 29 Alan E. Astin: *Scipio Aemilianus*, Oxford 1967, S. 2, macht die Dimensionen deutlich: Während Scipio in ca. 350 Quellenpassagen erwähnt werde, fänden sich für seinen (kaum weniger nobilitären und bedeutenden) Hauptrivalen Ap. Claudius Pulcher nur 30 Erwähnungen. Faktisch war Scipio aber sicherlich nicht dermaßen bestimmend, dass sich dieses Ungleichgewicht rechtfertigen ließe.
- 30 Die Situationskonstellation war aber so zufällig, dass Scipio zumindest nicht langfristig auf sie hatte hinwirken können; in eher kurzfristiger Perspektive gibt es jedoch Hinweise, dass er eine aktive familiäre Imagebildung betrieb, insbesondere in Afrika, wo er 149/148 als subalternen Offizier diente und den Soldaten schnell als Wiedergänger seines Großvaters erschien. Vgl. z. B. zur angeblichen göttlichen Inspiration beider Männer App. Lib. 104,491.
- 31 Selbstverständlich gehören auch die Senatoren zu den netzwerkrelevanten Akteuren des Jahres 148, nicht nur, weil sie als Bürger ebenfalls wählten. Die Mehrheit der Senatoren opponierte zwar zunächst gegen Scipios Wahl, akzeptierte sie aber letztlich. Eine zusätzliche Analyse derjenigen Bindungen, die für die jeweilige Positionierung der Senatoren ausschlaggebend waren, würde im Rahmen der vorliegenden Skizze aber zu weit führen, zumal diese ihren Fokus ja auf die Wahlentscheidung an sich legt, nicht auf die Rezeption dieser Entscheidung.
- 32 Der nobilitäre Status einer Familie, der durch regelmäßige Konsulate von Familienmitgliedern erneuert werden musste, konnte ein oder vielleicht auch zwei ‚Ausfallgenerationen‘ verkraften. Insofern war politischer Misserfolg zunächst einmal ein persönliches Problem; er wurde auf Dauer aber zur Gefahr für die zukünftige Geltung einer Familie.
- 33 Es gab freilich keine Automatismen, wie beispielsweise C. Marcius Figulus erfahren musste, der in der Zeit des Scipio Aemilianus bei der Consulwahl durchfiel, obwohl sein gleichnamiger Vater zweimaliger Consul gewesen war. Val. Max. 9,3,2 überliefert seine dünnhäutige Reaktion.
- 34 Beide Ebenen lassen sich nicht sauber trennen, weil man (ohne hier auf Diskussionen um den Verfall des sogenannten ‚Bindungswesens‘ einzugehen) von einer wechselseitigen Abhängigkeit ausgehen muss. Ohnehin blieb der Senat auch für solche Aristokraten, die ihre Karriere durch die punktuelle Nutzung

- des Volks zu beschleunigen wussten, wie beispielsweise Scipio Aemilianus, die maßgebliche Bezugsgröße.
- 35 Liv. 1,58 f. Diese Erzählung gehörte zweifelsohne zum geschichtlichen Grundkanon in Rom.
- 36 Zur Entwicklung der Brutus-Legende vgl. Karl-Wilhelm Welwei: Lucius Iunius Brutus: Zur Ausgestaltung und politischen Wirkung einer Legende, in: *Gymnasium* 108 (2001), S. 123–135.
- 37 Cassius Longinus im Gespräch mit Brutus, bei dem er ihn auf die Seite der Verschwörer ziehen wollte (Plut. Brut. 10,6): „die [...] von dir aber als eine von den Vorfahren ererbte Verpflichtung den Sturz der Gewaltherrschaft erwarten.“ Brutus selbst hatte sein Möglichstes getan, um diesen familialen Code zu bedienen, beispielsweise ließ er im Jahr 54 seinen berühmten Vorfahren zusammen mit der Libertas, der Personifikation der bürgerlichen Freiheit, auf einer Münze darstellen (RRC 433/1). Vgl. Cic. Att. 13,40,1. Zum Konzept: Walter: *Geschichte als Lebensmacht*, S. 334–337. Ferner: Welwei: *Lucius Iunius Brutus*, S. 130 f.
- 38 Plut. Brut. 7,6 f. 9,5; App. civ. 112 f., 470–2. Zur Bedeutung für die Verschwörung vgl. Plut. Brut. 10,1 f. 6; App. 113, 473, wonach Brutus die zentrale Rolle spielte: Einige Mitverschwörer machten ihre Teilnahme von seiner Mitwirkung abhängig. Vgl. Maria H. Dettenhofer: *Perdita Luventus. Zwischen den Generationen von Caesar und Augustus (Vestigia 44)*, München 1992, S. 237 f. Dass es zu Diskussionen darüber kam, ob er wirklich vom älteren Brutus abstammte (Plut. Brut. 1,6–8), kann in diesem Sinn entweder als Strategie im Werben um Brutus verstanden werden (nämlich vor dem Entschluss zum Mord) oder aber als Verlängerung der Debatte um die Legitimität der Ermordung Caesars (nämlich danach). Für einen schnellen Überblick über die Verschwörung *Tempest* 2017, S. 97–104.
- 39 Zur politischen Funktion der Geschichte in Rom abermals Walter: *Memoria*. Vgl. zur Thematik ferner Frank Bücher: *Verargumentierte Geschichte. Exempla Romana im politischen Diskurs der späten römischen Republik (Hermes Einzelschriften 2006)*, Stuttgart 2006; Iris Samotta: *Das Vorbild der Vergangenheit. Geschichtsbild und Reformvorschläge bei Cicero und Sallust (Historia Einzelschriften 204)*, Stuttgart 2009.
- 40 Das galt besonders für Brutus, da sich die Zeitgenossen der Konstruktion der verwandtschaftlichen Beziehung zur letztlich mythischen Figur in Teilen bewusst gewesen sein müssen, worauf Dettenhofer (*Perdita Luventus*, S. 237) hinweist. Zur Reziprozität von Selbst- und Fremderwartungen vgl. Niklas Luhmann: *Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie*, 15. Aufl., Frankfurt 2012, S. 411–417, der sie mit den Begriffen ‚reflexives Erwarten‘ und ‚Erwartungserwartung‘ umreißt.
- 41 Diese und ähnliche Invektiven bei Plut. Brut. 9,6 f.; App. civ. 112, 469; Dio Cass. 44,12; Suet. Caes. 80,3.
- 42 Die Beziehungen der oben genannten Quellen (Anm. 166) untereinander sind nicht mehr in allen Fällen aufzulösen, das Motiv der an Brutus gerichteten Graffiti war aber offensichtlich breit bezeugt. *Tempest* 2017, S. 86 weist zusätzlich darauf hin, dass Graffiti ein ganz gängiges Medium der öffentlichen Meinungsäußerung waren.
- 43 Dettenhofer: *Perdita Luventus*, S. 237–239 u. S. 232: „Daraus ergibt sich die Frage, ob sich M. Brutus überhaupt von der Verschwörung hätte fern halten können, ohne sein Gesicht zu verlieren.“ Skeptisch Ulrich Gotter: *Der Diktator ist tot! Politik in Rom zwischen den Iden des März und der Begründung des Zweiten Triumvirats (Historia Einzelschriften 110)*, Stuttgart 1996, S. 278 f., der die Handlungsspielräume nicht derart stark eingeengt sehen möchte. Nun soll gar nicht behauptet werden, dass dieses familiäre Motiv das einzige Motiv des Brutus gewesen wäre; es spielte aber sicherlich eine nicht unwichtige Rolle, zumindest bei der Abwägung möglicher Handlungsalternativen. Vgl. hierzu auch Kathryn *Tempest*: *Brutus. The Noble Conspirator*, New Haven/London 2017, S. 86–92.
- 44 Betrachtung zwischen Mikro- und Makroebene: Jullien: *Netzwerkanalyse*, S. 137. Das wechselseitige Aufeinanderbezogenheit von Handlung und Struktur (bzw. Ereignis und Struktur) ist geschichtswissenschaftlich natürlich keine neue Erkenntnis, vgl. Manfred Hettling/Andreas Suter: *Struktur und Ereignis – Wege zu einer Sozialgeschichte des Ereignisses*, in: Dies. (Hg.), *Struktur und Ereignis*, Göttingen 2001, S. 7–32, hier S. 23–27. Bedeutsam ist aber, dass das transaktionale Denken, ein Denken in Netzwerken, unmittelbar die Instanz der Vermittlung zwischen beiden Ebenen mitbenennt (und mithin ja sogar ins Zentrum stellt), nämlich die Beziehungen.
- 45 Eine Betrachtung der dritten Dekade des zweiten Jahrhunderts, also Scipios Wirkungszeit, erfolgt angesichts der Quellenlage zwangsläufig unter biografischen Vorzeichen, ob man sich das nun eingesteht oder nicht.

Networks and Musical Notation: A Conversation between Lea Letzel and Aya Aoshima

Abstract

Netzwerke sind von entscheidender Bedeutung für die Praxis, die Produktion und den Diskurs in der zeitgenössischen Kunst und Musik. Beispiele hierfür sind nicht nur die sozialen und beruflichen Netzwerke von Künstlern, deren Freunden, Kollegen, Förderern und Institutionen, sondern auch künstlerische Ansätze innerhalb der Werke selbst oder die verschiedenen beteiligten technologischen Netzwerke.

In einem gemeinsamen Gespräch erörtern Lea Letzel und Aya Aoshima die Idee von Netzwerken als kommunikative Werkzeuge in der zeitgenössischen Kunst- und Musikproduktion und diskutieren, ob und wie musikalische Notation zu einer kreativen Strategie werden kann.

1 Musical Notation and Networks

LETZEL:

I am very happy that we're able to have this conversation on notational systems and networks, and I am curious to see what we'll discover. We're from different backgrounds culturally, but also in terms of our approach to music. Aya Aoshima is a Japanese cultural manager and also studying for her PhD at the Graduate School of Letters, Osaka University where she is looking at cross-disciplinary artistic expressions with a focus on music and sound. I am looking forward to touching upon the various topics that make up our personal networks of knowledge. The idea of bringing notation and network together may sound a little abstract, however I think it is important to note that our discussion is not based on theory, but rather on practical experience. In collaborating with musicians, I often found that I was lacking the vocabulary to describe the interactions between musicians and scores, an interaction which is foundational to what we hear. I consider notation as the basis for communication amongst the musicians, who must work together as a network in order to interpret a score. So, my first question to you Aya would be: Do you think this applies to all forms of musical notation? Or more generally: Can we regard systems of music notation as networks?

AOSHIMA:

First of all, thank you very much for inviting me to have this conversation. I am thrilled to exchange thoughts with you on this subject, and develop our ideas on networks and notation from different perspectives. My research field is experimental and avant-garde music of the 20th-century. More specifically I am interested in the works of the American experimental composer Earle Brown, a member of the mid-20th century New York School of composers that included John Cage, Morton Feldman and Christian Wolf. Brown developed an entirely new type of graphical music notation known as 'Open Form', which literally opened up musical composition to interpretation by musicians. I am fascinated by the way Earle Brown's music integrates different dimensions into a composition, such as time, space, the physicality of musicians and certain characteristics of sound, in a way that creates a new kind of expanded musical network. Brown had a particular interest in the relationship between music notation and performance, and how musicians interpret notation to create actual sounds, as well as their psychological and physical reactions to notation itself. I think there's a connection here to your work, and the way you give considerable space to performers to interpret scores and improvise, so that collaboration between individual artists is based on notation.

To return to your question though, thinking about music notation from the perspective of networks is interesting in many ways, but it is a challenge to define the connection between these two concepts.

If your question intends that musical notation be understood as a generator of networks of communication across all genres of music, then I would have to answer: 'yes and no'. There are several reasons to agree and disagree with such a thesis. In a modern sense, when we talk about music notation we're usually referring to Western classical music. However, like language, systems of music notation vary depending on culture, region, and period, and it is crucial to understand such differences when we compare the ideas of network and musical notation. In Japan for instance, traditional music has had an oral tradition, which means that the memorization of musical information through oral and physical training was prioritized over accurately written records. As a result, the notation systems of Japanese traditional music are rather more simple than Western notation, and function as memory aids for musicians rather than accurate written records. Much folk music has a similar tradition, such as Indonesian Gamelan, Mongolian Urtyn duu and Celtic music etc., whilst some don't have any musical notation.

Another feature is that each type of Japanese instrument or vocal music has

its own system of notation to which it is best suited, so there's no unified music notation system as with Western orchestral scores. Western classical notation developed rationally over time to represent a composers' musical intentions with accuracy, and this has had a significant impact on the history of music, allowing us to communicate musical information authentically over many centuries. This has helped Western classical music to flourish globally for such a long period. I am not saying that complex and precise notation is always a better system. Simple notation can create rich musical content when performed. Jazz is an excellent example of this, in which musicians use relatively simple chord symbols (C minor 7th, G Major 9th, and so on), to create wonderfully vibrant music with sophisticated improvisations. Simple notation creates much room for interpretation.

As to your second question, 'Can we regard systems of musical notation as a network?' I regard musical notation as a communicative tool or a text-like system that conveys musical information. Musical notation requires a process of interpretation, the realization of sound and for the performance to be listened to. Moreover, music involves sounds and so many different elements such as rhythm, time, dynamics, etc. Such elements described in sheet music can give rise to whole networks, which we ultimately experience as music when musicians read and perform them. Therefore, I believe that musical notation is an essential element to create or give form to music, however, it cannot be considered as a network without performance.

Before further developing our discussion into the connection between networks and musical notation, I'd like to go back to basics and ask what 'network' means to you?

LETZEL:

In my professional life as an artist, I mostly experience two different aspects of networks. One is the professional network that consists of collaborators, funding institutions, project partners, colleagues, etc., and the other is something that I can observe within the actual work itself.

I regularly work with a wide range of collaborators, from musicians, dancers, and artists in other genres, to specialists outside the artworld such as skateboarders. As opposed to being an ensemble, our network consists of many individuals coming together during our projects, and by avoiding working in a fixed constellation everyone involved keeps their individual decision-making processes.

The network seems to be a convenient solution to the problems of interdisciplinary collaboration, as artists have different individual needs according

to the requirements of their artistic genre, and therefore it would be extremely difficult to establish a working environment that constantly provides the neutrality required for the production and presentation of each genre. For example, the White Cube of Fine Art, the Black Box of the Theatre, and the Concert Hall for the production and presentation of Music. In my experience, collaborative, project-based networks are open enough to embrace each member, whilst not over-depending on any one individual. This allows flexibility and reliability at the same time, and reliability and trust are key factors for the network relationship to function.

On the other hand, I have also observed a network forming during the work itself, a network between the participating artists and the work itself based on notation. I think of the network as a very democratic tool, as each member has an equal right and duty to participate. But the human members are not the only components necessary for the performance to exist. For example, *2 Second Manual* was a collaboration at an indoor skatepark between the two musicians Akiko Ahrendt (violin) and Dirk Rothbrust (Percussion) with the Skateboarders Tim Hachen, Janosch Pugnaghi and Marcel Weber, in which the Skatepark itself played an important role. The wooden ramps provided not only the stage for the concert, but actually added to the musical dialogue as they were activated by the skateboarders.



Image1: *2 SECOND MANUAL*, a scene during rehearsals at ACHT BRÜCKEN Festival, Cologne, 2019.
(Image by Frederike Wetzels)

AOSHIMA:

I really like your idea of using non-musical material to create music and am very curious about how you created notation and instructions for this piece. I am sure not many people think that skateboarders can be instruments, but if we reconsider elements not usually associated with music, then every element surrounding you could potentially be used to create music.

I personally regard a network as a set of conditions that connect things: materials, phenomena, people and so on, and these conditions change from time to time as they are reshaped by 'actors' within the network itself, or by outside factors. By the term 'actor' I am referring to the 'Actor-Network Theory' (ANT) of Bruno Latour.¹ ANT was originally developed as a way to understand complex networks in the fields of science and technology. His unique approach was to observe the scientists' lab as an inclusive environment and regard a group of scientists as if they were a tribe, from an anthropological point of view. He considered not only the scientist's experimental results, but also elements which were apparently unrelated to their findings. His theory provoked a lot of debate in various research fields.

If my understanding of ANT is correct, it could also help us to better understand the complex organisation of experimental musical production. Latour used text as an example to define what constitutes a good network: '... A good ANT account is a narrative or a description or a proposition where all the actors do something and don't just sit there. Instead of simply transporting effects without transforming them, *each of the points in the text may become a bifurcation, an event or the origin of a new translation.*'²

However, I think you could easily replace the word 'text' with 'notation' or even 'score' to show the connection between musical notation and the concept of the network; notation requires actors who actively translate its contents in to another dimension as music, and ANT suggests that these actors should be directly involved in this translation process.

Lea, in your work, you seem to stress the equal importance of individual artists, performers and their surroundings, as well as notation, space, time and physicality, and the crucial roles these elements all play within the performance. I think this kind of approach advocates the ideas Latour suggested in ANT, so that all related elements (even those invisible or intangible) must be considered in order to understand the complex nature of a network. Even seemingly external or indirect networks, such as funding bodies, also need to be considered as active agents, and the distance between such internal / external networks are key to developing a more coherent understanding of the networks of artistic output.

2 Music as Sound Network

AOSHIMA:

There seems to be two different aspects to the relationship between network and notation. The first perhaps is a broader understanding of musical notation as an essential agent that connects other agents to facilitate a creative musical network. The second may consider the unique ability of notation to document, compose, distribute, and communicate musical information within musical works.

Music can be understood as a series of intangible and transitory phenomena over time, and in order to memorise or archive these networks of sounds, various music notational systems emerged. Looking at the origins of Western classical music notation, perhaps the best-known earliest form is 'neumes' dating from the 9th century. *Neumes*, or 'notes' in Latin, were used to notate plainchant, and the earliest form of *neumes* were used to add intonation by indicating the upwards and downwards movement in pitches. With this example in mind, how do notation systems work to construct sounds?

I consider musical notation as what I would call a 'sound-network map', a visualisation of the network of sounds or musical notes. When you look at an orchestral score for example, you see two dimensions indicating the frequency (pitch) and duration (time value of note) of each sound. In this way, a score allows musicians to navigate musical location, and instructs them which frequency and duration to perform. More importantly, these 'sound-network maps' enable musicians to analyse music more objectively. Usually, we cannot easily recognise individual elements within the complex structure of music by hearing alone (although some musical geniuses can distinguish each note by ear); scores however, allow people to visually understand the 'architecture' of the music. Western classical music notation evolved to convey composers' musical intentions very precisely to musicians and audiences, giving rise to complex compositional theories once composers came to see music as objective notations of sounds. It is interesting to note that earlier notation systems did not contain the idea of standard time, durations or rhythms until the invention of timekeeping devices such as the clock.

By the mid-20th century however, the complexity of notational systems increased to the point where composers saw fit to invent completely new ways to notate music. There was also an increasing interest in noises and sounds as unconventional musical materials. The modernist composer Edgar Varèse

described his music as 'organised sound', as in assemblies of sounds, and considered himself 'not a musician but a worker in "rhythms, frequencies, and intensities"'.³ In principle what avant-garde composers were doing when they conceived musical ideas was to organise and illustrate sounds based on their individual artistic languages. As the very principles of notation and musical theory were being reconsidered, John Cage ushered in the idea that 'every sound can be music', encouraging composers to experiment in new approaches to both sound materials and notation systems.

The advent of electronic music pushed everything one step forward still, giving rise to the idea of music as sound waves rather than assemblies of musical notes, chord progression or melodies. In electronic music, composers use sequences of sound waves as notation instead of conventional five-staff notation, giving rise to a graphical visualization of sound waves.

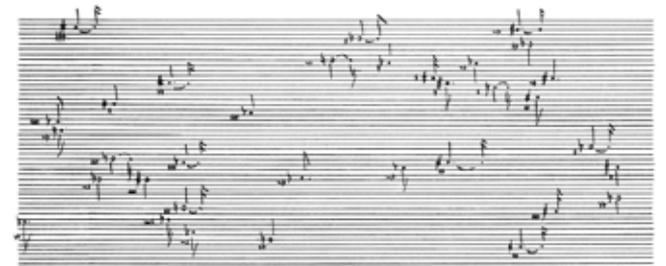


Figure 1: *November 1952 Synergy, Folio*, Earle Brown (1952), Associated Music Publishers Inc.



Figure 2: *December 1952, Folio*, Earle Brown (1952), Associated Music Publishers Inc.

Earle Brown's very early open form of notation, *December '52* (Fig.2) is a great example of what I mean by a 'sound-network map' that uses completely graphical notation rather than the conventional five-lined staves. The score uses vertical and horizontal axes to locate sounds, and musicians are required to interpret the relationship between notes. To borrow your terms, this is a 'constellation of sounds' portraying a network of music.

You may be wondering how to interpret these notations. Each rectangle represents pitch and duration, so a pianist or other musician can start anywhere by setting a specific pitch for one note and interpret the distance from one point to another to create the next note and so on. Now you can see the location of sounds, and there is a great openness or flexibility for a musician to make choices in creating the music. Even though notation itself is a fixed constellation on two-dimensional paper, adding the interpretation (or spontaneous performance) as another dimension, the sounds can be variable. I found this is an interesting way to think about how notations work psychologically for musicians, and it is fascinating that Brown had already developed these strategies in the early '50s.

Another example is *November '52* (Fig.1), composed prior to *December*. If you compare the two scores you can see that Brown has developed from what looks like recognisable conventional notation (*November '52*) to radical graphic notation (*December '52*). *November '52* uses the conventions of eight notes (♯), sharps (#), and flats (♭). What is unusual in this score however is the use of multiple-staff notation, and Brown's expansion of the range of frequency (on the vertical axis) to more than eight octaves, instead of using a five-staff system.

Brown's layout is an endlessly expanding two-dimensional space (vertical as frequency and horizontal as time), in which are placed flowing notes (Brown's own terms) within a multiple staff space. Again, the pitches of notes can be determined by a musician from low to high, and musicians are free to choose where they begin or end. Following on from *November '52* and *December '52*, Brown developed even more radical scores using graphical notations that resembled abstract diagrams. But why did he take such an extreme leap from a conventional outlook of notation to a completely graphic notation between *November* to *December*? If you are familiar with scores, you can read *November '52* in the same way as conventional notation, even though the score has an unusual layout. Brown's intentions were to liberate musicians from the conventions of reading notation to an entirely new mind-set. In other words, *December '52* was his experimental

approach using notation as a tool to communicate to musicians the novel concept of notation as 'sound-network map'.

LETZEL:

I would like to ask you more precisely about the format of Earle Brown's 'Open Form' notation. What is the difference between the Open Form and other forms of new notation such as graphic notation? And how might these inherent differences affect the way in which musicians deal with these kinds of scores?

AOSHIMA:

Open Form notation, especially for the music of the modern era, involves varying degrees of indeterminacy in the process of its performance. Scores of this kind often use abstract notation, so that realisation of the music is never predetermined, and each performance actively seeks variability, rather than being closed and aligned as closely as possible with the composer's intention. As I mentioned earlier, Earle Brown was one of the earliest composers to develop Open Form notation, although similar approaches were developed later by European Composers in the 1960's, who developed graphical notation to create 'aleatory music'.

Alexander Calder's mobile sculptures were the original inspiration for Brown's Open Form. The motion and form of Calder's mobiles are determined by subtle changes in air movement, such as when people move around the configuration. If you consider the surrounding environment as a part of the work, there is an invisible network of objects, air, space, and viewers that all relate to one another. Brown conceived each note as if it were an element in one of Calder's mobiles, allowing him to evolve a unique system of musical notation. Not only Brown but many avant-garde composers also had a great deal of interest in the concept of space. As modern painters became dissatisfied within the canvas, composers also expanded the concept of music to other dimensions, including space / time and physicality.

LETZEL:

In terms of music I am especially interested in graphic notations. You mentioned that *December '52* is considered one of the earliest forms of graphical notation. As I understand it, graphical notation is notation that incorporates graphical elements from outside the conventional realms of musical notation, and was first used by John Cage. They resemble autonomous paintings or drawings and lack any kind of musical indications

such as pitch or tempo. Most of them also don't provide information on the instruments required to play the score.

Most of these composers seemed to be either trying to express something that the conventional notation system didn't provide them the right tools for, or, as in the case of the British composer Cornelius Cardew, involved a much more socially engaged view to the use of graphical symbols. He wanted anybody to be able to read contemporary musical notation, not only the classically trained specialists. Cardew considered making music a social act, as his score comes to life through the process of making. Despite the visual clarity and simplicity of his graphical scores, they place great demands on the performers who take responsibility for their interpretation.

AOSHIMA:

Well, it is difficult to define when and how graphical notation was first used in the history of Western music, as there are several points of view. I mentioned earlier that *Neume* can be regarded as a primitive graphical notation that employs rather simple graphics. The Italian Futurist artist and composer Luigi Russolo invented a new experimental instrument 'intonarumori' and wrote a composition which involved novel graphical notation elements, since he found that conventional system to be inadequate for his requirements. Obviously, Cage is considered to be a pioneer of unconventional notation, but Morton Feldman, another colleague of Brown, wrote a piece titled *Durations* in 1950 using rectangle graphical notation, at around the same time that Earle Brown was also developing these ideas. I don't think it is particularly important to argue who was the originator of graphical notation, but what is interesting to me is how it developed so rapidly among American experimental composers in the early 1950's and then in Europe in the 1960's.

During this period the musical scene absorbed a great number of outside influences, not only from other artforms like dance, the visual arts or literature, but also from development in science and from societal changes. As you mentioned, Cardew was just such a composer who took both a scientific and social approach to music making, considering the function of notation as a democratic tool of communication. So as we can see, the evolution of graphical notation did not occur entirely within the confines of music, or what you could call the internal network of music, but also made extensive links with numerous other external networks.

3 Notation and Expanded Networks

LETZEL:

It's wonderful how you described notation earlier as a tool for navigating sounds. What I especially like about that idea is that it directly reveals the importance of physical space beyond the two-dimensional world of the musical manuscript. I think it is even possible to add another twist to this image you suggested: Musical notation doesn't only communicate the sounds to be performed, but also choreographs the movement of a musician's body. This is a very physical understanding of notation, and it shows similarities between the performing arts and music. Notation connects a variety of different artforms together by fulfilling the key roles in communication, distribution and archiving. This is especially true in the creative experiments of the Avant-gardes in the middle of the last century, where a number of different artists from different fields were collaborating. Notation was central to their experiments. Issues of notation are an especially interesting topic in dance, although they have not yet led to a universal language as in music.

AOSHIMA:

That's an interesting observation, that musical notation choreographs the gestures of musicians. Modern dance and experimental music had a deep relationship in the mid-20th century. John Cage famously collaborated with Merce Cunningham, who was developing abstract dance movements at the time. Earle Brown also had a close connection to modern dance, and his first wife Carolyn Brown was the principal dancer of the Cunningham dance company, and through her (and Cage), Brown became familiar with the dance scene in New York. Brown's relationship with dance started at an early age, when he received dance lessons at the age of twelve from Carolyn's mother Marion Rice, who taught ballroom dancing. This was actually how Earle and Carolyn first met.

Carolyn recalled the connection between Brown and dance at the time that: ... Earle's germinal concepts set forth in Folio – graphic notation, collective improvisation, and open form would eventually influence not only composers ... but also dancers, especially the Judson generation of choreographers, and Earle's "open form" concept would be taken up by Cunningham long before Cage ventured there himself.⁴

Eventually, Brown composed a piece called *Indices* (1954) for a Cunningham performance, in exchange for Carolyn's lessons with Cunningham. To com-

pose this piece, Brown used a random sampling table to decide which musical elements to include in the score by statistical means. This allowed him to reflect Cunningham's own attempts to incorporate chance into performance, which was a central concept of his choreography at the time.

Another important influence on Brown development of his Open Form was Jackson Pollock's action painting or 'drip painting' technique, which involved using his whole body during the process of painting to create a visual trace of the body's movement, as if dancing. Brown considered Pollock's action painting as equal to musical improvisation and actually practiced Pollock-like action painting as a way to understand them in a physical sense. So composers and dancers really were influencing one another, and such artistic collaborations led experimental composers to search for common conceptual ground between music and dance, such as time, space, physicality, improvisation and indeterminacy. Notation offered them a unique tool to bridge these different art forms and develop these concepts.

LETZEL:

Dance and Music share the problem of notation, they both require a communicative tool that allows a piece to be both archived and distributed at the same time. Music has developed this highly complex system to transcribe acoustic ideas from a composer's mind, whereas dance usually employs notation as more of a tool to help memorize the movements involved in choreography. Therefore in contemporary practice it has become very common to work with video as a notational aid. Video in this case is a purely documentary tool, but of course it raises the question of translating one art form into another medium.

I feel this is particularly relevant at the moment, as we're having this discussion in the midst of a global pandemic caused by the Covid-19 virus, which has caused major changes to the production and perception of art. The global lockdown has challenged our usual means to create and present our work, and has kickstarted a discussion on the live arts in terms of how to deal with digital formats. Perhaps this is a different discussion, but it is interesting to think about that idea of translating artworks between mediums. To return to your description of Earle Brown's take on Calder's mobiles for example. The idea is fairly straightforward, to use them as inspiration for a score, but I do wonder what would have happened if they had been used more directly? Just imagine: there's a stage with a couple of musicians positioned in between Calder's mobiles and the slow movements of the elements through space would determine music and would be read just like a graphical score.

The mobiles would work as a kind of dynamic, non-musical system of notation, bypassing the need for conventional notation entirely.

AOSHIMA:

Actually, Brown and Calder collaborated in *Calder Piece* (1963–66), which used a mobile sculpture specially made by Calder. Brown used the figure of the mobile as a reference for a score. The changing shape of the mobile in the air functioned as both a musical instrument and a conductor choreographing the musicians' movements during the performance, and as such created an open form in music. It is probably much easier to understand if you see the mobile and performance in action. A video clip of this performance is available at the website of Earle Brown Music Foundation.⁵

LETZEL:

That's so interesting. Thank you for the link to the performance. The musicians are even using the mobile as a percussive instrument, which is something I wouldn't have expected! Using the sculpture as an instrument and reference for the score at the same time complicates things a little. I am wondering why the translation from space to score is still needed?

AOSHIMA:

Well, I imagine that with two artists working together they must have been full of ideas, as many elements and concepts are laid out in this piece. Brown recalled that the idea of creating a new sculpture as an instrument came afterwards, and the results were different to what he expected. From its inception, a project alters as creators respond to the collaborative process and challenges of its realisation. We can tell that this piece took place during a period where composers and artists were actively exchanging ideas and sharing their thoughts, such as the ambience of time and space, and different ways to involve indeterminacy in their work. As you pointed out about transforming art from one medium to another, notation is a key player in bridging these different realms. This is especially true between visual and audible forms, which often exchange approaches, such as giving visual appearance to sounds or translating visual images into sounds. But how do these changes take place? I remember that you've used non-musical visual patterns as a score for a performance. How did you come up with the idea of approaching visual information as a form of musical notation?

LETZEL:

When I first started working on the notation of early weaving scores, I discovered something interesting. In my project *SONS SANS SENS* (1677 / 2014–today) the musical material is based on the visual analogies between conventional musical notation and the early scores for handweaving. In 1677 the southern German weaver Marx Ziegler wrote down these patterns for the first time and caused an early authorship scandal. By writing them down, he made them both archivable and reproducible in a way that undermined the oral tradition of passing on this knowledge from Master to student. Usually, a master would teach this knowledge to his student, and by writing them down the weavers guild was in fear of sharing their knowledge. This notion of protection of authorship reminds me of the musical world, and there are other musical references in weaving, especially in the vocabulary used by the weavers. Weavers speak of the loom as their instrument and of their notations as scores. The process of weaving can also be compared to the process of composition, as in planning and then writing down their thoughts to be translated by others. The weaving scores inform the weaver of the look of the future textile, just as conventional notation informs the musician of the sound of a melody line or the rhythmic structure of the piece.

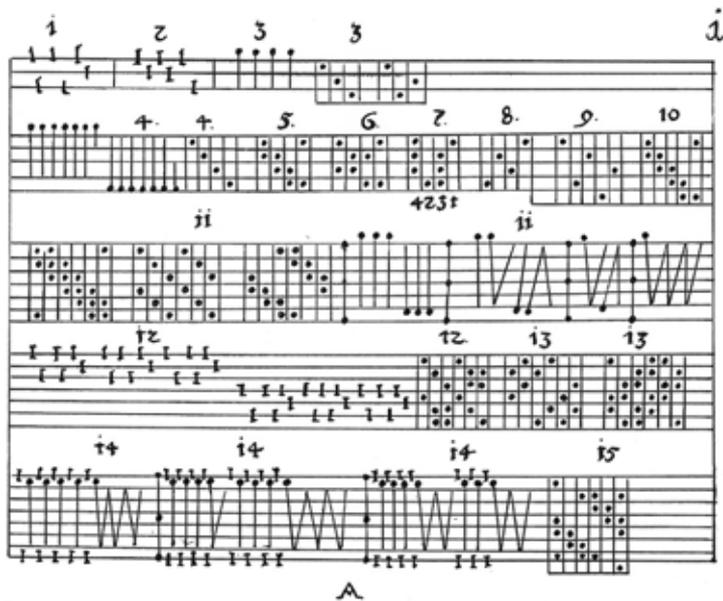


Figure 3: *Weaving Notation*. Hiltz, Patricia: *The Weavers Art Revealed*: Lumscher, Nathanel: *Neu-Eingerichtetes Weber Kunst und Bild Buch* (1708), p132, *Ars Textrina*, volume fourteen, 1990, Winnipeg, Canada.

These weaving notations have a visual resemblance to conventional western musical notation. Some elements look like guitar tabs, others are written down mostly with three lines per system and therefore resemble notation for organs. Other signs remind me of musical notation I saw in the *Notenarchiv* of the Cologne based Ensemble *Musikfabrik*, while I was browsing through the scores of Karlheinz Stockhausen. His notation for *Himmels – Tür* of the fourth hour of the *Klang* cycle uses graphic notation that looks remarkably like the weaving notations. I wanted to mention this just as a side note, but I find it fascinating that there are certain graphical elements that seem to reappear in different visual systems.

While working with musicians on the weaving scores, I also observed their approach toward interpreting the notation. Despite their initial visual resemblance, the weaving scores lack much of the information common to musical notation, such as harmony, pitch, orchestration etc. so they can be approached more openly as graphical notations. This again raises the question of authorship. Who is the author of the pieces in this new context? The weavers who created the scores, the musicians arranging them musically, or myself, for having appropriated them for the musicians to interpret?

I've been working with weaving notations for a couple of years now, and over time have come to realise that the more seriously the musicians read the weaving scores as musical notations, the better the results. Some musicians would approach the scores just as they would graphical notation, and often start to mimic the visuals with their sounds. But the weaving notations, because of their strong visual analogy to conventional notation, don't necessarily benefit from that kind of interpretation. I think they require a more thorough approach. Musicians are used to reading and translating complex information into their instruments and they can apply this training here.

This way of working changes the role of composer as creator to musician as creator, and brings me to the following question: How does this type of Musical notation act as a means of communication between composer and musician? What are your thoughts on that?

AOSHIMA:

You raised many interesting points about the relationship between performance and graphical notation: questions of authorship, visual resemblance between different systems of notation, and decoding visual scores into musical information. I am very interested in different communicative approaches in rehearsals and what happens in actual performances, what

insights these things give us about methods of communication between composers and musicians through notation.

Of course, the two main steps between notation and performance are interpretation and realisation, but in between there are many more sensitive transitions in rehearsals. For example, how specific rules are set for interpreting notation, including pitches, dynamics, texture, colour, and timing. When they take an improvisational approach, which principles guide a musician's decisions? These kinds of details in the creative process risk being overlooked as trivial affairs, though I think what happens during rehearsals is often the most exciting aspect to observe. And this brings me to another important question: why is so much emphasis placed on musical scores and authentic interpretation in Western music rather than actual performance? From this perspective, I would like to ask you about your approach to rehearsals. When you work with musicians, I imagine that there is a particular gap between yourself and the musicians in terms of interpreting the score. How do you communicate with musicians through notation?

LETZEL:

Before answering your question, please allow me a quick remark on the subject of improvisation. What you said about rehearsing and improvisational action is so interesting to me. I've observed a recurrent pattern when working with classically trained musicians, especially with people I haven't worked with before. There is very often a moment when musicians tell me they are not willing to improvise. In the beginning it was so difficult for me to understand what the actual problem was. But over time I came to realise that its roots are to be found in the education system. Of course, this is a completely different subject which perhaps we can discuss later, as it is such an interesting topic. However, I did have trouble understanding this fear of improvisation at first, as it would never have crossed my mind that something like the notation of the weaving scores would leave much space for improvisation. I always considered them as rather rigid when read closely, and imagined that they wouldn't leave much space for improvisation at all. However, it appears to me that for many classically trained musicians, anything written out in non-conventional music notation is labelled as improvisation.

AOSHIMA:

The fear of improvisation among classically trained musicians is a controversial but exciting topic to discuss. If you take musicians with a background

in Western classical music and those from improvisational music such as jazz, there are definite differences in terms of their approach to training. I can relate to this through my own experience, as I had training in both classical and jazz music. I played Saxophone in a symphonic band that employed a rigorous training method. I later moved on to jazz music, which eventually led to my interest in Earle Brown's music, since he was one of the rare composers who also had both classical and jazz training. It took some effort to change from fixed notation to code symbols which are open to improvisation, and it was a very interesting experience. Performing jazz music requires so many simultaneous thoughts and actions due to the puzzling combinations of notes, modes, and chord changes all happening at the same time. Classical music on the other hand has its own challenges, and requires long-term training to acquire skills sophisticated enough for the body to react quickly and accurately to a score faster than thought itself. Also, classically trained musicians are highly capable of reading notation, listening to their colleagues, and performing in unison. This is not an argument for which type of training is better, there are simply different requirements for each type of performance. Classical music tends to emphasise the ensemble, while jazz (especially after modern jazz) highlights individual and spontaneous performance. Earle Brown understood this gap between traditional Western music and jazz very well, writing:

In my Folio scores of 1952–53, for instance, I tried to find a notation that would give musicians a creative role in the performance process. The jazz critic Nat Hentoff was one of the few to see immediately what I was trying to do. It didn't worry him that I didn't write out every detail and control every nuance; to Nat, a jazz expert, the act of composition includes the performance as well as the score.⁶

His experience as a jazz musician led him to innovate a new approach to notation. I think his experience can also be considered an important factor in the musical network that gave rise to the whole idea of Open Form and graphical notation.

LETZEL:

Oh, perhaps I haven't told you: I am also a saxophone player! I used to play the Alto Saxophone. What you describe here is very much a 'band principle', or at least a very romantic idea of musical bands, where musicians must focus on the musical intentions of other members so that their instruments play equally important roles. They form a network driven on musical communication, with actions and reactions happening very much

in the now. But of course there is another form of network influencing this: centuries of musical tradition which accompanies all contemporary musicians. Of course, you always bring with you a mix of experience and knowledge paired with your technical abilities. I didn't know Earle Brown had a background in jazz music, but it really doesn't come as a surprise!

In my own work I approach notation from two different angles. One is the use of notational systems that already exist, such as the weaving notation in *SOMS SAMS SENS* that I mentioned earlier, or the use of fireworks notation by the Japanese fireworker and chemist Takeo Shimizu. He developed a system to plan and archive fireworks shows based on conventional musical notation that he expanded with graphical elements, such as dots or little stars and other icons to specify the various firework effects.

In other projects notation comes later, for example in 2 *SECOND MANUAL*, which is not based on any kind of notation, but rather on the participants, the space and the sonic materials it contains. During rehearsals I wrote down the things we discovered working together using text and added little recordings of special sounds or videos that were accessible through a pdf file containing hyperlinks. Clicking on the links opened a specially designed part of my website, where the sounds or videos could be played.

This way of working has a lot to do with my background in theatre and performance, and not having been trained to write traditional musical notation. I tend to regard participants in these performances as collaborators and have a different understanding of the musical rehearsals, which tend to be used as practice sessions. When classically trained Musicians rehearse, they have already thought through the notation very carefully.

Whereas theatrical performance rehearsals are based on the idea of trying things out, which demands a lot from all the players or participants. Their openness and willingness to communicate is crucial for this process.

The skateboarders and musicians use different terms to describe the same sequence of events, so when they work together, they need to find ways to communicate beyond their own vocabularies. I felt proud of their success, because it proved that complex problems can be solved through active communication, and that is such a huge takeaway that goes beyond the arts. Complex problems mostly deserve complex solutions, and it is our duty to embrace that idea.

AOSHIMA:

To return to the topic of networks of communication, it is important to find a way to communicate between different groups of people, which reminds me

of *The Strength of Weak Ties* theory developed by the sociologist Mark Granovetter.⁷ His theory suggests that different levels of social ties perform different functions within social networks; strong ties create homogenous communities, while weak ties bridge to heterogeneous networks. In one study he examined the processes of job recruitment by comparing two groups of people: family members or close friends as strong ties and acquaintances as weak ties. The results suggested that the weaker ties are able to introduce more beneficial information to you, by connecting you to new and unfamiliar personal networks far from your home ground, which allows you to access a wide variety of new information. On the other hand, amongst the strong ties of your familiar community, where you already share common ideas, the opportunity to access novel information is reduced. This is a prevalent theory within sociology and business, but I think the same ideas can be applied to the art world where developing strategies of diverse interconnection based on universal ideas can result in much richer content.

LETZEL:

Well, the inspiration for new work and expanding your perspectives from other fields is certainly important in the Arts as well. I would have considered it from an entrepreneurial approach, but it makes sense how you describe it. Being able to work across disciplines requires being able to communicate outside your realm of comfort. In the Arts I often experience an inflationary use of the word 'interdisciplinary'. Most often these interdisciplinary conversations are not based on equal footing, but rather on one field using the strategies and ideas of the other to their own advantage. Personally, I think the secret to interdisciplinary work is to truly commit to the openness it requires, such as the ability to commit to alternative vernaculars and difficult but necessary conversations. You need to be ready to neglect any common ground you could assume with people from your field and be ready to explain ideas you thought were common knowledge, all whilst maintaining the standards of your research.

AOSHIMA:

I totally agree, 'interdisciplinary' art has been a trend in modern art, and has become even more standardised in the 21-century. All realms of the arts show interest, to some degree, in collaboration with different genres or mixing media. However, there is a potential risk of falling into superficiality if both sides don't bring knowledge and experience of the other side of discipline to the collaboration.

4 *Hanabi-fu*: Fireworks Notation as Network

AOSHIMA:

Your own artistic strategy connects to fields other than performing arts, such as fireworks, weaving and skateboarding. I'd like to know how you relate to fireworks as a theme for your artwork. When I first heard that you are working on fireworks as a theatre artist, I had no idea what the connection could be between fireworks and the performing arts. To me, fireworks are an outdoor seasonal and ceremonial event, especially in Japan where, besides celebrational purposes, they also have a religious and ritualistic nature, such as the custom for the repose of souls and for warding off evil. One historically famous firework festival at river *Ryogoku* first took place in 1733 as a memorial service for people who had died during a cholera pandemic. A more recent example, in June 2020, was a firework display held in several regions of Japan to ward off Covid 19. Of course, in Western culture, fireworks have a different set of associations. So I wonder how you make a bridge between these ideas. I am also curious about Takeo Shimizu, and how he found a connection between fireworks as an art form and music.

LETZEL:

Fireworks in the West are historically connected to a celebration of power, especially in the court culture of early modern Europe, although they were also used to deter evil spirits in religious settings. Following Elaine Tierneys argument, fireworks were a political medium, as certain monarchs would communicate their power through the successful implementation of firework displays. Gunpowder was used to develop new weapons that helped to win wars, and victories were often then celebrated with recreational firework displays. The same gunners who were developing new explosive weapons to be used in war were also developing new effects for the recreational fireworks displays during times of peace, hence the expression 'Marte et Arte'.

During festivities and court celebrations, music and fireworks were creatively developed together into spectacular displays. The most famous example is Georg Friedrich Händels *Music for the Royal Fireworks* from 1749. However, the relationship between music and fireworks is characterised by a strict hierarchy, with fireworks usually playing the subordinate role of accentuating the movement of the music, and adding a spectacular, visual component.

When I first started working with fireworks I was interested in the sounds made by the fireworks themselves, the hissing of fountain effects, such as gerbs and jets, and the whistling of the rockets. During my diploma at the Academy of Media Arts, I worked together with the organist Dominik Susteck to develop new foundations for a conceptual improvisation within a fixed time framework. For the piece fireworks and an organ come together as equal partners in a chamber music duet. The piece took place in the Kunst-Station St. Peter, a church run by Cologne's Jesuit community. Jesuit theatre has a history of using pyrotechnics that dates back to the middle of the 15th century. As Mass itself was held in Latin, which barely anyone understood, dramatic cascades of light and sound eruptions were used to represent the spectacular presence of God, and to communicate his message by theatrical means.

The performance in the Jesuit church of St. Peter's references this medieval tradition of religious staging and theatricality, rather than modern day large scale firework events. I wanted to find alternative approaches to working with fireworks, which was also one of the reasons I came to Japan to study Japanese firework culture. The work of Takeo Shimizu has been such a treasure for me, and I am still in the process of investigating his approach to fireworks and how he developed his notation. In his writings where he explains the notational system he also talks about the relationship of sound and fireworks and even tried to 'compose' a fireworks display according to the sound of firework effects.

He explains this interest in terms of the way that Japanese pay attention not only to the visual effects, but also the sounds of the fireworks. From what I know, he spoke several languages and took great interest in ideas and developments outside his own realm. Following his studies in chemistry at Tokyo University in 1940, he was working for the Japanese Military, and in the evenings he read papers written by philosophers of the Kyoto school. With his military career over at the end of the war in 1945, he decided to never work with explosives again, and returned with his wife and children to his birthplace, where he made a living as a rice farmer for 10 years. However, Professor Yamamoto from the School of Explosives at Tokyo University encouraged Shimizu to start working with fireworks, and to update the traditional techniques and make them more scientific in order to help reduce accidents. In the fireworks-world of the West, Shimizu is most famous for his work on the so-called 'Chrysanthemum shells'. What I find especially fascinating is his artistic approach towards fireworks. A lot of western fireworkers consider fireworks as an artform as well.

AOSHIMA:

It was fascinating for me to learn about Takeo Shimizu's background, as he seems to share some interesting similarities with Earl Brown. Both were born in the early 19th century, Shimizu in 1911 and Brown in 1926, both studied science and experienced the second World War, then turned to the arts, fireworks and music respectively. Earle Brown studied mathematics and engineering at college, and played Jazz trumpet as a semi-professional musician, he dreamed of becoming a pilot, and even volunteered for the Air Force during the war, although he never saw active service. Both Shimizu and Brown assimilated scientific knowledge and concepts into their unique notational systems and developed them in artistically creative ways. When you showed me *hanabi-fu* in Shimizu's book, I wondered how Shimizu, a scientist who had no formal musical training, got the idea to use musical notation to archive firework displays? It makes me wonder why he didn't create a more graphic form of notation and sketch the colour, size and configurations of firework displays?

LETZEL:

Takeo Shimizu's notation system is of his own invention, and really comes from the idea of there being similarities between fireworks and music. Both are fugitive, transitory and time-based art forms that happen in space. It is really remarkable to read about his approach towards fireworks because it seems to come from an artistic view point. His major work *Hanabi no hanashi* consists of two parts, a history of Japanese fireworks followed by a study of the chemistry of fireworks. At some point however, he mentions that fireworkers need to rethink their work in regards to the artistic avant-garde. He talks about harmony and composition and even proposes that fireworks should be planned according to their sounds and not just their visual appearances.

Hanabi no hanashi was published in 1981, but the notations printed in the book date back to 1965. Today's firework displays are mostly planned and archived by computer, and there are a number of software programs available in the fireworks world to organise and simulate displays. It is interesting to look at the timing Takeo Shimizu suggests for the use of the Firework notation, although unfortunately this wasn't picked up on by his fellow pyrotechnicians, then or today. Fig. 4 shows an example. In the first line, when read from the left, the caliber of the firework effects are determined by the pitch position of the notes: a lower pitch means a smaller effect and higher a pitch means a larger shell size.

Different sizes of firework shells are indicated on the five lines of staff notation.

II III IV V VI VII VIII X 20
 第五線 第四線 第三線 第二線 第一線
 (a) 二号玉 三号玉 四号玉 五号玉 六号玉 七号玉 八号玉 十号玉 特二号玉 (二五号玉) 特一号玉
 (b) 二号玉 三号玉 四号玉 五号玉 七号玉

Time → 8.00 8.05 8.10 8.15
 (c) 小節 単位区間 Short section

Pause a short section Pause a set of sections Bars/ set of sections 単位区間 Short section
 (d) 2分の1全 小節休止 長休止 特二号玉2個の重ね玉 三号の上に特二号の重ね玉
 単位区間内休止 Longer pause Double #II #II on III shell

(f) One site/同時打ち上げ (g) ゆっくり Slow (h) 速く Fast
 two tubes launched simultaneously

III shellx7 VI shellx7 VII shellx5 III shellx7 VI shellx7 VII shellx5
 (i) 三号7発早打ち 六号7発早打ち 七号5発早打ち ×5 (j) 三号7発早打ち 七号5発早打ち 六号7発早打ち

(k) さらに速く 速く 速い 遅く さらに遅く
 Faster / Fast / Regular Tempo / Slow / Slower (l) 200m 特二号玉500個の連発 #II shellx500 shots

夜の打ち上げ at night 昼の打ち上げ in the daytime 夜の仕掛 at night 昼の仕掛 in the daytime (電気点火) /set fireworks with electric ignition 夜の仕掛 at night

Figure 4: Takeo Shimizu. *Hanabi no Hanashi* (Kawadeshobo, Tokyo, 1976) p.64

AOSHIMA:

Shimizu developed his notational system in such a way that it allowed the intangible and ephemeral sounds and lights of fireworks to be archived using a system based on musical notation. He wrote that 'fireworks are

primarily regarded as the art of light and time', and I think he incorporated those two different dimensions within his notation system. As you mentioned, the pitch ranges in the vertical axis as the brightness of fireworks and the durations in the horizontal axis as the passage of time. This may be a too simple a reading of his strategy, but I assume his basic idea was to organise every constitutive element of a firework display and to visualise them objectively as a whole.

You mentioned earlier that his approach seems to come from an artistic viewpoint, but I have the impression that it came from a more scientific perspective. Shimizu used notation as a tool for both planning and archiving fireworks objectively. I imagine that the time frame was a key reason for him to use musical notation, as he probably wanted to note the timing of the fireworks as accurately as possible. Since Western musical notation is a form of quantitative time notation, and because of its objective measurable functions, it seems reasonable for him to adapt it to create his notation.

As I mentioned previously, earlier systems of Western musical notation such as *Neume* didn't have the ability to incorporate time. The concept of documenting time arose with the progress of science and the invention of time devices. Because time is now such a significant factor in Western notational systems, it is another important factor when considering the complexity of musical notation as a network, as composers always have to deal with durations.

Earl Brown developed a novel notational system called 'time notation', which made note duration ambiguous instead of using a quantitative format. His piece called *Four systems* is the most obvious example of his use of time notation to represent a proportional system of time allocation for each note. Figure 5 is the first stave of *Four systems*, and the black rectangles are time notations that indicate the proportional duration of sounds.

Unlike conventional musical notation, the duration of time is visually presented so that a musician doesn't need to count using a metric system, but instead counts using their own internal sense of time. It is interesting to see that proportional notation of time is precise if you play this using a computer, but if a human interprets the notation the musical timing becomes ambiguous as the parameter of time depends on subjective human measurement.

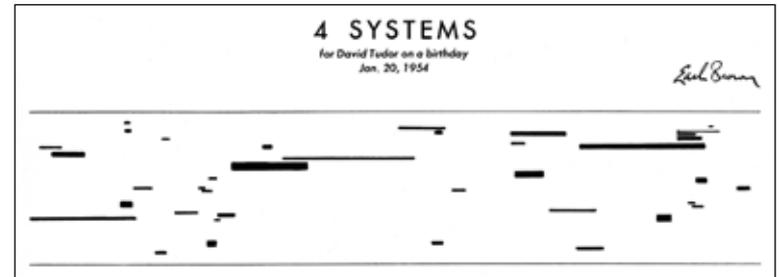


Figure 5: *Four Systems*, Earle Brown 1954. (excerpt from the score) Associated Music Publishers Inc.

LETZEL:

Time is also a key factor within fireworks. Do you remember when we went to talk to Mr. Ueno from Kunitomo fireworks in Kyoto and he described the use of fuses? Before fireworkers started to incorporate computers in their work, time was an analogue factor, and the timing of effects was determined simply by the length of the fuse (and additional parameters such as humidity). Takeo Shimizu also talks about time in relation to the difference in the travel speeds of light and sound. As sound travels much slower than light, this also determines the planning and composition of the display. In Shimizu's fireworks notation he refers to the use of a clock, so when he says at the top of his manuscript that the display starts at 7:30 and lasts until 7:35, we know it lasts for five minutes. Figure 6 shows an excerpt of this notation.



Figure 6: Takeo Shimizu. *Hanabi no Hanashi* (Kawadeshobo, Tokyo, 1976) p.67

AOSHIMA:

I remember that was a fascinating conversation with Mr. Ueno. He mentioned that Shimizu was the first person to archive firework timing in such a precise manner, although his approach was not adopted as standard among pyrotechnicians. As Shimizu noted in his book, fireworks have several contingent factors due to the influence of the natural environment such

as the weather, temperature, humidity, and physical landscape. His goal was to achieve scientific accuracy, however he also admitted that fireworks are an art form, and as such have an element of uncertainty.

Comparing Brown and Shimizu's approaches to *time notation*, I believe Brown considered time in music as an ambiguous element, while Shimizu sought to precisely archive the timing of fireworks in an objective way. Both of their approaches to notation, 'relative time' and 'absolute time', can be associated with theories developed in physics during the early 20th century, in other words the idea of ambiguous time in relation to Einstein's theory of relativity. It may be difficult to prove such a connection, however Shimizu as a pyrotechnician must have some expertise in physics, and Earle Brown had significant interests in the concept of time from a scientific perspective.⁸ Of course, this is beyond our theme, however thinking from the perspective of networks, these notational systems could serve as significant intermediaries between the arts and sciences.

You reworked and reinterpreted '*hanabi-fu*' into an actual musical performance with musicians during your residency in Kyoto. What was your approach to translating Shimizu's notation into music?

LETZEL:

During my stay in Kyoto I had the chance to turn *hanbai-fu* into sound during a collaboration with the organist Jun Sagawa and the violinist Kimitoshi Nakamura. Jun studied organ in Cologne and speaks fluent German. To be honest I didn't expect to be working with an organist in Japan, but Jun and her instrument gave me the chance to work on the notation properly. The organ was built during her initiative in the Grace Chapel of Doshisha University in Kyoto, and is not what you would expect of a regular organ. For example, a nightingale, a carillon, and a marimbaphone are amongst the special features of the instrument. Both percussion instruments have a repetition function and moreover the organ allows the player to reduce the wind within the instrument and regulate volume. As a musician Jun is not only interested in introducing this instrument to the ears of the Japanese, but is also eager in expanding the historical music canon with contemporary pieces and approaches, and she has also developed an interest in improvisation. In terms of how we approached the project, we actually only had one day to turn the notation into sound, which is a very limited amount of time, especially when dealing with something new. Jun invited the violinist Kimitoshi Nakamura to join the project, who is a versatile player used to contemporary approaches and new forms of notation.

I wanted to give the musicians as much freedom as possible when working with the notation, as visually it is somewhere between the conventional notation of musical symbols, and graphic notation with the tiny add-ons. I didn't want to give them any strict requirements in terms of interpreting the notation, but rather chose to let them figure out their own approaches. I did however help them get a better understanding of how to decode all the different signs and symbols and help them understand the time structure and general set up of the piece. For example, it is quite obvious that the piece is supposed to be 5 minutes long, once you know that the numbers on top of the staves relate to timing. The piece of notation we were looking at is divided into three lines, and those lines divided again into three different parts. These three different parts determine three different shooting locations for fireworks, so we decided to consider them as three different entities. The idea was to find an interpretation for each of the three lines, record them, and then play them back simultaneously. But that turned out to be impossible to do all at once.

AOSHIMA:

That does sound complicated, but it must have been interesting to try. Both yourself and the musicians were adding another dimension to the musical network based on *hanabi-fu* by decoding and dividing them into different parts. So how did the musicians eventually realise Shimizu's notation into music?

LETZEL:

Kimitoshi actually made a drawing of the firework display that Takeo Shimizu then laid out for us in his manuscript and translated the notation and accompanying notes into colour as best he could. It was a really beautiful image and he put a lot of effort into it. Despite there being minor mistakes when translating the information from the notation into drawing, we decided to use them in combination with the notes. I didn't expect that we would need another medium in between the notation and the musicians, but as the *Hanabu-fu* is complex to read it was good to have a more obvious structure. So, we firstly looked at the reoccurrence of the same effects throughout the piece and decided to create musical analogies.

The number of effects determines the number of musical events that we would then interconnect, and the effects themselves were determined by the colours; yellow for example, determined a special playing technique and so on. I loved the whole process of it coming together and I thought this

notation gave the musicians something wonderful to work with. Kimitoshis drawing proposes a system completely open to musical interpretation.

Shimizu's notation was a plan for fireworks display, but if interpreted properly it is possible to hear his thought processes. For musicians this creates a new kind of freedom that allows them to both set their own rules but also adjust those rules gradually accordingly. I hope we can work on the *hanabi-fu* again soon!

AOSHIMA:

It is surprising to learn that the musicians used drawing to translate the notation of *Hanabi-fu* into music. Even though *Hanabi-fu* notation borrowed the conventional style of musical notation, it required a visual analysis to decode the rules of firework notation and reinterpret them in order to realise actual music. Sketching is a common approach among experimental composers, and Earle Brown often used graphical sketches to imagine his ideas before composing music. Most people think that music has little to do with visual information, however regular musical notation is itself visual information, and in order to realise conceptual ideas graphic notation is a very beneficial tool.

LETZEL:

You could say that as a composer, Earle Brown developed a notational system consisting of non-musical graphical elements, while as a chemist, Takeo Shimizu centers his fireworks notation on conventional musical scores. While Brown's notation is clearly intended to be played and translated into sound, Shimizu borrows an established notational system that formally provides for the essential needs of planning and archiving fireworks.

I found a quote by Earle Brown that I find quite fitting to our discussion so far, in regard to various elements playing together to create music from open form notation.

... to have elements exist in space ... space as an infinitude of directions from an infinitude of points in space ... to work (compositionally and in performance) to the right, left, back, forward, up, down and all points between ... the score [being] a picture of this space at one instant, which must always be considered as unreal and / or transitory ... a performer must set this all in motion (time), which is to say, realize that it is in motion and step into it ... either sit and let it move or move through it at all speeds.⁹

5 Networks and Musical Notation

AOSHIMA:

Our discussion has often gone beyond the topic of musical notation and networks to a broader sense of what constitutes a musical work. We started with some basic ideas about the significance of the notation system in Western music history, then considered avant-garde forms of musical notation, taking Earle Brown and Takeo Shimizu as examples. This led us to explore the connections between notation and performance, and issues of open interpretation, improvisational approaches and the translation of non-musical notation into musical performance. By applying ideas from network theories such as ANT and strong / weak ties, I tried to take another look at musical notation from fields outside of music, or even to develop an artistic perspective. Since I am not a specialist in network study, I am not sure whether I succeeded in making a clear comparison, but it felt like a fresh approach to me to consider music as a whole network of different elements (or 'actors' in ANT terms), with musical notation as a part of this network that bridges musical ideas to live performance.

This understanding of networks led me to think of the modality of musical works. The notion of a musical work is a very ambiguous and broad concept, especially in the modern period when people, including musicians, have access to music in many different modes and media, such as scores, audio and visual recordings or even the live streaming of performances. The questions this then raises are: where does the essential nature of a musical work lie? Is it within the score that we find the authentic nature of a musical work? How about performances presented in different mediums, such as audio, video or live streams, can they be considered as identical musical works? What's the relationship between the musical ideas in a composer's mind and the improvisational approaches taken by musicians that are yet to be fixed in any medium, can they be regarded as a musical work? There have been many philosophical discussions over these questions in the practice of Western classical music, and there doesn't appear to be a singular answer. What is clear however, is that the idea of considering traditional score as the only medium capable of purveying musical authenticity is dated. I would rather believe that the actions of people involved in musical creation in its broadest sense, such as critics, organisers, audience members, and listeners, all play a role in the creation of a musical work, and it was very inspiring for me to learn from your examples how the performers are challenged and have to deal with and combine all these different dimensions to create just one performance or musical work.

LETZEL:

The concept of what defines a musical work hasn't really changed since the end of the 18th century. However, as Avant-garde composers and artists of the middle of the 20th century developed new ways of writing down music, the score became somehow substantial to the point that in some cases it could exist as an autonomous artwork in its own right. Such moments highlight both similarities and differences between music and fine art. Beyond the score as an art object, composers and artists are also analogous through their methodology and creative attitudes, such as when the creation of a graphic-score comes to resemble the act of paintings or drawings, more than the composition of sound. The notion of composition is equivalent, when the arrangement of shapes on a blank page can be compared to the mental process of composing sounds.

With the score playing a generative role, performance of a musical work would change depending on who is the interpreter, allowing many different interpretations depending on how abstract the notation is. Therefore the score gained independence like it never had before.

We would like to thank Thomas Fichter, director of the Earle Brown Foundation in New York and director of the Ensemble Musikfabrik in Köln, for first introducing us. We would also like to thank the Goethe Institute for bringing Lea to Japan, and the staff of the Goethe Institute's Villa Kamogawa for their support of the Takeo Shimizu's fireworks notation project. We would also like to thank Michael Whittle for his help editing and proofreading this paper, and his constructive suggestions.

References:

- Brown, Carolyne., and Rebecca Y.KIM., ed. 'The Early Years', *Beyond Notation the Music of Earle Brown*. University of Michigan Press, 2017.
- Brown, Earle., and Rebecca Y.KIM., ed. 'Selected Texts by Earle Brown', *Beyond Notation the Music of Earle Brown*. University of Michigan Press, 2017.
- Granovetter, S., Mark. 'The Strength of Weak Ties', *American Journal of Sociology*, Vol. 78, No.6 (1973). The University of Chicago Press.
- Latour, Bruno. *Reassembling the social: an introduction to actor-network-theory*. Oxford: Oxford University Press, 2005.
- Shimizu, Takeo. *Hanabi no Hanashi*. Kawadeshobo, Tokyo, 1976.
- Varèse, Edgard and Wen-chung, Chou. 'The Liberation of Sound', *Perspectives of New Music* 5, no.1 (1966): 11–19.

Sources:

- Brown, Earle. *November 1952 Synergy, Folio*. Associated Music Publishers Inc., 1952.
- Brown, Earle. *December 1952, Folio*. Associated Music Publishers Inc., 1952.
- Brown, Earle. *Four Systems*, Associated Music Publishers Inc., 1954.
- Shimizu, Takeo. *Hanabi-fu, Hanabi no Hanashi*. Kawadeshobo, Tokyo, 1976.

Anmerkungen

- 1 Bruno Latour, *Reassembling the social: an introduction to actor-network-theory*. (ACLS Humanities E-Book. Oxford: Oxford University Press, 2005).
- 2 *Emphasis is the author's own*. Latour (2005). p128–129.
- 3 Edgard Varèse, and Chou Wen-chung. 'The Liberation of Sound.' *Perspectives of New Music* 5, no. 1 (1966): 11–19. <https://doi.org/10.2307/832385>.
- 4 Carolyne Brown, 'The Early Years', *Beyond Notation the Music of Earle Brown*, ed. Rebecca Y.KIM, (University of Michigan Press, 2017)
- 5 A video of the performance Calder Piece at <http://www.earle-brown.org/works/view/33>
- 6 Earle Brown, 'Selected Texts by Earle Brown', *Beyond Notation the Music of Earle Brown*, ed. Rebecca Y.KIM, (University of Michigan Press, 2017), p296.
- 7 Mark S. Granovetter, 'The Strength of Weak Ties', *American Journal of Sociology*, Vol. 78, No. 6 (May, 1973), pp. 1360–1380 Published by: The University of Chicago Press
- 8 Earle Brown referred to the concept of time several times in his writings and interviews, that indicates Brown's interest in the idea of time and space in physics at the time.
- 9 Extract from the score direction, Earle Brown, 'Prefatory Note, December 1952, Folio. Associated Music Publishers Inc.

Teil IV:
Podiumsdiskussion

Podiumsdiskussion des Symposiums „Alles Netzwerk?“ am 8. März 2019 in der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste

Moderation

PD Dr. Christoph Michels (Universität Düsseldorf)
Jun.-Prof.'in Dr. Carola Neugebauer (RWTH Aachen)

Diskussion¹

Prof.'in Dr. Katrin Amunts (Forschungszentrum Jülich)
Prof. Dr. Sílvio Dahmen (Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasilien)
Dr.-Ing. Steffen Freitag (Ruhr-Universität Bochum)
Dr. Lore Knapp (Universität Bielefeld)
Dr. Jan-Markus Kötter (Universität Düsseldorf)
Dr. Martin Salinga (RWTH Aachen)

Carola Neugebauer:

Wir haben heute in den zwei Blöcken des Symposiums Vorträge aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften einerseits und Beiträge aus den Sozial- und Geisteswissenschaften andererseits gehört. Es zeichnete sich darin ab, dass die Disziplinen sehr unterschiedlich optimistisch beziehungsweise anspruchsvoll im Umgang mit den Netzwerkbegriffen und -theorien sind. Die Sozial- und Geisteswissenschaften scheinen eher zögerlich: „Wir wollen die Netzwerke beschreiben oder bestenfalls erklären, wie Netzwerke funktionieren und wozu Netzwerkkonstellationen geführt haben.“ Die Natur- und Ingenieurwissenschaften sind demgegenüber optimistischer. Sie sagen: „Okay, wir wollen nicht nur beschreiben, wir wollen nicht nur Muster erkennen, wir wollen nicht nur erklären, sondern unser Netzwerkforschen soll handlungsleitend sein. Wir wollen Netzwerktheorien prognostisch nutzen.“ Da stellt sich die Frage: Sind die Sozial- und Geisteswissenschaften zu zimperlich oder die Natur- und Ingenieurwissenschaften größenwahnsinnig, was die Leistungsfähigkeit von Netzwerktheorien angeht? Sind die Natur- oder Ingenieurwissenschaften bereits heute in der Lage, gesellschaftliche Netzwerke und ihre Pro-

zesse – aus der Vergangenheit heraus und in der Gegenwart – zu verstehen, aus ihnen zu lernen und sie zu prognostizieren?

Katrin Amunts:

Diese Frage hat viele Facetten. In den Naturwissenschaften versuchen wir, natürliche Netzwerke wie im Gehirn zu beschreiben und zu verstehen. Diese haben physikalische, biochemische, biologische und andere Grundlagen. Diese können mit naturwissenschaftlichen Gesetzen häufig sehr gut beschrieben werden, und wir verstehen sie zunehmend besser. Dabei können Kreisläufe zwischen einer Theorie, dem Modell, einer Simulation und den empirischen Wissenschaften entstehen. Das heißt, wenn man eine bestimmte Theorie oder eine Regel aus einem Netzwerk extrahiert und mathematisch beschrieben hat, kann man versuchen, das Modell empirisch abzugleichen, das heißt mit anderen Methoden und anderen Daten zu überprüfen. Auf Grundlage des Modells kann man vielleicht auch eine Simulation rechnen, die Vorhersagen erlaubt, die dann wieder zurück am Objekt überprüft werden können. Das bildet *Productive Loops*. Ich denke, dass es notwendig ist, solche Loops zu durchlaufen und diese Möglichkeit zu nutzen, um zu überprüfen, ob das, was man tut, richtig ist. Wenn man von den Naturwissenschaften in die Geschichte geht, scheint das nicht so einfach. Wir können nur sehr schwer bestimmte Geschichtsprozesse modellieren oder simulieren, denn diese Prozesse hängen von sehr vielen Faktoren ab, wir kennen viele Randbedingungen nicht und können Geschichtsprozesse nur sehr schwer in ihrer ganzen Vielfalt beschreiben. Wir können auch nur bis zu einem gewissen Grad extrapolieren, zum Beispiel von der einen Gesellschaft auf eine andere. Netzwerkmodelle stehen hier noch relativ am Anfang. Mitunter lassen sich diese Fragen mit anderen Mitteln auch sehr viel einfacher verifizieren. Die Naturwissenschaften und auch die Ingenieurwissenschaften haben es wahrscheinlich da noch leichter als die Geschichtswissenschaften oder auch andere Wissenschaften.

Neugebauer:

Es ist heute in der Tat des Öfteren der Punkt aufgekommen, dass wir in den Geistes- und Sozialwissenschaften Probleme mit der Datenlage haben. Das haben Sie, Frau Amunts, jetzt auch wieder angesprochen. Daneben schwang oftmals ein weiterer Punkt mit, nämlich dass die Gesellschaft vielleicht ein ganzes Stück komplexer wäre als beispielsweise ein Hirn. Liegt darin die Antwort, weshalb eine Prognose beziehungsweise Simulation gesellschaftlichen Netzwerkverhaltens (noch) nicht möglich ist?

Steffen Freitag:

Ich möchte ganz kurz auf die Datenlage in den Ingenieurwissenschaften eingehen, weil das ja angesprochen wurde. In den Ingenieurwissenschaften haben wir in der Regel die Möglichkeit, quasi unendlich viele Daten durch Simulationen zu erzeugen und dann daraus Zusammenhänge zu erlernen. Das heißt, wir können die Daten schon beliebig verfeinern, auch wenn der Lernprozess nicht gleich funktioniert. Wenn also der benötigte Informationsgehalt in den Daten nicht vorhanden ist, können wir zusätzlich neue Daten erzeugen. Beispielsweise nutzen wir biologisch motivierte neuronale Netze, um Zusammenhänge in Daten zu lernen. Ich denke auch, dass dies in den Geisteswissenschaften weitaus schwieriger ist, weil ja dort die Quellen begrenzt sind. Man kann also nicht so einfach Zusatzinformationen generieren. Und selbst für den Fall, dass wir in den Ingenieurwissenschaften doch ausschließlich aus Versuchsdaten lernen müssten, könnten wir hier den Versuch stets öfters wiederholen und somit mehr Daten generieren, unter anderem indem wir Parameter verändern. All das scheint mir ansonsten schwierig.

Neugebauer:

Also überall dort, wo es keine *Experimental Designs* geben kann?

Freitag:

Ja, genau dort, wo man keine Möglichkeit hat, selbst Daten zu produzieren.

Amunts:

Und das andere ist natürlich wirklich die Frage, die Sie angesprochen haben. Die Komplexität eines Systems. Die ist natürlich extrem groß. Eine Gesellschaft umfasst viele Menschen und ihre Beziehungen in ihrem Kontext; jeder Mensch hat ein sehr individuelles Gehirn, das dazu beiträgt, dass wir es letztlich mit ganz individuellen Persönlichkeiten zu tun haben, die dann auch noch miteinander agieren. Und so ein komplexes System bedeutet eben auch, dass kleine Änderungen in den Anfangsparametern (z. B., wenn Brutus an dem Tag genau verschlafen hätte, für den er sein Attentat plante) den Weg der Geschichte sehr stark verändern können. Vielleicht hätte es sich auf anderen Wegen verwirklicht, aber der konkrete Ablauf und vielleicht auch das Ergebnis wären möglicherweise sehr anders gewesen. Und das scheint mir doch eine große Herausforderung zu sein, die wir haben, wenn wir über die Modellierung von Gesellschaften sprechen.

Jan-Markus Kötter:

Ich muss jetzt kurz einmal einhaken, weil mir die Diskussion in Bezug auf die Geisteswissenschaften gerade ein wenig zu mangelorientiert klingt. Ich als Historiker habe überhaupt kein Problem damit, dass ich aufgrund der Quellenlage und aufgrund der sozialen Komplexität nicht in der Lage bin, Prognosen abzugeben; das ist auch weder mein Anspruch noch meine Aufgabe. Das heißt aber nicht, dass ich mich (wie Carola es in ihrer Eingangsfrage ausgedrückt hat) aufs bloße Beschreiben beschränken würde. Zwischen Beschreibung und Prognose liegen immerhin noch andere Ebenen, zum Beispiel das Erklären. Und ich denke, man konnte an meinen Überlegungen genauso wie am Vortrag von Silvio Dahmen sehen, dass unser Anspruch sehr wohl ist, unseren jeweiligen Gegenstand analytisch zu durchdringen und zu erklären – auch wenn wir beide ansonsten unterschiedlich optimistisch bezüglich der Potenziale von Netzwerken sind. Der fehlende Prognoseanspruch ist aber mitnichten ein Defizit, zumindest nicht für Geisteswissenschaftler. Das mögen Sozialwissenschaftler wiederum anders sehen. Insofern müsste man hinsichtlich der Potenziale von Netzwerken aber disziplinär noch stärker unterscheiden als in der Ausgangsfrage.

Lore Knapp:

Wenn ich zum Beispiel die Theorie von Bruno Latour mit den neuronalen Netzwerken vergleiche, ergibt sich tatsächlich ein großer Unterschied: Latour verwendet Netzwerke als ein methodisches Instrument, um dem, was die ‚Wirklichkeit‘ ist, nahezukommen – und zwar näher als alle Theorien. Weil die großen Gedankengebäude darüber, wie Gesellschaft wohl aufgebaut ist oder wie Geschichte sich entwickelt, für ihn nicht gelten, geht er von kleinen Akteuren aus, die Verbindungen schaffen, indem sie Wirkungen ausüben. Jeder einzelne Wirkungsimpuls wird betrachtet, sei er menschlich, technisch, materiell oder immateriell. Mit Texten, die dieses Wirkungsprinzip sprachlich nachvollziehen, hofft er dann, der Wirklichkeit näher zu kommen, als wenn man sie grob in Strukturen einteilen würde. Das ist letztlich auch ein empirischer Ansatz. Und trotzdem bleibt das Netzwerk dabei ein gedankliches Instrument. Es ist eine Latour'sche Setzung, dass Netzwerke sich so aufbauen, dass ein Akteur über eine Wirkung mit dem nächsten Akteur verbunden ist und ich nur dann einen Schritt in der Betrachtung weitergehen kann, wenn ich eine Wirkung nachvollziehen kann. Dieses Netzwerk ist also als solches nicht gegeben, sondern wird erst in der Beschreibung erschaffen, während Ihnen, Frau Amunts, in den Gehirnen nun wahrlich Netzwerke gegeben sind.

Kötter:

Darf ich den Ball kurz zu Frau Amunts spielen? Ist es tatsächlich so, dass Sie die Netzwerke, die Sie untersuchen, als gegeben erachten? Das scheint mir für das interdisziplinäre Verständnis von einigem Interesse zu sein. Würden Sie sagen, dass es neuronale Netzwerke wirklich gibt, oder haben diese eher einen Konstruktionscharakter, stellen also eher Modelle dar, die Ihnen das Verständnis erleichtern? Die Frage ist also, ob Sie mit einer konkreten Substanz arbeiten oder ob Sie sich Ihren Untersuchungsgegenstand nicht gewissermaßen selbst schaffen, so wie es Gesellschaftswissenschaften meist tun.

Amunts:

Beides spielt eine Rolle. Einerseits gibt es ganz offensichtlich ein sehr komplexes Netzwerk im Sinne von physischen Verbindungen zwischen Nervenzellen und Hirnarealen. Und das versuchen wir möglichst gut zu beschreiben. Für die Art, wie wir es beschreiben, nutzen wir zum Beispiel netzwerktheoretische Ansätze. Das sind modellhafte Beschreibungen und sie basieren auf gewissen Voraussetzungen. Sie helfen uns letztendlich, die Komplexität der Netzwerke, die wir beobachten, so zu vereinfachen, dass wir Regeln ableiten können. Das heißt, in der Hirnforschung versuchen wir ein Netzwerk, das physisch vorhanden ist, zu verstehen und wir nutzen netzwerktheoretische Ansätze, um es zu beschreiben. Wir nutzen zunehmend auch Deep Learning, um auch bestimmte Eigenschaften zu extrahieren, die wir dann in Theorien fassen können.

Neugebauer:

Vielen Dank so weit. Ich sehe gerade, dass Christoph Michels im Auditorium Fragen gesammelt hat.

Frage aus dem Auditorium:

Macht nicht der Begriff des ‚Systems‘ mehr Sinn als der der ‚Netzwerke‘? Beim Gehirn ist es doch so, dass auch die Endokrinologie eine Rolle spielt, insofern scheint mir weniger ein Netzwerk vorzuliegen als ein System, welches mit Stellgrößen und Rückkopplungen arbeitet. Für die Betrachtung der Geschichte könnten, analog dazu, soziale Systeme vielleicht einen dynamischeren Zugang erlauben als die Netzwerke, da der eigentliche Schmierstoff der Gesellschaft doch laut Niklas Luhmann die Kommunikation ist.

Amunts:

Das sehe ich ganz ähnlich. Ein biologisches Netzwerk nur als Netzwerk aus Kanten und Knoten zu modellieren, ist sicher eine stark simplifizierende Betrachtung. Gleichwohl hat diese Betrachtung oft eine große praktische Bedeutung, wenn Sie an die Klinik denken und wenn es darum geht, bei Patienten mit Schlaganfall zu verstehen, warum eine bestimmte Funktion nicht mehr ausgeführt werden kann, zum Beispiel die Hand nicht mehr bewegt werden kann. Den Ort der Schädigung dann in einer bestimmten Faserbahn als Teil eines Netzwerks zu verorten, ist eine klinisch wichtige Beschreibungsebene. Ein anderes Beispiel ist Sprachverlust nach Schlaganfall, dem eine sehr einfache Netzwerkbeschreibung von Carl Wernicke aus dem 19. Jahrhundert zugrunde liegt. Das war ein sehr fruchtbarer Ansatz, der für die Klinik und auch die Forschung sehr viel gebracht hat. Gleichwohl ist er eine Vereinfachung. Unser heutiger Netzwerkbegriff ist ein umfassender. Einer, der nicht nur die Weiterleitung von elektrischer Aktivität von einer Nervenzelle auf die andere über Synapsen umfassen würde, sondern gerade und insbesondere auch die Modellierung von Informationen über chemische Substanzen wie Neurotransmitter (Botenstoffe) und ihre Rezeptoren. Auch Hormone wirken über diese molekulare Schiene und verändern die Weiterleitung von Informationen im Netzwerk. Für mich ist ein Netzwerk im menschlichen Gehirn eines, das auch die molekulare Dimension enthält. Und in diesem Sinne wäre vielleicht der Systembegriff der richtigere; er ist nur einer, der sich sehr schwer operationalisieren lässt. Netzwerke können über Modelle beschrieben werden, die man gut verwenden kann, um sehr, sehr viele Eigenschaften des menschlichen Gehirns zu verstehen. Und wenn man ihn breit genug fasst, kommt man relativ weit und berücksichtigt die systemische Ebene. Ich würde es interessant finden, den Systembegriff weiter reinzubringen.

Knapp:

Latour wendet sich ganz direkt gegen Luhmann und die Luhmann'schen Systeme. Er glaubt gerade nicht an die Einteilung der Gesellschaft in vorgegebene Gruppen, also nicht an die ‚Gesellschaft der Gesellschaft‘, die ‚Kunst der Gesellschaft‘, die ‚Religion der Gesellschaft‘ usw. Seiner Auffassung nach gibt es das alles gar nicht. Er geht davon aus, dass durch Wirkimpulse viel komplexere und durchlässigere Zusammenhänge erschaffen werden.

Kötter:

Ich bin weniger kritisch bezüglich einer Vereinbarkeit beider Konzepte, wo-

bei ich einräumen muss, dass ich auch eine ausreichend große Bereitschaft zum theoretischen Eklektizismus mitbringe. Sie weisen auf die konstitutive Bedeutung der Kommunikation für soziale Systeme hin und meinen, dass dies ein Faktor sein könnte, der die Systemtheorie dynamischer machen würde als die Betrachtung von Netzwerken. Ich würde dagegenhalten, weil Luhmanns Fokus auf Kommunikation einer absolut zentralen netzwerktheoretischen Annahme überhaupt nicht widerspricht: Das eigentlich wichtige im Netzwerk sind nicht die Knoten, sondern die Kanten, also die Verbindungen zwischen den Knoten; eine transaktionale Soziologie baut genau darauf auf, dass die entscheidenden sozialen Potenzen in den Verbindungen zu suchen sind. Etwas basal könnte man zusammenfassen, dass ein Knoten ohne Kante irrelevant ist. Mit dieser Feststellung sind wir dann aber nicht mehr so weit von Luhmanns Annahme entfernt, dass soziale Systeme nur in und durch Kommunikation existieren. Und wenn man dann noch davon ausgeht, dass Relationen zwischen Personen für gewöhnlich auf kommunikativen Prozessen aufbauen, kann die Systemtheorie – das jetzt aber ins methodisch Unreine – vielleicht sogar helfen, Netzwerktheorien für die historische Forschung zu operationalisieren.

Frage aus dem Auditorium:

Ich würde gern auf den Vortrag von Herrn Dahmen zu sprechen kommen. Wenn ich ein geschichtliches Buch lese, das irgendjemand geschrieben und dabei seine persönliche Interpretation hineingebracht hat, dann kann ich das verstehen und muss das so akzeptieren. Sie aber haben mehrfach betont, dass die Frauen in der von Ihnen untersuchten Schrift zwar wenig erwähnt werden, nichtsdestoweniger aber doch eine wichtige Rolle spielen. Kann man jedoch, wenn man das betrachtete Buch liest und im Vorhinein nichts über die Stellung der erwähnten Frauen weiß, diese Akteurinnen und ihre Stellung, die Sie für sie in ihrem mathematischen Prozess herausgearbeitet haben, übersehen? Ihre Darstellung hat schließlich hervorgebracht, welche Personen im Hintergrund eigentlich die Fäden gezogen haben.

Sílvio Dahmen:

Ich habe das untersuchte Buch von Beda Venerabilis absichtlich nicht gelesen, um meine Interpretation der Daten nicht zu beeinflussen. Meine Kolleginnen, mit denen ich im Projekt kooperiere, waren dann auch tatsächlich überrascht von den Ergebnissen, die ich ihnen kürzlich gezeigt habe – auch wenn sie durchaus schon die Vermutung hatten, dass die Frauen wichtiger sind, als sie eigentlich beschrieben werden. Es wird nicht

viel über die Frauen selbst berichtet, und Beda erwähnt sie eher in allgemeiner Form, etwa ihre Kontakte und Unterhaltungen. In einem Netzwerk erkennt man dann aber ihre strukturelle Wichtigkeit: Vor allem verbinden sie Untergruppen im Netzwerk, womit ihnen die Rolle von Vermittlerinnen zukommt, sogenannten ‚Betweenern‘. Zusätzlich möchte ich erwähnen, dass wir eigentlich zeitveränderliche Netzwerke, sogenannte *Temporal Networks*, untersuchen. Die Abbildungen aus meinem Vortrag haben dagegen statische Netzwerke beziehungsweise Gesamtnetzwerke gezeigt, die wir zusätzlich in ihrer Zeitentwicklung analysieren, was mathematisch ein wenig anspruchsvoller ist. Gerade in dieser Dynamik der zeitlichen Entwicklung werden die Rollen der Frauen umso deutlicher.

Frage aus dem Auditorium:

Ist eine solche Interpretation nicht immer ein Stück von der Realität entfernt?

Dahmen:

Wie schon zu Anfang diskutiert, entsprechen die Quellen nicht zwangsläufig der Realität von damals. Das ist auch der Grund, warum ich die Geschichtsforschung als so schwierig empfinde. Als Physiker kann ich Reproduzierbarkeit ausnutzen, indem ich ein Experiment im Labor beliebig oft nachstelle und damit Theorien teste. Meine Fachkultur kennt also ein klares ‚Ja‘ oder ‚Nein‘. In der Geschichte ist eine solche klare Trennung nicht gegeben, hier haben wir es also viel öfter mit dem wunderschönen deutschen Wort ‚Jein‘ zu tun. Die Ereignisse in der Geschichte sind einmalig, man kann allenfalls versuchen, Ereignisse zu vergleichen, um Ähnlichkeiten festzustellen. Letzte Woche habe ich mich beispielsweise mit meinen Kolleginnen in England getroffen, und als ich meinte, „die Geschichte wiederholt sich“, widersprachen sie mir: „Die Geschichte wiederholt sich nicht, die Menschen wiederholen sich.“ Diese auf die Zukunft bezogene Frage war auch einer der Gründe, warum mich diese interdisziplinäre Arbeit überhaupt interessiert: Als ich als Humboldtianer einen ähnlichen Vortrag in Brasilien hielt, fragte mich ein Physiker, ob es möglich wäre, die Zukunft vorherzusagen, indem wir die Vergangenheit betrachten.

Neugebauer:

An der Stelle möchte ich kurz ergänzen, dass wir – Patrick Kurzeja, Mitglied im Jungen Kolleg, und ich – das, was Herr Dahmen heute im Symposium für den literarisch-historischen Bereich vorgestellt hat, in ähnlicher Form für die Gegenwart versuchen. Wir wollen uns mathematisch den Akteursnetz-

werken nähern, die aktuellen Stadtplanungskonflikten zugrunde liegen. Wir fragen uns zum Beispiel, wer in Konfliktverläufen entscheidende Personen sind, die auf den ersten Blick vielleicht gar nicht hervortreten. Die Herausforderung liegt dabei weniger in der Verfügbarkeit von Daten. Weil wir in diesem Themenfeld der Stadtforschung in und mit der Gegenwart arbeiten, scheint vielmehr die Aufbereitung, Strukturierung und Analyse der vielen Daten die Herausforderung zu sein. Sie, Frau Amunts, sprachen diesen Punkt in Ihrem Vortrag an: Zusätzlich zu den klassischen Methoden der Datengewinnung kommen daher immer mehr *Data Analytics* zur Anwendung, um mit den unzähligen Datensätzen der Mikroskopie zurechtzukommen und sie zu analysieren. Sind diese Entwicklungen in den Methoden der Datenanalyse Ansatzpunkte, um Netzwerkforschung auch in anderen Fachdisziplinen (neu) zu inspirieren und ungewöhnliche disziplinäre Kooperationen anzuregen? Hieran schließt eine für die Arbeitsgruppe „Netzwerke“ des jungen Kollegs wichtige Frage an: Welche Erfahrungen haben Sie auf dem Podium mit interdisziplinärer Netzwerkforschung gemacht?

Amunts:

Ich fange gerne an. Es ist wirklich eine riesige Herausforderung, über die verschiedenen Disziplinen zu arbeiten, und wir sehen das als wichtigen Punkt für den Erfolg im Human Brain Project. Es ist oft mühsam genug und sehr häufig schwierig. Ich denke, dass die Neurowissenschaft sehr gut daran tut, mit Philosophen und mit Ethikern zusammenzuarbeiten und umgekehrt. Neurowissenschaftler arbeiten schon sehr erfolgreich mit Physikern, Mathematikern, Biologen, Psychologen zusammen. Die Naturwissenschaften haben andere kulturelle Besonderheiten als die Geisteswissenschaften usw. Mitunter verwenden wir die gleichen Begriffe, jedoch sind die Konzepte anders belegt. In diesem Zusammenhang denke ich, dass die Sprachwissenschaften für diesen Dialog hoch spannend sind. Gerade im Bereich der Sprache kann man sehr viel über Netzwerke lernen und von ihnen profitieren. Tiefe neuronale Netzwerke, Deep Learning, sind in diesem Zusammenhang interessant. Hier werden zum Beispiel Nachbarschaftsbeziehung und Semantik zunehmend berücksichtigt. Deep-Learning-Netzwerke können zum Beispiel genutzt werden, exekutive, kognitive Funktionen aus natürlicher Sprache abzuleiten. In ähnlicher Art und Weise kann man versuchen, psychiatrische Diagnosen zu stellen. Es wird damit ein ganz großer Bogen geschlagen von den Sprachwissenschaften, Medizin und Neurowissenschaften zur Netzwerktheorie und dem Deep Learning. Hier geht die Entwicklung gerade sehr schnell voran. Und wir müssen lernen, gemeinsam

solche Themen anzugehen und gemeinsamen Nutzen zu haben. Und was Herr Dahmen gezeigt hat, das ist ein großer wissenschaftlicher Spagat. Ich bin sehr angetan über die aufgezeigten Perspektiven. Auch wenn das nicht überall gelingen wird, es ist, so denke ich, der richtige Weg.

Freitag:

Bei uns ist es auch so, dass wir zunächst in der engeren Fachumgebung angefangen haben, interdisziplinär zu arbeiten. Mittlerweile versuche ich aber bewusst, auch physikalische Zusammenhänge mit neuronalen Netzen zu trainieren, von denen ich selber gar keine spezifischen Kenntnisse habe – ähnlich wie Herr Dahmen für das von ihm vorgestellte Thema. Man braucht dann natürlich immer einen Partner oder eine Partnerin, die die Daten liefert und die Prognoseergebnisse interpretieren kann. Ich trainiere dann quasi anhand der Daten und gebe Prognoseergebnisse zurück, die dann jemand anderes dahin gehend interpretieren muss, ob etwas jetzt gut oder schlecht gelernt ist. Lernen kann man eigentlich immer, man kann meistens perfekt auswendig lernen, aber es geht ja um die Prognosequalität. Das wurde gerade angesprochen: Wir wollen mit den künstlichen neuronalen Netzen eigentlich prognostizieren. Wir machen da erste Schritte der interdisziplinären Zusammenarbeit, auch wenn das bei uns derzeit noch immer von einer speziellen Anfrage beziehungsweise Problemstellung abhängig ist und wir dann eher die Kompetenz im Bereich der Lernalgorithmen liefern. Und dazu arbeiten wir auch mit Informatikerinnen und Informatikern zusammen, die dann uns wiederum Input geben. Aber da ist noch Luft nach oben, da kann man noch mehr machen.

Frage aus dem Auditorium:

Ich habe eine Frage an Herrn Dahmen: Historische Prozesse und auch die Marginalisierung von Frauen in der Geschichte sind ja immer auch sprachliche Phänomene.

Dahmen:

Das Besondere bei der Rollenbeschreibung von Frauen ist tatsächlich ihre seltene Erwähnung in den Geschichtsbüchern. Selbstverständlich waren Frauen wichtig in der Geschichte – und offenbar auch in den historischen Texten, wie unsere Untersuchungen nahelegen. Dieser Befund liegt meist unter der Oberfläche, kann aber möglicherweise durch die Analyse von Netzwerken gehoben werden.

Christoph Michels:

In Anbetracht der fortgeschrittenen Zeit möchte ich die Diskussion mit einer eher globalen Frage abschließen, die an bereits Gesagtes anknüpft. Herr Dahmen hat gerade eine Grafik der Straßenwege des Römischen Reichs gezeigt, also ein ganz konkretes historisches (Verkehrs-) Netzwerk. Als Alt-historiker würde ich hier freilich anmerken, dass es in dieser Zeit auch noch Schiffsverbindungen gab. Vor dem Hintergrund dieses Bildes daher die Frage: In welchem Verhältnis steht bei Ihrem Einsatz von Netzwerken auf jeweilige Untersuchungsgegenstände ein Interesse am Ganzen zur Notwendigkeit der Ausblendung und Reduktion von Komplexität? Diese Frage betrifft die Beziehungen von Mikro- und Makroebene ebenso wie die Abstraktion dessen, was für ein jeweiliges Erkenntnisinteresse nicht wesentlich ist.

Knapp:

Latours Ansatz der Akteur-Netzwerk-Theorie zeigt erst, wie viel wir tatsächlich ausblenden müssen und wie eng eine Fragestellung zugespitzt sein muss, um überhaupt zu Ergebnissen zu kommen, weil theoretisch so viele Akteure immer wieder eine Rolle spielen können.

Kötter:

Daran anschließend möchte ich das Methodenbewusstsein als Grundvoraussetzung der Anwendung von Netzwerkansätzen nennen. Dass man sich der Grundlagen, Eigenheiten und Gefahren seiner Methoden immer bewusst sein sollte, ist geschenkt; trotzdem empfinde ich netzwerktheoretische und vor allem netzwerkanalytische Ansätze als besonders fordernd für die Geschichtswissenschaft. Gerade ein Vorgehen, wie Silvio Dahmen es vorgestellt hat, verlangt eine Menge an Vorarbeiten, bevor überhaupt präsentable – und doch immer nur scheinbar eindeutige – Ergebnisse vorliegen. Das beginnt bei der Entscheidung, was mich überhaupt interessiert. Es ist ja nicht so, dass Herr Dahmen einfach sagen kann: „So, jetzt habe ich hier die Kirchengeschichte von Beda, die visualisiere ich mal als Netzwerk.“ Das würde voraussetzen, dass das Netzwerk in irgendeiner Form vorvorhanden ist; faktisch hat es aber Konstruktionscharakter, und dieser liegt in der Vorentscheidung, dass ich mich mit der Rolle der Frauen im Text befassen möchte. Das ist das eine; das andere ist, dass wir in der historischen Arbeit im Normalfall keine seriellen Quellen vorliegen haben. Damit liegen die für ein Netzwerk zu erhebenden Daten aber eben nicht gebrauchsfertig vor. Ich muss sie erst aus literarischen Quellen heraus generieren, was einem Übersetzungsvorgang gleichkommt und viele Vorabinterpretationen nötig

macht, die im Einzelfall immer mehr oder weniger unsicher sein können. Netzwerke sind also nicht nur Grundlage für Interpretationen, sondern immer auch schon deren Ergebnis. Je nachdem, wie gravierend diese Faktoren für einen Gegenstandsbereich sind, kann es daher notwendig sein, auf Netzwerkanalysen im eigentlichen Sinne zu verzichten. Das heißt aber nicht, dass nicht bereits in den Vorarbeiten ein Erkenntniswert liegen würde, gerade dahin gehend, dass der Gegenstand unter Maßgabe der Relationalität sozialer Gegebenheiten durchdrungen wird.

Martin Salinga:

Ich setze mal einen Kontrapunkt zum gerade Gehörten; das hat vielleicht mit der Disziplin zu tun. Ich glaube, dass die Natur mit ihren Mechanismen sich uns manchmal sehr aufdrängen kann, sodass ich gar nicht eine ganz konkrete Frage suchen muss; auch wenn sich die Methodik durch die Wissenschaftsgeschichte hindurch sehr ausdifferenziert hat. Nehmen wir zum Beispiel die Frage aus dem Auditorium vorhin, ob der Netzwerk-begriff eigentlich ein guter Begriff ist, um sich die Funktionalität eines Gehirns zu erschließen. Ich würde sagen, hier ist doch sehr klar, dass gerade die Vernetzung eine sehr wichtige Wirkungsverbindung ist. Es geht – aus meiner Sicht – beim Gehirn um ein System zur Informationsverarbeitung, und welche Wirkungen sind dabei die stärksten? Die anderen vorhin genannten sind sicherlich auch wichtig, aber welches Konzept hilft, um eine Antwort erster Ordnung zu bekommen? Ich glaube, da drängt sich in den Naturwissenschaften die Antwort manchmal geradezu auf. Die kann dann fehlerleitend sein, vielleicht kommt man irgendwann darauf, dass es doch nicht das richtige Konzept ist. Aber im Moment zeigen beim Thema Informationsverarbeitung die Beispiele aus der technischen Sphäre, dass das mathematische Konstrukt eines Netzwerks offenbar gut funktioniert. Ich vertraue darauf, auch wenn das vielleicht ein wenig philosophisch klingt, dass die Natur sich manchmal mit Antworten darüber, wie sie funktioniert, aufdrängt; und das abstrahiert man dann und setzt es woanders ein, wo es in diesem Abstraktionsgrad ähnliche Dinge tun kann wie das Original.

Amunts:

Netzwerkmodelle, zum Beispiel solche, die zur Beschreibung der Verbindungsstruktur von Hirnrindenarealen dienen und aus Knoten und Verbindungen bestehen, sind in der Hirnforschung sehr hilfreich. Gleichzeitig können sie sehr schnell auch an ihre Grenzen stoßen – und zwar auch deshalb, weil die Knotenpunkte und auch die Verbindungen nicht alle die

gleiche Qualität haben. Im Gehirn sind die Netzwerkknoten, die Hirnareale darstellen, sehr, sehr unterschiedlich in ihren strukturellen, molekularen und physiologischen Eigenschaften. Dies beeinflusst das Netzwerk in seiner Funktionalität. Es fehlen aus meiner Sicht noch gute mathematische Modelle, diese Komplexität abzubilden, und auch Netzwerktheorien. Es wäre also wichtig, die Menschen, die an Netzwerktheorien und Modellen arbeiten, mit empirischen Forschern enger zusammenzubringen, um die Netzwerkmodelle entsprechend aufzuwerten und weiterzuentwickeln.

Dahmen:

Eine wichtige Bemerkung noch: Die Maßstäbe und Größen, in denen wir Netzwerke messen, stammen aus der Soziologie. Als ich begonnen habe, mich mit Netzwerken zu befassen, existierte schon eine ganze Reihe von Definitionen wie *Centrality*, *Freeman Index* und *Betweenness*. Der Ursprung dieser Begriffe befindet sich in der Soziologie der 1940er- und 1950er-Jahre, die ein tieferes Verständnis der Gesellschaft zum Ziel hatte. Die Begriffe stammen also nicht von Physikern oder Mathematikern. Natürlich existierten damals noch nicht die Computerressourcen, die wir heute haben, um große und komplexe Netzwerke zu berechnen, aber der ursprüngliche fachliche Hintergrund der Begriffe und Konzepte ist für ihr Verständnis ganz wesentlich.

Anmerkungen

- 1 *Stand der Titel und Affiliationen war März 2019. Für aktualisierte Angaben 2025 siehe das Autor:innenverzeichnis.*

Teil V:
Epilog

How to network like you really mean it

Ale Bachlechner

A: Schon morgens denke ich, Wichtiges verpasst zu haben.

B: Es braucht nicht viel, oft genügt eine kurze Mail, einfach nur Checking-in, um sich vom Archiv wieder in den Posteingang und damit wieder ins Spiel zu bringen. Das geht schnell, man muss es nur auf dem Schirm haben. Wichtig ist, mit dem Networking anzufangen, bevor man es braucht. Bedürftigkeit wirkt abschreckend. Um den Fuß in die Tür zu bekommen, ist es entscheidend, dir selber klarzumachen, was du anzubieten hast, nicht was du brauchst. Diesen Tipp betone ich besonders bei Frauen.

A: René sagt: Zu viele sind keiner. Aber wie viele sind genug?

B: Dazu gibt es unterschiedliche Meinungen, und natürlich gilt: Qualität vor Quantität, es sind ja nicht alle gleich wertvoll. Judy sagt, du solltest die wichtigsten 5 täglich kontaktieren, die wichtigsten 50 jede Woche und die wichtigsten 100 jeden Monat.

A: René sagt, dass ich ein Netzwerk bin und er ein Netzwerk nicht lieben kann.

C: Na, na, na.

B: Das ist aber kleinlich. Ihm hat doch auch jemand den Weg geebnet, und da war er ja auch zur richtigen Zeit am richtigen Ort mit den richtigen Leuten und hatte das Richtige zu bieten. Wahrscheinlich eine Win-win-Situation.

A: Oder eine Win-win-lose-Situation. Also dass sich zwei einig waren, und nochmal jemand anderes war dann halt raus. Oder auch viele andere. Er hat sich durchgesetzt und hatte sein Breakthrough. Es müssen ja nicht Leichen sein, über die man geht. Es lässt sich vielleicht geschickt und umsichtig in die Zwischenräume zwischen den Verlierern steigen. Und ab und zu steht einer wieder auf und man reicht sich sportlich die Hand.

B: In jedem Fall finde ich die Forderung, du sollst einfach nur du selbst sein, überzogen. Ich meine, das muss man sich erst mal leisten können.

C: Ich habe deinen Newsletter abbestellt.

B: Oprah sagt: Die erfolgreichsten Persönlichkeiten, wie Obama oder Beyoncé, haben eine Gemeinsamkeit: Nach dem Interview fragen sie, ob sie gut waren, ob sie sympathisch rübergekommen sind. Das ist kein Zeichen von Unsicherheit. Sie holen Feedback ein, weil sie wissen, wie

wichtig das ist. Likeability ist die am stärksten unterschätzte persönliche Kompetenz, dabei gibt es einige einfache Tricks, um deine Liebesswürdigkeit sofort zu steigern.

A: Nett ist auch ein Toast.

C: Von den meisten Menschen erwarte ich ja gar nichts, von wenigen aber sehr viel. Das führt oft zu Enttäuschungen und in der Folge auch zum Ausschluss der Enttäuschten aus dem Kreis derer, an die ich noch Erwartungen habe. Meinen eigenen Ansprüchen werde ich auch kaum gerecht und werfe seit Kurzem eine Münze, um zu entscheiden, ob ich meine Ambitionen nach unten oder meine Leistungen nach oben korrigieren soll.

A: Mir wurde gesagt, dass Scheitern niemals wirklich Scheitern bedeutet, sondern nur einen Anlass zur Weiterentwicklung. Ich wurde mit einem Sicherheitsnetz aus Liebe und Unterstützung ausgestattet.

C: Löchrig, zu wenige Verbindungen und zu schwache Knoten. Heimlich habe ich hohe Ansprüche entwickelt, aber eine noch größere Bereitschaft zur Akzeptanz meiner Unzulänglichkeiten. Mangelnde Disziplin, Konzentrationsschwächen, Antriebslosigkeit. Am liebsten wäre mir ein Limbo-Wettbewerb, bei dem wir gemeinsam die Latte immer tiefer hängen.

B: Der Limbo ist ein karibischer Tanz, bei dem man sich mit nach hinten gebeugtem Rücken unter einer niedrig liegenden, waagerechten Stange hindurchbewegen muss, ohne sie zu berühren. Er hat seinen Ursprung auf der westindischen Insel Trinidad und wurde traditionell eine Woche nach einem Begräbnis getanzt. Heute ist er als Spaß- und Partytanz weltweit verbreitet. Der Name des Tanzes geht vermutlich auf das trinidadische Englisch zurück, in dem ‚limbo‘ für das englische Wort ‚limber‘ (biegsam, geschmeidig) steht. Historisch könnte der Limbo in der Erinnerung an die Überfahrt in den sehr flachen Laderäumen der Sklavenschiffe wurzeln.

A: Sebastian sagt: Leistung muss sich lohnen. Das sorgt dann dafür, zumindest im Großen und Ganzen, dass wir alle an der verdienten Stelle im sozialen Gefüge sitzen. Für Menschen mit mittlerer und höherer Bildung wird die Message angepasst und lautet dann: Die harte Arbeit, auf die es ankommt, die sich am Ende lohnen wird, sind die Soft Skills. Die Arbeit am Netz, damit da was hängen bleibt.

B: Warst du auf der Eröffnung?

A: Ja.

C: Nein. Auf welcher?

B: Egal. Mere-Exposure-Effekt. Je öfter dich andere Menschen sehen, umso wahrscheinlicher ist es, dass sie dich für grundsätzlich sympathisch halten, auch wenn sie nie ein Wort mit dir gewechselt haben. Außer die

Bewertung fiel beim ersten Kontakt negativ aus, dann verstärkt sich die Abneigung mit jeder erneuten Konfrontation.

A: Ich vergesse ständig alle Namen und oft auch jeden Zusammenhang. Obwohl meine Mutter mich sicher dahin gehend richtig gefördert hat. Sie hat sich nichts vorzuwerfen. Sie ist immer noch jedes Mal geschockt, wenn ich mich an nichts erinnere. Dafür schnelle Auffassungsgabe.

B: Alles verstehen heißt alles vergessen.

C: Ich war beim Essen im Industrie-Club die einzige Vegetarierin, die einzige jünger als sechzig und die einzige Frau. Eigentlich wäre jeder dieser Umstände einen Vortrag wert gewesen, eingeladen war ich aber als Künstlerin.

B: Der Künstler ist selbst eine Institution. Vika sagt, dass sehr wahrscheinlich mehr Künstlerinnen für andere Künstler arbeiten als für klassische Kunstinstitutionen. Erfolgreiche oder auch nur halb-erfolgreiche Künstler sind öfter Arbeitgeber als Angestellte. Selbst die in prekären Verhältnissen Arbeitenden bezahlen mit ihren Projektfördermitteln Freundinnen und Kollegen für ihre professionelle Mitarbeit (schlecht).

C: Ich habe dich doch im Abspann genannt!

A: Ich bleibe immer sitzen für den Abspann. Aus Respekt und um zu sehen, ob ich vielleicht jemanden kenne.

B: Ja, es heißt ja auch: It takes a village.

C: To raise a child. Das Sprichwort heißt: It takes a village to raise a child. Not to make a movie.

B: Je weniger Selbstverwirklichung man mit einer Arbeit im Kunstfeld assoziiert, umso wahrscheinlicher ist es, dass sie angemessen bezahlt wird. Für die Collaborators, Contributors und Assistants scheinen die Identifikation mit ihrer Arbeit, der persönliche Kontakt mit Vorbildern sowie die Aussicht auf ein Netzwerk erfüllend und schlechte Arbeitsbedingungen ebenso wie geringe / keine Bezahlung daher tolerierbar. Sinn und Liebe stabilisieren die eigene Ausbeutung. Roll credits.

A: Do you like movies?

C: No, fast cars.

B: Mein eigener Geschmack. Ich habe einen von zu Hause mitgebracht, der mit meinen jetzigen Lebensumständen nicht kompatibel ist. Den kann ich mir nicht leisten, und ich könnte ihn auch nicht selber machen. Ich habe diesen Geschmack dann erst mal durch nichts Bestimmtes ersetzt und dann durch eine Idee von einem minimalen Abdruck. Nichts neu kaufen, Sachen übernehmen oder Sachen finden.

A: Ich weiß, ich habe schlechten Geschmack, daher traue ich mir selbst

nicht und konnte mich für kein Tattoo entscheiden. Der Geschmack ist nämlich leider gut genug, dass er mich Angst haben lässt vor einem schlechten Tattoo.

C: Frida sagt: Geschmackvolle Einrichtung ist systemstabilisierend. Als ihr Vermieter eine neue Küche einbauen ließ, hat sie daher extra keine Fronten ausgesucht, die ihr gefallen.

B: Clemens sagt, dass Aggression zu Unrecht so negativ bewertet wird, weil es ja von ‚ad‘ und ‚gradior‘, also ‚auf etwas zugehen‘, kommt und das schließlich eine Notwendigkeit ist, um mit seiner Umwelt in Beziehung zu treten. Ganz sanft hat er das gesagt, als ob er mich überreden wollte, es doch auch mal unverbindlich zu versuchen. Als würde er mir ein Abo verkaufen.

A: Ein Auto?

B: Ein Abonnement. Es kauft doch keiner mehr ein Auto, seit wir vom Besitzstandsdenken zur Subscription Economy gewechselt haben. Außerdem: Klima.

C: Mark sagt: Anstatt zu sagen, „Jeder ist verantwortlich für den Klimawandel, jeder muss seinen Beitrag zum Klimaschutz leisten“, wäre es besser zu sagen, dass keiner, also kein individuelles Subjekt, verantwortlich ist und dass das genau das Problem ist. Die Ursache der globalen Katastrophen ist eine überpersönliche Struktur, die keine Verantwortung übernehmen kann, obwohl sie eine Reihe von katastrophalen Effekten erzeugt. Das benötigte Subjekt, ein kollektives Subjekt, existiert nicht.

A: Das habe ich befürchtet.

C: Damit die Ausbeutung ...

B: Wertschöpfung.

C: ... weiter effizient und ordentlich vonstattengehen kann, müssen sich ihre Grenzen in der moralischen Kompetenz der einzelnen Konsumenten widerspiegeln, die ihrerseits die sozialen Strukturen, auf denen die Ausbeutung beruht, normativ aufrechterhalten.

A: Findest du mich harmlos?

C: Deine Haltungen sind radikaler als deine Persönlichkeit.

B: Man gewöhnt sich ja an alles. Übergangslösungen wachsen einem direkt ans Herz. Dann vergisst man sogar, dass das alles mal ganz anders gedacht war. Aber es geht hier ja nicht um mich.

B: Performance ist immer Performance für jemanden, für ein Publikum, das sie erkennt und validiert, auch wenn dieses Publikum man selbst ist.

A: Wir haben unsere Kunden befragt, ob sie gerne nach ihrer Meinung gefragt werden, und sie meinten, Bewertungen werden häufig anhand

der äußerst subjektiven Diskrepanz zwischen Erwartung und Erfahrung vorgenommen und dass es ihnen lieber wäre, wir würden unsere fucking Qualitätssicherung selber machen.

A: Was machst du denn eigentlich jetzt genau? Stellst du etwas her?

B: Ja, Verbindungen. Flexibel und dynamisch, aber belastbar.

A: Meine Frage ist: Wenn ich auf deiner Eröffnung herumstehe, arbeite ich dann für mich oder für dich?

B: Na ja, also du stärkst deine Marke, weil du eventuell Connections herstellen oder lebendig halten kannst oder du zumindest als Teil eines Milieus wahrgenommen wirst. Und du stärkst meine Marke, indem du ein attraktives und qualifiziertes Publikum bist und meine künstlerische Arbeit dadurch relevanter wird.

C: Hot.

Dieser Text wurde ermöglicht durch unfreiwillige, unvollständige und unvergütete Beiträge von: Elsa Artmann, Pierre Bourdieu, Bruno Latour, Mark Fisher, Judy Robinett, Keith Ferrazzi, Lukas Heerich, Julia Scher, Astrid Bachlechner, Clemens Krauss, René Pollesch, Vika Kirchenbauer, Steffen Mau, Oprah Winfrey, Vanessa van Edwards, Markus Giesler, Ela Veresiu, Walter Solon, Diedrich Diederichsen, Sabeth Buchmann, Marvin Carlson, Wikipedia, Sebastian Kurz, Robert Zajonc, Jonathan Kastl u. v. m.

Autorinnen und Autoren

Aya Aoshima

Ryukoku University
Faculty of International Studies

Prof. Dr. med. Katrin Amunts

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Universitätsklinikum Düsseldorf
Direktorin des C. & O. Vogt Instituts für
Hirnforschung und Forschungszentrum
Jülich GmbH
Institut für Neurowissenschaften
und Medizin

Ale Bachlechner

Video- und Performancekünstlerin
Köln und Wien (Österreich)

Prof. Dr. rer. nat. Sílvio R. Dahmen

Federal University of São Carlos
Department of Natural Sciences,
Mathematics and Education
Araras (Brasilien)

Prof. Dr.-Ing. Steffen Freitag

Karlsruher Institut für Technologie
Leitung des Instituts für Baustatik

Dr. med. Kai Kiwitz

Senior Data Scientist
METRO Markets GmbH
Düsseldorf

PD Dr. phil. Lore Knapp

Universität Bielefeld
Fakultät für Linguistik und
Literaturwissenschaft

Jun.-Prof. Dr. phil. Jan-Markus Kötter

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Institut für Geschichtswissenschaften
Juniorprofessur für Alte Geschichte
unter besonderer Berücksichtigung der
lateinischen Chronistik der Spätantike

PD Dr.-Ing. Patrick Kurzeja

Technische Universität Dortmund
Institut für Mechanik

Lea Letzel

Künstlerin, Regisseurin
Köln und Salzburg (Österreich)

PD Dr. phil. Christoph Michels

Universität Münster
Seminar für Alte Geschichte

Dr.-Ing. Carola Neugebauer

Leitung Kompetenzzentrum
Regionalentwicklung
Bundesinstitut für Bau-, Stadt-
und Raumforschung
Cottbus

Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste

Ob bewusst oder unbewusst, gewollt oder ungewollt – Netzwerke begegnen uns heute sowohl im Alltag als auch im Berufsleben ständig, oder wir sind selbst Teil von Netzwerken. Doch welche Rollen und Funktionen können Netzwerke annehmen, und wer sind ihre belebten und unbelebten Akteure? Wie unterstützen beispielsweise künstliche neuronale Netze den Tunnelbau, wie tragen Netzwerkanalysen zur Untersuchung von Interaktionen in literarischen Werken bei und welche Rolle spielen sie in der Stadtplanung? Der vorliegende Band setzt sich mit diesen Fragen auseinander und beleuchtet den Einsatz von Netzwerkmetaphern und -theorien künstlerisch sowie aus ganz verschiedenen geistes- und naturwissenschaftlichen Perspektiven.