

Diagrammatische Denkwerkzeuge in den Digital Humanities – Ansatz zur zeichentheoretischen Grundlegung

Ingo Frank, Leibniz-Institut für Ost- und Südosteuropaforschung, Regensburg

Summary. The article uses examples of synchroptical views of timelines, diagrams of historical narratives about complex interrelations and cognitive maps to show how the generation of an explanatory hypotheses by abductive reasoning supported by means of interactive information visualization tools and, more generally, how the application of such diagrammatic thinking tools in order to create new insights in the Humanities can be explained semiotically. Thus, the article demonstrates how semiotics can make a theoretical contribution to the Digital Humanities, both on its Computer Science side as well as on its Humanities side. Formal modeling as the core of the Digital Humanities is a necessary precondition for the automatic processing of humanistic research activities. This concerns both the algorithmic and the technical level of the informational implementation as well as the computational level of the diagrammatic representation. A semiotic explanation can concentrate on the computational level, without having to go into the algorithmic and technical details of the implementation. A semiotic theory of Digital Humanities may therefore focus on the analysis of diagrammatic thinking tools to support and extend humanities research in terms of an augmenting human(ist) intellect approach.

Zusammenfassung. Im Aufsatz wird mit Beispielen von synchroptischen Zeitleisten-diagrammen, Diagrammen für historische Narrative komplexer Zusammenhänge und kognitiven Karten gezeigt, wie die Generierung von explanatorischen Hypothesen mittels interaktiver Visualisierungswerkzeuge als Abduktion und allgemein der Gebrauch von solchen Werkzeugen zum diagrammatischen Denken zur Erlangung geisteswissenschaftlicher Erkenntnis semiotisch erklärt werden kann. Damit demonstriert der Artikel, wie sowohl auf informatischer Seite als auch auf geisteswissenschaftlicher Seite die Semiotik einen theoretischen Beitrag zu den Digital Humanities leisten kann. Formale Modellierung als Kern der Digital Humanities ist dabei notwendige Voraussetzung für die informatische Verarbeitung geisteswissenschaftlicher Forschungstätigkeiten. Das betrifft sowohl die algorithmische und die technische Ebene der informatischen Implementierung als auch die computationale Ebene der diagrammatischen Repräsentation. Eine semiotische Erklärung kann

sich dabei auf die computationale Ebene konzentrieren, ohne auf die algorithmischen und technischen Details der Implementierung eingehen zu müssen. Eine semiotische Theorie der Digital Humanities kann daher den Schwerpunkt der Analyse auf die Untersuchung diagrammatischer Denkwerkzeuge zur Unterstützung und Erweiterung geisteswissenschaftlicher Forschung im Sinne eines Augmenting Human(ist) Intellect-Ansatzes legen.

1. Einleitung

Im Artikel setze ich zu einer Theorie an, mit der *Intelligence Augmentation* im Bereich der Digital Humanities durch die Verwendung von diagrammatischen ‚Denkwerkzeugen‘ erklärt werden kann (Abschnitt 1). Der Aufsatz betrachtet anschließend zwei Aspekte. Im ersten Teil (Abschnitt 2) werde ich zeigen, wie mit Semiotik allgemein die Interaktion zwischen Mensch und Computer erklärt werden kann. Im zweiten Teil (Abschnitt 3) werde ich anhand von konkreten Anwendungsbeispielen zeigen, dass eine semiotische Herangehensweise an die Digitalen Geisteswissenschaften vor allem Möglichkeiten für die Unterstützung formaler Methoden bietet.

Im *Studien- und Forschungsführer Informatik* wird Informatik treffenderweise als „Mechanisierung angeblich geistiger Tätigkeiten“ (Brauer u.a. 1989: 54) charakterisiert. Mit Zeichentheorie lässt sich erklären, was es damit auf sich hat. Im Artikel werde ich dazu auf Frieder Nakes Auffassung von Informatik als „Technische Semiotik“ (Nake 2001) zurückgreifen. Mit Peirce’scher Semiotik kann damit der Übergang von Zeichenprozessen zwischen Mensch und Maschine zu reiner Signalverarbeitung in der Maschine und zurück zu Zeichenprozessen erklärt werden. Vergleichbar mit Searles chinesischem Zimmer macht die Maschine dabei etwas ganz anderes als ein Mensch, wenn er eine ‚angeblich geistige Tätigkeit‘ ausführt. Ich werde den ersten Teil damit abschließen, mithilfe von Perlis’ Epigramm Nr. 23 (Perlis 1982) zu zeigen, dass nur solche geistigen Tätigkeiten mechanisiert werden können, die algorithmisiert und auf digitale Signalverarbeitung reduziert werden können, ohne in dieser mechanisierten Form noch auf Bewusstseinsleistungen in Semiosen angewiesen zu sein (deshalb ‚angeblich geistig‘). Außerdem wird geklärt, wie eigentlich ‚digital‘ verstanden werden muss und dass mit Turing (1950) gesprochen die digitale Rechenmaschine streng genommen gar nicht existiert, sondern selbst semiotisch aufzufassen ist.

Im zweiten Teil betrachte ich die Digital Humanities als Disziplin, die im Kern auf formaler Modellierung beruht, um Repräsentationen ihrer Untersuchungsgegenstände zu erstellen (vgl. Piotrowski 2016). Geisteswissenschaftler sind durch diesen Formalisierungsansatz gezwungen, explizit zu werden, und Digital Humanities-Werkzeuge unterstützen dabei diagrammatisches Denken und dienen als Hypothesengeneratoren. Diesen ‚Denkwerkzeug‘-Charakter werde ich anhand von Beispielen zur explorativen Analyse und Visualisierung komplexer Zusammenhänge mit Diagrammen demonstrieren und semiotisch erklären. Ich konzentriere mich dabei

auf Karten als Diagrammtyp. Eine Karte ist ein komplexes Zeichen (vgl. Nöth 1998; Hoffmann 2009) und ist als solches nicht auf die Repräsentation geographischer Zusammenhänge beschränkt, sondern kann etwa auch die Entwicklung historischer Prozesse und die Komplexität der sozialen Realität abbilden.

2. Augmenting Human(ist) Intellect

Bei der Entwicklung von Digital Humanities-Werkzeugen geht es in erster Linie um die Bereitstellung von Computerprogrammen zur Unterstützung und Erweiterung der intellektuellen Fähigkeiten geisteswissenschaftlicher Forscher, um Fragestellungen bearbeiten zu können, die ohne Computerunterstützung nicht bzw. nur mit erheblichem Zeit- und Arbeitsaufwand bewerkstelligt werden könnten. Es geht nicht um die Automatisierung des geisteswissenschaftlichen Forschungsprozesses: Anstatt Artificial Intelligence wird Intelligence Augmentation angestrebt. – Es geht sozusagen um die Entwicklung von Denkwerkzeugen anstatt Denkmaschinen. Diese Auffassung von Computer-gestützter geisteswissenschaftlicher Forschung verrete ich jedenfalls in diesem Aufsatz.

Eine kurze Geschichte der Künstlichen Intelligenz-Forschung zeigt im Folgenden den Kontrast zum Intelligence Augmentation-Ansatz und dessen Relevanz gerade auch für die (digitalen) Geisteswissenschaften. Eine deutliche Ankündigung der Künstlichen Intelligenz findet man in Alan Turings Artikel *Computing Machinery and Intelligence* von 1950:

We may hope that machines will eventually compete with men in all purely intellectual fields (Turing 1950: 460).

Die zehn Jahre später erfolgte Ankündigung der Denkwerkzeuge wird ganz ähnlich eingeleitet:

The hope is that, in not too many years, human brains and computing machines will be coupled together very tightly, and that the resulting partnership will think as no human brain has ever thought and process data in a way not approached by the information-handling machines we know today (Licklider 1960: 4).

Im Forschungsprogramm zur Entwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI) stellte sich währenddessen bei den Informatikern recht schnell Ernüchterung ein, wie Perlis' Epigramm Nr. 79 recht anschaulich macht: „A year spent in artificial intelligence is enough to make one believe in God“ (Perlis 1982). Perlis spielt in diesem Epigramm auf die klassische KI-Forschung mit ihrem Symbolverarbeitungsparadigma und dem Ansatz expliziter Wissensrepräsentation an, wonach für ein KI-System möglichst viel Wissen aufbereitet werden muss, um intelligentes Verhalten zu ermöglichen. Einen Ausweg aus diesem Problem hat im Prinzip schon Turing (1950: 456) mit

seiner Idee der „child machine“ vorgeschlagen, die die neueren Erfolge des Maschinenlernens mit Methoden wie Deep Learning zum Trainieren von künstlichen neuronalen Netzen in Aussicht stellt.¹ Erfolgssaussichten des Forschungsprogramms will ich aber hier gar nicht weiter ausloten, da es mir hier um einen Ansatz zur Mensch-Maschine-Interaktion geht.

In meiner Abgrenzung zum KI-Ansatz stelle ich beim Intelligence Augmentation-Ansatz den Werkzeugcharakter der informationsverarbeitenden Maschinen in den Mittelpunkt. Beim Einsatz von KI-Systemen hingegen hat man es vielmehr mit Dialog-Partnern zu tun, mit denen auf symbolischer Ebene bzw. sprachlich kommuniziert wird, die also aus Sicht des Benutzers nicht in erster Linie als Werkzeug wahrgenommen werden. Es kommt außerdem gar nicht unbedingt darauf an, welche Methoden eingesetzt werden, sondern wie der Benutzer die Maschine auffasst – als selbstdenkende, autonom agierende Maschine oder als Werkzeug zur Verbesserung seiner eigenen Erkenntnismöglichkeiten.

Verfahren der Künstlichen Intelligenz können durchaus auch in Denkwerkzeugen zum Einsatz kommen, um im Hintergrund z.B. automatisch spezielle Klassifikationsaufgaben (etwa für Texte in der Literaturwissenschaft oder Bilder in der Kunstgeschichte) zu lösen. An der Benutzeroberfläche geht es allerdings um die diagrammatische Darstellung der mit verschiedenen Algorithmen aufbereiteten Information, um daraus durch interaktive Handhabung im Rahmen des geisteswissenschaftlichen Forschungsprozesses neue Erkenntnisse zu gewinnen. Um diesen Prozess gemäß dem traditionellen Ansatz der Künstlichen Intelligenz zu automatisieren, würde man in den Digital Humanities genau genommen Maschinen brauchen, die *v e r s t e h e n* können (siehe Gradmann 2009). Nicht nur wegen der offensichtlichen Aussichtslosigkeit und Abwegigkeit des Künstliche Intelligenz-Forschungsprogramms in diese Richtung erscheint der Ansatz zur Entwicklung von Denkwerkzeugen naheliegender, sondern vor allem auch aufgrund der Anforderungen, die durch den Augmenting Human(ist) Intellect-Ansatz erfüllt werden sollen:

By “augmenting human intellect” we mean increasing the capability of a man to approach a complex problem situation, to gain comprehension to suit his particular needs, and to derive solutions to problems. Increased capability in this respect is taken to mean a mixture of the following: more-rapid comprehension, better comprehension, the possibility of gaining a useful degree of comprehension in a situation that previously was too complex, speedier solutions, better solutions, and the possibility of finding solutions to problems that before seemed insoluble. And by “complex situations” we include the professional problems of diplomats, executives, social scientists, life scientists, physical scientists, attorneys, designers—whether the problem situation exists for twenty minutes or twenty years (Engelbart 1962: 1)

In den Digital Humanities werden zum Erreichen entsprechend forschungsunterstützender und -erweiternder Ziele bevorzugt Visualisierungen eingesetzt, um die Gewinnung neuer Erkenntnisse über explorative Analyse zu

ermöglichen. „Wenn Visualisierungen zentral für Erkenntnisgewinne in den Digital Humanities sind, ist die Erwartung naheliegend, dass eine ausgearbeitete Methodologie oder Hermeneutik für die Interpretation von Visualisierungen vorliegt. Dies ist jedoch nicht der Fall“ (Schaal und Lancaster 2016: 7).

Weil diagrammatische Darstellungen für solche Visualisierungswerkzeuge zentral sind und weil diese Werkzeuge vor allem auch die Erschließung neuer Erkenntnis ermöglichen sollen, sollten diese Elemente methodologisch ausgearbeitet werden. Die folgende Definition von Diagramm passt zum Prozesscharakter von Peirces „diagrammatic reasoning“: „A *Diagram* is a representamen which is predominantly an icon of relations [. . .]. It should be carried out upon a perfectly consistent system of representation [. . .]“ (CP 4.418; Hervorhebung im Original). Im Rahmen der Regeln des Repräsentationssystems wird dann mit dem Diagramm experimentiert und idealerweise werden dadurch neue Ideen entwickelt, was nach Peirce durch die Bildung erklärender Hypothesen geschieht: „Abduction is the process of forming an explanatory hypothesis. It is the only logical operation which introduces any new idea“ (CP 5.171). Die Themen diagrammatisches Denken und Abduktion würden also für den theoretischen Unterbau von Visualisierungswerkzeugen in den Digital Humanities offensichtlich einen wichtigen Beitrag leisten. Es liegt hier also nahe, dass – mit Frieder Nake gesprochen² – die Zeichenthematik den digitalen Geisteswissenschaften gut anstünde. Wir werden das in den folgenden beiden Abschnitten genauer betrachten. Die Relevanz einer theoretischen Fundierung durch Semiotik wird sich dabei insbesondere im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion zeigen. Burghardt und Wolff (2014) bezeichnen das Gebiet der Human Computer Interaction bezogen auf die Digital Humanities als *Humanist-Computer Interaction*, woran meine Bezeichnung *Augmenting Humanist Intellect* für den Ansatz zur Unterstützung und Erweiterung geisteswissenschaftlicher Forschung anknüpft.

3. Digital Humanities zwischen Ingenieurs- und Geisteswissenschaft

Im *Studien- und Forschungsführer Informatik* von Brauer u.a. (1989) findet man eine sehr schöne und zutreffende Charakterisierung von Informatik:

Fundamentale Grundbegriffe der Informatik, wie der Begriff des mechanisch ablaufenden Prozesses, der Begriff des Algorithmus, die Ideen der formalen Beschreibung (etwa der Regeln des logischen Schließens) und der Konstruktion künstlicher Sprachen, sowie der Mechanisierung angeblich geistiger Tätigkeiten (wie das Rechnen mit Zahlen oder das Umformen algebraischer Ausdrücke) und die Versuche, Automaten zu bauen, gehen zum Teil bis auf das griechische Altertum zurück und gewinnen seit dem Mittelalter, insbesondere wegen ihren engen Beziehungen zu Problemen der Mathematik und Philosophie immer mehr an Bedeutung – ein erster Höhepunkt dieser Entwicklung ist das Werk von Gottfried Wilhelm Leibniz, der aus vielerlei Gründen zu den Begründern der Informatik zu rechnen ist (Brauer u.a. 1989: 54).

Für die vorliegende Untersuchung ist insbesondere der Aspekt der „Mechanisierung angeblich geistiger Tätigkeiten“ relevant, da es uns ja um den *Augmenting Humanist Intellect*-Ansatz geht. Im Folgenden werde ich zeigen, wie in einem semiotischen Rahmen theoretisch geklärt werden kann, was es mit dieser ‚Mechanisierung‘ auf sich hat.

Frieder Nake hat bereits in den 1990er Jahren Peirce’sche Semiotik als theoretische Grundlage für die Informatik vorgeschlagen. Mit seiner Auffassung von Informatik als Technischer Semiotik gelingt uns auch ein Brückenschlag vom ingenieurwissenschaftlichen in den geisteswissenschaftlichen Bereich:

Indem die Informatik sich als eine Technische Semiotik erweist, und algorithmische Semiosen ihre Gegenstände sind, deutet sich der schillernde Charakter der Informatik an, der ihr im Kreise der etablierten Grenzziehungen und Disziplinen manchmal Schwierigkeiten bereitet. Ich spreche die – gar nicht furchtbar witzige – Frage an, ob es sich bei der Informatik um eine Ingenieur- oder eine Sozialwissenschaft handle, um eine Geisteswissenschaft gar, eine Naturwissenschaft doch wohl nicht etwa? Es handelt sich um eine Ingenieurwissenschaft, insofern die Informatik *algorithmische* Semiosen betrachtet. Denn das Algorithmische ist heute unlösbar mit seiner maschinellen Realisierung verbunden. Es handelt sich aber gleichzeitig um eine Sozial- oder Geisteswissenschaft, insofern die Informatik algorithmische *Semiosen* betrachtet. Denn Zeichenprozesse sind der Gegenstand jener Disziplinen. (Nake 1998: 6f.; Hervorhebung im Original).

Aber geht es der Sozial- und Geisteswissenschaft wirklich um algorithmische Semiosen? – Der digitalen Geisteswissenschaft – in der Visualisierungswerkzeuge erkenntniserweiternde Unterstützung bei der Forschung leisten sollen – muss es wohl um Zeichenprozesse zur Interaktion zwischen Geisteswissenschaftler und Computer gehen. Im Folgenden geht es mir daher insbesondere um den Prozess des diagrammatischen Denkens, d.h. um die Unterstützung geisteswissenschaftlicher Forschung durch Computer-basierte Werkzeuge zur visuellen Analyse im Rahmen digitaler Geisteswissenschaften. Digital Humanities muss dazu (auf der informatischen Seite) durch „Maschinisierung von Kopfarbeit [. . .] Zeichen und Semiosen auf Maschinen übertragen [werden]. Und um das zu können, muss sie selbst in Zeichen gefaßt werden“ (Nake 1998: 8). Es geht dabei (auf der geisteswissenschaftlichen Seite) um die kritische Betrachtung und Bereitstellung algorithmischer Semiosen zum Denken mit Maschinen – nicht um den Einsatz von denkenden Maschinen, wie etwa in der Forschung zur Künstlichen Intelligenz angestrebt.³

Bevor nun auf die semiotischen Aspekte der Mechanisierung bzw. Algorithmisierung ‚angeblich geistiger Tätigkeiten‘ im Rahmen einer Technischen Semiotik eingegangen wird, erfolgt eine kurze Einführung in Peirce’sche Semiotik als Grundlage einer ‚digitalen Semiotik‘.

Signale sind eine besondere Zeichenart. In ihnen fallen Interpretant und Objekt zusammen. Die Bedeutungsrelation geht auf in der Bezeichnungsrelation. Damit geht die interpretierende Vielfalt verloren.

Existiert nun auf der Seite der zeichenstiftenden Instanz darüber hinaus kein Bewusstsein, d.h. werden dort Zeichen nicht aus freien Stücken geschaffen, sondern in Form von Befehlen nur empfangen, so besteht nicht einmal die Möglichkeit, ein und dasselbe Repräsentamen zu unterschiedlichen Objekten ins Verhältnis zu setzen (Nake 2001: 740).

An dieser Stelle wird mit Hilfe der Zeichentheorie auch klar, was mit der „Mechanisierung angeblich geistiger Tätigkeiten“ gemeint ist:

Mit einer solchen Quasi-Interpretationsinstanz haben wir es beim Computer zu tun. Wir können ihm keinerlei Intelligenz zumessen, müssen aber feststellen, dass auf ihn einzelne geistige Tätigkeiten in formalisierter und dann maschinierter Form durchaus übertragen werden können. [...] Die Interpretation, die der Mensch einem Software-Element oder -Ereignis zukommen läßt, ist von vollständig anderer Art als jene Interpretation, die der Computer zum gleichen Zeitpunkt und aus gleichem Anlaß leistet (Nake 2001: 740).

Der Computer bringt die gleichen Ergebnisse hervor, aber nicht in einem geistigen, genuin semiotischen Prozess, sondern durch einen rein mechanischen Ablauf der Signalverarbeitung. Was genau dabei ‚angeblich geistige Tätigkeit‘ bedeutet, kann im Folgenden durch die Gegenüberstellung von symbolverarbeitenden Systemen und zeichenverarbeitenden Systemen am Beispiel des von John Searle vorgestellten Gedankenexperiments vom chinesischen Zimmer verdeutlicht werden. Obwohl die gleichen Ergebnisse geliefert werden, sind die Prozesse, die dazu führen, nicht dieselben (vgl. Fetzer 2002). Symbolverarbeitung im Sinne von Signalverarbeitung in einem Computer ist hier zu unterscheiden von bewusstem Symbolgebrauch durch einen Menschen im Sinne von genuinen Zeichenprozessen. Die Symbole in der Symbolverarbeitung sind semiotisch betrachtet eigentlich gar keine Symbole, da sie für den verarbeitenden Computer ohne Bedeutung sind. Während der Mensch bewusst Symbole gebraucht (also Zeichen verarbeitet), macht der Computer etwas ganz anderes: rein mechanische Signalverarbeitung.

Bei der Gegenüberstellung eines semiotischen Systems und eines symbolischen Systems (siehe Fetzer 2001) wird deutlich, dass dem symbolischen System für einen vollständigen Zeichenprozess der – für genuine Semiose wesentliche – Bezug des Zeichens zum Interpretanten fehlt (vgl. Nöth 2003). Trotzdem können symbolische Systeme dieselben Leistungen vollbringen – sofern die entsprechenden mentalen Tätigkeiten algorithmisierbar und implementierbar sind. Mit Hilfe des Gedankenexperiments vom chinesischen Zimmer kann nun dieser grundsätzliche Unterschied in der Verarbeitungsweise von Zeichen und Signalen geklärt werden.

Im chinesischen Zimmer sitzt eine Person, die die chinesische Sprache nicht beherrscht. Die Person befolgt mechanisch Übersetzungsregeln und

manipuliert Symbole, das heißt chinesische Schriftzeichen. Dadurch ist sie imstande, Anfragen auf Chinesisch, die von außen in das Zimmer gereicht werden, zu bearbeiten und die Ergebnisse aus chinesischen Schriftzeichen zusammensetzen und als Antwort nach außen zu reichen. Dabei versteht die Person die Sprache nicht. Von außen betrachtet erweckt sie allerdings den Anschein, Chinesisch zu verstehen. Setzt man eine andere Person, die Chinesisch versteht, in das Zimmer, würde diese ganz anders vorgehen: Anstatt Symbole nach einem vorgegebenen Regelwerk zu manipulieren, würde sie die chinesischen Anfragen tatsächlich verstehen und darauf antworten. Wie das Gedankenexperiment zeigt, ist aber eigentlich gar keine bewusste Informationsverarbeitung erforderlich, um chinesische Schriftzeichen zu übersetzen. Man kann daher von der Übersetzungstätigkeit als einer ‚angeblich geistigen Tätigkeit‘ sprechen.

Wir sehen nun, ‚angeblich geistig‘ heißt daher so viel wie formalisierbar, das heißt einen ursprünglich mentalen Prozess in eine andere (zuerst algorithmisierte und dann mechanisierte) Form bringen zu können, in der schließlich ein rein mechanischer Prozess (die technische Implementierung) das gleiche Ergebnis hervorbringt. Mit Perlis' Epigramm Nr. 23 können wir abschließend zeigen, wie die Mechanisierung einer angeblich geistigen Tätigkeit aus der Perspektive verschiedener Ebenen verstanden werden kann, indem sie aus Sicht der algorithmischen Beschreibung und der technischen Implementierung analysiert wird. Perlis (1982) schreibt: „To understand a program [als auf der Maschine laufendes Programm bzw. technische Implementierung] you must become both the machine and the program [als Text bzw. algorithmische Beschreibung].“ Dass das laufende Programm als technische Implementierung etwas anderes macht als das, was durch den Algorithmus beschrieben wird, sieht man auch sehr gut an Husserls Beispiel der Rechenmaschine: „Niemand wird, um den Gang der Maschine physikalisch zu erklären, statt der mechanischen [Ebene der technischen Implementierung] die arithmetischen Gesetze [Ebene der algorithmischen Beschreibung] heranziehen“ (Husserl 1975: § 22: 68).

Die interessante – hier aber nicht weiter verfolgte – Frage wäre nun, welche Bewusstseinsleistungen (im Sinne einer Mechanisierung angeblich geistiger Tätigkeiten) nicht von einer Maschine realisiert bzw. implementiert werden können:

Precisely how much of the business of thinking a machine could possibly be made to perform, and what part of it must be left for the living mind, is a question not without conceivable practical importance; the study of it can at any rate not fail to throw needed light on the nature of the reasoning process (Peirce 1887: 165).

Was nicht algorithmisiert und in reine Signalverarbeitung transformiert werden kann, wäre für Peirce jedenfalls Kreativität und die Fähigkeit zu abduktivem Schlussfolgern (siehe auch Peirce 1868; Nöth 2003).

Die Eigenschaft ‚digital‘ zur Charakterisierung von Methoden oder auch Computern ist bei semiotischer Betrachtung wenig hilfreich. Deutlich wird dies durch das folgende Zitat aus Alan Turings Artikel *Computing Machinery and Intelligence* und die anschließende semiotische Auslegung.

Strictly speaking there are no such machines. Everything really moves continuously. But there are many kinds of machine, which can profitably be thought of as being discrete state machines (Turing 1950: 439).

Liest man diese Stelle semiotisch, muss man einsehen, dass eigentlich nur aufgrund der Interpretation des menschlichen Beobachters ein physikalisches System als Maschine, die diskrete Mathematik betreibt, aufgefasst wird.

Die Analyseebenen nach Marr (1982) eignen sich, wie gezeigt, zur Untersuchung von Zeichenprozessen auf verschiedenen Ebenen. Wie in Marrs kognitionswissenschaftlicher Forschung ist es damit möglich, die kognitiven Phänomene auf der computationalen Ebene zu erforschen – mehr oder weniger (siehe dazu Zitat aus Peirce (1887) oben) unabhängig von den Ebenen der algorithmischen und technischen Realisierung.⁵ Was uns nämlich eigentlich interessiert, sind semiotische Vorgänge auf der computationalen Ebene, d.h. dort, wo es um die Handhabung von Computerprogrammen als Hilfsmittel der geisteswissenschaftlichen Forschung geht. Im zweiten Teil des Artikels liegt der Schwerpunkt der Untersuchung daher auf semiotischen Aspekten jenseits der „maschinellen Realisierung“ (Nake 1998: 7) auf den Ebenen der algorithmischen und technischen Implementierung.

4. Diagramme als Denkwerkzeuge

In den Ingenieur-, Natur- und Kognitionswissenschaften ist der Einsatz von Diagrammen zum Gewinnen neuer Erkenntnisse lange etabliert (siehe Bechtel 2017).⁶ In den Geisteswissenschaften ist nach wie vor die Arbeit am Text vorherrschend. Die neuen digitalen Geisteswissenschaften setzen in ihrem Kern formale Modellierung voraus, um geisteswissenschaftliche Fragestellungen mit Hilfe von Computern bearbeiten zu können.⁷ Damit bieten sie der Semiotik als formaler Disziplin⁸ über ihren Formalisierungsansatz (siehe Piotrowski 2016) einen Anknüpfungspunkt zur theoretischen Fundierung von diagrammatischem Denken mittels interaktiver Visualisierungswerkzeuge.

4.1 Diagrammatische Repräsentation

Mit Rückblick auf die triadische Zeichenrelation in Abbildung 1 ist für die weitere Untersuchung die ikonische Objektrelation zentral. Bei der ikonischen Beziehung zwischen Zeichen und Objekt besteht eine Ähnlichkeits-

relation. Es gibt drei Arten von Ikonen: Bilder, Diagramme und Metaphern. Ein Bild repräsentiert ein Objekt durch Qualitäten wie etwa Farben und Formen. Die folgende Untersuchung konzentriert sich auf Diagramme als ikonische Zeichen, die Ähnlichkeiten als Relationen repräsentieren, d.h., „diagrams resemble their objects not at all in looks; it is only in respect to the relations of their parts that their likeness consists“ (CP 2.282). Eine Karte bildet z.B. als diagrammatisches Ikon räumliche Relationen zwischen Orten ähnlich ab (vgl. Nöth 1998: 37). Peirces Definition von ‚Diagramm‘ lautet wie folgt:

A *Diagram* is a representamen which is predominantly an icon of relations and is aided to be so by conventions. Indices are also more or less used. It should be carried out upon a perfectly consistent system of representation, one founded upon a simple and easily intelligible basic idea (CP 4.418; Hervorhebung im Original).

Karten sind ein verbreiteter Diagrammtyp. Kartendiagramme sind komplexe ikonische Zeichen (vgl. Hoffmann 2009: 258), die sowohl ikonische Aspekte als auch indexikalische und symbolische Aspekte enthalten (vgl. Nöth 1998: 35). Als Ikonen sind Karten in erster Linie Diagramme, da sie hauptsächlich Relationen zwischen geographischen Entitäten repräsentieren (vgl. Ljungberg 2016). Ein Beispiel für eine geographische Karte wäre die bekannte Karte von Charles Joseph Minard zum Russland-Feldzug Napoleons. Minards Karte gilt als „kanonisches Werk der Diagrammatik“ (Schneider und Wöpking 2016: 120). Sie enthält allerdings nicht nur geographische Elemente, sondern ist als gute Infografik auch ein Beispiel „für das narrative Potential von Diagrammen“ (Schneider und Wöpking 2016: 120). Als ‚Datenkarte‘ (Schneider und Wöpking 2016: 120) visualisiert sie die Größe der Armee an verschiedenen Orten, die Richtung des Vormarsches oder Rückzugs und weitere Daten über den Feldzug.

Karten bilden nicht einfach die Wirklichkeit, das heißt Landschaften, ab. Es gibt auch mentale Landkarten, die quasi die Verzerrung der geographischen Realität durch die subjektive Wahrnehmung darstellen (siehe Nöth 1998: 30). Schließlich müssen Karten überhaupt nicht geographisch sein, sondern können auch sozusagen der Kartographie des Wissens dienen (siehe etwa Shum und Okada 2008). Karten sind nicht nur geographisch und Diagramme allgemein sind nicht nur graphisch: Nach Peirces Auffassung können Diagramme auch in Textform wiedergegeben werden (siehe Hoffmann 2009: 249).⁹ Ein Satz wie z.B. ‚Napoleons Armee steht kurz vor Moskau.‘ kann demnach ebenso wie eine Zeichnung Relationen zwischen Entitäten darstellen – und zwar gemäß bestimmter Regeln (der Syntax einer Sprache), wie es Peirces Definition von Diagramm entspricht.

Durch diese Auffassung von Diagramm kommen wir zu einer interessanten Parallele zur Rolle von diagrammatischem Denken durch den Gebrauch von formaler Logik zur expliziten Darstellung philosophischer Probleme oder auch durch die Verwendung mathematischer Strukturen zur Modellierung in der Philosophie (siehe Steinhart 2009). Ein gutes Beispiel

ist hier auch die von Marbach (1993) eingeführte formale Notation zur Repräsentation von Bewusstseinsstrukturen. Gegenüber der herkömmlichen Beschreibung von Bewusstseinsstrukturen in phänomenologischen Texten hat eine solche diagrammatische Darstellung den großen Vorteil, dass sie eine einheitliche und eindeutige Kommunikation von phänomenologischen Forschungsgegenständen ermöglicht.

Auch im Bereich der Programmiersprachentheorie gibt es Anknüpfungspunkte zur Semiotik diagrammatischen Denkens. Wir können dazu an dieser Stelle auf den von Nake (2001) lobend erwähnten Artikel *Semiotics and Programming Languages* von Heinz Zemanek zurückgreifen.¹⁰ Zemanek beschreibt dort die Verwendung einer Programmiersprache als Werkzeug zur Präzisierung durch Formalisierung und zur Kommunikation mit sich selbst:

The language is the carrier and the implementation of ideas; since it is very hard to handle ideas in an abstract form, the language is an important instrument for the expression, refinement and precision of ideas. So a programming language is also a means of communication between a human being and himself (Zemanek 1966: 141).

Ein solcher Dialog mit sich selbst wird nicht nur durch den Einsatz von Programmiersprachen, sondern auch durch das Experimentieren mit visuellen Diagrammen ermöglicht, denn sowohl Kommunikation als auch Kognition kann mit diagrammatischen Mitteln erfolgen, wobei allerdings das Erschließen neuer Erkenntnisse nach Peirces semiotischer Theorie dem diagrammatischen Denken vorbehalten bleibt (vgl. Hoffmann 2011).

Wie wir später noch genauer sehen werden, ist die Konstruktion von Repräsentationssystemen der erste Schritt im Prozess des diagrammatischen Denkens. Damit haben wir einen Anknüpfungspunkt von Peirce'scher Semiotik als formaler Theorie und dem Formalisierungsansatz in den Digital Humanities. Die Definition von Piotrowski (2016) betont formale Modellierung als wesentlich für die Disziplin: „The digital humanities study the means and methods of constructing formal models in the humanities.“ Ein Modell repräsentiert dabei einen geisteswissenschaftlichen Untersuchungsgegenstand und ‚formal‘ besagt, dass diese Repräsentation logisch kohärent, nicht mehrdeutig und explizit sein muss (vgl. Piotrowski 2016). Das Ausmaß und die Qualität des Einsatzes formaler Modellierung ist als Merkmal geeignet, um das methodische Vorgehen der traditionellen von dem der digitalen Geisteswissenschaften zu unterscheiden. Zemanek (1992) kritisiert den Mangel an formaler Modellierung in den Geisteswissenschaften¹¹ und führt weiter aus:

Diese Formalismen müssen – das kann man nicht oft genug betonen – den Geisteswissenschaften äquivalent sein, und dürfen keine platten Anleihen oder Imitationen aus den Naturwissenschaften sein; im Gegenteil: Dort, wo solches passiert ist – und es *ist* passiert – wird man sich über die Rückgängigmachung den Kopf zerbrechen müssen (Zemanek 1992: 185).

Mit Rückblick auf die Frage nach der theoretischen Relevanz der Semiotik im Bereich der Programmiersprachentheorie kann man in diesem Kontext auch kritisch fragen, ob Geisteswissenschaftler Programmieren (oder zumindest Auszeichnungssprachen) lernen müssen, um sinnvoll digitale Geisteswissenschaft betreiben zu können, und solche formalen Unzulänglichkeiten in Zukunft zu vermeiden.¹² Anstatt hier aber noch weiter auf die Programmiersprachentheorie einzugehen, kommen wir nun zum Mehrwert für die digitalen Geisteswissenschaften, wie er durch formale Modellierung mit Hilfe von Diagrammen zustande kommt.

Eine Präzisierung geisteswissenschaftlicher Forschung durch diagrammatisches Denken ist z.B. bei der Erstellung historischer Narrative sinnvoll. Weil es in der Forschung zu Theda Skocpols Theorie sozialer Revolutionen (Skocpol 1979) wegen der Schwierigkeit, in ihren historischen Narrativen in Textform zwischen verschiedenen Ebenen und den Relationen zwischen Ebenen zu unterscheiden, immer wieder zu Fehlinterpretationen gekommen ist, empfehlen Goertz und Mahoney (2005) tatsächlich den Einsatz von Diagrammen, um kausale Narrative klar und explizit darzustellen.¹³

Der Einsatz von Diagrammen in vergleichenden historischen Studien erzwingt die explizite Darstellung von Relationen zwischen kausalen Faktoren und ermöglicht dadurch eine qualitative Verbesserung der Forschung. Ohne einen solchen „Zwang zur Präzisierung“, wie Mayntz (1967: 27) diesen wesentlichen Beitrag im Kontext der Frage nach der Rolle von Modellierung in der Soziologie nennt, führt die ‚soziologische Phantasie‘ dazu, dass in der Textform formulierte Zusammenhänge von einer „Aura des Assoziativen“ (Mayntz 1967: 28) umgeben werden. Diese Ungenauigkeit – womöglich sogar ‚Schwammigkeit‘ – sprachlich formulierter Aussagen wird durch die Formalisierung der Modelle zwangsläufig verringert (vgl. Kron und Lasarczyk 2006: 105f.).

Die Verwendung von Diagrammen zur Formalisierung und Präzisierung der Gedanken gibt es natürlich nicht erst seit dem Aufkommen der digitalen Geisteswissenschaften. In ihrem historischen Rückblick auf den Einsatz von Diagrammen in der philosophischen Ontologie beschreiben Øhrstrøm u.a. (2007: 378) den Ansatz zu diagrammatischer Ontologie wie folgt: „the diagram in a very effective manner, can make the conceptual relations clear to us, and that the very conceivability of a term may fundamentally depend on its relations to other terms or concepts“. Sie veranschaulichen diese Motivation, begriffliche Zusammenhänge in der Ontologie diagrammatisch zu repräsentieren, mit Beispielen aus Jacob Lorhards Ontologie-Lehrbuch *Ogdoas Scholastica* aus dem Jahr 1606. Ein aktuelleres Beispiel für diagrammatische Ontologie in der informationswissenschaftlichen Ontologie findet man in der diagrammatischen Repräsentation des semiotischen Dreiecks von Picca u.a. (2008) – wobei der Einsatz von Modellierungssprachen und Diagrammen in der Informatik und Informationswissenschaft selbstverständlich nichts Neues ist.

4.2 Beispiele diagrammatischer Denkwerkzeuge

Im Folgenden werde ich anhand von Beispielen die Relevanz der Semiotik als formaler Theorie für die Entwicklung und Anwendung von Visualisierungswerkzeugen in den Digital Humanities zeigen. Diagramme und diagrammatisches Denken aus der Peirce'schen Zeichentheorie ergänzen dazu die Methodologie des „Mapmaking“ (Szostak 2004) mit einem semiotischen Rahmenwerk.¹⁴ ‚Digital Mapmaking‘ verstehe ich dabei als Methode zur graphischen Darstellung und Bearbeitung geisteswissenschaftlicher Untersuchungsgegenstände und Fragestellungen in den Digital Humanities. Der Ansatz ist damit ein alternativer Weg zu geisteswissenschaftlicher Erkenntnis jenseits der „drückende[n] Tyrannis des abstrakten Denkgeschmacks“ (Auerbach 2016: 212) in der althergebrachten Textform.¹⁵ Wie bereits erwähnt, ist die Erstellung von Karten nicht auf die Aufbereitung geographischer Karten beschränkt, sondern umfasst z.B. auch Zeitleisten bzw. Zeitkarten zur Darstellung zeitlicher Relationen und kognitive Karten zur Visualisierung kausaler Zusammenhänge in der Vorstellung historischer Akteure (daher die Bezeichnung Cognitive Maps oder auch spezifischer Causal Maps) oder zur graphischen Repräsentation komplexer Zusammenhänge zur visuellen Analyse.

Bevor ich zu diagrammatischem Denken mittels kognitiver Karten komme, geht es mir zuerst um den vor allem in der Geschichtswissenschaft verbreiteten Diagrammtyp der Zeitleisten. Anhand eines kurzen historischen Rückblicks und einiger Beispiele werde ich den möglichen Mehrwert von Zeitleisten für explorative Visualisierung und Analyse zum diagrammatischen Denken im Rahmen geisteswissenschaftlicher Forschung aufzeigen. Es geht im Kontext von Peirces Konzept des diagrammatischen Denkens insbesondere darum, wie mit Hilfe von diagrammatischen Visualisierungswerkzeugen neues Wissen gewonnen werden kann. Ein Zitat aus dem Abstract von Champagne (2016) bietet dazu einen guten Einstieg: „Historians occasionally use timelines, but many seem to regard such signs merely as ways of visually summarizing results that are presumably better expressed in prose. Challenging this language-centered view, I suggest that timelines might assist the generation of novel historical insights.“ Es geht also nicht nur darum, die Ergebnisse historischer Forschung zu präsentieren, sondern das bekannte Wissen in geeigneter Form zu visualisieren, um daraus neues Wissen zu gewinnen. Genau darum geht es nach Peirce auch beim diagrammatischen Denken. Peirce spricht darum auch von Diagrammatic Reasoning, weil das logische Schlussfolgern neuer Erkenntnisse wesentlich für sein Konzept des diagrammatischen Schließens ist. Die notwendige Voraussetzung dafür ist allerdings eine logisch konsistente Repräsentation des bestehenden Wissens.

Ein gutes Beispiel für den Einsatz von parallelen Zeitleisten zur synchroptischen Visualisierung historischer Ereignisse ist die *Synchroptische Weltgeschichte* von Peters und Peters (1952) bzw. deren digitale Neuauflage von Behrendt u.a. (2010).¹⁶ Im Screenshot in Abbildung 2 sieht man

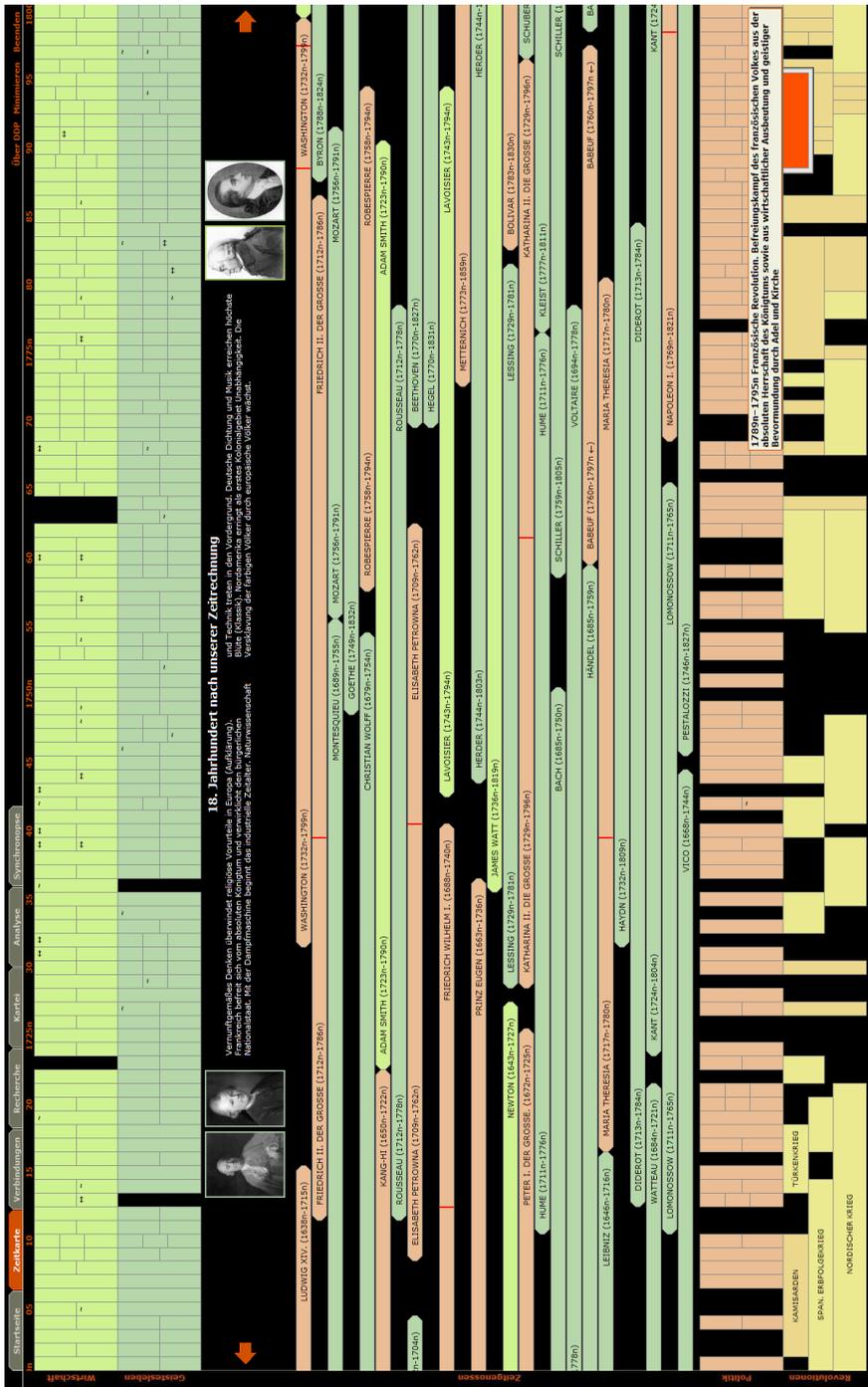


Abb. 2: Parallele Zeitleisten in der Zeitkarte aus der digitalen Edition (Behrendt u.a., 2010) von Peters' Synchronoptischer Weltgeschichte (Peters und Peters 1952).

die verschiedenen Kategorien mit den entsprechenden historischen Ereignissen im *Digitalen Peters*: Wirtschaft, Geistesleben, Politik, Kriege und Revolutionen sowie historische Personen. Die historischen Vorbilder für derartige Darstellungsformen sind die Diagramme von Joseph Priestley. Sein *Chart of Biography* von 1765 und sein *New Chart of History* von 1769 sind im gleichen Maßstab gezeichnet. Die beiden Diagramme sind daher miteinander kombinierbar, indem man sie übereinander legt. Die Karten ermöglichen somit die Gegenüberstellung von historischen Ereignissen und biographischen Ereignissen. Priestley beschreibt seine Zeitleisten-Diagramme als „most excellent mechanical help to the knowledge of history“ (Priestley 1786: 11). Eine Einschätzung, die sicherlich auch für den Digitalen Peters zutrifft. Die Frage ist allerdings, ob solche Diagramme auch dazu geeignet sind, neue historische Erkenntnisse zu gewinnen oder ob sie doch nur dabei helfen, sich einen schnellen Überblick über historische Zusammenhänge zu verschaffen.

Parallele Zeitleisten mit historischen Ereignissen aus verschiedenen Bereichen könnten als Hilfsmittel bei der Periodisierung verwendet werden. Luyt (2015: 1293) berichtet von einem Interview mit einem philippinischen Historiker, der den traditionellen Ansatz zur Periodisierung der Geschichte der Philippinen kritisiert, bei dem aufgrund der historiographischen Dominanz vorwiegend politische Ereignisse mit ihren kolonialen Akteuren betrachtet werden: Würde man hingegen den ökonomischen Ereignissen mehr Beachtung schenken, käme man zu einer anderen Einteilung der philippinische Geschichte in – insbesondere durch Außen- und Binnenhandel bestimmte – historische Epochen. Ein Visualisierungswerkzeug zur synchronoptischen Betrachtung von Ereignissen aus verschiedenen Kategorien wäre ein denkbarer Anwendungsfall für eine solche, nicht-konventionelle Periodisierung. Ein weiterer Anwendungsfall ist der Einsatz von synchronoptischer Visualisierung zur Analyse von lokalen, regionalen und internationalen Ereignissen im Kontext eines Konflikts auf verschiedenen Analyseebenen anhand paralleler Zeitleisten (siehe Abbildung 5 zum Ukraine-Konflikt in Peña-Araya u.a. 2017).

Champagne (2016) nennt die logische Verknüpfung durch visuelle Gegenüberstellung von Einträgen auf der Zeitleiste als wesentliche kognitive Funktion von Zeitleisten als Werkzeug für diagrammatische historische Untersuchungen. Zeitleisten ermöglichen dadurch das Entdecken überraschender Zusammenhänge zwischen historischen Ereignissen. Als diagrammatische Denkwerkzeuge können sie damit einen wesentlichen Beitrag bei der Erstellung von Narrativen zur Erklärung historischer Ereignisse und zu einem vollständigeren Verständnis historischer Zusammenhänge leisten.

Wie auch Champagne (2016) bemerkt, ist das Verhältnis zwischen einem Narrativ und dem historischen Material abduktiv im Sinne von Peirces abduktiver Schlussfolgerung.¹⁷ Wie mit Hilfe von Diagrammen neues Wissen generiert werden kann, das heißt, wie Zeitleisten als Hypothesengeneratoren dienen können, kann daher mit Peirces Konzept der Abduktion erklärt werden:

Abduction is the process of forming an explanatory hypothesis. It is the only logical operation which introduces any new idea; for induction does nothing but determine a value, and deduction merely evolves the necessary consequences of a pure hypothesis (CP 5.171).

Interessanterweise nennt Champagne in seinem Artikel als Beispiel für den entsprechenden Einsatz von Zeitleistendiagrammen eine Zeichnung von Paul Crusius aus dem 16. Jahrhundert. – Ein ‚analoges‘ Diagramm als Vorbild für digitale Visualisierungswerkzeuge? Crusius verwendet ein Zeitleistendiagramm, um das Auffinden geometrischer Korrelationen und Muster zwischen Zeitintervallen und wichtigen historischen Ereignissen zu ermöglichen. Rosenberg und Grafton (2015: 77) bezeichnen Crusius' Diagramm wegen der umfangreichen schematischen Darstellung von präzise datierbaren historischen Ereignissen auch als ‚Zeit-Karte‘.

Analoge Vorbilder findet man auch in methodologischer Forschung der Historischen Soziologie. Wie bereits erwähnt, empfehlen Goertz und Mahoney (2005: 506) den Einsatz von Diagrammen, um die komplexe Struktur von sogenannten Two-Level Theories deutlich zu machen. Sie begründen das damit, dass „a failure to appropriately conceptualize levels and relationships between levels“ immer wieder zu Fehlinterpretationen von Skocpols Theorie sozialer Revolutionen geführt hat. In den Interpretationen kommt es oft zur Verwechslung von kausalen und konstitutiven Zusammenhängen. Durch den Einsatz von Diagrammen können solche Fehlinterpretationen durch die explizite Darstellung der kausalen und konstitutiven Beziehungen vermieden werden:

For example, the examination of an ontological relationship between levels allows the analyst to explore the specific defining properties of the basic-level concepts that actually affect the outcome of interest. In this case of an ontological relationship, the specific properties identified in the secondary level are “mechanisms” that explain why the basic-level variables have the effects they do (Goertz und Mahoney 2005: 506).

Goertz und Mahoney (2005: 9) bringen die Sache wahrscheinlich als erste auf den Punkt, indem sie die formale Struktur von Skocpols Theorie sozialer Revolutionen folgendermaßen angeben: „State breakdown and peasant revolt are individually necessary and jointly sufficient for social revolution.“ Darüber hinaus führen sie auch – vermutlich ohne es zu wissen – formale Modellierung im Sinne von Peirces Diagrammatic Reasoning-Konzept durch. Die Besonderheit besteht nämlich darin, dass Goertz und Mahoney (2005) im Prinzip ein Repräsentationssystem im Sinne von Peirce' diagrammatischem Denken entwickeln und als „system of diagrammatization“ (NEM IV: 318) verwenden, um verschiedene Diagramme einiger Two-Level-Theorien zu zeichnen – mit dem Ziel, die komplexen Theorien dadurch explizit zu machen. Die Entitäten der Basis-Ebene werden durch Fettdruck der Bezeichnungen repräsentiert und die Art der Relationen durch entsprechende Linientypen (siehe Legende in Abbildung 3).

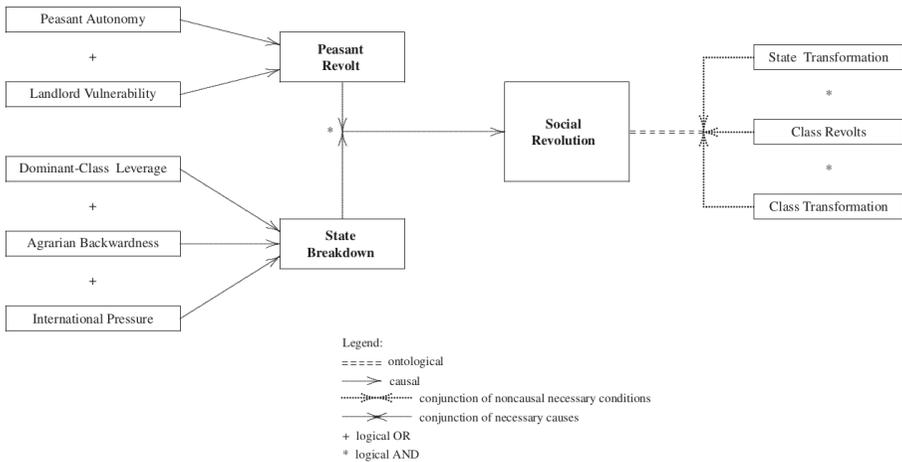


Abb. 3: Diagramm für Two-Level Theories zu Ursachen und Konstitution sozialer Revolutionen (aus Goertz und Mahoney 2005).

Man muss hier aufpassen, Modelle nicht mit Theorien zu verwechseln (siehe auch Moor 1978). Eine Two-Level-Theorie ist ein Repräsentationssystem, das allgemein die Struktur sozialer Revolutionen vorgibt und mit dem als „system of diagrammatization“ (NEM IV: 318) konkrete soziale Revolution diagrammatisch aufgebaut und dargestellt werden können. Ein so entstandenes Diagramm ist ein Modell einer spezifischen sozialen Revolution. Nach der Zeichenklassifikation von Peirce ist Skocpols Two-Level-Theorie für soziale Revolutionen ein rhematisch-ikonisches Legizeichen (S_3, OR_1, IR_1) und die Modelle der französischen, russischen und chinesischen Revolution sind rhematisch-ikonische Sinzeichen (S_2, OR_1, IR_1).¹⁸

Wenn man das Diagramm in Abbildung 3 als Schema zur Erstellung historischer Narrative betrachtet – und nicht als Ergebnis einer vergleichenden historischen Studie mit der Methode QCA (Qualitative Comparative Analysis), was das Diagramm eigentlich darstellt – liegt der Vergleich mit dem Periodensystem der chemischen Elemente nahe: Lücken im System müssen nach und nach ausgefüllt werden, um ein vollständiges Narrativ zur kausalen und konstitutiven Erklärung einer sozialen Revolution zu erhalten.

Da es dabei letztlich um ein vorgegebenes Grundgerüst für einen Text geht, das mit konkreten Textbausteinen ausgefüllt werden muss, um daraus ein kohärentes historisches Narrativ über die kausalen und konstitutiven Zusammenhänge zu bilden, können wir hier auch von Hypertext Maps bzw. Hypertext Mapping sprechen.¹⁹ Der Aufbau des allgemeinen Grundgerüsts sowie die Konstruktion konkreter Hypertext-Karten kann nämlich diagrammatisch erfolgen – z.B. mit typisierten Hyperlinks zur Repräsentation kausaler und konstitutiver Zusammenhänge in Hypertext-Narrativen. Nach der Einteilung von Hypertext-Systemen in *permissive*, *emergent*, *descriptive* (*meta-schematic*) und *prescriptive* Strukturierung von Marshall

u.a. (1994) haben wir bei der Erstellung eines spezifischen Hypertext-Narrativs bzw. einer Hypertext-Karte preskriptiven Hypertext, weil dessen Struktur durch ein Schema (die Two-Level Theory) fest vorgeschrieben ist.²⁰ Ein Hypertext-System, das die diagrammatische Repräsentation des Schemas für einzelne Hypertext-Karten unterstützen soll, muss deskriptive bzw. metaschematische Strukturierung ermöglichen, damit man damit das Schema für die hypertextuelle Struktur von konkreten Diagrammen mit einem allgemeinen Diagramm beschreiben kann und die Regeln zu deren Darstellung (z.B. als Spatial Hypertext – siehe auch Diagramm des kausalen Narrativs über die französische Revolution in Mahoney 1999) festlegen kann.

Kognitive Karten sind sehr gut geeignet, um den Charakter eines diagrammatischen Denkwerkzeugs zu veranschaulichen: Man kann in einer kognitiven Karte (oder genauer: kausalen Karte) kausale Faktoren oder Verbindungen hinzufügen und simulieren, wie sich das System verhält. Cognitive Maps (Axelrod 1976) oder deren Weiterentwicklung Fuzzy Cognitive Maps (Kosko 1986) sind dynamische Modellierungswerkzeuge zum Experimentieren und Simulieren. „With FCM it is usually easy to find which factor should be modified and how“ (Papageorgiou und Salmeron 2013). Dieser experimentelle Charakter der Vorgehensweise entspricht auch dem diagrammatischen Denken nach Peirce: „our thinking about hypotheses really consists in making experiments upon“ (CP 1.322). Damit kommen wir schließlich auch zur Definition von diagrammatischem Denken:

By diagrammatic reasoning, I mean reasoning which constructs a diagram according to a precept expressed in general terms, performs experiments upon this diagram, notes their results, assures itself that similar experiments performed upon any diagram constructed according to the same precept would have the same results, and expresses this in general terms (NEM IV: 47–48).

Diagrammatisches Denken mit Hilfe von Diagrammen definiert Peirce also als eine Vorgehensweise in drei Schritten:²¹

1. Konstruieren eines Diagramms
2. Experimentieren mit dem Diagramm
3. Beobachten und Analysieren der Ergebnisse

Die Konstruktion eines Diagramms im ersten Schritt erfolgt gemäß eines Repräsentationssystems (siehe Definition von Diagramm in CP 4.418). Beim anschließenden Experimentieren mit dem Diagramm kann man testen, ob die repräsentierten Zusammenhänge unplausibel erscheinen. Im dritten Schritt muss man sich dann gegebenenfalls fragen, ob das Diagramm ausreicht, um den untersuchten Gegenstand zu repräsentieren. Es gibt zwei Gründe, warum das nicht der Fall sein kann (siehe Hoffmann 2006): entweder das konkrete Diagramm ist nicht konsistent, vollständig und adäquat oder das allgemeine Repräsentationssystem ist nicht konsistent, vollständig und adäquat.

Einfluss. Die Stärke der kausalen Einflüsse wird durch die Dicke der Kanten repräsentiert. Die Größe der Knoten repräsentiert die Stärke der kausalen Einflussfaktoren zum Zeitpunkt des modellierten Zustands. Im dargestellten Szenario ist die politische Macht des kommunistischen Regimes in Polen durch den Einfluss der Gegenbewegungen, Proteste und den weit fortgeschrittenen wirtschaftlichen Zusammenbruch bereits sehr stark eingeschränkt. Die Wirtschaftskrise z.B. konnte sich so stark ausbreiten, weil die kommunistische Propaganda keine Regulierung der wirtschaftlichen Situation erlaubte.

Die Vorgehensweise beim diagrammatischen Denken passt zum Augmenting Humanist Intellect-Ansatz: Das Konstruieren und Experimentieren mit externen Repräsentationen erfolgt, um das Denken quasi auszulagern (siehe Hoffmann 2011) – und zwar in Fällen, die zu komplex sind, um ausschließlich mit internen Repräsentationen zu arbeiten und für die eine Repräsentation der komplexen Zusammenhänge in textueller Form zu umständlich wäre.

Netzwerkanalyse kann nach Szostak (2004) auch als Methode des Mapping aufgefasst werden. Historische Netzwerkforschung erfordert bei der Interpretation von Netzwerkdiagrammen zwar sehr viel Wissen über den historischen Kontext, aber die Visualisierungen stellen dennoch ein wichtiges heuristisches Werkzeug für den Forscher dar (vgl. Lemercier 2015). Diagrammatisches Denken eignet sich in diesem Rahmen auch gut, um das Hintergrundwissen zu erschließen und explizit zu machen. Hoffmann (2005a) etwa stellt dazu die Methode des Logical Argument Mapping vor (siehe auch Mancini und Shum 2006). Hoffmann (2005b) schlägt in dem Kontext auch eine semiotische Rekonstruktion von geisteswissenschaftlichem Verstehen vor.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben gesehen, dass die Semiotik nicht nur „der Informatik gut anstünde“ (Nake 2001), sondern auch den Digital Humanities eine theoretische Fundierung bieten kann, die es der neuen Disziplin ermöglicht, das geisteswissenschaftliche Arbeiten mit interaktiven Visualisierungswerkzeugen zur Generierung von Forschungshypothesen und zum Experimentieren mit Diagrammen auf der soliden theoretischen Grundlage von Peirces Methodologie der Abduktion und diagrammatischen Denkens zu erklären. Für Peirce ist Semiotik eine formale Disziplin, die quasi als eine Logik der Zeichen und möglichen Zeichentypen und -relationen sowie der möglichen Zeichenprozesse dient. Damit passt sie sehr gut zum Formalisierungsansatz der Digital Humanities mit dem Anliegen der Konstruktion formaler – d.h. logisch kohärenter, eindeutiger und expliziter – Modelle zur Repräsentation geisteswissenschaftlicher Untersuchungsgegenstände (siehe Piotrowski 2016). Wir haben gesehen wie der Aufbau und das Arbeiten mit solchen Modellen mit Hilfe von Zeichentheorie theoretisch erfasst werden

kann. Hoffmann (2005a) bezeichnet diagrammatisches Denken auch als „model-based reasoning“, weil Diagramme zur regelgeleiteten ikonischen Repräsentation von Relationen als formale Modelle aufgefasst werden können und auf Basis solcher Modelle diagrammatisches Denken durchgeführt werden kann. Formale Modelle selbst können als Ikonen verstanden werden, wie kürzlich Ciula und Eide (2017) für den Bereich der Digital Humanities gezeigt haben.²² Modelle dienen im Prozess des „modeling for understanding“ (Eide 2015; Ciula und Eide 2017) schließlich dem geisteswissenschaftlichen Verstehen. Die Anforderungen an den Aufbau eines den geisteswissenschaftlichen Fragestellungen und Untersuchungsgegenständen adäquaten Repräsentationssystems für diagrammatische Denkwerkzeuge sind allerdings sehr hoch, was das folgende Zitat recht gut erahnen lässt.

What is at stake is the humanities' unique commitment to wrestle with uncertainty, ambiguity, and complexity; to model incommensurate temporalities and ontologies; to explore not just geographies but psychogeographies and the dark recesses of the self; to attend to nonrepeatable and nonstandard phenomena (Burdick u.a. 2012: 108).

Eine digitale Semiotik kann erklären, wie Denkwerkzeuge in den digitalen Geisteswissenschaften funktionieren. Ein systematischer Ausbau des Ansatzes ist jedoch noch notwendig, um die im Folgenden aufgeführten Aspekte einer Semiotik für die digitalen Geisteswissenschaften umfassend erfassen zu können, wobei die ersten beiden Aspekte dem Bereich der Kognitiven Semiotik und die letzten beiden dem Bereich der Computersemiotik zugeordnet werden können.

1. Semiotische Erklärung der Unterstützung und Erweiterung geisteswissenschaftlichen Denkens (Augmenting Humanist Intellect-Ansatz) durch explorative Visualisierungswerkzeuge als ‚Hypothesengeneratoren‘, die mittels Abduktion funktionieren und mit damit gewonnenen explanatorischen Hypothesen von Exploration zu Explanation bzw. geisteswissenschaftlichem Verstehen führen;
2. Konstruktion von und Experimentieren mit formalen Modellen in Form von Diagrammen als ikonische Zeichen zum diagrammatischen Denken (geisteswissenschaftliches Verstehen und Peirces Konzept des ‚collateral knowledge‘ (siehe Hoffmann 2005b));
3. ‚Mechanisierung angeblich geistiger Tätigkeiten‘ durch den Ansatz der formalen Modellierung von Forschungsfragen und -gegenständen in den Digital Humanities (Voraussetzung für die Entwicklung von ‚digitalen‘ Werkzeugen unter Berücksichtigung der Anforderungen der Humanist-Computer Interaction);
4. Reduktion der Zeichenprozesse zum diagrammatischen Denken auf reine Signalverarbeitung im Computer (Informatik als Technische Semiotik).

Der Aspekt der Reduktion von genuinen Zeichenprozessen auf reine Signalverarbeitung im Computer wird insbesondere auf den Ebenen der Algorithmisierung und technischen Implementierung analysiert und liegt damit im Zuständigkeitsbereich der Informatik als Technischer Semiotik. Voraussetzung für die informatische Umsetzung ‚digitaler‘ Denkwerkzeuge in den Digital Humanities ist allerdings zuallererst die formale Modellierung der geisteswissenschaftlichen Untersuchungsgegenstände. Deshalb sollte dem Aspekt der Modellierung in den digitalen Geisteswissenschaften viel mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden, als es gegenwärtig noch der Fall ist. Die Semiotik kann dabei einen wichtigen Beitrag zur theoretischen Fundierung und zum Aufbau eines methodologischen Rahmenwerks leisten. Anstatt von sogenannten ‚digitalen‘ Methoden in den Digital Humanities sollte man in Zukunft außerdem passender von formalen Methoden sprechen. Mehr formale Modellierung in den digitalen Geisteswissenschaften würde dann vor allem auch die für geisteswissenschaftliche Erkenntnis so wichtigen qualitativen Methoden unterstützen, indem den geisteswissenschaftlichen Fragestellungen angemessenere formale Repräsentationen der Untersuchungsgegenstände erstellt und bearbeitet werden: Digital Humanities als Diagrammatic Understanding sozusagen. Den Ausblick dazu liefern Burdick u.a. (2012):

The time of diagrammatic thinking is upon us. We need graphical interfaces for multidimensional and multimedia authoring that take advantage of computers' abilities to aggregate, synthesize, and organize arguments along multiple axes. Authorship and display must converge in such a way that arguments become visible and can be made both graphically and spatially. Relations among visible entities, as well as verbal units of thought, become tractable in the process. Ways of describing relations and visually structuring arguments through juxtaposition, derivation, hierarchy, equivalence, and other spatial relational concepts will introduce an interpretive dimension and enrich understandings of information design in the process (Burdick u.a. 2012: 119).

Anmerkungen

- * Der Artikel basiert auf dem Vortrag „Digital Humanities und Semiotik oder wie man die Unterstützung und Erweiterung geisteswissenschaftlichen Denkens durch Computerprogramme semiotisch erklären kann“ auf dem *15. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Semiotik* (2017; Panel 4: Chancen und Grenzen Digitaler Geisteswissenschaften, Sektion Digital Humanities).
- 1 „Instead of trying to produce a programme to simulate the adult mind, why not rather try to produce one which simulates the child's? [. . .] Our hope is that there is so little mechanism in the child brain that something like it can be easily programmed“ (Turing 1950: 456).

- 2 Nake (2001) stellt fest, „daß die Zeichenthematik der Informatik gut anstünde“ und kritisiert in dem Kontext, dass es kaum semiotische Ansätze zu einer Theorie der Informatik gibt.
- 3 Interessant zur Idee von Denkmaschinen ist auch die Rezeptionsgeschichte des Diagramms der fiktionalen ‚knowledge engine‘ aus dem Roman *Gullivers Reisen* (siehe Rodgers 2017). Mit der Maschine „the most ignorant person [. . .] might write books in philosophy, poetry, politics, laws, mathematics, and theology, without the least assistance from genius or study“ (zitiert nach Peirce 1887).
- 4 Gomes u.a. (2007) behandeln Probleme der Algorithmisierung von Zeichenprozessen (bzw. Simulation von Semiosen) aufgrund der nicht reduzierbaren triadischen Zeichenrelation.
- 5 Marr (1982: 19) begründet die Einführung seines computational level of analysis folgendermaßen: „There must exist an additional level of understanding at which the character of the information-processing tasks carried out during perception are analyzed and understood in a way that is independent of the particular mechanisms and structures that implement them in our heads.“
- 6 Larkin und Simon (1987) liefern Beispiele zum Diagrammgebrauch in der Physik, aber auch in der Wirtschaftswissenschaft.
- 7 Boonstra u.a. (2004) setzen neben Durability und Usability Modelling in das Zentrum ihres Life Cycle of Historical Information. Der Lebenszyklus beschreibt die sechs Phasen (Creation, Enrichment, Editing, Retrieval, Analysis und Presentation) in Digital Humanities- bzw. speziell Digital History-Projekten und betont die zentrale Stellung von Modellierung als Grundlage der Disziplin.
- 8 Peirce betrachtet seine Semiotik als „quasi-necessary, or formal, doctrine of signs“ (CP 2.227).
- 9 Hoffmann (2009: 249) kritisiert die häufig – auch in Stjernfelts Diagrammatology (Stjernfelt 2007) – anzutreffende und für Peirce unangemessene Gegenüberstellung von ‚diagrammatischen‘ und sprachlichen oder algebraischen Darstellungen.
- 10 „Die Semiotik blitzte kurz auf, und Heinz Zemanek [(Zemanek 1966)] und Saul Gorn [(Gorn 1968)] gaben die ersten Hinweise darauf, dass die Zeichenthematik der Informatik gut anstünde.“ (Nake 2001; siehe auch Fußnote 2).
- 11 Zemanek (1992: 185) kritisiert etwa, dass die Geisteswissenschaften ihre Formalismen aus der Antike und dem Mittelalter nicht weitergepflegt haben. Zemanek meint hier vermutlich die scholastische Logik und deren semiotische Fundierung (siehe dazu Krämer 1988: 79–87).
- 12 In der Ankündigung von Ted Nelsons Vortrag „Computers, Creativity, and the Nature of the Written Word“ am 27. Januar 1965 im Vassar College heißt es (etwas pathetisch): „The computer is NOT mathematical: if it is the most perfect adding machine, it is also the most perfect typewriter, electric train control, filing cabinet, movie projector, and musical instrument. But whole new attitudes will be needed, and liberal-arts personages will have to learn to program, before computers can make their real contribution to civilization“ (siehe Faksimile in Barnet 2013: 73). Ein relevantes Beispiel zum Einsatz von Programmiersprachen für eine Art digitale Musiktheorie beschreibt Heinrich Taube in der Einleitung zu „Notes from the Metalevel“: „[. . .] how I could use a computer to represent my musical ideas and then ‘release them’ at will into musical compositions“ (Taube 2004: 1).

- 13 Goertz und Mahoney (2005: 506) empfehlen „diagrams to present clearly the argument of causal narratives, to make the causal claim more explicit“ (Lange 2013: 45).
- 14 Szostak (2004: 143) setzt Karten mit Modellen gleich.
- 15 Peirce selbst verfolgt einen solchen Ansatz und begründet ihn folgendermaßen: „I do not think I ever reflect in words: I employ visual diagrams, firstly, because this way of thinking is my natural language of self-communion and secondly, I am convinced that it is the best system for the purpose“ (MS 619, 8).
- 16 Im Klappentext der digitalen Edition heißt es: „Der Digitale Peters ist die Fortsetzung eines berühmten Buches mit elektronischen Mitteln.“
- 17 Mit elektronischen Medien ist mit relativ wenig kuratorischem Aufwand für Informationsintegration so etwas wie eine „visual historiography“ (Roegiers und Truyen 2008) möglich, d.h. „[t]he strength of digital media is that one is able to represent the complexity of a historical subject, without having to fill out the gaps, or having to choose between different interpretations, but using an architecture that places the subject in its context(s)“ (Roegiers und Truyen 2008: 70; zitiert nach Sabharwal 2015: 57). Das Material wird einfach über den räumlichen, zeitlichen und thematischen Kontext zusammengebracht und visualisiert. Die eigentliche Kontextualisierungsleistung bzw. Interpretation bleibt aber dem menschlichen Benutzer überlassen: es kommt auf dessen Fähigkeit zur Abduktion an. Die dafür notwendige menschliche Intuition kann nicht automatisiert werden (siehe Peirce 1868).
- 18 Siehe Abbildung 1 für eine Übersicht der Dimensionen (OR, IR und S) und Zeichenaspekte der Zeichenrelationen.
- 19 In einem solchen Grundgerüst stecken auch methodologische und ontologische Hintergrundannahmen, die zum Aufbau eines Repräsentationssystems geklärt und explizit gemacht werden müssen, denn sonst besteht die Gefahr von Fehlinterpretationen, was der Rückentext von Kolmer (2008) recht gut zum Ausdruck bringt: „Wer sich nicht von der Beredsamkeit der Historiker blenden lassen will, muss das Gerüst entdecken können, das ihre Erzählungen trägt.“
- 20 „The types of connections that authors may make using these systems are the results of careful analysis and are embedded in the systems themselves [. . .]“ Marshall u.a. (1994). Ein Beispiel dafür wäre die IBIS-Struktur, auf deren Mehrwert für die Benutzer von Conklin und Begeman (1988: 147f.) hingewiesen wird: „[T]he Issue-Position-Argument framework helped to focus their thinking on the hard, critical parts of the problem, and to detect incompleteness and inconsistency in their thinking more readily. [. . .] They also valued the tendency for assumptions and definitions to be made explicit.“
- 21 Hoffmann (2006) stellt dazu passenderweise eine diagrammatische Definition von diagrammatischem Denken bereit.
- 22 Nake (1998: 8) hat nicht eindeutig formuliert, was genau eigentlich „selbst in Zeichen gefaßt werden“ muss, um „Zeichen und Semiosen auf Maschinen [zu] übertragen“: nur die (geisteswissenschaftliche) „Kopfarbeit“ oder auch noch die ganze „Maschinisierung von Kopfarbeit“? (Siehe Abschnitt 3.)
- 23 Von Wright (1971) liefert eine gute Übersicht und wissenschaftstheoretische Behandlung der Gegenüberstellung von naturwissenschaftlichem Erklären und geisteswissenschaftlichen Verstehen.

- 24 Siehe Dölling (1998) für eine Übersicht der Bereiche und insbesondere auch Nöth (1997) über den Repräsentationsbegriff in den verschiedenen beteiligten Disziplinen.
- 25 In der TaDiRAH (Taxonomy of Digital Research Activities in the Humanities), die als Wissensorganisationssystem zur Klassifikation von Forschungsaktivitäten, -techniken und -gegenständen in Digital Humanities-Projekten verwendet wird, wird ‚digital‘ quasi als Sammelbegriff für Methoden verwendet, mit denen wiederum digitalisierte Quellen oder digitale Repräsentationen von Forschungsgegenständen bearbeitet werden. Die Ebene der digitalen Implementierung ist allerdings für die Betrachtung einer diagrammatischen Bearbeitung geisteswissenschaftlicher Fragestellungen sekundär, Voraussetzung für eine technische Realisierung ist erst einmal die Formalisierbarkeit von Methoden und Untersuchungsgegenständen. Krämer (1988: 89) unterscheidet dazu passend zwischen formaler und technischer Mechanisierbarkeit.

Literatur

- Auerbach, Felix (2016). Die graphische Darstellung (1914). In: Christoph Schneider und Jan Wöpking (eds.). *Diagrammatik-Reader: Grundlegende Texte aus Theorie und Geschichte*. Berlin: De Gruyter, 210–212.
- Axelrod, Robert (ed.) (1976). *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Barnet, Belinda (2013). *Memory Machines: The Evolution of Hypertext*. London: Anthem Press.
- Bechtel, William (2017). Diagrammatic Reasoning. In: Lorenzo Magnani und Tommaso Bertolotti (eds.). *Springer Handbook of Model-Based Science*. Cham: Springer International Publishing, 605–618.
- Behrendt, Hans R., Thomas Burch und Martin Weinmann (eds.) (2010). *Der Digitale Peters: Arno Peters' Synchronoptische Weltgeschichte*. Frankfurt a.M.: Zweitausendeins.
- Boonstra, Onno, Leen Breure und Peter Doorn (2004). Past, present and future of historical information science. *Historical Social Research* 29, 2, 4–132.
- Brauer, Wilfried, Wolfhart Haacke und Siegfried Münch (1989). *Studien- und Forschungsführer Informatik*. 2., neubearbeitete Auflage. Berlin: Springer.
- Burdick, Anne, Johanna Drucker, Peter Lunefelda, Todd Presner und Jeffrey Schnapp (2012). *Digital Humanities*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Burghardt, Manuel und Christian Wolff (2014). Humanist-Computer Interaction: Herausforderungen für die Digital Humanities aus Perspektive der Medieninformatik. In: *DHd Workshop: Informatik und die Digital Humanities*. Leipzig. URL: <https://epub.uni-regensburg.de/35716/>
- Champagne, Marc (2016). Diagrams of the Past: How Timelines Can Aid the Growth of Historical Knowledge. *Cognitive Semiotics* 9, 1, 11–44.
- Ciula, Arianna und Øyvind Eide (2017). Modelling in digital humanities: Signs in context. *Digital Scholarship in the Humanities* 32, 33–46.

- Codara, Lino (1998). *Le mappe cognitive: Strumenti per la ricerca sociale e l'intervento organizzativo*. Roma: Carrocci.
- Coleman, Peter T., Robin R. Vallacher, Andrzej Nowak und Lan Bui-Wrzosinska (2006). Protracted Conflicts as Dynamical Systems. In: Andrea Kupfer Schneider und Christopher Honeyman (eds.). *The Negotiator's Fieldbook: The Desk Reference for the Experienced Negotiator*. Chicago: American Bar Association, 61–74.
- Conklin, Jeff und Michael L. Begeman (1988). gIBIS: A Hypertext Tool for Exploratory Policy Discussion. In: *Proceedings of the 1988 ACM Conference on Computer-supported Cooperative Work*, ACM, 140–152.
- Dölling, Evelyn (1998). Semiotik und Kognitionswissenschaft. *Zeitschrift für Semiotik* 20, 1–2, 133–159.
- Eden, Colin (2004). Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems. *European Journal of Operational Research* 159, 3, 673–686.
- Eide, Øyvind (2015). Ontologies, Data Modeling, and TEI. *Journal of the Text Encoding Initiative* 8. URL: <http://journals.openedition.org/jtei/1191>
- Engelbart, Douglas C. (1962). Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework / Stanford Research Institute. Oktober 1962 (AFOSR-3223). Summary Report.
- Fetzer, James H. (2001). *Computers and Cognition: Why Minds are not Machines*. Dordrecht: Kluwer.
- Fetzer, James H. (2002). Peirce and the philosophy of AI. In: João Queiroz und Ricardo Gudwin (eds.). *Digital Encyclopedia of Charles S. Peirce*. URL: http://www.digitalpeirce.fee.unicamp.br/ai_fetzer.htm
- Goertz, Gary und James Mahoney (2005). Two-Level Theories and Fuzzy-Set Analysis. *Sociological Methods & Research* 33, 4, 497–538.
- Gomes, Antônio, Ricardo Gudwin, Charbel N. El-Hani und João Queiroz (2007). Towards Meaning Processes in Computers from Peircean Semiotics. *Mind & Society* 6, 2, 69–79.
- Gorn, Saul (1968). The Identification of the Computer and Information Sciences: Their Fundamental Semiotic Concepts and Relationships. *Foundations of Language* 4, 4, 339–372.
- Gradmann, Stefan (2009). Signal. Information. Zeichen. Zu den Bedingungen des Verstehens in semantischen Netzen. LIBREAS. *Library Ideas* 14. URL: <https://libreas.eu/ausgabe14/006gra.htm>
- Hoffmann, Michael H. G. (2000). Triadische Zeichenrelationen nach Charles S. Peirce. Working Paper des GDM-Arbeitskreis Semiotik in der Mathematikdidaktik. Universität Bielefeld.
- Hoffmann, Michael H. G. (2001). The 1903 Classification of Triadic Sign Relations. In: João Queiroz und Ricardo Gudwin (eds.). *Digital Encyclopedia of Charles S. Peirce*. URL: <http://www.digitalpeirce.fee.unicamp.br/hoffmann/p-sighof.htm>
- Hoffmann, Michael H. G. (2005a). Logical Argument Mapping: A Method for Overcoming Cognitive Problems of Conflict Management. *International Journal of Conflict Management* 16, 304–334.
- Hoffmann, Michael H. G. (2005b). Problems of Understanding in Conflicts and a Semiotic Solution. In: *IACM 18th Annual Conference*. URL: <https://ssrn.com/abstract=758345>

- Hoffmann, Michael H. G. (2006). Seeing problems, seeing solutions. Abduction and diagrammatic reasoning in a theory of scientific discovery. Working Paper (School of Public Policy Working Papers 15). URL: <http://hdl.handle.net/1853/24031>
- Hoffmann, Michael H. G. (2009). Über die Bedingungen der Möglichkeit, durch diagrammatisches Denken etwas zu lernen: Diagrammgebrauch in Logik und Arithmetik. *Zeitschrift für Semiotik* 31, 3–4, 241–274.
- Hoffmann, Michael H. G. (2011). Cognitive conditions of diagrammatic reasoning. *Semiotica* 186, 189–212.
- Husserl, Edmund (1975). *Husserliana*. Bd. XVIII: I. *Logische Untersuchung: Ausdruck und Bedeutung*. Martinus Nijhoff.
- Kolmer, Lothar (2008). UTB Profile. Bd. 3002: *Geschichtstheorien*. Paderborn: Fink.
- Kosko, Bart (1986). Fuzzy Cognitive Maps. *International Journal of Man-Machine Studies* 24, 1, 65–75.
- Krämer, Sybille (1988). *Symbolische Maschinen: Die Idee der Formalisierung in geschichtlichem Abriß*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Kron, Thomas und Christian W. Lasarczyk (2006). Zur sozionischen Notwendigkeit mechanistisch-soziologischer Erklärungen. In: Marco Schmitt, Michael Florian und Frank Hillebrandt (eds.). *Reflexive soziale Mechanismen: von soziologischen Erklärungen zu sozionischen Modellen*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 105–137.
- Lange, Matthew (2013). *Comparative-Historical Methods*. Los Angeles: SAGE Publications.
- Larkin, Jill H. und Herbert A. Simon (1987). Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science* 11, 1, 65–100.
- Lemerrier, Claire (2015). Taking time seriously. In: Marten Düring, Markus Gamper und Linda Reschke (eds.). *Knoten und Kanten III: Soziale Netzwerkanalyse in Geschichts- und Politikforschung*. Bielefeld: Transcript, 183–211. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01445932>
- Licklider, Joseph Carl R. (1960). Man-Computer Symbiosis. *HFE-1* 1, 4–11.
- Ljungberg, Christina (2016). The diagrammatic nature of maps. In: Sybille Krämer und Christina Ljungberg (eds.). *Thinking with Diagrams: The Semiotic Basis of Human Cognition*. Bd. 17. Boston und Berlin: Mouton de Gruyter, 139–160.
- Luyt, Brendan (2015). Replacing the ideology of information by exploring domains of knowledge: A case study of the periodization of Philippine history and its application to information studies. *Journal of Documentation* 71, 6, 1289–1299.
- Mahoney, James (1999). Nominal, Ordinal, and Narrative Appraisal in Macrocausal Analysis. *American Journal of Sociology* 104, 4, 1154–1196.
- Mancini, Clara und Simon J. B. Shum (2006). Modelling Discourse in Contested Domains: A Semiotic and Cognitive Framework. *International Journal of Human-Computer Studies* 64, 11, 1154–1171.
- Marbach, Eduard (1993). *Mental Representation and Consciousness: Towards a Phenomenological Theory of Representation and Reference*. Dordrecht: Kluwer.
- Marr, David C. (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco: Freeman.
- Marshall, Catherine C., Frank M. Shipman und James H. Coombs (1994). VIKI: Spatial Hypertext Supporting Emergent Structure. In: *Proceedings of the 1994 ACM European Conference on Hypermedia Technology*. ACM, 13–23.

- Mayntz, Renate (1967). Modellkonstruktion: Ansatz, Typen und Zweck. In: Renate Mayntz (ed.). *Formalisierte Modelle in der Soziologie*. Neuwied und Berlin: Luchterhand, 11–31.
- Moor, James H. (1978). Three Myths of Computer Science. *British Journal for the Philosophy of Science* 29, 3, 213–222.
- Nake, Frieder (1998). Was heißt und zu welchem Ende studiert man Informatik? Ein akademischer Diskursbeitrag nebst Anwendung. In: Volker Claus (ed.). *Informatik und Ausbildung: GI-Fachtagung 98 Informatik und Ausbildung*. Berlin und Heidelberg: Springer, 1–13.
- Nake, Frieder (2001). Das algorithmische Zeichen. In: Kurt Bauknecht, Wilfried Brauer und Thomas A. Mück (eds.). *Informatik 2001. Tagungsband der GI/OCG Jahrestagung 2001*. Bd. 2. Wien: Österreichische Computer Gesellschaft, 736–742.
- Nöth, Winfried (1997). Representation in semiotics and in computer science. *Semiotica* 115, 3–4, 203–213.
- Nöth, Winfried (1998). Kartosemiotik und das kartographische Zeichen. *Zeitschrift für Semiotik* 20, 1–2, 25–39.
- Nöth, Winfried (2000). *Handbuch der Semiotik*. 2. Auflage. Stuttgart: Metzler.
- Nöth, Winfried (2003). Semiotic Machines. *Semiotics, Evolution, Energy, and Development* 3, 81–99. URL: <http://www.library.utoronto.ca/see/SEED/Vol3-3/Winfried.pdf>
- Øhrstrøm, Peter, Sara L. Uckelman und Henrik Schärfe (2007). Historical and Conceptual Foundation of Diagrammatical Ontology. In: Uta Priss, Simon Polovina und Richard Hill (eds.). *Conceptual Structures: Knowledge Architectures for Smart Applications*. Berlin und Heidelberg: Springer, 374–386.
- Papageorgiou, Elpiniki I. und Jose L. Salmeron (2013). A Review of Fuzzy Cognitive Maps Research During the Last Decade. *Transactions on Fuzzy Systems* 21, 1, 66–79.
- Peirce, Charles S. (1868). Questions Concerning Certain Faculties Claimed for Man. *Journal of Speculative Philosophy* 2, 103–114.
- Peirce, Charles S. (1887). Logical Machines. *The American Journal of Psychology* 1, 165–170.
- Peirce, Charles S. (1931–1958). (CP) Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Bd. 1–8. Cambridge: Harvard University Press.
- Peirce, Charles S. (1976). (NEM) *The New Elements of Mathematics*. Bd. 1–4. Den Haag: Mouton de Gruyter.
- Peña-Araya, Vanessa, Mauricio Quezada, Barbara Poblete und Denis Parra (2017). Gaining historical and international relations insights from social media: spatio-temporal real-world news analysis using Twitter. *EPJ Data Science* 6, 1, 25.
- Perlis, Alan J. (1982). Special Feature: Epigrams on programming. *SIGPLAN Notices* 17, 9, 7–13
- Peters, Arno und Anneliese Peters (1952). *Synchroptische Weltgeschichte*. Frankfurt a.M.: Universum-Verlag.
- Picca, Davide, Alfio M. Gliozzo und Aldo Gangemi (2008). LMM: an OWL-DL MetaModel to Represent Heterogeneous, Multilingual Lexical Knowledge. In: *Proceedings of the International Conference on Language Resources and Evaluation, LREC 2008*. Marrakech, Morocco: European Language Resources Association (ELRA).

- Piotrowski, Michael (2016). Digital Humanities, Computational Linguistics, and Natural Language Processing. Lectures on Language Technology and History. URL: http://stp.lingfil.uu.se/~nivre/docs/michael_piotrowski_2016.pdf
- Priestley, Joseph (1786). *A Description of a New Chart of History*. London: Printed for J. Johnson.
- Robin, Richard S. (1967). (MS) *Annotated Catalogue of the Papers of Charles S. Peirce*. Amherst: University of Massachusetts Press. [Zitiert mit MS Manuskriptnummer, Seitenzahl].
- Rodgers, Johannah (2017). The Genealogy of an Image, or, What Does Literature (Not) Have To Do with the History of Computing?: Tracing the Sources and Reception of Gulliver's "Knowledge Engine". *Humanities* 6, 4, Artikel Nr. 85.
- Roegiers, Sara und Frederik Truyen (2008). HISTORY IS 3D: presenting a framework for meaningful historical representations in digital media. In: Yehuda Kalay, Thomas Kvan und Janice Affleck (eds.). *New heritage: new media and cultural heritage*. London: Routledge, 67–77.
- Rosenberg, Daniel und Anthony Grafton (2015). *Die Zeit in Karten: Eine Bilderreise durch die Geschichte*. Darmstadt: Philipp von Zabern.
- Sabharwal, Arjun (2015). *Digital Curation in the Digital Humanities: Preserving and Promoting Archival and Special Collections*. Waltham, Massachusetts: Chandos Publishing.
- Schaal, Gary und Kelly Lancaster (2016). Ein Bild sagt mehr als 1000 Worte? Visualisierungen in den Digital Humanities. *Digital Classics Online* 2, 3, 5–22.
- Schneider, Christoph und Jan Wöpking (eds.) (2016). *Diagrammatik-Reader: Grundlegende Texte aus Theorie und Geschichte*. Berlin: De Gruyter.
- Shum, Simon B. und Alexandra Okada (2008). Knowledge Cartography for Controversies: The Iraq Debate. In: Alexandra Okada, Simon B. Shum und Tony Sherborne (eds.). *Knowledge Cartography: Software Tools and Mapping Techniques*. London: Springer, 249–265.
- Skocpol, Theda (1979). *States and Social Revolutions: A Comparative Analysis of France, Russia, and China*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Steinhart, Eric (2009). *More Precisely: The Math you Need to Do Philosophy*. Peterborough, Ontario: Broadview Press.
- Stjernfelt, Frederik (2007). *Synthese Library. Bd. 336: Diagrammatology: An Investigation on the Borderlines of Phenomenology, Ontology, and Semiotics*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Szostak, Rick (2004). *Information Science and Knowledge Management. Bd. 7: Classifying Science: Phenomena, Data, Theory, Method, Practice*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Taube, Heinrich K. (2004). *Studies on New Music Research. Bd. 6: Notes from the Meta-level: Introduction to Algorithmic Music Composition*. London: Taylor & Francis.
- Turing, Alan M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind* 59, 433–60.
- Wright, Georg H. von (1971). *Explanation and Understanding*. Ithaca, New York: Cornell University Press.
- Zemanek, Heinz (1966). *Semiotics and Programming Languages. Communications of the ACM* 9, 3, 139–143.

Zemanek, Heinz (1992). Computer für die Geisteswissenschaften, Geisteswissenschaften für den Computer. In: Heinz Zemanek (ed.). *Das geistige Umfeld der Informationstechnik*. Berlin: Springer, 166–234.

Ingo Frank, M.A.
Leibniz-Institut für Ost- und Südosteuropaforschung
Landshuter Str. 4
D-93047 Regensburg
E-Mail: frank@ios-regensburg.de