

Robert M. Brain

*Representation on the Line: Grafische Aufzeichnungsinstrumente und wissenschaftlicher Modernismus**

Der vorliegende Beitrag beschreibt die genealogische Entwicklung von der ‚Energie‘ bis zur ‚Information‘ entlang derjenigen Visualisierungsformen, welche die grafische Methode seit dem 19. Jahrhundert bereitgestellt hat. Zugleich werden verschiedene Elemente einer alternativen *Genealogie des Computers* und des Informationszeitalters beschrieben, wobei hier jedoch versucht wird, die Aufmerksamkeit vor allem auf die Arbeiten derjenigen Forscher zu lenken, die diese Entwicklung historiografisch erst sichtbar gemacht haben.¹ Zuweilen werden eher ungewöhnliche Quellen bemüht, da dieser Beitrag auch beabsichtigt, einige der parallelen, jedoch erfolglosen Entwicklungslinien nachzuvollziehen, was sich merklich von den Standardansätzen, entweder aus der Ideengeschichte oder der Historiografie der Technologie- und Wirtschaftsentwicklung, unterscheidet. Vielmehr wird hier auf die Geschichte besonderer wissenschaftlicher Darstellungsinstrumente eingegangen und auf eine abweichende intellektuelle Tradition zurückgegriffen, die im frühen zwanzigsten Jahrhundert als ‚analoge Repräsentation‘ beziehungsweise als ‚Analogrechner‘ bekannt geworden sind.

In seiner Novelle *„Exploits & Opinions of Doctor Faustroll, Pataphysician“* am *Fin de siècle* beschreibt der französische, parawissenschaftliche Fabulist Alfred Jarry (1873-1907) die Verstörung des *Monsieur René-Isidore Panmuphle*, welcher als gerichtlicher Strafverfolger in dieser fiktiven Darstellung beauftragt war, Faustroll wegen einiger seltsamer Ungeheimheiten dingfest zu machen. Im Verlauf seiner Untersuchungen spürte Panmuphle ein Manuskript auf, welches nicht mehr als eine einzige Linie aufwies. Dieses Manuskript betrachtete der Angeschuldigte aber als wirkliche Repräsentation des kleinsten Teils des Wahren und Schönen in den gesamten Wissenschaften und auch der Kunst, „welche zusammen das

* Deutsche Übersetzung, einschließlich der fremdsprachlichen Zitate, sowie editorische Überarbeitung von F. S. (Ursprünglich war der vorliegende Beitrag von Robert M. Brain auf Englisch publiziert worden als: „Representation on the Line: Graphic Recording Instruments and Scientific Modernism“. In: Bruce Clarke und Linda Dalrymple Henderson (Hgg.): *Representation in Science and Technology, Art and Literature*. Stanford, Ca., Stanford University Press, S. 155-177. Wir danken dem Autor sowie Stanford University Press für den Wiederabdruck und die Autorisierung der vorliegenden übersetzten und ergänzten Fassung).

1 Für einige wichtige rekonstruktive Ansätze siehe etwa: Paul N. Edwards: *The Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*. Cambridge, Ma., MIT Press 1996, Friedrich Kittler: *Aufschreibesysteme 1800/1900*. München: Fink 1985, sowie Armand Mattelart: *L'invention de la communication*. Paris: La Découverte 1994.

Ich verstehe den Begriff der *Genealogie* hier in der Folge Friedrich Nietzsches (1844-1900), aus seiner Streitschrift *„Genealogie der Moral“* (1887), und besonders Michel Foucaults (1926-1984) wichtiger Lesart der Begriffsverwendung bei Nietzsche in *„Nietzsche, Genealogy, History“*, aus: Donald F. Bouchard (Hg.): *Language, Counter-Memory, Practice: Selected Essays and Interviews by Michel Foucault*. Ithaca, NY., Cornell University Press, S. 139-164. Für eine konzise Darstellung der Standardhistoriografien des *Computers* und der Informationstechnologie siehe Michael Mahony: *The History of Computing in the History of Technology*. In: *Annals of the History of Computing* 10 (1988), S. 113-125. Ein weiteres interessantes Beispiel für die Vorgehensweise einer primär teleologisch ausgerichteten Mediengeschichtsschreibung, die der vorliegende Ansatz aber zu vermeiden sucht, siehe James R. Beniger: *The Control Revolution: Technological and Economic Origins of the Information Society*. Cambridge, Ma., Harvard University Press 1986.

Universum bedeuten“.² Panmuphle bemühte in dieser Novelle den Lehrsatz des großen englischen Mathematikers Arthur Cayley (1821-1895), der später noch von William Thomson (1824-1907) – Lord Kelvin – zitiert worden ist. Mit Letzterem wollte Faustroll nach eigenen Angaben sogar telepathisch kommuniziert haben.³ Panmuphle erinnerte sich zudem daran, dass Cayley früher einmal bekräftigt hatte, dass „[...] eine einzige Kurve, die mit Kreide auf eine zweieinhalbmeterlange Tafel geschrieben wird, alle Wetterlagen einer Saison, alle Fälle einer Epidemie, alle Schachereien fahrender Strumpfhändler, sämtliche Tonlagen und -höhen der Instrumente sowie die Stimmen von hundert Sängern und zweihundert Musikern wiedergeben kann, zusammen mit den Positionen der anwesenden Zuhörer und Teilnehmer. Demgegenüber ist das Auge gänzlich unfähig, diese ebenfalls wahrzunehmen.“ Es wurde dem erstaunten Panmuphle mit einem Schlag deutlich, dass Faustroll tatsächlich das gesamte Universum in Form einer winzigkleinen Kurve begriffen und grafisch „festgehalten hatte [...] in den zwei Dimensionen einer schwarzen Oberfläche.“⁴

Jarry widmete diese ausdrucksstarke Parodie seinem Freund, dem französischen Kunstkritiker Félix Fénéon (1861-1944), der in begnadeter und lehrreicher Form die Ideen und pointillistischen Maltechniken seiner Freunde Georges Seurat (1858-1891) und Paul Signac (1863-1935) angeregt hatte. Aber Jarrys Satire war im gleichen Zug gegen eine besondere wie tonangebende wissenschaftliche Vorstellung gerichtet, nach der führende Experimentalwissenschaftler den Status der grafischen Methode im Sinn einer automatischen Aufzeichnungspraktik von Kurven als „Sprache der Phänomene selbst“ oder „universelle Wissenschaftssprache“ propagiert hatten. Der Meinung ihrer prominentesten Wortführer zufolge, etwa des französischen Physiologen Etienne-Jules Marey (1830-1904) oder des Pariser Ingenieurs Jean Jacques Emile Cheysson (1836-1910), waren grafische Aufzeichnungstechniken nicht nur als effektive Arbeitsmethoden, sondern als Vorreitertechnologien für eine universelle Kommunikation zu sehen, die „bestens für das Dampf- und Elektrizitätszeitalter geeignet ist“.⁵ Der wohl bekannteste Protagonist der grafischen Methode, Etienne-Jules Marey, war in dieser Zeit nur eine Stimme unter vielen gewesen. So zeichnete beispielsweise der amerikanische Psychologe G. Stanley Hall (1844-1924) in einem Brief von 1879 aus Berlin den Lesern der Zeitschrift *The Nation* in seiner Heimat das Bild einer fast abgeschlossenen wissenschaftlichen Revolution nach: Denn Hall schrieb über Europa, dass dort „die grafische Methode bereits zu einer internationalen Wissenschaftssprache geworden ist.“ „In Deutschland“, so fügte er hinzu, „hat sie einzelne Wissenschaften mit ihrer einzigartigen logischen Methode vollkommen erneuert und in ein oder zwei Fällen ist dadurch der akademische Hörsaal in eine Art Theater überführt worden, in dem grafische *Charts* eine Szenerie ausbilden, die durch tägliche Themenwechsel ununterbrochene Abänderungen erfahren. Die Dozenten sind jetzt in der Hauptsache damit beschäftigt, die Kurven und die eingesetzten Instrumente zu beschreiben, während die Vorlesungsassistenten den Saal abdunkeln, Gase zur Explosion bringen, einfaches elektrisches Licht oder bunte Sonnenstrahlen auf Spiegel oder Linsen ausrichten sowie harmonische Obertöne anstimmen, je nachdem, was der Kursverlauf gerade verlangt.“⁶

2 Alfred Jarry: „Concerning the Line“. Kapitel 36 von ders.: *Exploits & Opinions of Doctor Faustroll, Pataphysician. A Neo-Scientific Novel*. Übers. von Simon Watson Taylor, Einl. von Roger Shattuck. Boston: Exact Change Press 1996, S. 98f.

3 Über Cayley und dessen außerordentliche mathematische Fähigkeiten schrieb noch der britische Physiker James Clerk Maxwell (1831-1879): „Whose soul to large for vulgar space, in n dimensions flourished.“ Besonders passend erschien für den Schriftsteller Jarry ferner, dass Cayley den herausragenden Eintrag „Kurve“ in der elften Ausgabe der *Encyclopedia Britannica* verfasst hatte.

4 Jarry (wie Anm. 2), S. 98f.

5 Ernest Cheysson: *Les méthodes de statistique graphique à l'Exposition universelle de 1878*. In: *Journal de la Société de Paris* 19 (1878), S. 330.

6 Anonymus [Granville Stanley Hall]: *The Graphic Method*. In: *The Nation* 745 (1879), S. 238.

Vergleichbare Choreografien dominierten die wissenschaftliche Ausbildung einer gesamten Forschergeneration Europas, die die grafische Methode im Weiteren sowohl als wissenschaftliches Verfahren als auch als kulturelle Wahrnehmungsform propagierten. Die Welt wurde entlang der Einführung der grafischen Methode im 19. Jahrhundert somit in viele einzelne Fachdisziplinen aufgeteilt, welche sich jeweils aus verschiedenen spezialisierten Forschern und wissenschaftlichen Experten zusammensetzten. Letztere mussten selbst eine „geistige Bibliothek aus Kurven“⁷ erlernen, erinnern und mit sich herumtragen; und es war diese wissenschaftliche Expertise, welche ihre besondere Kompetenz im je eigenen Feld ausgemacht hatte. Schließlich brachten die Spezialisten ihre eingefahrene Ernte an grafischen Repräsentationsformen nicht nur in den Feldern eines umrissenen disziplinären Austauschs – in Zeitschriften, Konferenzen und Texten –, sondern zugleich in ein weiteres öffentliches Terrain ein, eine Entwicklung, die Marey treffend als *Oeuvre commun* der Wissenschaften bezeichnet hat.⁸ Dieser Lesart zufolge diente die grafische Methode der Verwirklichung einer besonderen wissenschaftlichen Phantasie, wonach die automatischen Aufzeichnungsinstrumente einen weitgefassten heterotopen Einschreiberaum geschaffen hatten, welcher die menschliche Sprache aus der Wissenschaftssphäre verbannen und sie mit mechanischen Formen des Denkens und der Kommunikation ersetzen konnte.⁹ Die grafisch gewonnenen Daten, die nun aus den Laboratorien, Fabriken, Krankenhäusern, Wetterstationen und Bevölkerungsstatistiken hervorgingen, ließen letztlich einen konstitutiven Raum entstehen und schufen eine *Kurvenlandschaft*, die Jürgen Link bereits als Konsolidierung des modernen Lebensstils präzise diagnostiziert hat.¹⁰

Für Marey und die anderen Proponenten der grafischen Methode hatte der Erzfeind der wissenschaftlichen Kommunikation einen besonderen Namen: die menschliche Sprache. „Geschaffen vor der Entstehung der Wissenschaften“, schrieb Marey, „und darum nicht für sie geeignet, ist die menschliche Sprache von häufigen Ungenauigkeiten gekennzeichnet und vermag die exakten Messungen und wohldefinierten Relationen [der Naturwissenschaften] nicht genau wiederzugeben.“ Das wissenschaftliche Zeitalter hat die Sprache obsolet werden lassen, wie Marey argumentierte, und deshalb „ist es nicht zweifelhaft, dass sich die grafische Ausdrucksform bald selbst als eine Kompensationsform für andere anbieten wird; nämlich immer dann, wenn eine Bewegung oder eine Veränderung eines Zustands beschrieben werden sollen. Kurzum: ein x-beliebiges Phänomen.“ Marey begriff wissenschaftliche und technische Kommunikationsformen mithin als Austauschvorgänge, in denen die Schwankungen der mechanisch registrierten Kurvenverläufe – gegenüber verbalen oder schriftlichen Diskussionen – in gleicher und automatischer Weise Zustimmung wie Ablehnung hervorrufen konnten: „Lassen Sie uns nun die feinen Abstufungen der sprachlichen Eloquenz und geistreichen Stilblüten für andere Verwendungszwecke aufheben“, bekräftigte Marey deshalb sowie „uns die Kurven der Phänomene genauestens untersuchen und vergleichen, um unsere Kenntnis über sie zu vertiefen. Lassen Sie uns außerdem nach der Weise der Geometer vorgehen, unter denen die Beweise gleichfalls nicht diskutiert werden.“¹¹

7 Dieser gefeierte Satz geht auf den amerikanischen Technikhistoriker Eugene S. Ferguson (1916-1924) zurück und dessen Werk: *Engineering and the Mind's Eye*. Cambridge, Ma.: MIT Press 1992.

8 Etienne-Jules Marey: *La méthode graphique dans les sciences expérimentales*. Paris: G. Masson 1878, S. iii.

9 Der Begriff des ‚heterotopen Raums‘ geht auf Michel Foucault zurück, der damit vor allem solche öffentlichen Foren wie Bibliotheken, Archive und Museen bezeichnete, in denen die Akkumulation, der Fortschritt und die Kapitalisierung des Wissens im Sinn eines unbeweglichen Raums gesichert werden. Der konzeptionelle Zugriff des rationalen Ordnungsprozesses entzieht auf diese Weise das Wissen dem Zahn der Zeit und somit dem ständigen Gang des Werdens und Vergehens der Dinge. Siehe Michel Foucault: *Of Other Spaces*. In: *Diacritics* 16 (1986), S. 24-26.

10 Jürgen Link: *Versuch über den Normalismus. Wie Normalität produziert wird*. Opladen: Westdeutscher Verlag 1997.

11 Marey (wie Anm. 8), S. iiif.

Marey stellte sich ein mehr oder weniger zentralisiertes System der wissenschaftlichen Kommunikation vor, in dem der Vergleich dieser Kurven einen geeigneten interdisziplinären Austausch von experimentellen Ergebnissen herbeiführe – jenseits der institutionellen, internationalen und letztlich disziplinären Grenzen. Er zielte in diesem Zusammenhang besonders auf das Beispiel der Meteorologie ab, die bereits seit langer Zeit auf eine internationale Zusammenarbeit ausgerichtet worden war:

„Von dieser Art sind auch die Grafiken der Meteorologie, die uns glücklicher Weise erlauben, den Zustand der Atmosphäre in jedem Moment und in seinem ganzen Ausmaß an die zivilisierte Welt mitzuteilen. Jedes Land trägt seinen jeweiligen Anteil an Basisaufzeichnungen dazu bei, aus denen das Gesamtbild schließlich zusammengesetzt werden kann: regnerisches oder schönes Wetter, barometrischer Druck, Temperatur, Windrichtung und so weiter. Auf diese Weise können die aus verschiedenen Observatorien stammenden Informationen dann einer gemeinsamen Landkarte zugeordnet werden. Die jeweils eintreffenden Informationen kommen von überall her, Dokumente häufen sich und werden gestapelt. Fürchten Sie sich nicht, dass hierbei ein Durcheinander entstehen könnte; weit gefehlt: denn je komplexer die Elemente sind, desto einfacher wird das entstehende Gesamtbild.“¹²

Für Marey leiteten sich die Bedingungen der Möglichkeit der grafischen Methode als eines einfachen und universellen Mediums für den wissenschaftlichen Austausch nicht allein aus der logischen Klarheit, sondern aus ihren vielfältigen Einschreibemöglichkeiten ab, das heißt ihren spezifischen Eigenschaften, die mechanische Arbeit und Energie grafisch repräsentieren zu können. Wiederkehrend erklärte Marey deshalb, dass die grafischen Darstellungsmöglichkeiten eine experimentalwissenschaftliche Säule bildeten und das momentan entstehende thermodynamische Weltbild zu einem entscheidenden Grad trügen.¹³ Anders als bei denjenigen Rechenansätzen, die allein der grundlegenden Bestimmung von ‚Arbeit‘ und ‚Energie‘ unter idealisierten Bedingungen dienten, Fällen, bei denen man die zu bewegende Masse genau kennt und sich der Bewegungszustand entsprechend verhält, hatten die selbstregistrierten Kurven zu deren direkter Messbarkeit über den gesamten Bewegungsablauf beigetragen. Tatsächlich war der erste Wissenschaftler, der von diesem besonderen Repräsentationszugang Gebrauch machte, der schottische Dampfmaschinen-erfinder James Watt (1736-1819), dessen technologische Entwicklung von einer ganzen Generation von Mechanikingenieuren für den Bewegungsantrieb von Maschinen verwendet wurde. Aber noch fast ein Jahrhundert später blieb es „notwendig, diesen Einschreibemodus für allgemeine physikalische Arbeit weiter auszubauen und ihn überall dort zu verwenden, wo mechanische Kräfte ins Spiel kommen [...]. Dabei repräsentiert nur die grafische Methode die Arbeit genau in der Weise wie sie letztlich produziert wird.“ Die wissenschaftlichen Bemühungen um eine grafische Aufzeichnung der Arbeitsvorgänge machten in ihrer Zeit deshalb viel Sinn, weil hier eine grundsätzliche Analogie und Übersetzbarkeit physikalischer Kräfte vorausgesetzt worden ist: „Die fragliche Analogie, welche die Gesamtheit aller physikalischen Kräfte aufeinander bezieht, beschreibt auch einen Plan, dem man folgen kann, um zu einer Aufzeichnung der Phänomene der Wärme und der Elektrizität zu gelangen.“¹⁴

Für viele Wissenschaftler und besonders diejenigen, die in den neuen Disziplinen der Psychophysik, der experimentellen Physik sowie der Linguistik tätig waren, stellte die grafische Methode eine Art universeller „Austauschwährung“ bereit, die zugleich neue Untersuchungen der verwendeten Konzepte beförderte und damit selbst zu einem medientechnischen

12 Ebenda, S. viif.

13 Zu diesem Thema siehe auch Anson Rabinbach: *Motor Mensch: Kraft, Ermüdung und die Ursprünge der Moderne* (engl. 1990). Übers. v. Erik Michael Vogt. Wien: Turia und Kant 2001, insbesondere Teil 1 „Die Kulturen der Thermodynamik“.

14 Marey (wie Anm. 8), S. iv und xiii.

Wandlungsinstrument grafischer Signale wurde. Der Schweizer Linguist Ferdinand de Saussure (1857-1913) hat diesen Umstand innerhalb seines berühmten Modells in die präzise Frage nach der Übersetzbarkeit von Sprachsystemen überführt, welche in erster Linie auf dem einfachen Ansatz eines Senders, Wandlers und Empfängers von akustischen Signalschwankungen fußte. Der französische Soziologe Gabriel Tarde (1843-1904) modifizierte diese Auffassung dann weiter und argumentierte zudem, dass „unsere Sinne uns je nach ihren spezifischen Ausrichtungen eine innere Statistik des äußeren Universums geben. Die sinnlichen Wahrnehmungen stellen damit nur eine partikuläre grafische Tabelle dar. Alle Wahrnehmungsqualitäten, Farben, Töne, Geschmacksarten, und so weiter sind so gesehen nichts anderes als Zahlenwerte, eine Ansammlung von unzähligen Schwingungsmessungen, die als Ganzes eine einzige Figur wiedergeben.“¹⁵ Auch am anderen Ende Europas kam der tschechisch-österreichische Physiker Ernst Mach (1838-1916) über seine psychophysischen Experimentalarbeiten zu einem ähnlichen Ergebnis, als er etwa feststellte, dass sich das subjektive Erkenntnisvermögen unwiederbringlich in die mechanischen Elemente von Tönen, Farben, Temperaturen, Drücken, Räumen, Zeitintervallen und Bewegungswahrnehmungen auflöst. In ganz unsentimentaler Weise schloss Mach deshalb in der berühmt gewordenen Formel „*Das Ich ist unrettbar!*“¹⁶

Wenngleich der Begriff des ‚unrettbaren Ichs‘ in der Folge zu einem ungehörigen Stein des Anstoßes für viele Zeitgenossen wurde, so hielten andere diese Formel für im Kern erweiterbar: „[...] *unrettbar aber doch ersetzbar*“ – und dies durch einen neuen Typus der Maschine. In seinem Artikel aus dem Jahr 1879 hatte Hall bereits verlauten lassen, dass diejenigen Wissenschaftler, die von den neuen Möglichkeiten der grafischen Methode besonders begeistert waren und alles Wissen auf Bewegungsformen in Raum und Zeit reduzieren wollten, darin bereits die „Entwicklung einer universellen, selbstbezogenen, sich selbst-regulierenden, selbst-reproduzierenden und selbst-bewussten Maschine“ voraussetzten.¹⁷ Und obwohl dieses Leitbild für mehrere Jahrzehnte nicht mehr als ein Phantasma der beteiligten Wissenschaftler war, dienten diese Äußerungen als intellektuelles Futter für viele literarische und künstlerische Parodien – etwa die bereits erwähnten von Jarry. Nach 1918 schlugen diese europäischen Träumereien jedoch bereits tiefe Wurzeln auf dem nordamerikanischen Kontinent, nämlich genau in demjenigen Moment, als die ersten Servomechanismen und automatisierten Maschinen in groß angelegten Fertigungsverfahren erzeugt werden konnten und dann in den 1930er und 1940er Jahren in die elektronischen Rechneranlagen und *Analogcomputer* Eingang gefunden haben.

Auf diesem fruchtbaren Acker, den die technische Ingenieurskunst somit bestellt hatte, wuchs nun eine neue wissenschaftliche Bewegung – die *Kybernetik* – in rasanten Schüben heran und strebte danach, eine ganze Reihe von unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen mit Hilfe einer rigiden und mathematisch sehr anspruchsvollen Anwendung der grafischen Methode zu vereinen, indem sie sich die neuen Entwicklungen in der harmonischen Analysetechnik zu Nutze machte. In den Händen solcher Forscher wie des Mathematikers Norbert Wiener (1894-1964) in den Vereinigten Staaten, des Physiologen Arturo Rosenbluth (1900-1970) in Mexiko und des in Österreich-Ungarn geborenen Physikers John von Neumann (1903-1957) wurde der wissenschaftliche Fokus gewissermaßen vom Signifikat weg, zum Signifikanten hin gerückt, da nun ‚Energie‘ – in einer grafischen Kurve aufgezeich-

15 Gabriel Tarde: *Les Lois de l'Imitation*. Paris: Felix Alcan 1890, S. 150f.

16 Vgl. Ernst Mach: *Die Analyse der Empfindungen*. 2. Ausg. Jena: Gustav Fischer 1900, S. 17. Für Machs erkenntnistheoretischen Gegenstand siehe besonders Theodore S. Porter: *The Death of the Object*. *Fin de Siècle Philosophy of Physics*. In: Dorothy Ross (Hg.): *Modernist Impulses in the Human Sciences*. 1870-1930. Baltimore: Johns Hopkins University Press, S. 128-151, sowie Yves Kobry: *Ernst Mach et le „moi insaisissable“*. In: Jean Clair (Hg.): *Vienne 1880-1938: Apocalypse Joyeuse*. Paris: Centre Pompidou 1986, S. 124-129.

17 Hall (wie Anm. 6), hier S. 238.

net – selbst zu einer Nachricht, ja einer Information werden konnte. So schrieb Wiener etwa im Jahr 1948: „Die gemeinsame Idee dieser verschiedenen Disziplinen ist die *Information* selbst, und sie zielt nicht auf einen besonderen Apparat, dem sie sich bedient.“¹⁸ Was somit im 19. Jahrhundert als Versuch begonnen hatte, ein universelles Modell der Energiewissenschaften von der Physik bis hin zur Physiologie zu entwickeln, wurde jetzt in eine allgemeine anwendbare Kommunikations- und Regelungswissenschaft überführt. Das alles bestimmende Merkmal des kommenden „Zeitalters der Kommunikation und Regelung“, welches deutlich vom „Zeitalter der Dampfmaschinen“ und der „Kraftwerksingenieure“ abgehoben war, bestand nach Wiener gerade „in dem grundlegenden Interesse an einer angemessenen Wiedergabe der Signale und nicht länger in der Bestimmung des Energiehaushalts.“¹⁹

Zur Ontologie des *grafischen Bildes*

Um 1800 trat ein neuer Typus wissenschaftlicher Instrumente in die Kabinette der Naturforscher ein, für den noch im gleichen Zug ein eigener Begriff geprägt wurde: Unabhängig von den bereits bekannten Suffixen, die für die experimentellen Apparate im Umlauf waren (etwa „-skop“ oder „-meter“), trat nun der „-graf“ seine besondere Konjunktur an und bezeichnete solche Instrumente, die, wie es die altgriechische Etymologie forderte, die Naturphänomene „aufschrieben“ oder „aufzeichneten“.²⁰ Die „Grafen“ veränderten nicht nur die Verfahren des mechanischen Schreibens, sondern auch der Bilderstellung, da sie meistens ohne oder nur mit einer geringen Beteiligung der menschlichen Hand ausgekommen sind. Zudem besaßen sie die außerordentliche Kapazität, schnell sehr viele Kopien von einem Original herstellen zu können.²¹ Diese mechanischen Instrumente, die für unterschiedliche Verfahren des Aufzeichnens, des Nachweisens und Einschreibens herangezogen werden konnten, wurden genau zu dem Zeitpunkt Bestandteil der Arsenale der Naturforschung, als die Messapparaturen der Experimentalforscher eine neue wissenschaftliche Rolle, Laboranwendung und Repräsentationskraft zugeschrieben bekamen.²²

Während die Naturphilosophen des 18. Jahrhunderts noch von strengen Gesetzmäßigkeiten der sozialen Organisation, der Körperregulation und Wiedergabe von Kontrollbedingungen ihrer Forschungsergebnisse abhängig gewesen waren, fühlten sie sich durch die Turbulenzen der revolutionären Epoche in besonderem Maße aufgefordert, die Nachweislast glaubwürdiger Zeugnisse auf die wissenschaftlichen Instrumente oder Maschinen zu übertragen. Eine besonders große Aufmerksamkeit wurde deshalb den Herstellungsbedingungen der Instrumente entgegengebracht, die jetzt einen zentralen Beweisstatus in den Naturwissenschaften zugeschrieben bekamen, während die aufgezeichneten Naturphänomene gewisser-

18 Norbert Wiener: *Time, Communication, and the Nervous System*. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 50 (1948), S. 202, wieder abgedruckt in: *Norbert Wiener: Collected Works with Commentaries*. 4 Bände. Cambridge, Ma., MIT Press 1985. Bd. 4, S. 220-243. Für die näheren Hintergründe, aus denen dieser Beitrag entstanden ist, siehe Steve Joshua Heims: *The Cybernetics Group*. Cambridge, Ma.: MIT Press 1991, S. 14-30.

19 Norbert Wiener: *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. 2. Aufl. Cambridge, Ma.: MIT Press 1961, S. 39.

20 Vgl. Christian Licoppe: *La formation de la pratique scientifique: Le discours de l'expérience en France et en Angleterre 1630-1820*. Paris: La Découverte 1996, S. 270, und Lissa Roberts: *A Word and the World, the Significance of Naming the Calorimeter*. In: *ISIS* 82 (1991), S. 199-222.

21 Zu der Vielzahl der mechanischen Aufzeichnungs- und Nachweisverfahren des späten 19. und frühen 20. Jahrhunderts siehe Martin Kemp: *The Science of Art from Brunelleschi to Seurat*. New Haven: Yale University Press 1990, S. 167-203.

22 Licoppe (wie Anm. 20), S. 271, wie auch Simon Schaffer: *Self-Evidence*. In *Critical Inquiry* 18 (1992), S. 327-362.

maßen an den körperlosen Geist des Experimentators weitergemeldet wurden.²³ Einzelnen Lesarten zufolge stellten die Inskriptionsergebnisse Abbildungen von natürlichen Zeichen dar, welche den Schülern der Naturphilosophie erst sorgsam enthüllt werden mussten.²⁴

Die neue Konfiguration dieser experimentellen Einschreibepaxis ging in hohem Maß von den gleichzeitig entwickelten Verfahren des Manufakturwesens aus, insbesondere den unabdingbaren Techniken des Kopierens und der mechanischen Reproduktion – eingedenk des Umstands, dass das Kopieren seit jeher Grundlage von künstlerischen und technologischen Entwicklungen in der Mediengeschichte war. Die Kulturtechniken des Abdrücke-Erstellens, des Moulagierens, des Stempelns, des Stanzens, des textilen Färbens, des Wendens und des Hoch- oder Tiefdruckens bildeten eine gemeinsame Menge traditioneller Verfahren aus, die auch im Zentrum der Innovationen des Industriezeitalters standen. Viele der besonderen Fortschritte, die das Manufakturwesen auszeichneten, entstammten dabei vernunftionalen Weisen der Mechanisierung, welche nun in alle möglichen Prozesse hinein Einzug gehalten haben. Ihr Prinzip „durchdringt die größte Zahl der Manufakturen und genau hierauf beruhen die neuen Möglichkeiten, die Produkte besonders preiswert herzustellen“, schrieb der politische Ökonom Charles Babbage (1791-1871) in seinem 1832 in London erschienenen Werk *„Economy of Machinery and Manufacturers“*.²⁵ Das Prinzip war klar: Das Original musste nicht länger mit der gleichen Sorgfalt erstellt werden, da nun potentiell grenzenlose Vervielfältigungsmöglichkeiten offenstanden. Und zugleich wurden hierdurch gigantische ökonomische Anwendungsfelder geschaffen.

Die neu entdeckte Aufmerksamkeit, die den *Kopierprozessen* jetzt in großem Stil zu Teil wurde, rief auch ein erneuertes Interesse an den weiterführenden philosophischen Implikationen auf den Plan: Mit dem fortschreitenden Industriezeitalter begannen die Hersteller vielmehr von zwei unterschiedlichen Kopierprozessen zu sprechen, die einerseits in praktischen und andererseits in theologischen Kontexten gestanden haben. So bezog sich die erste Art von Prozessen auf solche Kopiervorgänge, welche die metrischen Verhältnisse des Objekts während des gesamten Herstellungsverlaufs strikt beibehielten. Hieraus ergab sich die zusätzliche Möglichkeit eine Standardisierung von Maschinenkomponenten zu erreichen, und im umgekehrten Fall garantierte dieses Prozedere sogar den Ähnlichkeitsnachweis zwischen Original und Kopie. Für viele britische Industrieunternehmer lieferte die Konzeption einer Kopie aber auch eine „theologische“ Letztbegründung, welche die Existenz der Manufakturgesellschaft über die aller anderen Gesellschaftsformen stellte. Und tatsächlich war die Kunst des Kopierens ja schon traditioneller Weise umgeben von einer Aura der Magie und der theologischen Mystik:²⁶ Die Logik des Negativen, welche im Verhältnis von Wachs und Siegel, Abguss und Gussform, Stein und Abdruck verborgen lag, trug zugleich das Stigma der Elternschaft beziehungsweise der Autorenschaft in sich, welche hier in Übermittlung der normalen physikalischen und optischen Ähnlichkeitsverhältnisse zu einem vergleichbaren Gegenstand zum Ausdruck kam, zu dem sich der Abdruck in der Weise eines Gedächtnisses verhielt.²⁷

23 Schaffer (wie Anm. 22), S. 359-362.

24 Hans Blumenberg: *Die Lesbarkeit der Welt*. Frankfurt/M.: Suhrkamp 1981, S. 233-267.

25 Charles Babbage: *The Economy of Machinery and Manufacturers*. In: Martin Campbell-Kelly (Hg.): *The Works of Charles Babbage*. 11 Bände. London: William Pickering 1989, Bd. 8, S. 49-78.

26 Für eine historische Einordnung der Kulturtechnik des Kopierens von der Antike bis in die Moderne siehe Georges Didi-Hubermann: *L'Empreinte*. Paris: Centre Georges Pompidou 1997.

27 Für die mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Druckbilder siehe etwa Katharine Park: *Impressed Images: Reproducing Wonders*. In: Caroline A. Jones und Peter Galison (Hgg.): *Picturing Science, Producing Art*. London: Routledge 1998, S. 254-271, Hans Belting: *Bild und Kult. Eine Geschichte des Bildes vor dem Zeitalter der Kunst*. München: C.H. Beck 1990, Ernst von Dobschütz: *Christusbilder. Untersuchungen zur christlichen Legende*. Leipzig: J. C. Hinrichs 1899, und Ewa Kuryluk: *Veronica and Her Cloth: History, Symbolism, and the Structure of a „True“ Image*. Cambridge: Blackwell 1991.

Der Prozess des Kopierens bezog sich nicht allein auf den materialen Vervielfältigungsvorgang selbst, sondern referierte auf die sensible Berührungszone zwischen verschiedenen Oberflächen – eine delikate Matrix, auf der die internen Materialeigenschaften der Objekte mit den externen Sozialregimen ins Verhältnis traten. Das heißt, dass sowohl in den säkularen als auch in den theologischen Auffassungen solcher Kopier- und Aufzeichnungsprozesse eine *ontologische Scharnierstelle* aufgehoben war, oder – um es mit den Worten André Bazins (1918-1958) über den theoretischen Status des fotografischen Bildes zu sagen – „eine Übertragung der Realität von einem Ding auf seine Repräsentation“ stattfand.²⁸ Beide Lesarten der Kopierprozesse, sowohl die säkulare als auch die theologische Version, wurden von dieser Art der Rhetorik dominiert, was sich für die theoretischen Ansätze der späteren Fotografie ebenso wie für die Tradition der grafischen Aufzeichnungsverfahren des 19. Jahrhunderts konstatieren lässt.²⁹

Vor allem stammte aber die Macht der grafischen Aufzeichnungsinstrumente daher, dass durch sie das innere Getriebe der Natur selbst befähigt war, seine eigenen Abbilder herzustellen und dies unbeeinflusst von komplizierten technischen Interventionsschritten. Doch obwohl es zu diesem Zeitpunkt bereits verbreitete Beispiele automatischer Aufzeichnungsinstrumente gab, stammte derjenige Apparat, der die größere Aufmerksamkeit unter den Wissenschaftlern und Ingenieuren auf sich zog, aus der Werkstatt von James Watt: Auf der Suche nach einem definitiven Nachweis für die quantitative Leistung seiner Dampfmaschinen und das durch sie verrichtete Maß an Arbeit probierte Watt zunächst unterschiedliche Techniken aus, bevor er auf die einfallreiche Idee seines Assistenten John Southern (1758-1815) verfiel, die Bewegung des Hebeventils innerhalb eines Zylinders für diese Messungen zu nutzen. Das Watt'sche Aufzeichnungsdiagramm, wie das Instrument später hieß, bestand aus einem Zylinder, der mit einem Motor verbunden wurde, welcher wiederum einen Kolben enthielt, der fein entlang des Dampfdrucks und einer Sprungfeder austariert war (vgl. Abb. 24). An der Kolbenstange der Maschine war ein Schreiber festmontiert, und ein Aufzeichnungsapparat, der aus einem Stück Papier bestand, das auf eine kleine Tafel aufgebracht wurde, schrieb die Volumenauslenkungen des Kolbens im Verlauf der Zylinderbewegungen proportional auf.³⁰ Das resultierende schleifenförmige Bild, wie es vom Schreiber während des Aufzeichnungsvorgangs herausgestrichen wurde, konnte im Aufzeichnungsdiagramm mit zwei zusätzlichen Koordinaten verglichen werden, die somit in ein Diagramm einmündeten, welches den inneren Zylinderdruck mit den Auslenkungen des Kolbens in Beziehung setzte.

Der Watt'sche Apparat stellte damit eine der ersten Techniken dar, die sowohl einem grafischen Kopierprozess zu Grunde lagen als auch die unterschiedlichen Aktionen auf einer Grundfläche aufzeichnen und protokollieren konnten. Die Ingenieure nutzten diese Kurven zudem in zweifacher Form: Der wichtigste Zugang bestand darin, zu jedem Zeitpunkt und unter allen gegebenen Umständen die tatsächliche Maschinenkraft nachzuvollziehen, die dann als Integral der Arbeit unter der Kurve berechnet werden konnte. Wenn ein Ingenieur jedoch die Kurvenfläche geometrisch bestimmte, erhielt er tatsächlich eine Figur, die sich proportional aus der durch die Maschine geleisteten Arbeit ergab, sobald die Aufzeichnung des Vor-

28 Vgl. André Bazin: *The Ontology of the Photographic Image*. In: Ders.: *What is Cinema?* Übers. von Hugh Gray I. Berkeley: University of California Press 1967, S. 14.

29 Für das ausgeprägte Interesse des britischen Astronomen Sir John Herschel (1792-1871) an den verschiedenen Möglichkeiten des Kopierverfahrens und ihrer Bedeutung für seine bahnbrechenden Arbeiten zur Fotografie siehe Paul Galvez: *Register and Copy: John Herschel's Photographic Observations*. Nichtpublizierte Magisterarbeit. Harvard University Cambridge, Ma. 1997. Peter Geimer hat in brillanter Weise gezeigt, wie ähnlich beziehungsweise wie nahe vergleichbare Überlegungen bei den wissenschaftlichen Untersuchungen des Grabtuchs von Turin: Peter Geimer: *L'autorité de la photographie: Révélations d'un suaire*. In: *Etudes Photographiques* 6 (1999), S. 67-99.

30 Henry Winram Dickinson: *A Short History of the Steam Engine*. London: Cambridge University Press 1939, S. 85.

gangs beendet war. Und gegeben, dass eine Maschine während des Aufzeichnungsvorgangs mit kontinuierlicher Geschwindigkeit betrieben wurde und dass die Anzahl ihrer Umdrehungen sowie die Auslenkungen des Kolbens bekannt waren, wurde jetzt eine erstaunlich präzise Messung der *Arbeitskraft* möglich, die später nur noch als „Arbeit“, manchmal auch als „Energie“ bezeichnet worden ist.

Die zweite Verwendungsweise, die das Watt'sche Aufzeichnungsdiagramm eröffnet hat, bestand darin, dass die Ingenieure die Form der Kurve danach untersuchen konnten, ob etwa Auslenkungen oder gar Störungen des normalen Funktionsablaufs zu finden waren; kurz: pathologische Auslenkungen, die die normalen Funktionen der Maschine beeinträchtigten. Dies erlaubte dem Ingenieur zu diagnostizieren, ob es Defekte in demjenigen Teil der Maschine gab, in welchem beispielsweise der Dampf in die Zylinder eingeleitet wurde. Und die Prüfdurchsicht der grafischen Spur auf Irregularitäten in der Linienführung eröffnete auch eine Kontrolle darüber, ob die Kolbenenden ordentlich abgedichtet waren oder ob die Dampfzulaufe eine angemessene Größe besaßen, ein Problem, das letztlich darin mündete, dass andere Teile der Maschine entsprechend auszutauschen und anzupassen waren. Hierin bestand an erster Stelle die *Beobachtungsfunktion* des Apparates, nämlich seine Eigenschaft, auch die unsichtbaren Zustände in entlegenen Teilen des Maschinenaufbaus ans Tageslicht zu bringen ebenso wie solche Fluktuationen, die sich als marginal und veränderlich erwiesen, dass sie der Inspektion mit dem unbewaffneten Auge bislang entgangen waren.

Nachdem das Watt'sche Aufzeichnungsdiagramm nach mehreren Dezennien eines gewissen Schattendaseins als ein streng bewachtes Industriegeheimnis letztlich 1820 der Öffentlichkeit präsentiert worden war, wurde es sofort von verschiedenen französischen Ingenieuren mit großer Bereitschaft aufgegriffen und nachgebaut, da sie sich hiervon eine Lösung mehrerer drängender und widerständiger Probleme erhoffen konnten. Für die Ingenieure der Restaurationszeit, welche allesamt an der *Ecole Polytechnique* in Paris ausgebildet worden waren, stammten dabei die vordringlichsten Probleme aus einem Gebiet, welches sich der praktischen Mechanik und der deskriptiven Geometrie des französischen Mathematikers und Physikers Gaspard Monge (1746-1818) zuschreiben ließ. Noch während der Revolutionszeit hatte Monge seine beschreibende Geometrie als eine universale Sprache der Industrie propagiert. Dies führte viele Handwerker und Ingenieurseliten in einem Schnittfeld zwischen Theorie und Praxis zusammen, wodurch schließlich eine Mechanisierung von Handlungen in bestimmten Arbeitsgebieten beflügelt worden ist.³¹ Für die Ingenieure, die sich zunehmend mit dem Problem der Repräsentation von dynamischen Phänomenen auseinandersetzten, stellte Monges deskriptive Geometrie einen hoffnungsvollen neuen Ansatz dar, wie er für das entstehende dampfgetriebene moderne Industriesystem benötigt wurde, aber hinsichtlich der Möglichkeiten einer hochpräzisen Messung in dieser Zeit noch unzureichend war.³²

Im Verlauf der 1820er Jahre laborierten die französischen Ingenieure dabei vor allem an der „Notwendigkeit eine Art mechanischer Währung („*monnaie mécanique*“) zu entwickeln, mit der sich das Maß der Arbeit, welches in den unterschiedlichsten Bereichen des Manufakturwesens zum Einsatz kommt, bestimmen lässt“³³, wie es in einem der einflussreichsten Traktate über die Mechanik der Dampfmaschinen von 1819 hieß. Der Begriff der „mechanischen Währung“ rief gleichzeitig physikalische und ökonomische Assoziationen auf den

31 Ken Alder: Making Things the Same: Representation, Tolerance and the End of the *Ancien Régime* in France. In: *Social Studies of Science* 28 (1998), S. 499-454, Harold Belofsky: Engineering Drawing – A Universal Language in Two Dialects. In: *Technology and Culture* 32 (1991), S. 23-46.

32 Der französische Ingenieur Pierre Charles Dupin (1784-1873), der als einer der aktivsten Vertreter der physikalisch-dynamischen Theorien gelten kann, fasste Monges Vorstellungen in einem programmatischen Traktat näher zusammen: Pierre Charles Dupin: *Essai historique sur les services et les travaux scientifiques de Gaspard Monge*. Paris: Bachelier 1819, S. 144.

33 Claude-Louis-Marie-Henri Naviers „Einführung“ zu Forest de Bélidor: *Architecture Hydraulique*. Paris: Didot 1819, S. 376.

Plan und verband sich mit Begriffen der ‚Energie‘ und des ‚Arbeitswerts‘. Damit wurde eine Art universelles Austauschsymbol zwischen „den Geschäftsleuten und den Kapitalgebern“ auf der einen Seite und den Ingenieuren auf der anderen postuliert, welche ständig mit der Beherrschung ihrer Kraftmaschinen rangen.³⁴ Jean-Victor Poncelet (1788-1867), Professor für Geometrie an der Vereinigten Ingenieursschule für die Artillerie in Metz, verglich diese Maßeinheit mit dem vertikalen Hebevorgang eines schweren Körpers:

„Diese Definition oder vielmehr dieses Maß der mechanischen Arbeit stimmt sehr mit der Art überein, mit der im Handwerk sämtliche Arbeiten mit dem vertikalen Hub von Gewichten verglichen werden.“³⁵

Als Poncelet sich jedoch näher mit der grafischen Aufzeichnungsmethode von Watt auseinandersetzte, konnte er feststellen, dass dessen Lösung gleichzeitig viele offene Fragen der praktischen Messung von ‚Arbeit‘ beantwortete. Gleich der Definition des Freien Falls bestimmte die grafische Methode Arbeit nämlich als das Produkt aus Kraft und Strecke, entlang derer eine Kraft – wie auf den fallenden Körper – aufgewendet wird: „Kraft \times Strecke“ anstatt von „Kraft \times Zeit“. Dies entfernte die neue Bestimmung aber weiter von den klassischen Messformen, wie sie insbesondere auf der Grundlage von Waagen etabliert worden waren, etwa der Federwaage, die aber nur die Quantität der Bewegung beziehungsweise das Resultat der verrichteten Arbeit maß. Letzteres konnte nach Poncelet jedoch leicht erreicht werden, wenn die Bewegungskurve kontinuierlich auf ein Koordinatengitter aufgezeichnet wurde, wobei die Bewegung auf der Abszisse und die verstrichene Zeit auf der Ordinate aufgetragen wurden. Zudem setzte das Instrument eine enge Verbindung der kontinuierlich gleichförmigen Bewegung des Schreibers mit einer Aufzeichnungstafel oder mit dem Objekt selbst voraus, dessen Bewegung gemessen werden sollte.

Poncelet, seine Metzger Kollegen und auch sein Studienfreund aus Zeiten der *Ecole Polytechnique*, Arthur Morin (1795-1880), gingen sofort daran, unterschiedliche Arten von selbst-aufschreibenden Dynamometern für den Einsatz in unterschiedlichen industriellen und experimentellen Situationen zu entwickeln. Ein großer Teil des Bestrebens auf Verallgemeinerbarkeit, welches sich in der deskriptiven Geometrie ausmachen lässt, begann sich jetzt in die Materialität der Instrumente selbst hineinzuschreiben, da sich deren Anwendungspotential als ebenso groß darstellte wie das der Mechanik selbst. Dynamometer für Dampfmaschinen wurden nun weit über das Watt'sche Aufschreibegerät hinaus entwickelt. Überdies begannen andere Ingenieure ‚Arbeit‘ nun in spezifischen praktischen *Settings* zu bestimmen und untersuchten solche Situationen, in denen etwa Wagen von Tieren gezogen oder Lokomotiven auf Modellstraßen aus unterschiedlichen Materialien gesetzt wurden; manche Dynamometer wurden für ballistische Experimente verwendet, um beispielsweise den Luftwiderstand oder die Trajektorien und Penetrationswege von Projektilen näher zu erfassen wie die Rückstoßdynamik von Gewehren. Wieder andere Ingenieure maßen die unterschiedliche Elastizität physikalischer Materialien.³⁶ Diese Probleme der praktischen Physik bildeten insgesamt eine Problemkonstellation aus, die ihren theoretischen Ausdruck in einer neuen Wissenschaft von der Energie fand.³⁷

34 Über die Bedeutung des Arbeitsbegriffs im Frankreich dieser Zeit siehe insbesondere François Vatin: *Le Travail: Economie et physique 1780-1830*. Paris: Presses Universitaires de France 1993.

35 Jean-Victor Poncelet zitiert nach Jean-Pierre Sérís: *Machine et Communication*. Paris: Vrin 1987, S. 429.

36 Arthur Morin: *Notice sur divers appareils dynamométriques, propres à mesurer l'effort du travail développé par les moteurs animés ou inanimés, ou consommé par les machines de rotation, et sur un nouvel indicateur de la pression dans les cylindres des machines à vapeur*. Paris: Mathias 1839.

37 Crosbie Smith: *The Science of Energy: A Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain*. Chicago: University of Chicago Press 1998, Robert M. Brain und M. Norton Wise: *Muscles and Engines: Indicator Diagrams and Helmholtz's Graphical Methods*. In: Mario Biagioli (Hg.): *The Science Studies Reader*. London: Routledge 1998, S. 51-66.

Poncelet und Morin proklamierten die neuen Instrumente überall dort, wo sie konnten; und besondere Demonstrationsinstrumente, die grafische Aufzeichnung des „Gesetzes vom Freien Fall“ gewährleisteten, wurden überall in Frankreich in den *Lycées* verbreitet, so dass das Prinzip der mechanischen Arbeit bereits für jeden Schuljungen als „selbst-evidentes Axiom“ deutlich werden musste. Zur gleichen Zeit warben Poncelet und Morin – wenn auch wenig erfolgreich – dafür, dass ihre grafische Methode einer Arbeitsmessung auch als legislatives Verfahren vor Gericht Verwendung finden sollte. Es ist dabei besonders wichtig, zu erkennen, wieviel Durcheinander und Unwissen auf Seiten des Gesetzgebers hinsichtlich der technischen Beurteilung von Straßen, Brücken, Kanälen und Eisenbahnen herrschte oder unter den Agrarwissenschaftlern mit Bezug auf deren technische Ausrüstungsentscheidungen. Morin meinte deshalb, dass das neue Messverfahren für Arbeit, das „auf einer gut begründeten experimentellen Grundlage steht“, auch Überlegungen für öffentliche Arbeitsprojekte stärken könnte, welche besonders die Industrieegner in die Lage versetzen würde, in einer Währung von Arbeitswertigkeiten zu handeln.³⁸ Der französische Ingenieur nahm gleichwohl wahr, dass obwohl die ‚Pferdestärke‘ zu einer Verwendung als verbreitete Maßeinheit gefunden hatte, sie doch momentan „keinen gesetzlichen Wert hat, aber dass es enorm wünschenswert wäre, dass sie einen rechtgültigen Charakter bekäme, weil es die *Währung der industriellen Arbeit* („*la monnaie du travail industriel*“) ist.“³⁹

So gesehen boten selbst-einschreibende Instrumente auch eine neue Methode mechanischer Überwachung an: Viele Experimentalwissenschaftler begannen diese neuen Möglichkeiten nun in einzelnen Verfahren zu formalisieren, welche sich nach besonderen Trainingsansätzen, dem Erstellen von angemessenen Regeln und angepassten Protokollen für die Identifizierung und die Sicherung von Beobachtungen besonders geeignet haben. Viele der resultierenden Protokolle waren Teil einer weitläufigen Strategie, die menschlichen Handlungen überall dort – wo dies möglich war – mit maschinenartigen Apparaturen beziehungsweise Maschinen selbst zu ersetzen. Routinemäßig fügte Morin seinen Apparatebeschreibungen einen *Mémoire* zu, der seine Methode überdies mit dem Watt’schen Aufzeichnungsdiagramm verbinden sollte. Ferner legte er eine ausgearbeitete philosophische Theorie der automatischen Registrierung und deren Anwendung auf verschiedenen Gebieten der unbelebten und belebten Motoren vor. Experimentelle Protokolle lieferten hier die notwendigen Verfahrensbedingungen, die eine *Selbst-Einschreibung* der untersuchten Phänomene durch die Instrumente garantierten, das heißt, dass die mechanischen Apparaturen somit in die Lage versetzt wurden, die kontinuierlichen physikalischen Quantitätsänderungen der Geräte ohne weitere Einflüsse menschlicher Art aufzuzeichnen. Die Empfindlichkeit des Instruments musste sich proportional zu den gemessenen Phänomenen zu jedem Zeitpunkt im Aufzeichnungsverlauf verhalten können und ebenso unabhängig von den lokalen Verwendungsbedingungen sein. Dies sollte garantieren, dass die mit den Messapparaten durchgeführten Operationen als annähernd analog oder homöomorph zu den aufgezeichneten Phänomenen betrachtet werden konnten.⁴⁰

Wie Morin immer wieder unterstrich, mussten die selbst-aufschreibenden Instrumente ihre Ergebnisse „unabhängig von der Aufmerksamkeit, vom Willen oder den Vorurteilen des Beobachters“ verfertigen.⁴¹ Und hierbei griff der Ingenieur eine durchgehende Tendenz des 19. Jahrhunderts auf, die den Willen des Individuums zu überwachen und seine Fallibilität mit mechanischen Protokollen zu ersetzen suchte. Loraine Daston und Peter Galison haben dieses Bestreben auch als *mechanische Objektivität* gefasst und argumentiert, dass diese nicht nur eine epistemologische Garantie, sondern darüber hinaus eine moralische Vision bereitgestellt

38 Arthur Morin: Notice sur les divers appareils dynamométriques. Metz: Lamort 1838, S. 1f.

39 Arthur Morin: Notions Fondamentales de Mécanique. Paris: Hachette 1855, S. 24 (Herv. im Orig.).

40 Morin (wie Anm. 36), S. 29f.

41 Morin (wie Anm. 38), S. 29f.

hat.⁴² Dastons und Galisons Sichtweise zufolge brachte der Ansatz der mechanischen Objektivität die normativen Werte von Maschinen gegen die fehlbaren Laster der menschlichen Natur in Stellung und erhob somit eine dezidiert moralische Autorität über diejenigen Wissenschaftler, die diese Kehrtwendung mitgetragen haben. Zusammen mit dem neuen Bild der Maschine traten damit zugleich ältere christliche Ideale der Askese, der Selbstdisziplin und der Selbstbeschränkung in den Vordergrund und wurden in moderne säkulare Vorstellungen überführt, welche die Wissenschaftler darauf vorbereiteten die apparativen Einschreibungen der Natur zu identifizieren. „Die Natur spricht nur zu denjenigen, die sie zu befragen wissen“ lautete das Mantra, das Morin in seinen Abhandlungen über instrumentelles Experimentieren immer wieder betonte. Überhaupt sprach die Natur aber am besten durch die Maschine mit ihren primitiven und präverbale Idiomen in den grafischen Abbildungen selbst.

Die Aufzeichnungsinstrumente des wissenschaftlichen Modernismus

Ähnlich dem Entwicklungsgang der Linearperspektive in der Renaissance, welche die jahrzehntelangen Anstrengungen der Handwerksingenieure zunichte machte, immer neue Artefakte in die bestehenden Aufzeichnungsgewohnheiten einzubringen, gaben auch die Poncelet-Morin'schen Instrumente Anlass für vergleichbare Versuche, die unterschiedlichen Phänomene gemeinsam der grafischen Methode unterziehen zu können. In den folgenden Dekaden griffen viele innovative Experimentatoren die Methode auf, um sie in vielfältigen wissenschaftlichen und praktischen Disziplinen einzusetzen. Aber in fast allen Fällen dieser Einführung in neue Gebiete, brachte die grafische Methode genau diejenigen repräsentationalen, epistemologischen und moralischen Werte mit, die ihr bereits Poncelet und Morin zugeschrieben hatten. Dies betraf etwa gleichermaßen die Konzepte der ‚Arbeit‘ beziehungsweise der ‚Energie‘, die der mechanischen Beobachtbarkeit und der universellen Kommunikation. Zudem wirkte sich dieser Transfer auch in einer anderen Richtung aus: Jede disziplinäre Neuanwendung trug zum wachsenden wissenschaftlichen Gebiet der grafischen Methode bei und begann dieses so lange zu verändern, bis um die Jahrhundertwende letztlich eine komplexe Gemengelage sehr unterschiedlicher Bereiche zusammengekommen war: eine praktisch orientierte Mathematik, ein ausgedehnter wissenschaftlich-technologischer Komplex, eine dezidierte Beobachtungssprache, ein Subjekt, das seinen Körper neu entdeckt hatte, eine abbildungsorientierte Kunst, geänderte moralische Vorstellungen und eine reichhaltige politische Bildwelt. In diesem Abschnitt sollen deshalb einzelne Anwendungsbereiche näher beschrieben werden, damit sich die Genealogie dieser Entwicklungen angemessen nachvollziehen lässt.

Poncelets und Morins Instrumente zogen schnell die ungeteilte Öffentlichkeit des wissenschaftlichen Europas auf sich: In vielen Kontexten wissenschaftlicher Forschung und Ingenieurskunst wurden jetzt Versuche unternommen, einzelne Instrumente zu verbessern und deren Anwendungshorizont zu erweitern. Eine der wichtigsten Rezeptionstraditionen entwickelte sich dabei nach der Aufnahme dieser Instrumente durch eine Gruppe junger deutscher Physiologen, die in schneller Folge eine ganze Reihe von Modifikationen in die Geräteentwicklung einführten, um die Registrierung physiologischer Funktionen wie der Muskelkontraktion, des Blutkreislaufs oder des Atemvorgangs nutzbar zu machen: Der Leipziger Physiologe Carl Ludwig (1816-1895) entwickelte wohl das wichtigste dieser Geräte, den Kymographen, als er eine selbst-aufschreibende Komponente mit dem von dem französischen Ingenieur und Arzt Jean-Louis-Marie Poiseuille (1797-1869) gebauten Hämodynamometer – einem ersten Messgerät für den arteriellen Blutdruck – kombinierte. Auch Hermann Helmholtz (1821-1894), ein junger und an physikalisch-physiologischen Problemen sehr inte-

42 Loraine Daston und Peter Galison: The Image of Objectivity. In: Representations 40 (1992), S. 81-126.

ressierter Mediziner, entwickelte mehre technische Geräte, mit denen er das Phänomen der Muskelkontraktionen näher bestimme; die „Energie“ der Muskulatur – die „verrichtete Muskelarbeit“ – wurde nunmehr zu einer Funktion, die auf der Ordinate zusammen mit den respektiven „Zeiträumen“ entlang der Abszisse aufgetragen werden konnte.⁴³ Mit Hilfe der neuen Instrumente war es Helmholtz gelungen, „eine enge Verbindung zwischen den grundlegenden Fragen der Ingenieurwissenschaften und denen der Physiologie im Zusammenhang mit der Erhaltung der Kräfte“ zu postulieren.⁴⁴ Mit den Worten seines engen Berliner Kollegen und Freundes Emil Du Bois-Reymond (1818-1896) konnte dies nur bedeuten, dass:

„die angemessene Form der physiologischen Repräsentation [...] eine Kurve [ist], deren Gesetzmäßigkeiten, um genau zu sein, unbekannt sind, deren allgemeinen Charakter man aber in den meisten Fällen erkennen kann.“⁴⁵

Es waren diese Analogien zwischen einer Reihe von Phänomenen, von denen angenommen wurde, dass sie als grafische Wellenform repräsentiert werden konnten, welche auch den Erfindungsdrang Etienne-Jules Mareys sehr anregten.⁴⁶ Dieser junge französische Physiologe sprach von sich selbst sogar als einem *Ingénieur manqué*, der seine Karriere in großen Teilen der Weiterentwicklung und Propagierung der grafischen Methode verdankte, und dies nicht nur in seinem eigenen Wissenschaftsfeld, sondern ebenso in einer ganzen Reihe von Grenzgebieten. Das von Marey entwickelte Bild der physiologischen Experimentalwissenschaften verlief somit quer zu demjenigen der allgemeinen disziplinären Traditionsbildung gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Schließlich war die disziplinäre Wissenschaftsentwicklung immer weiter vorangeschritten und damit in eine Situation hineingelaufen, die sich gewissermaßen mit dem Turmbau zu Babel vergleichen lässt und eine Situation des gegenseitigen Unverständnisses herbeiführte. Zu einem Teil war dies sicher dem internationalen Charakter der Wissenschaften geschuldet und damit zugleich der Vorliebe der Forscher selbst, jeweils in ihrer eigenen Sprache zu schreiben. Zu einem anderen Teil ging dies direkt aus der Arbeitsteiligkeit der neuen Laborwissenschaften hervor, deren deutlichste Vorteile genau dann verloren gehen würden, wenn „der Wissenschaftler sich spezialisiert [...] und der Horizont jedes einzelnen dadurch kleiner wird.“⁴⁷

Und die Antwort auf diese Frage kam jetzt mit dem Aufscheinen einer neuen adamitischen Sprache, als welche sich die grafische Aufzeichnungsmethode praktisch anbot, und somit nicht nur eine weitergehende Klarheit in den Experimentalprozess einführte, sondern ferner alle Laborergebnisse prinzipiell als Relationen von Energie beschrieb; oder wie es damals hieß: „als Sprache der Phänomene selbst.“⁴⁸ Marey beabsichtigte, die allgemeine Vision einer grafischen Aufschreibetechnik mit säkularen und probaten Mitteln umzusetzen. Unzählige grafische Registrierapparate sind seinen begnadeten Händen dabei in der Folge entsprungen, welche nicht nur die berühmten Instrumente für Chronofotografie und Kinematografie einschlossen, sondern auch zentrale Komponenten selbst-einschreibender Apparate ausmachten, wie die Marey-Drehtrommel – ein gespanntes Trommelblatt mit Abnahmetechnik –, die

43 Siehe auch Brain und Wise (wie Anm. 37) sowie Frederic L. Holmes und Kathryn M. Olesko: The Images of Precision: Helmholtz and Graphical Methods in Physiology. In: M. Norton Wise (Hg.): The Values of Precision. Princeton: Princeton University Press 1995, S. 198-221.

44 Hermann Helmholtz: On the Application of the Law of the Conservation of Force to Organic Nature. In: Proceedings of the Royal Institution of Great Britain 3 (1861), S. 347-357.

45 Emil Du Bois-Reymond: Untersuchungen über die thierische Electricität. Berlin: Reimer 1848/1849, S. 26.

46 Zu Marey siehe auch Marta Braun: Picturing Time: The Work of Etienne-Jules Marey. Chicago: The University of Chicago Press 1993, oder François Dagonet: Etienne-Jules Marey: La passion de la trace. Paris: Hazan 1987.

47 Vgl. etwa Thomas L. Hankins und Robert L. Silverman: Instruments and the Imagination. Princeton: Princeton University Press 1997, Kapitel 6.

48 Marey (wie Anm. 8), S. iii und v.

es ermöglichte, noch kleinste Schwingungen aufzuzeichnen und zu verstärken. Marey begriff diese Komponenten als mechanische Analoga menschlicher Wahrnehmungsfähigkeiten und wie Modelle für unterschiedliche Zugangsweisen, mit denen sich die physiologischen Aktivitäten tief ins Innere des Organismus eingraben konnten. In vielfacher Hinsicht drehten diese Instrumente nun das Innerste des Körpers nach Außen und produzierten ein selbständiges funktionales *Double* des Körpers in Form grafischer Aufzeichnungsergebnisse. Mareys funktionelle Aufzeichnungsinstrumente vervielfältigten etwa das körpereigene Arteriensystem durch Einbringung gläserner Röhren, um die physiologischen Signale nach außen leiten zu können (Vgl. Abb. 25 li. und re.). In umgekehrter Form – so ließe sich auch sagen –, konnten die rezeptiven Komponenten der Apparate als eine Entsprechung der sensorischen Funktionen des Beobachters begriffen werden, so etwa die Marey'sche Drehtrommel, die gewissermaßen für die Haut stand, die elastischen Kautschukröhren, die hier als Nerven figurierten oder die Kohlewalzen und -papierrollen, die als Analogon für das menschliche Gedächtnis herhielten. Diese selbst-einschreibenden Instrumente, und darin war sich Marey sehr bewusst, standen für ihn nicht für Körperprothesen ein, noch stellten sie eine Verstärkung der bestehenden Sinnesqualitäten dar – etwa in der Weise wie dies für die rezenten Mikroskope, Teleskope oder Stethoskope behauptet wurde, welche „wie neue Sinne ihren eigenen Anwendungsbereich besitzen.“ Stattdessen wurden sie konzeptionell sogar gegen den menschlichen Beobachter in Stellung gebracht, da sie letztlich „ihr eigenes Untersuchungsfeld“ lieferten.⁴⁹ Und dies war das je besondere Feld der ‚Energie‘ beziehungsweise der ‚Kraft‘, die in einzigartiger Weise von den grafischen Aufzeichnungsgeräten Besitz ergriffen und den Blick auf die Gestalt der Phänomene „von Innen“ freigaben, das heißt die „Weise erhellten, in der sie entstanden sind.“⁵⁰

Die Rolle des menschlichen Subjekts fiel aus diesem Bild jedoch heraus, da der menschliche Operateur nur noch gelegentlich in der Eigenschaft eines Bedieners der Maschinen auftrat, gewissermaßen zu einer *Quantité négligeable* wurde, die in Zukunft kaum noch Bestand haben sollte. Während Marey die erkenntnistheoretischen Implikationen dieses Problems selbst eher außer Acht ließ – wie Joel Snyder überzeugend argumentiert hat – führte die Abwesenheit des menschlichen Experimentators in diesem Bild dazu, dass die Bedeutung maschinell erzeugter ‚Objektivität‘ die Werke Mareys aber implizit durchzog. Die Hauptaufgabe, solche wissenschaftsphilosophischen und erkenntnistheoretischen Implikationen näher herauszuarbeiten, blieb anderen wie dem Physiker Ernst Mach vorbehalten, der schließlich eine der ausgefeiltesten physikalischen Theorien des Sphygmographen vorgelegt hat.⁵¹

Ungeachtet seiner besonders präzisen physikalischen Position folgte Marey jedoch den französischen Ingenieuren in weiten Teilen, wenn er etwa die grafischen Aufzeichnungsinstrumente als unhintergehbare und öffentlich nutzbare Messzugänge in der aufsteigenden Kultur technologisch basierter wissenschaftlicher Expertengemeinschaften propagierte, die als typisch für die frühe Dritte Republik in Frankreich anzusehen sind. Mareys Pariser Labor entwickelte sich deshalb zu einem wissenschaftlichen Ort, zu dem Forscher und Anwender aus ganz unterschiedlichen Disziplinen Zugang erhielten, um sich dort mit dem Arbeiten der grafischen Methode vertraut zu machen. Und es war diese Zielrichtung, die zu einer weitgehenden Spezialisierung und gleichzeitig zu einer interdisziplinären Expertenkultur beigetragen hat. Die Unzahl wissenschaftlicher Partnerschaften Mareys und seiner gemeinsamen Arbeitsprojekte waren ebenfalls entscheidend dafür, dass die grafische Methode in einem breiten Spektrum von wissenschaftlichen Forschungsprogrammen in Frankreich wie auch im Ausland verankert werden konnte.

Eine der wohl fruchtbarsten wissenschaftlichen Kooperationen, die aus Mareys Labor hervorging, betraf die enge Zusammenarbeit des Physiologen mit mehreren Protagonisten der

49 Joel Snyder: *Visuality and Visualization*. In: Jones and Galison (wie Anm. 27), S. 380-385.

50 Marey (wie Anm. 8), S. xiii.

51 Ernst Mach: *Zur Theorie der Pulswellenzeichner*. In: *Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften* 46 (1862), S. 157-174.

Linguistik als neuer Humanwissenschaft: Bereits 1874 begann Marey etwa eine enge labor-experimentelle Zusammenarbeit mit einem Kollegen am *Collège de France*, dem Linguistik-professor Michel Bréal (1832-1915) sowie einem anderen Mitglied der Pariser *Société de linguistique*, dem Experten für das Taubstummwesen Charles Rosapelly (1853-1938), mit denen er gemeinsam nach den Grundlagen der grafischen Aufzeichnung der Sprachartikulation suchte. In ihren technischen Einzelheiten spiegelten diese Arbeiten den vergleichbaren Ansatz des amerikanischen Erfinders Thomas Alva Edison (1847-1931), welcher 1877 den Fonografen erfand. Aber Marey und Bréal besaßen in erster Linie wissenschaftliche und weniger kommerzielle Interessen, als sie versuchten, die Wissenschaft der Linguistik auf eine laborexperimentelle Forschungsgrundlage zu stellen – nicht zuletzt mit dem Hintergedanken, hierdurch die dominante Rolle der philologischen Tradition in Deutschland zu brechen.⁵²

Ihre gemeinsamen Untersuchungen zur grafischen Darstellungsweise der Sprachbildung spielten letztlich eine entscheidende Rolle für die Entstehung der modernen Linguistik und das ganz besonders im Zusammenhang mit dem Werk von Bréals berühmtem *Protegé* Ferdinand de Saussure, der diese Ansätze entscheidend weiterentwickeln konnte.⁵³ So verwandelten sich die flüchtigen und unstetigen Phänomene letztlich in beobachtbare Objekte, die sich nachfolgend im Prozess der laborexperimentellen Untersuchung in der Gestalt der Aufschreibegeräte materialisieren konnten. Das *Image vocale* – in der Begrifflichkeit Bréals – oder die von Saussure als *Image acoustique* bezeichnete grafische Aufzeichnung diente primär dazu, die Konzeption eines elementaren linguistischen Signals zu untermauern und führten zur Einheit des ‚Phonems‘, die zum Schlüsselbegriff der modernen naturwissenschaftlichen Linguistik geworden ist.⁵⁴ Und Saussure ließ keinen Zweifel daran, dass er das *Image acoustique* tatsächlich als eine grafische Repräsentation verstand und es entsprechend behandelt wissen wollte:

„Das linguistische Signal ist seiner Natur nach akustisch und hat einen zeitlichen Aspekt, wodurch es auch wichtige temporale Charakteristika gewinnt: a) es nimmt einen bestimmten zeitlichen Raum ein und wenn b) dieser Raum in nur einer Dimension gemessen wird, dann kann er zu einer Linie verdichtet werden.“⁵⁵

Das materiale Signifikat ebenso wie das *Image acoustique*, von denen Saussure gewöhnlich als ein und demselben sprach, erschienen als Zirkelmodell der Kommunikation, in dem Worte oder sprachliche Nachrichten ausgetauscht, abgeschickt, untersucht, neu gesendet, weitergeleitet, aufgenommen und gespeichert werden konnten.

Saussure schrieb diesen Bruch mit dem referentiellen beziehungsweise korrespondierendem Sprachbild in erster Linie der neuen grafischen Einschreibetechnik von Sprache zu, wenn er etwa erklärte:

„Die früheren Linguisten, die die Physiologie der Tonerzeugung noch nicht gekannt haben sind immer wieder in entscheidende Probleme hineingelaufen. So bedeutete für sie, wenn man die Buchstaben aufgab, dass die Linguistik dann ihre Grundlage verliert. Für uns hingegen bedeutet dies heute einen wichtigen Schritt auf die Wahrheit zu.“⁵⁶

52 Für eine weitergehende Analyse dieser Arbeiten siehe Robert M. Brain: Standards and Semiotics. In: Timothy Lenoir (Hg.): *Inscribing Science: Scientific Texts and the Materiality of Communication*. Stanford: Stanford University Press 1997, S. 249-284.

53 Die nähere Beziehung zwischen Bréal und Saussure findet sich reflektiert in Hans Arsléff: Bréal, ‚la sémantique,‘ and Saussure. In: Ders. (Hg.): *From Locke to Saussure: Essays on the Study of Language and Intellectual History*. Minneapolis: University of Minnesota Press 1982, S. 382-400.

54 Sylvain Aroux: La catégorie du *parler* et la linguistique. In: *Romantisme* 11 (1976), S. 157-178, hier insbesondere 174.

55 Ferdinand de Saussure: *Cours de linguistique générale*. Lausanne, Paris: Payot 1916, S. 69.

56 Saussure (wie Anm. 55), S. 32.

Entsprechend versuchten grafisch-messende Studien auch die präzisen metrischen Werte der Sprachbildung näher zu bestimmen, was sie letztlich in die Lage versetzte, zu einem entscheidenden und berühmten Bruch mit der philosophischen Korrespondenztheorie der Wahrheit zu gelangen. Diese Theorie wurde jetzt von einer Sprachkonzeption ersetzt, welche die lebende Sprache als Höchstmaß unterschiedlicher und kontrastiver sprachlicher Bilder begriff, die letztlich voneinander und unter Rückgriff auf messbare graduelle Unterschiede separiert werden konnten.

Das *Image acoustique* versetzte Saussure überdies in die Lage, eine neue basale Einheit der linguistischen Analyse bereitzustellen: das ‚Phonem‘, welches zwar als lautmäßig bestimmt angesehen wurde, jedoch durch verschiedenen Töne – je nach ihrer Tonhöhe, -volumen, -färbung – unterschiedliche bestimmt galt. Die menschlichen Ohren ebenso wie die Gehirne – die nach dieser Lesart mit einer sehr großen Anzahl phonetischer Eindrücke ausgestattet waren – analysierten somit *Images acoustiques*, welche von selbst-einschreibenden Instrumenten vor den Augen der Forscher ausgebreitet werden konnte. Dabei war Saussure letztlich weniger an der Psychophysik der Sprache interessiert, als vielmehr an den Auswirkungen, die diese Prozesse für das Verständnis der Linguistik hatten. Gleichwohl bestimmten für ihn die materialen Bedingungen der Sprache jeden Einzelaspekt des Sprachsystems in entscheidender Weise mit.

Die nähere Zusammenarbeit zwischen Marey und den Linguisten rief eine Vielzahl neuer Untersuchungsansätze unter den Experimentalwissenschaftlern in Frankreich hervor, welche die grafischen Kurven, die durch die sensorischen und psychophysikalischen Funktionen produziert wurden, jetzt näher in den Blick nehmen sollten. Eines der wohl bedeutendsten Forschungsprogramme wurde in dieser Hinsicht von dem französischen Universalgelehrten Charles Henry (1868-1942) verfolgt, der sich nicht nur als Mathematikhistoriker, als Sanskritgelehrter und als Experimentalpsychologe einen Namen machte, sondern vielfältige und enge Beziehungen zu Mitgliedern der künstlerischen Avantgarde gepflegt hatte. Um 1885 begann Henry seine Elemente einer neuen „Wissenschaftlichen Ästhetik“ zu publizieren, die letztlich eine entscheidende Reformulierung der linguistischen Ansätze von Humbert de Superville (1770-1849), Josef Hoene de Wronski (1778-1853) und Charles Blanc (1813-1882) bildeten, als er ihre Ansätze in eine für die laborexperimentelle Untersuchung zugängliche Version überführte. Hier konnten jetzt die Methoden und Instrumente von Marey, Helmholtz, Gustav Theodor Fechner (1801-1887) und Wilhelm Wundt (1832-1920) neben vielen anderen deutlich zum Zug kommen.

Henry versuchte besonders, Fechners Berechnung der psychophysischen „618-Relation [...]“ zu verallgemeinern, ein Wahrnehmungsphänomen, das seit der Antike als „Goldener Schnitt“ bekannt war. Und tatsächlich rief es einen harmonischen Eindruck bei den meisten Wahrnehmenden hervor, was er ganz im Sinn eines näheren Zusammenhangs mit psychophysischen Gründen verstand, anstatt von metaphysischen Annahmen auszugehen. Henry nahm ferner an, dass es eine Reihe weiterer ästhetischer Effekte geben könne, die ebenfalls mit den Techniken der Psychophysiologie zu bestimmen seien. So griff er auf Prinzipien zurück, die von Helmholtz und Wundt entwickelt worden waren, etwa das Gesetz von der kleinsten Anstrengung, die Prinzipien der Augenausrichtung oder die Bedeutung der Ausdrucks-methode – die alle auf einer grafischen Aufzeichnungspraxis von Lust und Schmerz sowie Erregung und Hemmung basierten. Henry argumentierte etwa, dass diese Prinzipien, wenn sie mit den von ihm entworfenen Messinstrumenten untersucht würden, beispielsweise Musikern bei ihren Problemen in der Kompositionsarbeit helfen und auch zu einer größeren Kontrolle über die Rezeptionsästhetik auf Seiten der Zuhörer beitragen würde.⁵⁷

Darüber hinaus verband er seine psychophysische Technik auch mit der grafischen Methode, welche die Energieverhältnisse ja besonders im Sinn von Bewegungen repräsentie-

57 Charles Henry: Rapporteur esthétique scientifique. In: La Revue contemporaine 10 (1885), S. 442-469.

ren sollte: Die zentrale Einsicht der wissenschaftlichen Ästhetik Henrys bestand hier gerade darin, dass er unabdingbar davon ausging, dass sich die traditionellen Annahmen der Ästhetik, welche sich über Jahrhunderte hinweg auf rein praktischen wie pragmatischen Regeln abgestützt hatte, nun auf die präzisen Methoden der modernen Psychophysiologie übertragen ließen. Entsprechend begann Henry seine Darstellungen mit einer Interpretation der geometrischen Kurve *quasi* als Vergegenwärtigung der sinnlichen Intuitionen. Frühere Künstler hätten die Kurvenlinien als einen physiognomischen Sprechakt verstanden und über weite Zeitspannen hinweg besaß die Kunstausbildung einen festen Bestand an Handlungsanweisungen, welche die menschlichen Emotionen als Kurvenlinien repräsentieren sollten. Von Pythagoras zu Leonardo da Vinci (1452-1519) und Charles Le Brun (1619-1690), von William Hogarth (1697-1764) zu Charles Blanc hätten Künstler und Ästhetiker einen ganzen Katalog aus physiognomischen Zeichen zusammengestellt, welche fest in den Rahmen aus menschlichen Wahrnehmungsäußerungen und Verhaltensweisen eingestellt waren.

Während des 19. Jahrhunderts begannen aber nun gerade solche medizinischen Forscher wie Charles Bell (1774-1842), Guillaume-Benjamin Duchenne de Boulogne (1806-1875) und Louis-Pierre Gratiolet (1815-1865) die Annahmen der traditionellen Physiognomie um die modernen Entwicklungen der physiologischen Wissenschaften zu erweitern. In der französischen Kunsterziehung waren diese Entwicklungen jetzt von Charles Blanc aufgegriffen und in dessen einflussreichem Werk „*Grammaire des arts du dessin*“ (1867) eng verwoben worden.⁵⁸ Aber anders als die Mediziner war Blanc selbst von der Idee verfolgt, die Physiognomie weiter in ein System aus absoluten Zeichen im Sinn einer Einheitswissenschaft fortzuentwickeln, eine Idee, die er insbesondere aus dem theoretischen Ansatz von Humbert de Superville entlehnte, dessen „*Essai sur les signes inconditionnels dans l'art*“ von 1827 die Lehre von den unbedingten beziehungsweise universalen Zeichen popularisiert hatte. Diese universellen Zeichen waren nun nicht länger von den menschlichen Wahrnehmungs- und Verhaltensäußerungen allein abhängig, sondern eng in eine Grammatik der Linien und Farben selbst eingeschrieben. Für Blanc bargen deshalb die gezeichneten Linien und Kurven auf Grund ihrer Eigenschaft, sämtliche Wertvorstellungen *in abstracto* repräsentieren zu können, „[...] den Code aller Proportionen, das Repertoire aller Verfahren, das wichtigste Beispiel für ein Gesetz aller Bewegungen, die gemeinsame Spur aller Kurven, ja den Prototyp aller Zeichnungen.“⁵⁹ Schließlich erhielten die gestalteten Linien ihre tiefgreifende emotionale Kraft vor allem aus der künstlerischen Anordnung und Richtung heraus (aufwärts gerichtet = glücklich; abwärts gerichtet = traurig), wobei die weitere Differenzierung der menschlichen Emotionen letztlich in vielfältigen Nuancierungen aus Richtungswechseln, aus Konkavitäten wie aus Konkavitäten der Kurven hervortraten.

Für Henry stand deshalb fest, dass allen ästhetischen Intuitionen über die physiognomische Repräsentation präzise definierte psychophysiologische Werte zu- und eingeschrieben werden konnten. Seine Position machte dabei von der weitgehend unbekanntem und unverstandenen Spannungsbeziehung Gebrauch, welche einerseits zwischen solchen Ansätzen bestand, die die physiologischen Kurven als mathematisch-analytische Funktionen von Energiebeziehungen begriffen, und andererseits solchen, die die Kurven auf eine ‚Figur‘ oder eine ‚Gestalt‘ zurückführten, welche die sinnlichen Intuitionen unmittelbar in Bewegung überführten. So gesehen hob Henrys wissenschaftliche Ästhetik die dadurch bestehenden Differenzen auf, als sie die graphische Methode der Energiedarstellung über das Mittel der Bewegung sowohl als analytische wie auch als holistische Zugangsform auswies:

58 Charles Blanc: *Grammaire des arts du dessin. Architecture, Sculpture, Peinture*. Paris: Henri Laurens 1867.

59 Ebenda, S. 27-30 und 560-565.

„Mit der grafischen Methode werden alle Phänomene prinzipiell übersetzbar durch die Veränderungen, die in der automatischen Registrierung festgehalten sind [...]. Dies ist auch der Gang der Darstellung, dem gefolgt werden muss, wenn man die Ästhetik der Dinge näher erkennen will. Und es ist sehr wahrscheinlich, dass diese Ergebnisse über den engeren Bereich der traditionellen Ästhetik hinausgehen werden [...], besonders deshalb, da hier immer mehr differenzierte Apparaturen und präzisere Beobachtungsmedien zum Einsatz kommen.“⁶⁰

Weil sich mit der grafischen Methode letztlich alle sensorischen Phänomene *auf eine einzige Linie reduzieren* lassen konnten, so wie im Beispiel der Tonhöhenkurven oder der Länge undulierender Lichtbrechungen, wurden nach Henry sowohl der Künstler als auch der Handwerker, sowohl der Poet als auch der Musiker – die allesamt „an der Kurvenlinie arbeiten“ – nun in die Lage versetzt, ihre Untersuchungen auf *Konstanten* und *Kontrasten* mit bestimmten psychologischen Effekten abzustützen. Und um diese Ansätze weiter ausbauen zu können, entwarf Henry zusätzliche Instrumente – wie den *Rapporteur esthétique* und den *Cercle Chromatique*, einen ästhetischen Brechungsmesser, der hinter einer durchscheinenden Scheibe aufgebracht war, sowie ein Präzisionsfarbrädchen –, welche es nun erlaubten, die genauen Winkel jedes Kurvenschreibers oder die metrischen Relationen zwischen Farbschatten eindeutig zu bestimmen. Außerdem versammelte Henry ganze Kataloge an linearen Aufzeichnungsergebnissen mit vorab gemessenen Werten, um so eine Grundlage für die Analyse von Lust- und Schmerzempfindungen sowie von Erregungs- und Hemmungsphänomenen bereitzustellen zu können.⁶¹

Unter den Künstlern, die sich besonders mit Henrys Wissenschaftlicher Ästhetik auseinandersetzten, war Georges Seurat wohl der prominenteste: Der junge Maler hörte die akademischen Vorlesungen Henrys und studierte dessen Schriften eingehend – gemeinsam mit den Arbeiten von Helmholtz, des französischen Pigmentchemikers Eugène Chevreuls, (1786-1889) sowie des amerikanischen Physikers und Malers Nicholas Odgen Rood (1831-1902), die er neben vielen anderen Naturwissenschaftlern las –. Seurats Tagebücher belegen weiter, dass er tatsächlich einige seiner späteren Werke mit Hilfe von Henrys Technik der Linearperspektive, der bewegten Winkel und der korrespondierenden Farbschemata entwickelt hat.⁶² Im wissenschaftlichen Begleitkatalog zur Ausstellung „Georges Seurat, 1859-1891“ hat Robert Herbert deshalb die Interpretationen früherer Autoren zurückgewiesen, welche Henrys Arbeiten als Vorbild für Seurat in Frage gestellt hatten, weil viele seiner Ideen bereits in den traditionellen Arbeiten von Charles Blanc und Humbert de Superville anzutreffen wären.⁶³ Meines Erachtens nach wird in diesen und ähnlichen Diskussionen aber ein zu großes Inter-

60 Ebenda, S. 466.

61 Charles Henry: *Rapporteur esthétique. Notice sur ses applications industrielles, à l'Histoire d'Art, à l'interprétation de la Méthode Graphique*. Paris : G. Séguin 1888. Für den Gebrauch durch Handwerker hatte Henry seine Instrumente in einer ähnlichen Weise entworfen, wie die Präzisionsinstrumente, die die Arbeiter im System des wissenschaftlichen Industriemanagements unter Frederick Winslow Taylor (1856-1915) nutzten. So schrieb Taylor etwa: „by means of these slide rules, intricate mathematical problems can be solved by any good mechanic, whether he understands anything about mechanics or not.“ Vgl. Frederick W. Taylor: *The Principles of Scientific Management*. New York: Norton 1976 (Nachdruck der Ausgabe von 1911), S. 111.

62 Seurats Beziehung zu Henrys Wissenschaftlicher Ästhetik ist Gegenstand einer Vielzahl von kunsthistorischen Untersuchungen und von Expertendebatten geworden. Für einige der grundlegenden Arbeiten siehe etwa William Innes Homer: *Seurat and the Science of Painting*. Cambridge, Ma.: MIT Press 1959, Robert Herbert: *Parade du Cirque de Seurat et l'esthétique scientifique de Charles Henry*. In: *Revue de l'art* 50 (1980), S. 9-23, Paul Smith: *Seurat and the Avant-Garde*. New Haven: Yale University Press 1997, sowie Michael Zimmermann: *Les Mondes de Seurat: son œuvre et le débat artistique de son temps*. Paris: Albin Michel 1991. Diese Themen werden ebenfalls in zwei Kapiteln eines demnächst erscheinenden Buchs von Robert M. Brain thematisiert: *The Pulse of Modernism: Experimental Physiology and Artistic Avant-Gardes, 1840-1930*. Stanford: Stanford University Press (im Druck).

63 Robert Herbert et al.: *Georges Seurat, 1859-1891*. New York: Metropolitan Museum of Art 1991; hier besonders Appendix L „Henry Seurat“.

pretationsgewicht auf die Ideen selbst gelegt und die Naturwissenschaften damit auf einen intellektuellen Tätigkeitsbereich verkürzt.

Wie ich im vorliegenden Beitrag vielmehr zeigen möchte, hängt die Wissenschaftsentwicklung häufig von den untersuchten und verwendeten Materialien sowie von den benutzten Instrumenten ab, zu der die Ideen gewissermaßen erst im Nachtrag an zweiter Stelle hinzugetreten sind. Ähnlich Seurat mag auch Henry viele seine Ideen über Technik wie die Linearperspektive von früheren Denkern übernommen haben, während sein innovativer Beitrag gerade darin bestand, dass diese vielmehr gesonderte Formen von „Energie“ darstellten und so überhaupt erst mit Instrumenten messbar wurden. Anders als frühere ästhetische Theoretiker eröffnete Henry für Seurat somit das grundlegende *Imprematur* der Naturwissenschaften in einen künstlerischen Anwendungsbereich. Außerdem geben Seurats spätere Tagebucheinträge und Briefkorrespondenz darüber Aufschluss, dass er Henrys Ästhetik in privater Hinsicht viel grundlegender reflektiert hat als dies in seinen Studienjahren zunächst der Fall gewesen war; gleichwohl blieb Seurat in öffentlichen Stellungnahmen reserviert, ja sogar ambivalent. Mit ziemlicher Verärgerung reagierte er beispielsweise auf die Behauptung, dass die quasi-mechanische Methode seine Ausbildung in der Malerei und sein ganzes künstlerisches Talent in Frage stellen würde. Besonders die beißenden Reaktionen des Kritikers Thadée Natanson (1868-1951) scheint Seurat besonders gefürchtet zu haben. So hatte Natanson etwa lanciert, dass den Besucher der Ausstellungen Seurats immer das Gefühl beschleiche: „Und diese Bilder sind von einer Maschine gemalt?“, worauf das Aufsichtspersonal der Museen sofort zu antworten hätte: „Nein, Monsieur, wirklich mit der Hand!“⁶⁴

Gleichwohl verstand Seurat das utopische Versprechen der universellen Mechanisierbarkeit zunehmend selbst als intellektuelles Problem, wie die Vergegenwärtigung seiner letzten Bilder – nicht nur in Hinsicht auf deren Technik, sondern auch auf den sozialen Erzählungskontext – deutlich zeigt. Auf der einen Seite gleicht Seurats letztes Meisterwerk „*Chahut*“ in seinem Aufbau etwa einer von Mareys Hochgeschwindigkeitsfotografien eines Tänzers als arbeitenden oder turnenden Körper, ein Motiv übrigens, welches tatsächlich die Wahrnehmung eines vorbeifliegenden Zeitmoments unterstreicht und die Relation zwischen dem Austausch von Energie und dessen Abbild festigt (vgl. Abb. 26). Auf der einen Seite bezieht sich der Tänzer in der Bildmitte direkt auf den schweinsköpfigen *Bourgeois* im Vordergrund, was letztlich die Frage aufwirft, ob die quasi-mechanische *Performance* des Tanzes hier eher ein Freiheits- oder einen Versklavungsakt verkörpern soll. Auf der anderen Seite greift die formale Allianz zwischen den maschinenartigen Bewegungen und dem Inhalt des Bildes ein von Seurat intendiertes anarchistisches Prinzip der Willensfreiheit auf, welches durch die Mechanisierung der Arbeit hindurch verfolgt werden kann, so dass das Bild gleichzeitig als Analyse seiner eigenen Wirklichkeitsbedingungen begriffen werden kann.⁶⁵

Diese Perspektiven zeigen deutlich das Ausmaß auf, mit dem eine relativ deutliche Gruppe mit ihren künstlerischen Darstellungen den Wert von Wissenschaft als Kultur um 1900 unterstrichen hat. In diesem Zusammenhang kann es kaum als Übertreibung oder Größenwahn gelten, als etwa ein deutscher Professor in seiner Antrittsvorlesung aus dem gleichen

64 Thadée Natanson: Expositions. In: La Revue Blanche 6 (1894), S. 187. Ich danke Richard Shiff für diesen Hinweis.

65 In einem anonymen Artikel aus einer französischen Anarchistenzeitschrift spießte Paul Signac (1863-1935) die politischen Überzeugungen seines Freundes auf, als er die Ironie und Ambiguität von „*Chahut*“ kritisch ins Visier nahm. Siehe: Anonymus [Signac]: Impressionistes et Revolutionnaires. In: Le Revolté 13-19 (1891), S. 4. Über die Verbindungen dieses Zirkels mit dem Anarchismus siehe Timothy J. Clerk: We Field-Women. In: Ders. (Hg.): Farewell to an Idea: Episodes from a History of Modernism. New Haven: Yale University Press 1999, S. 55-138, Joan Ungersma Halperin: Félix Fénéon: Aesthete and Anarchist in Fin-de-Siècle Paris. New Haven: Yale University Press 1988, John G. Hutton: Neo-Impressionism and the Search for Solid Ground: Art, Science, and Anarchism in Fin-de-Siècle France. Baton Rouge: Louisiana State University 1994, Smith, Seurat and the Avant-Garde, (wie Anm. 60), und Alexander Varias: Paris and the Anarchists: Aesthetes and Subversives at the Fin-de-Siècle. New York: St. Martin's Press 1997.

Jahr betonte, dass es „im Prinzip nicht schwer ist, die Gesamtheit all unseres Wissens zu ermessen, wenn wir die selbst-einschreibenden Maschinen und automatischen Apparate hierzu heranziehen.“ In der Tat gab es eine zunehmende Menge an Versuchen, die genau dieses anstrebten, besonders als die ersten großen *Analogcomputer* auf der Grundlage der automatischen Aufschreibeinstrumente entwickelt wurden. Die paradigmatische Maschine in dieser Hinsicht war bereits von Lord Kelvin (William Thomson) gebaut worden, der Person also, mit der Jarrys fiktiver Faustroll telepathisch kommuniziert haben wollte.

Der reale Thomson jedoch, der schon seit geraumer Zeit bestens mit den Anzeigediagrammen und automatischen Dynamometern vertraut war, hatte versucht, einen Apparat zu konstruieren, welcher die natürlichen Phänomene nicht nur in kontinuierlicher Folge registrierte, sondern automatisch die nötigen Rechenaufgaben ausführen konnte, um sie in die resultierenden Wellenformen zu integrieren. Thomsons zentrales wissenschaftliches Anwendungsproblem waren die Schwankungen des Meeresspiegels durch den Gezeitenhub, ein Problem für das sogar eine eigene Kommission der *British Association for the Advancement of Science* eingesetzt worden ist. Der britische Physiker wandte sich dabei in erster Linie den harmonischen Bewegungen des Linienvorlaufs – den verschiedenen Amplituden, Phasen und Perioden –, die mittels der Fourier-Analyse beschrieben werden konnten, zu, die er als „unabhängbares Instrument für die Behandlung ziemlich jeder schwerverständlicher Frage der modernen Physik“ erachtet hat.⁶⁶

Der französische Physiker Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) hatte seinerseits in der „*Théorie analytique de la chaleur*“ von 1807 gezeigt, dass eine periodische Schwankung oder Bewegung, wie kompliziert diese auch immer beschaffen war, durch die Überlagerung einer wohldefinierten Anzahl einfacher harmonischer Kurven nachgebildet werden konnte. Fouriers Analyse erlaubte somit, ganz unterschiedliche komplizierte Kurven in einfache Linienformen aufzulösen, ein Verfahren, das auf der Kurvendiskussion in Sinusbeziehungsweise Kosinuswellen in der Trigonometrie beruht. Darüber hinaus ließen sich diese Kurven mit einfachen Mitteln visualisieren und im gleichen Zug – nach Thomsons Vorstellung – zudem mit selbst-einschreibenden Instrumenten mechanisch reproduzieren. Thomson entwickelte auch ein Instrument zur Messung, Analyse und Vorhersage desjenigen Phänomens, das er als den Archetypus der natürlichen wellenförmigen Bewegung verstand: die Meeresflut.⁶⁷ Dieser Apparat – der so genannte Gezeitenrechner – bestimmte nicht nur

„die Zeitintervalle und absoluten Höhen der Flut, sondern auch die Wassertiefe an jedem Ort und in jeder Phase des Gezeitenverlaufs, welche im Sinn einer kontinuierliche Kurve dargestellt werden können und dies für ein Jahr oder sogar für mehrere Jahre im Voraus.“⁶⁸

Der britische Ingenieur James Thomson (1822-1892), der Bruder des berühmten Physikers, entwickelte den Gezeitenrechner in ein handhabbares Gerät weiter, als er ihn mit einer zusätzlichen einfallsreichen Apparatur versah, der als Rad-Scheiben-Integrator bekannt geworden ist.⁶⁹ Dieses Instrument setzte die mechanischen Operationen eines Planimeters effektiv um und ermöglichte es, dass die mathematischen Integrale, welche für die harmonische

66 William Thomson und Peter Guthrie Tait: *Principles of Mechanics and Dynamics*. New York: Dover 1962, S. 54.

67 William Thomson griff die Frage des Gezeitenhubs als einer Wellenform in seiner Vorlesung „Die Gezeiten“ auf, welche in Charles W. Eliot (Hg.): *The Harvard Classics: Scientific Papers*. New York: P. F. Collier & Son 1910, S. 287-324, veröffentlicht worden ist.

68 William Thomson: *The Tide Gauge, Tidal Harmonic Analyzer, and Tide Predictor*. In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 65 (1881), S. 2-51 und 58-64.

69 James Thomson: *On an Integrating Machine Having a New Kinematic Principle*. In: *Proceedings of the Royal Society of London* 24 (1876), S. 262-265.

Analyse benötigt wurden, automatisch bewertet werden konnten. Entsprechend schrieb William Thomson über die Erfindung seines Bruders:

„Der Gegenstand dieser Maschine besteht darin, im Bereich der großartigen mechanischen Arbeit einer genauen Berechnung das Gehirn mit Blech zu ersetzen, so dass elementare Bestandteile von Ebbe und Flut insgesamt präzise bestimmt werden können.“⁷⁰

Entlang dieses Leitgedankens von „Blech und Gehirn“ verglich Thomson die Apparatur ferner mit Charles Babbages Rechenmaschine („*difference engine*“), dem bekannten aber erfolglosen Versuch, menschliche Rechenarbeit zu mechanisieren.⁷¹ Thomsons „analoger“ *Computer* war tatsächlich erfolgreicher, und er baute noch verschiedene andere, die der grundsätzlichen Machart des Gezeitenrechners gefolgt sind und potentielle Anwendungsfelder für eine Vielzahl harmonischer Phänomene von der Physik über die Biologie bis hin zur Medizin hinein besaßen.⁷² James Clerk Maxwell (1831-1879), nachdem er zunächst die arbeitssparenden Eigenschaften der Thomson'schen Rechenmaschine hervorgehoben hatte, war geradezu euphorisiert über den neuen Möglichkeitsraum und die Chancen, die diese neue Maschine bot:

„Es wäre nicht ganz ohne Eigeninteresse, wenn wir in die Lage versetzt werden könnten, die Analogie zwischen den mathematischen und mechanischen Verfahren der harmonischen Analyse weiter zu verfolgen und diese mit den dynamischen Prozessen zu vergleichen, die ablaufen, wenn etwa gebündeltes Licht durch ein Prisma in seine Bestandteile zerlegt, wenn ein Oberton aus einer komplexen Melodie von einem Tonabnehmer aufgenommen oder wenn die enorm komplizierte Tonwelle eines Orchesters differenziert wird. Ebenso interessant wäre es, jedes noch so entlegene Geschrei einer Menschenmenge zu erfassen, um daraus in intelligenter Weise Musik oder Sprache für den aufmerksamen Zuhörer aufzubereiten, jener, der nur mit einer Harve von dreitausend Saiten in seinem Gehörgang ausgestattet ist, deren Schwingungen die vielfachen Komponenten der unterschiedlichen Wellen des himmlischen Ozeans erklingen lassen.“⁷³

Maxwells Bemerkungen können stellvertretend für die enormen Versprechungen stehen, die mit dem analogen *Computer* verbunden waren, und so wurde in der Folge des Thomson'schen Apparates eine Vielzahl vergleichbarer Instrumente entwickelt, die etwa den bemerkenswerten harmonischen Rechner von Albert Abraham Michelsons (1852-1931) einschlossen oder den monumentalen Gezeitschreiber, den die *U. S. Coast and Geodetic Survey* am Ende des Ersten Weltkriegs entwickelt und „gigantisches Gehirn“ getauft hatte.⁷⁴ Diese Maschinen fungierten jetzt als Prototypen für eine ganze Reihe von Servomechanismen und Rechenmaschinen bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs, das heißt den meisten *Computern*, von denen die Arbeit der Kybernetikbewegung in entscheidender Hinsicht ausgegangen ist.⁷⁵

70 William Thomson zitiert nach Herman H. Goldstine: *The Computer from Pascal to von Neumann*. Princeton: Princeton University Press 1972, S. 43f.

71 Zu Babbage siehe Simon Schaffer: *Babbages Engines*. In: *Critical Inquiry* 21 (1994), S. 203-227.

72 Sir William Thomson: *An Instrument for Calculating the Integral of the Product of Two Given Functions*. In: *Proceedings of the Royal Society of London* 24 (1867), S. 266-268, ders.: *Mechanical Integration of the General Linear Differential Equation of Any Order with Variable Coefficients*. In: *Proceedings of the Royal Society of London* 24 (1876), S. 271-275.

73 James Clerk Maxwell: *Harmonic Analysis*. In: William Davidson Niven (Hg.): *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. 2 Bände. New York: Dover 1890. Bd. 2, S. 797-801.

74 Albert A. Michelson und Samuel W. Stratton: *A New Harmonic Analyser*. In: *American Journal of Science* 4 (1898), S. 1-13, und dies.: *A New Harmonic Analyser*. In: *Philosophical Magazine* 5 (1898), S. 85-91, sowie *U. S. Coast and Geodetic Survey: Descriptions of the U. S. Coast and Geodetic Survey Tide Predicting Machine*. Washington: U. S. Coast and Geodetic Survey 1915; Sonderpublikation Nr. 32.

75 Es gibt nur wenige medienhistorische Studien, die die Tradition der analogen Rechenmaschinen aufgearbeitet haben. Und obwohl etwa Hermann Heine Goldstines (1913-2004) Darstellungen in „*The Computer*“ in

Ausblick: Von der ‚Energie‘ zur ‚Information‘

Ausgehend von den verschiedenen Arten analoger *Computer*anlagen erlebte der physiologisch-wissenschaftliche Gesamtkomplex aus grafischen Aufzeichnungsinstrumenten seine Hochzeit am Vorabend des Zweiten Weltkriegs: Von 1920 bis 1930 erfuhren die Servomechanismen und die automatischen Integrierapparate, die noch weiterhin auf den grafischen Aufzeichnungsinstrumenten des 19. Jahrhunderts basierten, eine zunehmende Verbreitung. Diese Entwicklung gipfelte in einigen neuen Schlüsseltechnologien und Erfindungen während des Zweiten Weltkrieges, wodurch, um mit Peter Galison zu sprechen, „die servomechanische Theorie [...] zum Maß des Menschen geworden [ist].“⁷⁶ Die Geschichte der Kybernetik wurde dabei langezeit aus einer Perspektive beschrieben, welche die Nachkriegszeit als technische Revolution im Bereich der elektronischen *Digitalcomputer* und der Informationstechnologie auffasste.

Dieser historiografische Ansatz, der zwar an vielen Stellen neue Einsichten erlaubt hat, behandelte die Kybernetik aber primär als Beginn denn als Endpunkt einer besonderen wissenschaftshistorischen Entwicklung, und die Bedingungen des Übergangs in der Genealogie von der ‚Energie‘ hin zur ‚Information‘ blieben in der präverbale kybernetischen *Black box* verschlossen. Tatsächlich würde eine abweichende Analyse dieses Übergangs eine detaillierte Untersuchung und Rekonstruktion der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeiten vor dem Krieg nötig machen, die erst zu diesen Anstrengungen geführt haben. Und die Perspektive müsste sich auf den gesamten Entstehungskomplex der grafischen Methode – einschließlich der Experimentalisierung der Lebenswissenschaften – richten. Zudem wären besonders die instrumentellen Technologien der analogen *Computer*, beispielsweise Vannevar Bushs Rechenmaschine, wie auch die Menge theoretischer Vorüberlegungen, die sich an der harmonischen Analyse wellenförmiger Phänomene orientiert haben zu berücksichtigen.

Diese Rechenmaschinen – sowohl die existierenden als auch die zukünftigen Versionen – würden einen diskursiven Gegenstand für protokybernetische Untersuchungen entstehen lassen, welcher das Feld der Möglichkeiten sowie dessen Beschränkungen besser beschreiben konnte. Auf diese Weise wäre auch zu klären, was in der damaligen Zeit gedacht, visualisiert, evoziert oder repräsentiert wurde: Bushs Projekt entstand etwa aus Versuchen im Forschungslaboratorium des Departments für Elektroingenieurwesen am MIT in Boston, wo Methoden für die Problembehandlung von Brechungsgleichungen in Telefonleitungen und verzweigten elektrischen Kraftwerksnetzen entwickelt worden sind. Wie Larry Owens beschrieben hat, war er selbst auf diese Probleme gestoßen, als er die bekannten grafischen Methoden der Ingenieurwissenschaften des frühen 20. Jahrhunderts näher untersuchte und selbst ein grafisches Aufzeichnungsgerät für seine Magisterarbeit entwarf.⁷⁷ Außerdem setzte Bush zahlreiche Diplomanden und Magistranden darauf an, den Thomson’schen Rad-Scheiben-

vielerlei Hinsicht als Privatmeinung eines Pioniers der elektronischen Digitalrechner daherkommen, geben sie wahrscheinlich den informativsten Überblick. Für die Rechenmaschine der frühen 1830er Jahre siehe den instruktiven Artikel von Larry Owens: Vannevar Bush and the Differential Analyser: The Text and Context of an Early Computer. In: *Technology and Culture* 27 (1986), S. 63-95, wiederabgedruckt in: James Nyce und Paul Kahn (Hgg.): *From Memex to Hypertext. Vannevar Bush and the Mind’s Machine*. Boston: Academic Press 1991.

76 Peter Galison: *The Ontology of the Enemy: Norbert Wiener and the Cybernetic Vision*. In: *Critical Inquiry* 21 (1994), S. 240, und Edwards (wie Anm. 1).

77 Dieses Instrument, das den Namen eines „Profilbestimmers“ bekam, konnte benutzt werden, um topografische Variationen für den Überwachungseinsatz zu nutzen; siehe in Vannevar Bush: *Pieces of the Action*. New York: William Morrow 1970, S. 155-157, sowie Owen (wie Anm. 74), S. 91-93.

Induktor instrumentell weiterzuentwickeln, um hierdurch die hochkomplexen mathematischen Gleichungen besser bearbeiten zu können.

Eine instrumentelle Serie, die unter dem Namen der „Integrafen“ bekannt geworden ist, ging hieraus hervor, und sie hat alle in sie gesetzten Erwartungen erfüllt, wobei im gleichen Zug auch ein wesentlich komplexeres Instrument entstand, welches sowohl mechanische als auch elektronische Komponenten besaß.⁷⁸ Dieser Apparat war eine differentielle Rechenmaschine, welche aus einem tischlangen Rahmen bestand und mit einander zu verbindenden Stielen versehen war; ferner verfügte er über sechs Scheibenintegratoren sowie Aufschreibetafeln. Es war ein sehr ausgefeiltes *Arrangement*, welches die Drehungen der Stiele auf verschiedene Weise ineinander übersetzen konnte. Die Veränderung der Variablen aus einer Gleichung wurde mit den Drehungen der Stiele korreliert, so dass die Rechenmaschine in die Lage versetzt werden konnte, zu addieren, zu subtrahieren, zu multiplizieren, zu dividieren und zu integrieren. Mit Hilfe dieser Mechanismen funktionierte die differentielle Rechenmaschine auch als ein mechanisches Modell für viele Differentialgleichungen, die sozusagen kinematisch in ein elegantes, dynamisches Spiel sämtlicher Teile der Maschine überführt wurden.⁷⁹

Zur gleichen Zeit untersuchten mehrere von Bushs Studenten und Kollegen die möglichen Anwendungskontexte dieser Maschine im Bereich des Ingenieurwesens, wodurch sie einen völlig neuen Typus von Servomechanismen entwickelten. Dieser nutzte ein verstärktes grafisches Signal für die kontinuierliche Kontrolle der Vorgänge im Sinn eines geschlossenen Kreislaufs beziehungsweise eines geschlossenen Systems aus, so dass weitere Maschinen über die jeweiligen Veränderungen der Linie mitgesteuert werden konnten. Bis zu diesem Zeitpunkt waren Servos noch eine Art gyroskopische Instrumententechnik, da es sich als sehr schwer herausgestellt hatte, eine ausgewogene Kraft- oder Energiemenge im Schaltmechanismus zu applizieren und zugleich in nutzbringender Hinsicht zu messen. Harold Locke Hazen (1901-1980), einer von Bushs engsten Mitarbeitern versuchte, eine entsprechende Methode auszuarbeiten, indem er ein elektrisches Zusatzgerät an den Thomson'schen Integrator anschloss. Hierdurch entstand eine Maschine, welche mit den bekannten Worten der damaligen Zeit einer Linie folgen konnte, „ohne ein Jota vom Weg abzuweichen“.⁸⁰ Und nicht nur, dass die neuen Servomechanismen eine Menge industrieller und technologischer Anwendungsmöglichkeiten versprachen, von der Fabrikautomatisierung, der Schiffsnavigation bis hin zur Gewehrtechnik, sie initiierten eine neue theoretische Reflexion über die Natur von Servomechanismen, die im Zentrum der Kybernetik standen und mit dem neuen *Feedback*-Verfahren arbeiteten.⁸¹ Aber selbst wenn die Aufgabe der neuen Instrumente die Aufzeichnung, die Übermittlung und die Kanalisierung von Energie geblieben ist, so bargen sie doch neue Freiheitsgrade, um die Natur beziehungsweise die Signale im Prozess der maschinellen Kalkulationen von den Einschränkungen durch die *Material Constraints* zu befreien. Das technologische *Crossover* von ‚Energie‘ und ‚Information‘ war damit in analoger Weise geschlossen worden.

78 Vannevar Bush, Frank D. Gage und Herbert R. Stewart: A Continuous Recording Integraph. In: Journal of the Franklin Institute 212 (1927), S. 63-84.

79 Vannevar Bush: The Differential Analyzer. In: Journal of the Franklin Institute 212 (1931), S. 447-488.

80 Das englische Original verwendete hier: “follows a line like a hound following a trail.” Anonymus: A Machine that Bosses Other Machines. In: The Literary Digest 115 (1933), S. 20. Anstatt eines mechanischen Thomson-Integrators benutzte Hazen eine fotosensitive Zelle, die so arrangiert worden ist, dass sie einen durch einen sehr kleinen Spalt eintretenden Lichtstrahl in ein elektronisches Gleichstromfeld einleitete, wo dieser die Auslenkung eines einfachen Motors hervorrufen konnte.

81 Vgl. Harold Locke Hazen: Theory of Servo-Mechanisms. In: Journal of the Franklin Institute 218 (1934), S. 279-331, brachte das Problem an zentraler Stelle in die Diskussion ein und Leroy A. McColl: Fundamental Theory of Servomechanisms. New York: D. Van Nostrand 1945, bestimmte den *Status quo* des Forschungsfeldes dieser Zeit.

Die vollen Umsetzungsmöglichkeiten eines digitalen *Computers* erblickten zwar nicht sofort das Licht der Welt und sind in vielerlei Hinsicht noch heute nicht ganz ausgeschöpft. Doch erst mit der Einführung der Parallelrechner in den 1980er Jahren begannen die digitalen Rechneransätze wirklich, die Fragen der linearen Aufzeichnungspraxis aufzugreifen und zu lösen, welche in den grafischen und analogen Aufzeichnungsgeräten und Rechnern gewissermaßen eine technologische Materialisierung erfahren haben. Eines der letzten Refugien grafisch analoger Konfiguration begann sich somit erst mit der zunehmenden Erweiterung der Verarbeitungstechnik von diskontinuierlichen Informationseinheiten aufzulösen. Und hier lief der utopische Traum der grafischen Aufzeichnungstechniken in den Experimentalwissenschaften ironischer Weise mit einer unheiligen Nostalgie zusammen, nämlich dem Streben nach Wiederherstellung der universellen Bedeutung der Kurven-*Gestalt* wie sie Faustroll in den Einbuchtungen und Ausbeulungen jeder einzigen kontinuierlichen Linie gesehen hatte, welche dem menschlichen Auge aber lange unzugänglich gewesen waren.