



Cornelius
Borck

Hirnströme

*Eine Kulturgeschichte
der Elektroenzephalographie*

Wallstein

Cornelius Borck

Hirnströme

»Wissenschaftsgeschichte«
herausgegeben von
Michael Hagner und Hans-Jörg Rheinberger

Cornelius Borck
Hirnströme

*Eine Kulturgeschichte
der Elektroenzephalographie*



WALLSTEIN VERLAG

Gedruckt mit Unterstützung
durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft

Inhalt

ELEKTRISIERENDE HIRNBILDER	7
 HANS BERGERS LANGER WEG ZUM EEG	 23
Strom im Kopf	23
Forschungsstrategien eines konservativen Psychiaters	28
Das Maß der Psychischen Energie	36
Die Spur zum Strom	43
Verstärkte Schwankungen	55
Artefakte und Störungen	64
Einladung nach Stockholm	73
 ELEKTROTECHNIKEN DES SEELENLEBENS	 85
Kulturströme 1918-1933	85
Der Bioingenieur und die Psychodiagnostik	91
Nerven-Apparate und psychische Schaltkreise	102
Gedankenstrahlen und Radio-Telepathie	112
Konfigurationen der Elektrotherapie im Radiozeitalter	118
Die neusachliche Poesie der Hirnschrift	127
Die Experimentalisierung des Alltagslebens	135
 TERRA NOVA: KONTEXTE ELEKTROENZEPHALOGRAPHISCHER EXPLORATIONEN	 141
Epistemische Resonanzen und materiale Kulturen	141
Bergers weitere Fahrt durch die Hirnwellen	143
Lokaltermin in Berlin-Buch	163
Anerkennung mit britischem Understatement	176
Der Sprung über den Teich	190
Die Matrix der Ströme	210

VORWÄRTS UND VIEL VERMESSEN!	213
Zur kulturellen Praxis einer neuen Technik	213
Dynamiken der Standardisierung	215
Ein diagnostisches Panoptikum	230
Im Bann des Schocks	243
Das elektrische Gehirn in Auschwitz	257
 BAUEN BASTELN DENKEN	 263
Was verbirgt das EEG?	263
Die schnellen Schwingungen des Denkens	267
Das Konzert der Hirnströme	275
Höhenflüge eines deutschen Physiologen	282
Das Gehirn als kybernetische Maschine	290
Hirntheorien aus dem Modellbaukasten	301
 PLÄDOYER FÜR EINE OFFENE EPISTEMOLOGIE	 313
 Literatur	 327
Abbildungsnachweise	373
Dank	375
Personenregister	377

ELEKTRISIERENDE HIRNBILDER

»Dunkelkammer der Psychiatrischen Klinik in Jena. Doppeltüren schließen den Raum schalldicht von der Umwelt ab. Eine bahnbrechende Entdeckung soll ausprobiert werden, die Professor Dr. Hans Berger, dem Direktor der Psychiatrischen Universitätsklinik Jena, gelungen ist. Es handelt sich um die Aufzeichnung der Gedanken in Gestalt einer Zickzack-Kurve, um die elektrische Schrift des Menschenhirns.«¹ Die Kurve der Hirnströme, die Registrierung der elektrischen Aktivität des menschlichen Gehirns im Elektroenzephalogramm, war eine Sensation. Der wissenschaftlich-technische Fortschritt hatte eine Technik von geradezu wunderbaren Eigenschaften möglich gemacht. Dabei handelte es sich weder um eine Erfindung zur Erleichterung des Alltagslebens noch um ein neues Unterhaltungsmedium, nicht einmal ein medizinischer Nutzen war absehbar. Vielmehr versprach die Technik wissenschaftliche Aufklärung über einen ganz besonderen Aspekt des menschlichen Lebens: das Denken. »Man vergegenwärtige sich: ein Mensch sitzt über einer Rechenaufgabe; Drähte führen von seinem Gehirn in einen anderen Raum zu einem Registrierapparat. Hier sieht man nichts weiter als das Zickzack, das ein Zeiger auf einem Papierstreifen aufzeichnet, und doch weiß man genau, wann der Mann im Nebenzimmer zu rechnen begonnen hat, ob ihn die Arbeit sehr anstrengt und wann er mit der Rechnung zu Ende ist.« Das buchstäblich fantastische Potential der Erfindung, die 1930 offenbar gut zum zeitgenössischen Erwartungshorizont paßte, lud zu einander überbietenden Spekulationen ein: »Heute sind es noch Geheimzeichen, morgen wird man vielleicht Geistes- und Hirnerkrankungen aus ihnen erkennen und übermorgen sich gar schon Briefe in Hirnschrift schreiben.« Im Moment der Erstbeschreibung zirkulierten die Zacken der Kurve als »Geheimzeichen« einer neuen Sprache, deren Entschlüsselung unmittelbar bevorzustehen schien – mit weitreichenden Konsequenzen für das Selbstverständnis des Menschen.

Diese Vision ist nicht in Erfüllung gegangen. Hans Berger dürfte einer der ganz wenigen gewesen sein, die bisher einen Hirnstrombrief bekommen haben. Zu Weihnachten 1938 sandte ihm sein amerikanischer Kollege Herbert H. Jasper eine solche Nachricht. Auch ein in der Elektroenzephalographie nur wenig geübter Empfänger konnte in diesem seltenen

1 Stadt-Anzeiger Düsseldorf vom 6.8.1930. Dieser Quelle sind auch die beiden folgenden Zitate entnommen.

Beispiel lesen, wie das Gehirn des Absenders zunächst vergleichsweise langsame Wellen produzierte, sich also wohl in einem Ruhezustand befand, bevor eine kurze Phase kleinerer Schwankungen in der zweiten Linie eine deutliche Aktivierung verriet, aus der sich deutlich lesbare Zeichen formten, bis schließlich in der letzten Zeile aus den Aktivierungswellen wieder langsamere Schwingungen wurden. (Abb. 1) Bergers Hirnstromkurven waren 1930 zwar als »elektrische Schrift« gefeiert worden, aber diesen geradlinigen Weg einer Einschreibung von Sinngehalten in die Zackenmuster hat die Arbeit an den Kurven offenbar nicht genommen. Überhaupt sollte es einige Zeit dauern, bis sich Bergers wissenschaftliche Kollegen ernsthaft für die Hirnströme und die neue Methode ihrer Registrierung zu interessieren begannen. Die bisweilen recht fantastischen Zeitungsberichte hatten bei kritischen Lesern sicher eher Skepsis ausgelöst, zumal sich ähnliche Sensationsberichte bisher immer als Scharlatanerie herausgestellt hatten. Selbstverständlich wußte man um die zentrale Rolle von elektrischem Strom in der Funktionsweise des Nervensystems seit den großen Erfolgen der Elektrophysiologie im 19. Jahrhundert. Aber gerade in den Jahren nach dem 1. Weltkrieg hatte sich die Neuropsychologie darauf verlegt, immer präziser die elektrische Aktivität einzelner Nervenfasern und Nervenzellen zu charakterisieren. Welchen Sinn sollte es da machen, von Tausenden von Nervenzellen im Gehirn des Menschen eine Kurve ihrer Gesamtaktivität zu schreiben, zumal doch jedem Hirnareal eine ganz spezifische Funktion zuzusprechen war? Wenn Berger in seinen Veröffentlichungen schon selbst von Schwierigkeiten und Störungen schrieb, lag es viel näher, die ganze Sache für ein Artefakt zu halten.

Damit aus den Hirnströmen ein Gegenstand wissenschaftlicher Experimente werden konnte, mußten sie im Ausgang von vorhandenen Forschungskulturen anschußfähig gemacht werden. Hier brachte die Bestätigung von Bergers Befunden durch den englischen Nobelpreisträger Edgar Douglas Adrian 1934 den Durchbruch. Das Elektroenzephalogramm (EEG), die Kurve der Hirnströme, wurde zur wissenschaftlich anerkannten Tatsache.² Von diesem Moment an begannen EEG-Kurven und Hirnströme eine Reihe ernster Fragen zu stellen, einerseits gerade weil sie schlecht zum Wissen über die elektrische Aktivität einzelner Ner-

2 Gerade für eine Rekonstruktion dieser allmählichen Anerkennung der Elektroenzephalographie liefert Ludwik Flecks »Lehre vom Denkstil und vom Denkkollektiv« (Fleck 1980) also auch nach 70 Jahren ein gutes Raster, wenngleich die Analyse der materialen Kulturen einzelner Experimentalsysteme den Rahmen seiner Wissenschaftssoziologie verläßt.



Abb. 1: Grußkarte in Hirschrift von Herbert H. Jasper an Hans Berger zu Neujahr 1938.

venzellen paßten, andererseits weil die Kurvenmuster eine auffällige Korrelation zu psychischen Prozessen zeigten. Vor allem in Amerika spezialisierten sich rasch etliche Forschungsgruppen auf die neue Methode und produzierten als »brain-wave factories« EEG-Registrierungen am laufenden Meter. Als wenig später auch noch eindeutig pathologische Kurvenmuster gefunden wurden, mit denen sich eine Reihe von Hirnerkrankungen mit bis dahin nicht gekannter Präzision diagnostizieren ließen, steigerte dies die Anwendung der neuen Methode weiter. Aber je mehr Kurven geschrieben wurden, je länger an der Entzifferung der Zacken im EEG gearbeitet wurde, um so hartnäckiger widersetzten sie sich einer Dechiffrierung und Einpassung in physiologische oder psychologische Theorien.

Die Geschichte der Hirnströme stellt sich vielmehr als eine Abfolge weitgehend frustrierender Versuche ihrer Entzifferung dar. Berger scheiterte an dem Versuch, spezielle Zeichen geistiger Arbeit dingfest zu machen. Die Kartographie der »Eigenströme« einzelner Hirnrindenareale am Kaiser-Wilhelm-Institut für Hirnforschung in Berlin-Buch war nur so lange ein stabiles Projekt, wie sie sich strikt entlang des cytoarchitektonischen Forschungsprogramms von Oskar Vogt orientierte. Als Adrian mit dem EEG im Gehirn so idiosynkratische Rhythmen fand, daß sie die etablierten Theorien der Neurophysiologie zu unterminieren drohten, wechselte

er vorsichtshalber wieder das Forschungsfeld. Jasper manövrierte sein Experimentalsystem, das eben noch schöne Weihnachtsgrüße generiert hatte, bei dem Versuch in eine Sackgasse, die Kurven und Zacken des EEG exakt an elektrophysikalischen und zellulären Prozessen auszurichten. Grey Walter hoffte, mit immer raffinierteren Visualisierungstechniken der Komplexität des EEG beizukommen, und landete statt beim elektrischen Gehirncode im Maschinenpark. Nach Ende des 2. Weltkriegs bündelte die Kybernetik für einige Jahre die Arbeit am EEG, und es schien, als gelinge mit der Konstruktion elektrischer Gehirne und psychischer Automaten ein Durchbruch. Dennoch blieben die neurophysiologische Genese und die psychophysiologische Bedeutung der Hirnströme, die das EEG so regelmäßig aufzeichnete, weiterhin umstritten.

Heute wird kaum noch im konventionellen EEG, wie es Berger der Öffentlichkeit vorgestellt hat, nach einem Schlüssel zur Funktionsweise des Gehirns gesucht. Die »decade of the brain«, das letzte Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts, forcierte einen schon bestehenden Trend zu anderen Visualisierungsstrategien. Computer mit immer besseren Rechenleistungen konnten nun nicht nur menschliche Schachweltmeister bezwingen, sie filterten auch einzelne Zwischenschritte spezifischer Signalverarbeitungsprozesse aus den EEG-Kurven heraus. Die Neurophysiologie stieß mit der Identifizierung von Schleusenmechanismen an einzelnen Ionenkanälen immer tiefer in molekulare Dimensionen vor. Ihre größten Triumphe feierte die Hirnforschung in diesen Jahren sicher mit der Wiederbelebung von zwischenzeitlich längst für überholt erklärten morphologisch-topographischen Modellen. Neue Visualisierungstechniken konstruierten Bilder vom »Geist bei der Arbeit«,³ in denen die funktionell aktiven Areale des Gehirns nicht mehr Kurven schrieben, sondern als Aktivitätszonen aufleuchteten. Die Abkehr vom Paradigma der elektrischen Hirnschrift und das Revival der Lokalisationslehre schlugen sich auch in der Namenspolitik der Fachgesellschaften und Kongresse nieder, die in diesem Jahrzehnt ihren Gründungsnamen EEG fortfallen ließen, um den Anschluß an aktuellere Forschungsrichtungen nicht zu verlieren.⁴ Der zumeist gewählte neue Titel »Klinische Neurophysiologie« do-

3 Hagner 1996.

4 1995 änderte die Amerikanische EEG-Gesellschaft ihren Namen in *The American Clinical Neurophysiology Society*, seit 2001 tagt der Weltkongreß der internationalen EEG-Gesellschaft als *International Congress of Clinical Neurophysiology*, die Deutsche EEG-Gesellschaft ging noch einen Schritt weiter und heißt seit 1996 *Deutsche Gesellschaft für Klinische Neurophysiologie und funktionelle Bildgebung*.

kumentierte mehr als nur die gewachsene Distanz zur Grundlagenforschung. Die Absage an das EEG oder die Elektroenzephalographie sollte die alte Kurvenschreiberei in einen umfassenden Zusammenhang interdisziplinärer Forschungsmethoden aufgehen lassen, zugleich aber stützte sie insgeheim die Erwartungen, die sich an ein solches Unterfangen legitimerweise stellen ließen: Heute wird vom Gehirn des Menschen keine Schrift aufgezeichnet; es gibt hier keine Aussicht mehr auf eine authentische Schrift, sondern nur noch Physiologie. Die Änderung des Namens dokumentiert so etwas wie die Rücknahme eines ungedeckten Wechsels, der lange auf das Versprechen der Elektroenzephalographie gezogen wurde, hier werde mit technisch objektiven Mitteln das Geheimnis der Seele entschlüsselt.

Damit ist das EEG beinahe ein historisch abgeschlossener Forschungsgegenstand geworden, auch wenn es nach wie vor ein Standardverfahren der neurologischen Diagnostik bleibt. Selbstverständlich gehen Forschungen zum EEG weiter, aber etwas hat aufgehört, das sich nicht leicht umreißen läßt. Diese Leerstelle ist vielleicht die kürzeste Formel für den Gegenstand dieser Arbeit. Die am Leitfaden der Entwicklung der Elektroenzephalographie konstruierte Geschichte der Hirnströme lokalisiert die »Aufschreibesysteme« (Friedrich Kittler) der elektrischen Hirnschrift in ihrem jeweiligen materialen Kontext, um die Dynamiken und die Effekte dieser Forschungen im Wechselspiel von Naturforschung und kulturell determinierter Wissensproduktion freizulegen. Hirnforschung als naturwissenschaftliche Selbstaufklärung des Menschen mag zwar in ihrer Geschichte oft naturwüchsig verlaufen sein, ist selbst aber kein naturgegebener Prozeß. Erst in einem komplexen Geflecht von Vorannahmen, tastenden Vorversuchen und Justierungen der Experimentalanordnungen materialisierten sich Hirnströme zu EEG-Kurven. Nur in einem weitgespannten Netz von technischen Voraussetzungen, apparativen Zurichtungen und parallelen Modellierungen entstanden die Knotenpunkte, an denen das EEG zu einem »epistemischen Ding« (Hans-Jörg Rheinberger) wurde, das plausible und handhabbare Fragen stellte. Die Arbeit an den Kurven schließlich generierte Phänomene, die um das EEG einen Wissensraum kristallisieren ließen, der neue Effekte bewirkte. Die vorliegende Kulturgeschichte des EEG zielt auf eine präzise Analyse der Form- und Adaptierbarkeit eines elektrotechnischen Aufzeichnungsverfahrens in lokalen Forschungskontexten, auf das dort produzierte Wissen und dessen Effekte.

Eine Rekonstruktion dieser Formierungsprozesse kann so die historische Bedingtheit eines scheinbar naturgegebenen wissenschaftlichen Objekts hervortreten lassen. Das EEG formte die Hirnströme zu einem

elektrischen Gehirn, das nur zum Teil mit den Forschungsgegenständen anderer Zweige der Hirnforschung in Deckung zu bringen war. Ein wichtiges Merkmal des elektrischen Gehirns war seine Mittel- und Mittlerposition zwischen anatomischen Befunden und psychologischen Beobachtungen. Im Unterschied zur neuroanatomischen, elektrophysiologischen und psychologischen Forschung ließ sich mit der Elektroenzephalographie das Gehirn »bei der Arbeit« beobachten. Schon die Versuchsanordnung schien zu garantieren, im EEG mentale und psychische Phänomene am Ort des Geschehens studieren zu können, und damit setzte die Elektroenzephalographie die Vermittlung zwischen Gehirn und Geist in neuer Weise auf die Agenda der Forschung. Einer der Gründe für die über Jahrzehnte fortwirkende Produktivität des EEG, ohne daß dabei ein Konsens über die Funktionsweise des elektrischen Gehirns erzielt wurde, liegt vermutlich in der technischen Verschaltung von Gehirn, Geist und Maschine, womit der technische Fortschritt gleichsam in diese Wissenschaft eingebaut wurde. In immer weiteren Rückkopplungsschleifen stimulierte das EEG die Suche nach technischen Modellen, die umgekehrt dieser Forschung neue Impulse verliehen. Von den ersten Elektronengehirnen bis zur Konstruktion von *brain-computer-interfaces* weist die Geschichte des elektrischen Gehirns über die hier untersuchte Periode elektroenzephalographischer Forschungen hinaus.

Die Elektroenzephalographie ist ein Fallbeispiel für die komplexe Geschichte von Visualisierungsverfahren in der Hirnforschung. Die Untersuchung des Einflusses von Visualisierungs- und Meßtechniken auf die Entwicklung der Biowissenschaften ist in den vergangenen Jahren zu einem wichtigen Arbeitsgebiet in der Medizin- und Wissenschaftsgeschichte geworden.⁵ In zahlreichen Fallstudien ist gezeigt worden, wie neue experimentelle und instrumentelle Praktiken in spezifischen soziokulturellen Kontexten entstanden und wie diese lokalen Kulturen z.B. über die Festlegung von Darstellungs- und Interpretationskonventionen entscheidend auf die Formung und Stabilisierung neuer wissenschaftlicher Objekte eingewirkt haben. Repräsentationen wissenschaftlichen Wissens – seien sie bildliche Darstellungen oder Theorien – tragen demnach nicht nur äußerlich die Spuren ihrer Genese; sie sind selbst Zeugnisse und Produkte ihrer Entstehungskontexte. Diese Kontexte wissenschaftlicher Entwicklungen, wie z.B. neuer Aufzeichnungsverfahren, sind zudem epistemologisch relevant: Ein wesentlicher Teil von

5 Lynch und Woolgar 1990, Rabinbach 1990, Rheinberger und Hagner 1993, Howell 1995, Hess 1997, Galison 1997, Gugerli und Orland 2002.

Wirklichkeit und Geltung wissenschaftlicher Theorien und Objekte erklärt sich aus ihrer Geschichte.

Nach Eduard Dijksterhuis bildet die Geschichte der Wissenschaften nicht nur deren Gedächtnis, sondern ihr epistemologisches Labor.⁶ Dijksterhuis zielt auf eine Rehabilitierung des *context of discovery* gegenüber dem von der Wissenschaftsphilosophie ins Zentrum gestellten *context of justification* (Hans Reichenbach). Nur die detaillierte Analyse des Forschungsprozesses in seinem historischen Kontext erlaube Aufschluß über die Operationsweise wissenschaftlicher Rationalität. *Science in the making* ist längst zum zentralen Gegenstand der Wissenschaftsgeschichte in ihren verschiedenen thematischen und methodologischen Ausrichtungen avanciert. In diesem Sinne begreift diese Studie die elektrotechnische Exploration von Gehirn und Psyche als Ort, an dem aus Hirnströmen ein elektrisches Gehirn geformt wurde. Als historische Epistemologie dieser Forschungen muß sie sich mit dem epistemologischen Programm der Fachwissenschaft selbst ins Verhältnis setzen, stellt doch die Hirnforschung bereits ihrem eigenen Anspruch nach ein epistemologisches Labor dar. Schon im 19. Jahrhundert arbeiteten Neuroanatomie und Neurophysiologie an einer Naturalisierung des Kantischen Apriori und reklamierten weitreichende philosophische Implikationen für ihre Forschung, weil sie die biologischen Bedingungen menschlichen Denkens und Handelns entschlüssele. In den 1940er Jahren prägte Warren S. McCulloch für seine Variante dieses Projekts den griffigen Terminus »experimentelle Epistemologie«.⁷ McCullochs experimentelle Epistemologie zielte darauf, mit einer Kombination von Elektroenzephalographie, Neurophysiologie, Neuroanatomie und mathematischer Logik menschliches Denken und Handeln empirisch-experimentell aufzuklären. Das Projekt konnte der Elektroenzephalographie allerdings nicht die Rolle einer *leading science* für die Nachkriegszeit sichern. Es blieb nur so lange attraktiv, wie die Kybernetik die aufgerufenen Wissenschaften zusammenhalten konnte. Fünfzig Jahre später hat sich heute eine neue Allianz von Kognitionswissenschaft, Philosophie des Geistes und Neurowissenschaften herausgebildet, die sich anschickt, mit dem Programm einer Naturalisierung des Geistes zur Leitwissenschaft des 21. Jahrhunderts zu werden.⁸ Neurophysiologische Beschreibungen der Korrelate mentaler Phänomene sol-

6 Dijksterhuis 1969, S. 182.

7 Vgl. McCullochs biographische Bemerkung 1948 beim Hixon Symposium (Jeffress 1951, S. 32f.) und McCulloch 1964.

8 Die Formulierung greift den Titel von Dretske 1995 auf, ähnliche Titel indizieren eine Konjunktur (Kornblith 1985, Churchland 1989, Petitot 1999).

len so ausdifferenziert werden, daß sie den Status philosophisch hinreichender Erklärungen erlangen. Durchaus im Sinne von McCullochs experimenteller Epistemologie würde damit aus der Physiologie menschlicher Hirnfunktionen eine neue *Mechanik des Geisteslebens*, die »in den Gesetzen der Welt die Gesetze des Denkens wiederfände«. ⁹ Eine solche Aufklärung des menschlichen Geistes über sich selbst markierte dann allerdings einen »epistemischen Bruch«, mit dem die von Gaston Bachelard unter diesem Begriff subsumierte historische Relativität wissenschaftlicher Theorien wieder zurückgenommen wäre.

Demgegenüber insistiert diese Studie auf der Unhintergebarkeit von Geschichte im epistemologischen Labor der Hirnforschung, operiert es doch nicht nur notwendigerweise in der historischen Zeit, sondern ist selbst ein Produkt der Geschichte. Hirnforschung mag faszinierende wissenschaftliche Objekte und Theorien nach dem neuzeitlichen Modell naturwissenschaftlicher Objektivität ohne historisch indizierten Geltungsanspruch produzieren, aber über die Annahme oder Ablehnung ihrer Hintergrundtheorien entscheiden immer noch eine Vielzahl von Faktoren außerhalb des neurowissenschaftlichen Labors. ¹⁰ An diesem Spannungsverhältnis setzt Canguilhem's historische Epistemologie an, wenn sie die Historizität wissenschaftlicher Rationalität selbst in den Blick nimmt:

Das Wort »Epistemologie« bezeichnet heute die Hinterlassenschaft, um nicht zu sagen den Restbestand, jenes traditionellen Zweigs der Philosophie, den die Erkenntnistheorie darstellte. Seit die Beziehungen der Erkenntnis zu ihren Gegenständen immer stärker durch die wissenschaftlichen Methoden demonstriert wurden, hat die Epistemologie mit den philosophischen Voraussetzungen gebrochen und sich neu definiert, hat sie die Kriterien der Wissenschaftlichkeit nicht länger aus den apriorischen Verstandeskategorien abgeleitet, sondern aus der Geschichte der siegreichen Rationalität gewonnen. ¹¹

Eine historische Epistemologie, die in dieser Weise die erkenntniskritische Philosophie beerbt, bestimmt zugleich neu, in welcher Weise die Geschichte der Wissenschaften deren epistemologisches Labor ist. Denn die »Geschichte der siegreichen Rationalität« ist keine Abfolge immer

9 Bachelard 1988, S. 7. »Mechanik des Geisteslebens« hatte Max Verworn dieses Projekt bereits 1907 genannt.

10 Vgl. hierzu jetzt Hagner 2004.

11 Canguilhem 1989, S. 88.

perfekterer Theorien über die Welt am Maßstab einer zeitlosen Objektivität. Gerade die *sciences studies* haben aufgezeigt, wie Wissenschaftsentwicklung in lokale Forschungskulturen eingebettet, medial vermittelt und von vielfältigen Rationalitäten durchkreuzt wurde.¹² In dieser Perspektive sind die Ergebnisse der modernen Neurowissenschaften nicht weniger wahr als ihrem eigenen Erklärungsanspruch nach, aber der Geltungsanspruch der neurowissenschaftlichen, experimentellen Epistemologie wird selbst als Ergebnis bestimmter Entwicklungslinien der Hirnforschung lesbar. In diesem Sinne will die *Kulturgeschichte der Elektroenzephalographie* durchaus die erkenntniskritischen Implikationen einer historischen Epistemologie der Hirnströme freilegen. Damit zielt sie nicht auf eine Kritik der Neurowissenschaften am Maßstab eines alternativen Modells vom Gehirn, wohl aber auf eine Kritik am hegemonialen Diskurs der Neurowissenschaften. Während Hirnforscher gelegentlich darüber sinnieren, ob das Gehirn überhaupt in der Lage sein kann, sich selbst zu entschlüsseln, weil es dazu doch vermutlich eines noch komplexeren Systems bedürfte, vertraut diese Studie darauf, daß der kulturelle Kontext der Hirnforschung immer schon reicher ist als alle darin generierten Hirntheorien und Gehirnmodelle.

Das Gehirn ist in den vergangenen zwei Jahrhunderten zu einem zentralen Ort wissenschaftlicher Selbstbefragung des Menschen avanciert. Diese Studie untersucht die Entwicklung und Verbreitung von Verfahren zur Registrierung der elektrischen Aktivität des menschlichen Gehirns in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Im Zentrum steht dabei die doppelte Frage, wie hier Wissen über das Gehirn produziert wurde und welche Effekte die Antworten, Konzepte und neuen Fragen dieser Forschungsrichtung zeitigten. Die wichtigsten Personen und Stationen aus der Geschichte der Elektroenzephalographie bilden bis heute den festen Bestandteil eines disziplinären Gedächtnisses. Aber eine Geschichte des hier produzierten Wissens steht aus.¹³ Wie kam es, daß ausgerechnet ein

12 Stellvertretend für einige Richtungen dieser Debatte: Longino 1990, Pickering 1992, T. Porter 1995, Daston 1999. Eine Sammlung wegweisender Arbeiten hat Mario Biagioli (1999) zusammengestellt.

13 Die wichtigsten Arbeiten zur Geschichte des EEG stammen bis heute von jenen Akteuren, die später zu Historikern ihres Feldes wurden, wie Richard Jung (1963, 1992), Mary Brazier (1961, 1988) oder Pierre Gloor (1969, 1974). Ausnahmen sind Breidbach 1997 und Millett 2001a. Die von Mary Brazier bereits 1950 vorgelegte umfassende Bibliographie zum EEG liefert dafür ein exzellentes Hilfsmittel, Collura (1993) hat die Instrumentenentwicklung beschrieben.

deutscher Psychiater das erste EEG veröffentlichte, und in welcher Relation stand es zur zeitgenössischen Faszination über die geheimnisvollen Wirkungen neuer Medientechniken? In welchen Koalitionen und in welcher Konstellation konnte aus Bergers Beobachtung der Hirnströme einer der aktivsten Bereiche der Hirnforschung der Jahrhundertmitte resultieren? Wie griff die Konstituierung von »normalen« bzw. »pathologischen« Kurvenmustern in bestehende Wissensordnungen vom Menschen ein? In welcher Weise hat das elektrische Gehirn schließlich zur gegenwärtigen Konjunktur der Neurowissenschaften beigetragen bzw. deren Forschungsrichtungen mitgeprägt?

Die Untersuchung setzt mit einer detaillierten Rekonstruktion des Experimentalsystems¹⁴ in Jena ein (*Hans Bergers langer Weg zum EEG*). Bergers Veröffentlichung des EEG war 1929 weder das Produkt einer zufälligen Entdeckung noch Ergebnis eines geradlinig zum Erfolg geführten Forschungsprogramms zu Hirnströmen. Vielmehr stand sie im Kontext von Bergers jahrzehntelangem Bemühen, psychische Prozesse mit physiologischen Methoden nachzuweisen. Seit der Jahrhundertwende hatte er immer wieder Versuche zum Nachweis der von ihm vermuteten »Rindenströme« unternommen, wenn die Arbeit mit anderen Verfahren wie der Gehirnvolumenregistrierung oder der intracerebralen Thermometrie nicht zum erhofften Nachweis einer speziellen »psychischen Energie« geführt hatte. Berger ging dabei von philosophischen Überlegungen und psychophysiologischen Fragen aus, die im wesentlichen von der Hirnforschung des 19. Jahrhunderts bestimmt waren. Die mikrohistorische Analyse dieses Experimentalsystems zeigt, wie Bergers Forschungsprogramm in einem komplexen und mühseligen Formungsprozeß erst allmählich an die Phänomene, die sich mit einer elektroenzephalographischen Versuchsanordnung registrieren ließen, angepaßt werden mußte. In gewisser Hinsicht erreichte Berger mit dem EEG zwar den erstrebten Ruhm, aber nicht das Ziel seiner Forschungen, denn auch das EEG war – trotz seiner auffälligen psychophysiologischen Regelmäßigkeiten – nicht der gesuchte Detektor für psychische Energie. Es lag in der Konsequenz dieser Ernüchterung, daß Berger an seinem Lebensende neue Forschungsprojekte am Rande der Neurowissenschaften konzipierte.

Die besondere Faszination der EEG-Forschungen wird nur vor dem Hintergrund zeitgenössischer Vorstellungen zum Verhältnis von Gehirn und Elektrizität plausibel. Bergers fast solipsistisch zu nennende Arbeit

14 Ich übernehme den Terminus von Rheinberger 1992 und schlage damit seine Übertragbarkeit auf ein anderes Feld laborwissenschaftlicher Forschungen vor.

an Hirnströmen kontrastierte mit einem vielgestaltigen Kontext öffentlicher Auseinandersetzungen über die Beziehungen zwischen Elektrizität und Psyche, in die sie bei aller Abschottung dennoch eingebettet war (*Elektrotechniken des Seelenlebens*). Das Interesse, das Berger mit der Veröffentlichung seiner Kurven fand, ist deswegen nicht nur rezeptionshistorisch bedeutsam. Hinter der Begeisterung für Bergers Apparat scheint eine Partizipation der Öffentlichkeit an wissenschaftlichen Diskursen auf, die entscheidend zur Beobachtung von Hirnströmen beitrug, aber in der Wissenschaftsgeschichte mit ihrem Fokus auf akademischer Forschung oft vernachlässigt wird. Eine genauere Analyse der zeitgenössischen Repräsentationsmethoden des Psychischen, der Modellierungen des psychischen Apparats als elektrischer Maschine, der Projekte einer gezielten elektrischen Manipulation des Menschen und der Spekulationen über elektrische Kommunikation von Gehirn zu Gehirn, läßt darauf aufmerksam werden, wie das elektrische Gehirn zuerst im öffentlichen Raum in Möglichkeitsform Gestalt annahm. Bevor die elektrische Aktivität des Gehirns graphisch registriert und wissenschaftlich analysiert wurde, war das Gehirn längst als eine elektrotechnische Anlage konzeptualisiert und repräsentiert worden. In einer Kulturgeschichte der Hirnströme tritt damit der öffentliche Raum selbst als eine Art Labor hervor, in dem Konzepte zur Gehirnelektrizität vorgebracht, diskutiert und evaluiert wurden.

Die Elektroenzephalographie ist *neben* der universitären Neurophysiologie entstanden. Die mit der Röhrentechnik seit Ende des 1. Weltkriegs deutlich verbesserten technischen Möglichkeiten zur Registrierung kleinster bioelektrischer Signale hätten der Neurophysiologie ohne weiteres auch die Aufzeichnung eines EEG erlaubt. Aber sie lag nicht »in der Luft« als quasi natürliche Erweiterung und Übertragung vorhandener neurophysiologischer Experimentalstrategien auf das Gehirn. Damit Hirnströme zum Gegenstand der Hirnforschung werden konnten, mußte das EEG, das im Jenenser Labor entstanden war, zunächst anschußfähig an bereits bestehende Forschungskontexte gemacht werden (*Terra nova: Kontexte elektroenzephalographischer Explorationen*). Das gilt für alle Orte, an denen begonnen wurde, zum EEG zu arbeiten, wenngleich in je spezifischer Weise, im Anschluß an lokale Forschungsprogramme. Für den jungen Physiologen Alois Kornmüller, der am Kaiser-Wilhelm-Institut für Hirnforschung in Berlin-Buch als erster Bergers Forschungen aufgriff, dabei aber der lokalisierenden cytoarchitektonischen Hirnforschung Oskar Vogts verpflichtet war, schien eine einheitliche Kurve der Gehirnaktivität, wie Berger sie aufgrund seiner holistischen Überzeugungen propagierte, wenig sinnvoll. Er suchte statt dessen nach der elektrischen

Aktivität einzelner Hirnregionen, mit denen sich die neuroanatomische Kartographie des Gehirns um physiologische Befunde ergänzen lassen sollte. Der britische Neurophysiologe Douglas Adrian wiederum war weder an psychischer Energie noch an cytoarchitektonischen Parametern interessiert. Für ihn lag die Herausforderung der EEG-Kurven darin, daß sie sich nicht mit dem universalen Code kurzer, abrupter Signale im Nervensystem in Einklang bringen ließen, den Adrian maßgeblich definiert hatte. Nach Adrians Reproduktion von Bergers Kurven begannen Mitte der dreißiger Jahre zahlreiche Labore binnen kurzer Zeit sich den EEG-Kurven zu widmen. Selbstverständlich galt auch für diese Labore, daß ihre Forschungen von bisherigen Forschungsfragen mitbestimmt wurden. Aber je mehr Forscher und Gruppen mit EEG-Experimenten begannen und je umfangreicher die publizierten Ergebnisse wurden, um so weiter entfernte sich die Elektroenzephalographie von bereits etablierten Forschungskontexten und um so eigenständiger formte sie sich entlang der mit dieser Methode gemachten Beobachtungen.

Das vielleicht markanteste Ereignis in der Geschichte der Elektroenzephalographie – nach der ersten Beobachtung dieser Kurve – war die mehr oder minder zufällige Registrierung eines stark auffälligen Kurvenmusters bei einer Epilepsie-Patientin. Das EEG zeigte eine auffällige Störung der elektrischen Gehirnfunktion, aus der sich der wichtigste klinische Anwendungsbereich der Elektroenzephalographie entwickeln sollte. Die EEG-Kurven epileptischer Anfälle bewirkten gleich in mehrerlei Hinsicht mehr als nur eine methodische Objektivierung der Diagnosestellung (*Vorwärts und viel vermessen*). Die im EEG beobachtete Störung der Hirnelektrik formte das gesamte Krankheitsbild der Epilepsien um. Aus einer Geistesstörung, die in die Zuständigkeit der Psychiatrie fiel, wurde eine neurologische Gehirnkrankheit. Dieser Erfolg setzte verschiedene biopolitische Imperative frei. Er veranlaßte, z.B. bei gesunden Angehörigen von Epilepsie-Patienten und bei vielen weiteren Gruppen nach auffälligen EEG-Mustern zu fahnden. Die biopolitische Dimension des mit der Elektroenzephalographie erschlossenen neuen Wissensraums manifestierte sich noch drastischer in der Suche nach pathologischen Kurvenmustern bei Menschen mit Persönlichkeitsstörungen sowie bei verhaltensauffälligen Kindern und Jugendlichen. Hier stellte die Elektroenzephalographie in Aussicht, soziale Ausgrenzungsmechanismen mit neurophysiologisch »objektiven« Befunden zu unterfüttern, und diente so einer biologischen Pathologisierung dieser Gruppen. Solche Projekte zeitigten nicht immer den Erfolg, den ihre Verfechter sich erhofft hatten, aber sie beförderten die Vorstellung, daß das Gehirn als elektrischer Apparat operiere, die bald von ganz anderer Seite aufgegriffen werden sollte.

Mit der Einführung der psychiatrischen Schocktherapien fand das Konzept des elektrischen Gehirns seine therapeutische Konkretisierung als Kurzschluß im Kopf.

Während der Wissensraum des elektrischen Gehirns im klinisch-therapeutischen Bereich zunehmend konkrete Gestalt annahm, blieb die Frage offen, was das EEG eigentlich registrierte und wie es zu interpretieren sei. Sie lancierte Projekte, mit immer neuen Methoden der Visualisierung elektrischer Gehirnaktivität das Rätsel der Gehirnströme zu lösen (*Bauen Basteln Denken*). Der Psychologe Hubert Rohrer z.B. suchte in besonders schnellen Schwingungen nach Repräsentationen mentaler Prozesse. Alois Kornmüller fand in besonders langsamen Schwingungen den Indikator einer bevorstehenden Selbstabschaltung des Gehirns und plante, aus dem EEG ein Warngerät für Sauerstoffmangel bei Piloten im Kampfeinsatz zu machen. Norbert Wiener wiederum wollte in besonders regelmäßigen Schwingungen den Arbeitstakt des menschlichen Zentralrechners erblicken. Richard Jung vermutete in der Resonanz der Hirnströme das Geheimnis der Selbststeuerung des Gehirns. Die experimentelle Epistemologie der Hirnforschung mit ihrem Ziel, aus den Befunden der neurophysiologischen Hirnforschung die Funktionsweise des menschlichen Geistes zu entschlüsseln, feierte erste Erfolge in Form von kybernetischen Hirntheorien, die menschliches Denken auf mathematische Funktionen reduzierten. Grey Walter hingegen konstruierte aus dem EEG eine Art »Gehirnfernsehen«, das vielmehr darauf abzielte, die Komplexität der Hirnprozesse zu veranschaulichen. Das Bauen und Basteln in der EEG-Forschung produzierte Hirntheorien gleich im Dutzend. Damit stellt sich aber die Frage, ob Modellbildungen in der Hirnforschung nicht grundsätzlich passager sind, weil sie Weisen eines »Sich-selbst-Verkennens« (Käthe Meyer-Drawe) manifest werden lassen.

Die Elektroenzephalographie hatte Hirnströme als Schrift fixiert und knüpfte damit an eine lange Tradition graphischer Verfahren in der Physiologie an. Visuelle Darstellungen sind in den Wissenschaften seit dem 19. Jahrhundert mit der Rhetorik propagiert worden, die Natur selbst ohne das störende Dazwischenkommen menschlicher Aktivitäten zu repräsentieren, von ihrer Selbstabbildung in der Photographie bis zu ihrer Selbsteinschreibung in den Kurven der instrumentellen Physiologie.¹⁵ Etienne-Jules Marey hatte bekanntlich seine »méthode graphique« als unmittelbare Wiedergabe der Sprache der Natur begründet.¹⁶ Gleich-

15 Vgl. Daston und Galison 1992, Chadarevian 1993, Brain 1996, Geimer 2001.

16 »Die Wissenschaft ist mit zwei Hindernissen konfrontiert, die ihren Fortgang hemmen: Die Mangelhaftigkeit unserer Sinne, Wahrheiten aufzudecken, und die

zeitig stand außer Frage, daß eine solche »Selbst-Repräsentation« der Natur nur in technischen Medien erfolgen konnte, die zwar von menschlicher Hand gebaut waren, deren Funktionieren aber im Gegensatz etwa zum Zeichnen nicht von der menschlichen Hand abhing. Technische Medien schienen aufgrund ihrer künstlichen Schreibtechnik in der Lage, Zeichen der Natur jenseits menschlicher Schrift- und Bildkonventionen zu produzieren. Diese Bewegung einer Aufhebung der Technik stützt sich heute auf eine Konvergenz von Auge und Computer, in der das Bild auf dem Computerbildschirm an die Morphologie eines Gehirns appelliert und damit das neue wissenschaftliche Objekt zum Mitbewohner unsrer Welt macht. Jenseits ihrer Neuheit scheint die Überlegenheit der gegenwärtigen Visualisierungsverfahren vor allem darin zu liegen, daß sie unmittelbar an traditionelle Hirnbilder anschließen, zeigen sie die Funktionsdaten doch nicht als kryptische Kurven, sondern als topologische Markierungen im »echten« Gehirn.¹⁷ Während das Gehirn im EEG die Spur seiner Tätigkeit selbst zu schreiben schien, konstituieren heute Computer eine komplexe, räumlich differenzierte Wirklichkeit des Gehirns. Möglicherweise wird deshalb eine Hybridisierung mit neuen Visualisierungstechniken wie der funktionellen Magnetresonanztomographie der Elektroenzephalographie zu einer Renaissance verhelfen, denn nach wie vor liefert nur eine Analyse elektrischer Potentiale in Echtzeit Daten der Gehirnarbeit.¹⁸

In der Medizin werden die modernen Visualisierungstechniken meist »bildgebende Verfahren« genannt und ihr Einsatz gar als »Bildgebung«

Unzulänglichkeit unserer Sprache, auszudrücken und mitzuteilen, was wir erkannt haben. Ziel wissenschaftlicher Methodik ist es, diese Hindernisse zu überwinden. Die *graphische Methode* erreicht besser als alle anderen dieses doppelte Ziel. Denn sie kann erstens in diffizilen Untersuchungen kleinste Nuancen erfassen, die anderen Methoden der Beobachtung entgehen; und zweitens handelt es sich darum, den Verlauf eines Phänomens auszudrücken: diese Methode gibt die Phasen eines Phänomens mit einer Klarheit wieder, über die unsere Sprache nicht verfügt.« Marey 1878, S. i (Übersetzung C.B., Hervorhebung im Original).

17 Unter dem Slogan »Bilder statt Kurven! Visualisierung von EEG-Kurven« wirbt z.B. eine junge Berliner Firma für ihre Software zur Visualisierung von EEG-Daten als Hirnbilder, vgl. http://www.eemagine.com/Wista_article_German.htm (1.12.2004).

18 Pierre Gloor (1994) hat in seiner *Berger lecture* die neuen Visualisierungstechniken in Kombination mit neuen EEG-Verfahren entsprechend als Erfüllung von Bergers Vision eines naturwissenschaftlichen Einblicks in die Arbeit des Geistes gefeiert. Zur Konvergenz von EEG und neuen Visualisierungstechniken vgl. z.B. Erwin und Rao 2000.

bezeichnet, so als handle es sich um Techniken eines Demiurgen, der göttliche Geschenke verteile. Präzise verweist diese Sprache auf die Verschiebung des Aktivitätszentrums, sind die Bilder doch die schöpferischen Produkte von Computern. Die Gabe, die den Hirnforschern von den Computern überreicht wird, ist in ihrer Bildlichkeit so perfekt, daß diese Bilder neue Wirklichkeitsmodellierungen darstellen. Die Konjunkturen verschiedener Forschungsmethoden, die in den Neurowissenschaften einander ablösen, ohne daß die einst mit ihnen verbundenen Hoffnungen sich realisieren, wiederholen beständig die Figur einer Prolepsis.¹⁹ Die Neurowissenschaften eröffnen zwar immer neue, faszinierende Wissensräume, doch sie beschäftigen sich dabei im Grunde mit ähnlichen Problemen. Die zentralen Fragen der Hirnforschung waren spätestens seit dem 19. Jahrhundert formuliert, aber die jeweils aktuellen Hirntheorien waren stets noch zu kaum mehr als bloß thetischen Lösungen im Vorgriff auf einen vermeintlich bevorstehenden Durchbruch in der Lage. In diesem Erwartungshorizont, im chronischen Vorgriff auf eine Lösung »hinter der Kurve« (Gilles Deleuze), scheint ein nicht geringer Anteil der Faszinationskraft des Unternehmens Hirnforschung zu stecken. Auf einen Nenner gebracht, sind es weniger die theoretischen Annahmen und Zugänge und gerade nicht der philosophische Ast der Hirnforschung, welche die Dynamik bestimmen, sondern die praktischen, durch neue Technologien ermöglichten Einblicke und Eingriffe.

Kürzlich berichtete eine Berliner Forschungsgruppe ein bemerkenswertes Zwischenergebnis ihrer Arbeit an Systemen, die es gelähmten Patienten ermöglichen sollen, einen Computer allein mittels EEG-Signalen zu steuern.²⁰ Auf der Suche nach einem geeigneten Steuersignal in der Summe der Hirnströme filterte die Gruppe alle Begleitströme heraus, bis ein sogenanntes lokalisiertes Bereitschaftspotential einer bevorstehenden motorischen Aktion genügend deutlich hervortrat. Die Computertechnik ließ sich so weit optimieren, daß mit hoher Zuverlässigkeit vorhergesagt werden konnte, ob eine Versuchsperson dabei war, ihre rechte oder linke Hand zu bewegen. Aber zugleich hatte sich die Steuerung merkwürdig verlagert, denn der Computer antizipierte eine Entscheidung, die von der Versuchsperson ihrem eigenen Bewußtsein nach erst noch vollzogen wurde, da das Bereitschaftspotential bewußten Prozessen einige Sekundenbruchteile vorausging. Vor dem Bildschirm, der die Berechnungen des Computers als eine Bewegung des Cursors nach recht oder

19 Zum Folgenden vgl. Hagner und Borck 1999.

20 Blankertz et al. 2004.

links veranschaulichte, ertappte die Versuchsperson sich jetzt regelmäßig dabei, daß sie gerade jene Bewegung ausführen wollte, die der Computer bereits vollzogen hatte. Aus dem Modul zur individuellen Steuerung einer Maschine war offensichtlich eine Kommunikation zwischen Gehirn und Maschine geworden, in der das Ich der Versuchsperson dem Handeln seines Gehirns buchstäblich zuschauen konnte. Das Erschrecken, von dem eine der Versuchspersonen berichtete, vermischte sich sogleich mit Neugierde darüber, was hier eigentlich beobachtbar werde.

Der Strom der Wissenschaftsgeschichte hat fast alle Ansätze zur Fixierung der Hirnströme in sich aufgenommen. Weniger ein positives Wissen, das allemal oft zweifelhafte Effekte mit sich brachte, als vielmehr eine wissenschaftliche Produktivität scheint Markenzeichen der Geschichte der Hirnströme. Zu dieser Produktivität gehört die Irritation, wie sie EEG-Forschungen insbesondere dann provozierten, wenn sie selbstreflexiv wurden. Hier zeigt sich, wie Wissenschaft zuvörderst neue nicht vorausgesehene Fragen stellt, indem sie welche beantwortet. Wenn die Neurowissenschaften sich heute anschicken, zur Leitwissenschaft des 21. Jahrhunderts zu werden, liegt hierin vielleicht ihr besonderes Potential. Anstatt eines der »letzten Rätsel der Menschheit« zu lösen, tragen sie vielmehr dafür Sorge, daß das Gehirn des Menschen rätselhaft bleibt. Eine historische Epistemologie des elektrischen Gehirns wird zum Einspruch gegen eine Verengung der Perspektiven auf die aktuell dominierenden Formen und damit zum *Plädoyer für eine offene Epistemologie*.

HANS BERGERS LANGER WEG ZUM EEG

Strom im Kopf

Im Juli 1929 erschien im *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten* die Arbeit »Über das Elektrenkephalogramm des Menschen« von Hans Berger, der zum Herausgeberkreis dieser von Wilhelm Griesinger begründeten, führenden deutschen psychiatrischen Zeitschrift gehörte und zudem Direktor der Jenenser Universitäts-Nervenklinik war. In diesem Aufsatz berichtete Berger von einer langen Serie von Versuchen an Tieren und Menschen, elektrische Ströme des Gehirns aufzuzeichnen, als deren Resultat er schließlich eine typische Kurve kontinuierlicher, rhythmischer Stromschwankungen des Gehirns gefunden habe, für die er jetzt den Namen »Elektrenkephalogramm« vorschläge. Die Beobachtung und graphische Aufzeichnung von Hirnströmen waren seit geraumer Zeit Bergers großes Projekt gewesen, das er immer wieder in Angriff genommen hatte, sobald er andere Forschungen abgeschlossen hatte, so zuerst 1902 unmittelbar nach seiner Habilitation, dann 1907 nach Abschluß einer Arbeit über die Korrelate psychischer Zustände in Volumenkurven des Gehirns und 1910 nach einer Arbeit über Temperaturänderungen des Gehirns in Abhängigkeit von psychischen Leistungen. Alle diese Hirnstrom-Versuche an verschiedenen Tieren hatten aber nur zweifelhafte Resultate erbracht, so daß Berger seine Forschungen zunächst wieder auf greifbarere Ziele gelenkt hatte. Erst nachdem Berger 1919 die Leitung der Jenenser Nervenklinik übernommen hatte, begann er nochmals, sich mit der Registrierung elektrischer Gehirnaktivität zu beschäftigen, diesmal nicht im Tierversuch, sondern beim Menschen. Am 6. Juli 1924 gelang ihm, was er bis an sein Lebensende als ersten erfolgreichen EEG-Versuch feiern sollte. Gleichwohl zögerte Berger noch fünf weitere Jahre, bis er sich seiner Sache endlich sicher genug für eine erste Veröffentlichung glaubte. In diesen fünf Jahre registrierte er in fast 200 Versuchen mehr als tausend Gehirnstromkurven, deren Ergebnisse aber so schwankend blieben, daß er seine Beobachtungen immer wieder in Zweifel zog. Entsprechend erwartungsvoll notierte er am 25.7.1929, kurz nach dem Erscheinen seines Aufsatzes, in sein Tagebuch: »Das EEG ist jetzt in aller Hände!« (IV, 232).¹ Bergers EEG war also alles andere als eine Zufallsbeobachtung,

1 Berger hat regelmäßig Tagebuch geführt. Diese Tagebücher wurden nach Bergers Tod von seiner Familie sorgfältig aufbewahrt und zunächst Heinrich Boening und Richard Jung für eine geplante Edition übergeben, die jedoch wegen Boe-

sie war das Produkt eines über fast drei Jahrzehnte andauernden zähen Ringens mit einem von vornherein festgesteckten Ziel vor Augen, nämlich der Registrierung elektrischer Gehirnaktivität beim Menschen.

Dieses immer wieder neu einsetzende Bemühen um eine Kurve, die zunächst nur als Wunsch existierte, läßt sich nicht einfach als Überwinden definierter technischer Schwierigkeiten oder als allmähliches Erwerben ausreichender Fertigkeiten im Experimentieren rekonstruieren. Es war vielmehr von einer sehr viel grundsätzlicheren Auseinandersetzung darüber gekennzeichnet, was überhaupt als Beobachtungsobjekt gefaßt werden sollte. Paradoxerweise blieb am Beginn seiner Experimente unklar, was als Effekt und was als Artefakt zählen sollte, weil Berger sehr genaue Vorstellungen vom EEG hatte, die sich mit den experimentell erzeugten Phänomenen nicht ohne weiteres in Einklang bringen ließen. Berger scheiterte wiederholt am EEG, weil die elektrischen Signale des Gehirns, die seine Registrierapparate auffingen, in den Worten Gaston Bachelards »Nachrichten aus einer unbekannten Welt« waren.² Berger war mit einem »epistemologischen Hindernis« konfrontiert, dessen Widerständigkeit sich immer erst nachträglich als Vergangenheit von Irrtümern und falschen Erkenntnissen herausstellt, wie Bachelard argumentiert:

Nie ist das Reale das, »was man sich denken könnte«, sondern es ist immer das, was man hätte denken müssen. Das empirische Denken ist *nachträglich* klar, wenn das Instrumentarium der Gründe richtig eingestellt ist. [...] Tatsächlich erkennt man *gegen* eine frühere Erkenntnis, indem man falsche Erkenntnisse zerstört und das überwindet, was im Geist selbst der Vergeistigung zum Hindernis wird.³

nings überraschendem Tod nicht mehr zustande kam. Jung hat diese Tagebücher ausführlich studiert, teilweise exzerpiert und Ausschnitte veröffentlicht (Jung 1963, Jung/Berger 1979). Die Familie hat die Tagebücher der Universität Jena leihweise übergeben, wo sie im Haeckel-Haus aufbewahrt werden. Ich folge der von Jung vorgeschlagenen Zählung der Tagebücher und zitiere mit Datum, Bandangabe und Seitenzahl nach den im Berger-Nachlaß, Neurologische Universitätsklinik Freiburg aufbewahrten Kopien und Exzerpten. Neben diesem Material hat Berger sogenannte »Reflexionen« über das EEG verfaßt, die vor allem aus den Jahren 1928 bis 1930 erhalten sind. Dieses Material besteht aus mehreren Tausend losen, zumeist datierten Blättern und wird zum allergrößten Teil ebenfalls im Berger-Nachlaß, Neurologische Universitätsklinik Freiburg aufbewahrt. Aus den Reflexionen zitiere ich mit »R.« und Datum.

2 Bachelard 1974, S. 17.

3 Bachelard 1978, S. 46, hier zitiert nach der Übersetzung von Henriette Beese (Bachelard 1974, S. 171).

In einem langen Prozeß fortgesetzter Modifikationen mußten Erwartungen, Beobachtungen, instrumentelle Anordnungen, Untersuchungsbedingungen und die verschiedenen Teilschritte der Experimente erst so aufeinander abgestimmt werden, daß sie zusammen ein Experimentalsystem ergaben, in dem sich einigermaßen stabil jene Kurven aufzeichnen ließen, die sich erst allmählich als Hirnstromkurven herauschälten.

Eine detaillierte Rekonstruktion der Ereignisse im Jenenser Labor scheint mir gerade deswegen in epistemologischer Hinsicht aufschlußreich, weil sich in diesem Fall gewissermaßen in der »Reinkultur« einer weitgehend isoliert verfolgten Forschungsarbeit die Wechselwirkungen zwischen Erwartungen, Störungen und Beobachtungen bzw. die Kette von daraus resultierenden, theoretischen wie experimentalpraktischen Modifikationen studieren lassen. Bergers in mehrerlei Hinsicht isolierte Versuchsräume in der Jenenser Nervenklinik waren die Brutstätte eines »epistemischen Dinges« (Hans-Jörg Rheinberger), eines noch unbeobachteten und unverstandenen, zunächst nur konkret imaginierten Objekts. »Wie vor allem sich jenes Gefühl eines Labyrinths ohne Ausgang vergegenwärtigen, jene unablässige Suche nach einer Lösung, ohne darauf Bezug zu nehmen, was sich inzwischen als *die* Lösung erwiesen hat – ohne sich von ihrer Existenz blenden zu lassen?«⁴ – Der französische Molekularbiologe François Jacob hatte das zu bewältigende wissenschaftshistoriographische Problem prägnant benannt, bevor das Studium von Forschungskulturen zum Thema der Wissenschaftsgeschichte wurde.⁵ Im Folgenden soll in diesem Sinne Bergers »investigative pathway« (Frederick Holmes) bis zur Veröffentlichung seiner ersten Mitteilung über das EEG rekonstruiert werden, ohne den erst aus der Zukunft bestimmten Erfolg einer bestimmten Experimentalanordnung auf die vorausgegangenen Versuchssituationen zurückzuprojizieren, also ohne die konkreten Verwerfungen und Verzweigungen in Bergers Experimentalsystem teleologisch im Lichte der schließlich realisierten Elektroenzephalographie zu ordnen. In seiner ersten Mitteilung zum EEG 1929 schilderte

4 Jacob 1988, hier zitiert nach Rheinberger 2001, S. 76.

5 Im Zuge neuerer Arbeiten zur Genese wissenschaftlicher Objekte, Praktiken und Forschungskulturen ist das Experimentieren historiographisch und wissenschaftsphilosophisch von einer bloßen Verifikationsinstanz für Theorien, Konzepte oder Modelle zu einem zentralen Ort wissenschaftlichen Handelns aufgewertet worden, an dem nicht nur Vorannahmen oder Theorien überprüft werden, sondern wo Erwartungen und Handfertigkeiten mit wissenschaftlichen Objekten und Materialitäten in unvorhersehbarer Weise interagieren, vgl. u.a. Latour und Woolgar 1979, Shapin und Shaffer 1985, Holmes 1992, Hacking 1996, Rheinberger 1992 und 2001.

- Canguilhem, Georges 14, 228,
239, 318-321
- Cannon, Walter B. 81, 221, 235, 292
- Caton, Richard 27, 182
- Cazzamalli, Ferdinando 113-115,
127, 143, 158, 274
- Cerletti, Ugo 245, 248, 252f.
- Charcot, Jean Martin 215
- Cobb, Stanley 205, 219, 243
- Collins, Harry 73
- Crile, George 118
- Cushing, Harvey 49, 252
- Dante, Alighieri 134
- David, Catherine 126
- Davis, Hallowell 143, 190, 192-194,
196, 202-209, 232, 235, 238
- Davis, Pauline 193f., 202, 204,
231, 235, 238, 265
- Delay, Jean 211
- Deleuze, Gilles 21, 310, 323
- Descartes, René 318
- Dessoir, Max 39
- Dietsch, Günther 157
- Dijksterhuis, Eduard 13
- Domagk, Gerhard 81
- Dostojewski, Fjodor 217
- Douglas, Mary 89
- Dovey, Vivian 306
- Drohocki, Zenon 258-262
- Drown, Ruth 118
- Durig, Arnold 42
- Dürer, Albrecht 272
- Ebbecke, Ulrich 144, 145
- Ectors, Leon 211
- Einstein, Albert 200, 202, 299-301
- Erlanger, Joseph 179, 190f.
- Euler, Ulf Svante von 81
- Ewald, Gottfried 256
- Exner, Sigmund 108, 110
- Fessard, Alfred 211
- Fiala, A. K. 123-126, 133
- Fischer, Max Heinrich 163, 164,
165-168, 170, 182, 183, 192, 315
- Fleck, Ludwik 8, 261f.
- Foerster, Heinz von 325
- Foerster, Otfried 49, 50, 53, 108,
110, 173, 252
- Forbes, Alexander 179, 190, 194,
203, 232
- Forman, Milos 246
- Foucault, Michel 213-215, 226, 246
- Freeman, Walter 257
- Freud, Sigmund 37, 38, 108, 110f.,
217, 239
- Friedel, Erwin 40
- Friedländer, Adolf 96, 127
- Fritsch, Gustav 108, 110, 252
- Fulton, John 190, 192, 205
- Gall, Franz Joseph 96
- Gasser, Herbert 179, 190-192
- Gerard, Ralph W. 190, 194
- Gevins, Alan 313f., 319f., 322
- Gibbs, Erna geb. Leonhardt 143,
189, 194, 205f., 209, 211, 218, 221,
225, 228f., 231, 236-238
- Gibbs, Frederic A. 41, 143, 189,
192-194, 205, 206, 208f., 211, 218,
220f., 225, 227-229, 231, 233,
236-238, 278, 288, 302f.
- Giese, Fritz 99f., 114
- Gigerenzer, Gerd 264f., 267
- Ginzberg, Raphael 30, 74, 77
- Giorgione 272
- Goldstein, Kurt 78, 175
- Golla, Frederick Lucien 302,
303f.
- Gottlober, Abraham 235
- Gozzano, Mario 211
- Gracián, Balthasar 75

- Grass, Albert 171, 209, 211, 220,
228, 263, 278, 302
- Gregg, Alan 196, 202, 221, 241, 275
- Griesinger, Wilhelm 23, 36
- Grüttner, Reinhold 174
- Guattari, Félix 310, 323
- Guleke, Nicolai 78
- Hacking, Ian 319
- Haeckel, Ernst 29, 38, 77, 78
- Hebb, Donald O. 271
- Heidegger, Martin 266
- Hellpachs, Willy 123
- Helmholtz, Hermann von 54, 94,
103, 316
- Henry, Charles E. 235, 241
- Henschen, Salomon E. 56, 81
- Henßge, Ernst 274
- Herzberg, Alexander 101, 114, 116
- Hess, Walter Rudolf 275-277
- Hilpert, Paul 59, 74, 81
- Hitler, Adolf 134, 167f.
- Hitzig, Eduard 77, 108, 110, 252
- Hoagland, Hudson 194, 236, 251
- Hölderlin, Friedrich 85
- Holmes, Frederick 25
- Holst, Erich von 277-281, 292f.
- Holzer, Wolfgang 254f., 284
- Hughlings Jackson, John 215, 220
- Jacob, François 25, 142
- James, William 37
- Janzen, Rudolf 175, 276, 277
- Jasper, Herbert H. 7, 9f., 143f.,
176, 193-199, 202f., 208f., 211,
232, 239f., 251, 264, 278
- Jaspers, Karl 111
- Jung, Carl Gustav 46, 130, 175
- Jung, Richard 15, 19, 23f., 36, 49, 64,
153, 157, 172, 175, 252, 275-282, 284,
292
- Kahn, Fritz 91, 93, 106-109, 135
- Kalinowsky, Lothar 251, 252
- Kant, Immanuel 75
- Kapp, Ernst 102f.
- Kennedy, John F. 228
- Kessler, Harry Graf 29
- Kihn, Berthold 162
- Kittler, Friedrich 11, 103
- Klages, Ludwig 118, 130
- Kleist, Karl 77, 81, 284
- Knott, John R. 227
- Köhler, Wolfgang 111, 112
- Kolle, Kurt 30, 75
- Koopman, L. J. 211
- Kornmüller, Alois Eduard 17, 19,
111, 155, 163, 165-169, 170, 172, 174-
177, 182, 183, 189, 198, 211, 258,
263, 276f., 282, 284-289, 292, 314
- Kornmüller, Elfriede 238
- Kotik, Naum 39
- Krause, Fedor 49, 108
- Küppers, Egon 249
- Lakhovsky, Georges 118-121, 123,
126f.
- Lang, Fritz 104
- Lapique, Louis 195, 211
- Lashley, Karl 175
- Laßwitz, Kurd 38, 160
- Latour, Bruno 92, 215, 219f.
- Lehmann, Alfred 32-34, 38, 43, 58,
77, 134
- Lemere, Frederick 211, 231
- Lemke, Rudolf 74, 162
- Lenin, Vladimir I. 126, 286
- Lennox, William 189, 204-206,
208, 209, 211, 218-226, 228, 231,
238, 243
- Lenoir, Timothy 103
- Lindsley, Donald B. 193f., 204f.,
232, 240-242

- Lodge, Oliver 116
 Loomis, Alfred Lee 193f., 200-203, 211, 233
 Lorente de N6, Rafael 190, 293f.
 Lorenz, Konrad 316
 Lucas, Keith 178, 179, 180
 Ludwig, Emil 94, 96

 Maggi, Irma 114
 Marey, Etienne-Jules 19, 267
 Marxow, Ernst Fleischl von 27
 Matthews, Bryan 179, 180, 182-185, 189, 231, 234
 Matthews, Rachel 180-182, 203
 Maurer, Friedrich 77, 78
 Mayer, Robert 36, 37
 McCulloch, Warren Sturgis 13f., 154, 189, 192, 194, 250, 293, 294, 298, 316f.
 McLuhan, Marshall 102, 103
 Mead, George Herbert 38
 Mead, Margaret 293
 Meduna, Ladislaus von 248, 250
 Meggendorfer, Friedrich 253f., 255, 256
 Meyer-Drawe, Käthe 19
 Mittelstädt, Horst 280
 Monakow, Constantin von 111
 Mosso, Angelo 31, 40, 77, 153
 Müller, Max 248
 Münsterberg, Hugo 99
 Musil, Robert 138
 Mussolini, Benito 94, 134

 Neumann, John von 293f., 300
 Nietzsche, Friedrich 29
 Noell, Werner 175, 289

 Ohm, Johannes 274f.
 Osietzky, Maria 89
 Ossietzky, Carl von 81

 Ostwald, Wilhelm 38
 Oswald, Lee Harvey 228
 Overbeck, Otto 118

 Palme, Fritz 175, 285f.
 Patzig, Bernhard 164
 Pawlow, Iwan 191, 315
 Penfield, Wilder 199, 251
 Pflüger, Eduard 36
 Piaget, Jean 316
 Pitts, Walter 293, 298, 316
 Planck, Max 43, 44
 Pötzl, Otto 247
 Pophal, Rudolf 131
 Prast, Johannes 288f.
 Práwdicz-Neminski, Wladimir W. 27
 Preyer, Wilhelm 130, 131
 Putnam, Tracy 81

 Reichenbach, Hans 13
 Renan, Ernest 75
 Rheinberger, Hans-Jörg 11, 16, 25, 64
 Rheinberger, Margaret 238, 265
 Riedel, Bernhard 40
 Rohracher, Hubert 19, 56, 143, 154, 155, 158, 211, 267-275, 284, 311
 Rosenblueth, Arturo 292-294, 296
 Rosenboom, David 321, 322, 323f.
 Roths Schuh, Karl E. 104
 Rubens, Peter Paul 223
 Rubinstein, Boris 232
 Ruby, Jack 228
 Rückert, Friedrich 28

 Sakel, Manfred 247f., 249f.
 Schaefer, Johannes 288
 Schleich, Carl Ludwig 105-108, 135
 Schlemmer, Oskar 114, 115

- Schmidt, Hermann 281
 Schneider, Carl 245
 Schrödinger, Erwin 118
 Schulte, Robert Werner 99f.
 Schwab, Robert 207, 302
 Semon, Richard 110
 Shannon, Claude 296
 Sherrington, Charles 176
 Sinclair, Upton 112
 Skramlik, Emil von 44
 Spatz, Hugo 169, 275f.
 Spinoza, Baruch 75
 Störing, Gustav Ernst 158
 Straubel, Rudolf 41
 Strohmayer, Wilhelm 75
 Strughold, Hubertus 284f.
 Stübel, Hans 44-48, 62
 Szasz, Thomas 245, 253
- Tarchanoff, Iwan 46, 47
 Temkin, Owsei 215
 Tesla, Nicola 119
 Timoféeff-Ressovsky, Helene 164
 Timoféeff-Ressovsky, Nikolaj 164
 Tönnies, Ferdinand 164
 Tönnies, Jan Friedrich 163, 164,
 165-167, 170, 171, 172f., 176, 182,
 209, 278, 280, 284, 288
 Travis, Lee E. 194, 196, 235
 Trotzki, Leo 139
 Turing, Alan 290, 293
- Valenstein, Elliot 257
 Valéry, Paul 324
- Veraguth, Otto 46
 Verworn, Max 14, 34
 Virchow, Rudolf 102f.
 Vogt, Cécile 81, 163f.
 Vogt, Marthe 164
 Vogt, Oskar 9, 17, 31, 56, 78, 81,
 101, 160, 162, 163f., 165f., 167-
 169, 174f., 276, 284, 286
- Wagner-Jauregg, Julius 244
 Walter, Timothy 311
 Walter, Vivian 238
 Walter, William Grey 10, 19, 143,
 184, 230, 231, 252, 288, 298, 301-
 312, 317
 Weaver, Warren 196-198
 Weisschedel, Ewald 276
 Weizsäcker, Viktor von 78, 175
 Wever, Glenn 203
 Whitehead, Alfred North 316
 Wien, Max 157
 Wiener, Norbert 19, 280, 289,
 293f., 296-300, 302, 317, 323
 Williams, Dennis 211
 Wollenberg, Robert 77
 Wundt, Wilhelm 34, 37, 100, 102
- Zeiss, Carl 29
 Ziehen, Theodor 30, 31, 32, 36f.,
 42, 77, 216
 Zotterman, Yngve 179, 190
 Zweig, Stefan 94
 Zwirner, Eberhard 164