

## Fotofunken und Radiowellen

### Über Feddersens Bilder und die Hertzschen Versuche

Wolfgang Hagen

Dezember 1889. Als die Entdeckung der ‘elektrischen Strahlen’ längst in aller Munde ist, fragt ein Zivilingenieur der Elektrizität, Heinrich Huber, beim Entdecker, dem jungen Heinrich Hertz in Karlsruhe höflich an, ob man die neuen Wellen für Zwecke der Übertragung von Telefonie oder Ähnlichem würde verwenden können. Postwendend folgt eine Absage.

“Sehr geehrter Herr! Auf ihre freundlichen Zeilen vom 1. des Monats antworte ich ganz ergebends das Folgende: Magnetische Kraftlinien lassen sich ebenso gut wie die elektrischen als Strahlen fortpflanzen, wenn Ihre Bewegungen nur schnell genug sind; denn in diesem Falle gehen sie überhaupt mit den elektrischen zusammen, und die Strahlen und Wellen, um welche es sich in meinen Versuchen handelt, könnte man ebenso gut magnetische wie elektrische nennen. Aber die Schwingungen [...] eines Telefons sind viel zu langsam. Nehmen sie tausend Schwingungen in der Sekunde, so würde dem doch im Äther schon eine Wellenlänge von 300 Kilometern entsprechen, und von der gleichen Größe müßten auch die Brennweiten der benutzen Spiegel sein. Könnten sie also Hohlspiegel von der Größe eines Kontinents bauen, so könnten sie damit die beabsichtigten Versuche gut anstellen, aber praktisch nichts machen, mit gewöhnlichen Hohlspiegeln würden sie nicht die geringste Wirkung verspüren. So vermute ich wenigstens. Mit vorzüglicher Hochachtung bin ich ihr ganz ergebener Heinrich Hertz.”<sup>1</sup>

Hertz hat das Radio nicht erfunden. Er hatte keine rechte Idee, was man mit seiner Entdeckung nachrichtentechnisch anfangen könnte. Allerdings ist seine Beschreibung dessen, was er zwei Jahre zuvor gefunden hatte, einzigartig korrekt: “Strahlen und Wellen”, die man “ebenso gut magnetische wie elektrische nennen könnte”, die sich “fortpflanzen”, wenn “ihre Bewegungen nur schnell genug sind”, und dann “überhaupt [miteinander] zusammen” gehen.

### I. Scheinbilder eines schlechten Gehörs

1889, als er Heinrich Huber negativ beschied, interessierte sich Hertz für die Strahlen kaum noch. Er steht kurz vor der Niederschrift einer systematischen Arbeit über die Mechanik, eine sehr tiefgründige Theoriearbeit, deren Einleitung berühmt geworden ist. Hertz, der geniale Experimentator, der gesehen hat, was vor ihm niemand sah, spricht hier von den Bildern der Physik.

“Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, daß die denkwürdigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. Damit diese Forderung überhaupt erfüllbar sei, müssen gewisse Übereinstimmungen vorhanden sein zwischen

der Natur und unserem Geiste. Die Erfahrung lehrt uns, daß die Forderung erfüllbar ist und daß also solche Übereinstimmungen in der Tat bestehen.”<sup>2</sup>

Einer der ersten Rezipienten dieses Scheinbildertheorems war der Physiker Ludwig Boltzmann. Boltzmann befand sich in der prekären Lage, so etwas wie Wahrscheinlichkeit und Probabilistik, also Näherungen und Ungenauigkeiten, in ein System absoluter Maße und Werte zu integrieren, nämlich in das System der klassischen Mechanik. Seine wahrscheinlichkeitstheoretische Definition der Entropie beispielsweise, die über Shannon und die Kybernetik bis in Luhmanns Evolutionsbegriff nachwirkt, war nicht integrierbar in das Newtonsche System. Deshalb interessierte ihn das Hertzsche Mechanikbuch und dessen Revision der theoretischen Koordinaten Masse, Raum, Zeit und Kraft. Letztere suchte Hertz aus der Physik zu eliminieren und durch ein Konzept “verborgener Massen” zu ersetzen. In den Boltzmannschen Vorlesungen saß ein junger Student namens Ludwig Wittgenstein, der im “Tractus Logico Philosophicus”, unter dem Kanonendonner des Ersten Weltkriegs 1917 geschrieben, emphatisch auf Heinrich Hertz verwies. So hat Hertz’ Scheinbildertheorem gleich eine zweifache Wirkung getan: einerseits über Russell in die angelsächsische Philosophie hinein und andererseits über Boltzmann, Hermann Weyl und Wolfgang Pauli in die Relativitäts- und Quantenphysik.<sup>3</sup>

“Die Bilder, von welchen wir reden”, schreibt Hertz, “sind unsere Vorstellungen von den Dingen; sie haben mit den Dingen die *eine* wesentliche Übereinstimmung, welche in der Erfüllung der genannten Forderung liegt [daß die denotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände], aber es ist für ihren Zweck nicht nötig, daß sie irgend eine weitere Übereinstimmung mit den Dingen haben.”<sup>4</sup> Die Folge ist eine Absage an eine Ontologie der Physik, das Ende der Physik als Naturlehre im alten Sinn. Der Grund für diese Absage waren zweifellos wieder Bilder, nämlich die, die Heinrich Hertz sich selbst, wenige Jahre zuvor, von seiner eigenen Entdeckung zu machen hatte, nämlich von den elektromagnetischen Wellen.<sup>5</sup> Aber was sind Bilder von elektromagnetischen Wellen? Wie soll man sie anschaulich machen? Richard Feynman, der Physiker der Atombombe von Los Alamos, hat 1963 gesagt, es sei viel leichter “unsichtbare Engel” zu verstehen, als eine elektromagnetische Welle:

“Wenn ich anfangs, die Ausbreitung des Magnetfeldes über den Raum zu beschreiben, von den E- und den B-Feldern spreche und dabei glücklich die Arme schwenke, dann glauben Sie wohl, daß ich diese E- und B-Felder sehe. Ich werde Ihnen sagen, was ich sehe. Ich sehe so etwas wie schwimmende, schwingende, undeutliche Linien - hier und da erkenne ich die Buchstaben E und B auf ihnen und auf einigen Linien vielleicht auch Pfeile - ein Pfeil hier und dort, aber er verschwindet, wenn ich zu genau hinsehe. Wenn ich von Feldern spreche, die durch den Raum zischen, verursache ich eine fürchterliche Verwirrung zwischen den von mir benutzten Symbolen zur Beschreibung der Objekte und den Objekten selbst. [...] Fällt es Ihnen daher schwer, sich ein solches Bild zu machen - seien sie unbesorgt, Ihre Schwierigkeit ist nicht außergewöhnlich.”

Und weiter:

“Vielleicht sehen sie die letzte Rettung in einem mathematischen Standpunkt. Aber was ist ein mathematischer Standpunkt? Mathematisch gesehen gibt es an jedem Punkt im Raum einen elektrischen und einen magnetischen Feldvektor; das bedeutet, daß jedem Punkt sechs Zahlen zugeordnet sind.

Können Sie sich vorstellen, wie jedem Punkt im Raum sechs Zahlen zugeordnet sind? [...] Können Sie sich auch nur eine Zahl vorstellen, die jedem Punkt zugeordnet ist? Ich nicht! Ich kann mir so etwas wie die Temperatur an jedem Punkt im Raum vorstellen. [...] Aber die Idee einer Zahl an jedem Ort ist mir wirklich unverständlich.”<sup>6</sup>

Daß die moderne Naturwissenschaft nicht mehr auf Bildern oder auf einem Bild der Natur basiert, ist nicht unbekannt. Alle diesbezüglichen Einsichten Heideggers übergehend<sup>7</sup> sei Peter Mittelstaedts Definition aus dem Jahr 1989 präsentiert; die Definition eines theoretischen Physikers: “Die Physik ist [...] eine Theorie beobachtbarer Größen, die die Natur beschreibt, wie sie sich zeigt, wenn man sie mit realen Meßgeräten und Uhren untersucht.”<sup>8</sup> Daraus folgt: wir, oder besser, die “Episteme”<sup>9</sup> der Physik weiß nichts über die Natur als Natur in einem ontologischen Sinn, sondern beobachtet - Luhmann würde sagen ‘in erster Ordnung’ - nach Maßgabe einer Theorie, welche allein dazu verfaßt ist, Vorhersagen über Meßergebnisse zu machen, die sich in der Natur mit realen Meßapparaten reproduzieren lassen. Physik im zwanzigsten Jahrhundert hat aufgehört Naturlehre zu sein.

Die Physik als Wissenschaft beschreibt nicht Natur und deshalb schreibt sie auch keine Geschichte der Natur. “Der historische Prozeß” der Theoriebildung in der Physik “ist im allgemeinen völlig verschieden von der systematischen Form, in die diese Theorie [...] später [...] gebracht wird, und die demjenigen, der sie in dieser Form lernt, die Fiktion eines wissenschaftsökonomisch optimalen Weges suggeriert, auf dem die Theorie im Prinzip hätte gefunden werden können.”<sup>10</sup> Jede Art von Geschichte der Physik, die ihren epistemologischen Kern anerkennt, hat demnach starke Anteile einer fiktiven Konstruktion. Die Wissenschafts-Historik, von Pierre Duhem über Alexandre Koyré bis Karl Popper und Thomas Kuhn, hat dieses Dilemma in einem ideengeschichtlichen Ansatz zu beheben versucht. Dieser Linie verdanken wir den berühmten Begriff des “Paradigma-Wechsels”, der, wie eine geheime geistige Mutation, das Denken der Wissenschaftlerköpfe jeweils verändert haben soll. Die größte Schwachstelle dieser ideengeschichtlichen Historik besteht darin, daß ihr ein historischer Zugang zum Experiment, das doch umgekehrt Garant der epistemologischen Wahrheit sein soll, völlig fehlt. Wenn nämlich Popper behauptet, daß der Experimentator “durch den Theoretiker vor ganz bestimmte Fragen gestellt” worden sei und der Experimentator nun “durch seine Experimente für diese Fragen und nur für sie eine Entscheidung zu erzwingen” gesucht habe,<sup>11</sup> dann zeigen die vielen Arbeiten, die in den letzten fünfzehn, zwanzig Jahren Experimenten noch bis in die letzten Verästelungen ihrer Abläufe gefolgt sind: das hat mit dem Diskurs der Geschichte der experimentellen Wissenschaften nichts zu tun.

Hans-Jörg Rheinberger hat in diesem Zusammenhang einen Begriff der Experimentalsysteme stark gemacht, der für eine Theorie der Medien einiges hergeben könnte. Den Ort des Geschichtlichen in der Naturwissenschaft situiert Rheinberger im Diskurs ihrer Experimentalgeschichte, und zwar in einem bestimmten Typus ihrer genealogischen Rekonstruktion. In der Physik werden Experimente bekanntlich dann theoriefähig, wenn sie erfolgreich und in der Forschergemeinschaft überall reproduzierbar sind. Ist das geschehen, wandern sie als vorhersagbarer und reproduzierbarer Experimentalmaßstab ins finalistische Theorie-Modell und werden damit genealogisch umgedeutet. Auf eine signifikante Weise anders liegt die Lage in den technischen Medien. Auch technische Medien operieren, in ihren Anfängen, mit Experimentalfragmenten, am Beispiel der Telegraphie und des Radios ist das überdeutlich. Dann aber geschieht eine andere Übertragung als in der Physik. Es gibt kein finalistisches Theoriemodell und auch keine Epis-

temologie, zu deutsch also: es gibt kein Wissen, in welches das, was Medien sind und tun, übertragen werden könnte. Gesteuert von dem, was man getrost eine ‚Anwendungsschicht‘ nennen könnte, disseminieren die Fragmente aus den Experimentalumgebungen der Physik, auch der Chemie und anderer Teilwissenschaften, in die technischen Medien, werden zerfleddert und neu zusammengesetzt, reprogrammiert, und so es funktioniert, findet auch hier eine finalistische Umdeutung statt. Es ist ein Finalismus der Unvordenklichkeit eines Prozesses, in welchem technische Medien bislang expandieren und er hat, so sei es vorgeschlagen zu sehen, als solcher noch einmal den Charakter eines Experimentalsystems. „Experimentalsysteme“ in der Wissenschaft, so Hans-Jörg Rheinberger, sind „Arbeitseinheiten der Forschung“, die als „Anordnungen zur Manipulation von Objekten des Wissens“ eingerichtet sind, „um unbekannt Antworten auf Fragen zu geben, die wir ihrerseits noch nicht klar zu stellen vermögen.“<sup>12</sup> Experimentalsysteme generieren in der „irreduzible[n] Vagheit“ und „blinden Taktik“ eines differentiellen Prozesses ihren Gegenstand, nämlich ein „epistemisches Ding“. Also etwas, „was man noch nicht weiß“, aber möglicherweise längst schon experimentell gestellt hat. An den Hertzchen Versuchen, in denen sich Physik und Medien auf eine doppelt folgenreiche Weise kreuzen, kann man das zeigen.

Wie also hat Hertz die ‚elektrischen Strahlen‘, von deren einstweiliger Unbrauchbarkeit er Huber schrieb, gefunden? Sein Experimentalsystem besteht aus zwei Grundelementen, die recht genau als Sender und Empfänger identifizierbar sind. Aber es gilt genau hinzusehen. Zu sehen sind in dieser Skizze (Abb. 1) vom November 1886 zunächst nur zwei Drahtgestelle. Auf der gebenden Seite - oben - ist ein „Rühmkorffscher“ Funkeninduktor eingebaut, der durch zwei Kondensatoren verstärkt, an den offenen Stellen des Drahtes sehr schnelle elektrische Funkenüberschläge produziert. Der „Rühmkorff“ heißt Rühmkorff, weil er bereits in den frühen fünfziger Jahren von einem deutschen Instrumentenbauer namens Heinrich Daniel Rühmkorff (1803-1877) in Paris gebaut wurde. Rühmkorff, Kondensatoren und Draht. Das ist das Kernstück des Hertzchen Experimentalsystems, das absolut nichts Neues enthält. So ein Rühmkorff stand Mitte der achtziger Jahre in jedem besseren Physiklabor herum. Er stand ja auch 1895 im Würzburger Labor des bis dahin ziemlich unbekannt Professors Röntgen herum, der mit diesem Rühmkorff ebenfalls seine Funkenexperimente machte, übrigens im expliziten Rückgriff auf Hertz, aber in luftverdünnten Röhren, also Kathodenstrahlen erzeugend, mit dem Zufallsergebnis, über das Röntgen zeitlebens, was seine konkrete Entstehung betrifft, geschwiegen hat und testamentarisch verfügte, daß alle verbliebenen Unterlagen vernichtet werden sollten.<sup>13</sup>

Das andere Kernstück des Hertzchen Experimentalbaus ist der Resonatorkreis. Hertz nennt ihn zu Anfang einen „Leiter“. „Dorthin, wo wir die Kraft wahrnehmen wollen, bringen wir einen Leiter, etwa einen geraden Draht, welcher durch eine feine Funkenstrecke unterbrochen ist.“<sup>14</sup> Ein denkbar simples Gerät, dieser Leiter: es ist nicht mehr als ein zu einem Viereck - oder später zu einem Kreis - gebogener Draht mit einer winzig kleinen Öffnung, wo dann die Funken überschlagen werden. Um genau zu sein: in die Drahtöffnung hatte Hertz ein handelsübliches Funkenmikrometer eingesetzt, handelsüblich, weil auch solche zu den üblichen Laborgeräten der zweiten Jahrhunderthälfte gehörten. Mit Drahtgestellen dieser Machart hat Hertz am Ende, nach mehr als einem Jahr, den Empfang elektromagnetischen Wellen nachgewiesen. Das Prinzip aber existiert schon im November 1886, als Hertz noch nichts von Wellen weiß. Hier geht es noch um Primärfunken, die irgendwie Sekundärfunken produzieren.

Funken können logischerweise unterschiedlich hell sein, deutlich oder verschwindend bis zur Unkenntlichkeit. Auch diese Differenz registriert Hertz bereits im November 1886 mit besagten Laborgeräten, entdeckt dabei den Fotoeffekt, sichert ihn durch Reproduktion, beschreibt ihn in einem ersten Aufsatz, versteht ihn aber in seinem Mechanismus keineswegs.<sup>15</sup> Alles in allem sind da noch keine vier Wochen des Experimentierens vergangen. Am Ende, nach einem Jahr, als er schon weiß, daß es Wellen sind, was zwischen den Funken wirkt, wird er immer noch nichts anderes sehen, als diesen einfachen und zugleich hochkomplizierten, nichtssagenden und zugleich Alles sagenden realen Effekt, nämlich Funken. Drei Jahre später, als alles klar ist, gibt er, der die feinsten Augen hatte, gezwungen, lange Wochen im abgedunkelten Labor zu verbringen, um kleinste Lichtblitze, zuweilen mit vorgeschalteten Mikroskop-Okularen, zu registrieren, uns eine Analogie aus der Welt der reinen Töne, der Akustik:

“Geben Sie einem Physiker eine Anzahl Stimmgabeln [und] eine Anzahl Resonatoren, und fordern Sie ihn auf, die zeitliche Ausbreitung des Schalles nachzuweisen, er wird selbst in dem beschränkten Raume eines Zimmers keine Schwierigkeiten finden. Er stellt eine Stimmgabel [...] auf, er horcht mit dem Resonator an den verschiedenen Stellen des Raumes herum und achtet auf die Schallstärke. Er zeigt, wie [die Schallstärke] an einzelnen Punkten sehr klein wird, er zeigt, [...] daß hier jede Schwingung aufgehoben wird durch eine andere später abgegangene. [...] Wenn ein kürzerer Weg weniger Zeit erfordert als ein längerer, so ist die Ausbreitung eine zeitliche. Die gestellte Aufgabe ist gelöst. Aber unser Akustiker zeigt uns nun weiter, wie die stillen Stellen periodisch in gleichen Abständen sich folgen; er mißt daraus die Wellenlänge, und wenn er die Schwingungsdauer der Gabel kennt, erhält er daraus auch die Geschwindigkeit des Schalles. Nicht anders, sondern genau so verfahren wir mit unseren elektrischen Schwingungen.”<sup>16</sup>

Soweit Hertz. Er hatte im Winter 1886, als alles anfang und ein langes Jahr so unklar blieb, neben einem Kolleg über Elektrodynamik eine ungeliebte Vorlesung über “Akustik” zu lesen, er, der junge Professor, der über ein so miserables Gehör verfügte, daß er nicht einmal zwei Töne auseinanderhalten konnte. Er schrieb seinen Eltern - er schrieb zuweilen mehrmals die Woche an seine Eltern: “Versuche, die Gehör erfordern, werden freilich auf ein Minimum beschränkt.”<sup>17</sup> Also, ein weiteres Bild: Hertz, der Physiker, der nicht hören kann, geht durch den Raum, um das Verschwinden und Anschwellen von Tönen zu hören, als habe er das feinste Gehör wie sein Lehrer Helmholtz, der die Obertöne aus dem Geplätscher eines Springbrunnens herausgehört haben soll. Er mißt den Abstand zwischen zwei Auslöschungen des Tons und hat die halbe Welle. Tatsächlich waren seine Ohren betäubt gewesen vom Rühmkorff-Geknatter, und trotz dieses Blitzlichtgewitters hatte er immer noch im Funkenmikrometer seines Empfangsdrahtes Fünkchen gesehen. Die Frage, welche Frequenz das Geknatter, sprich der Rühmkorff hat, ist 1886 ebenfalls Schulphysik. Man nehme die Thomsonsche Schwingungsformel, 1853 aufgestellt: Periodendauer gleich zwei mal Pi mal Wurzel aus Induktion und Kapazität. Entscheidend ist: Schon am Anfang hat Hertz alles parat, sein Experimentalsystem ist vollständig. Winter ‘86 sieht er Funken, als Effekt von Funken, aber in gewisser Weise sieht er vor Funken nichts. Anderthalb Jahre später, das Experimentalsystem bleibt nahezu unverändert, sieht er alles: “Wir halten unseren Draht in zwei verschiedenen Lagen in dieselbe Stelle der Welle; das eine Mal spricht er an, das andere Mal nicht. Mehr bedarf es nicht; die Frage ist entschieden, es sind Transversalwellen.”<sup>18</sup>

Warum aber hat Hertz ein Jahr lang gebraucht, die Wellen zu finden, die er de facto bereits hatte? Oder um es mit Hans-Jörg Rheinberger zu fragen: Wenn Hertz ausgeht von einem Experimentalsystem, das mit altbekannten Elementen operiert, was ist der Einsatz der Dekonstruktion dieses Systems, dem Hertz sein vollkommen neues, revolutionäres Ergebnis verdankt? Eine Antwort, eine gewiß vorläufige, sei versucht. Es ist von Beginn an der Effekt selbst, den Hertz erkennt und verkennt zugleich, nämlich den Effekt des elektrischen Funkens. Ein Effekt im Reellen, das seine Spuren hinterläßt und sich in ihnen verbirgt. Hertz wird am Ende nichts anderes tun, als eine Geometrie des Raums zu eröffnen, in dem Funken und nichts als Funken ihre Spur hinterlassen. Wir haben also, um Hertz zu verstehen, über den Funken zu reden, der in einem ganz buchstäblichen und zugleich übertragenen Sinne an der Stelle der Elektrizität geschieht. Und wir werden sehen, daß wir uns damit einem Reellen nähern, das, ganz wie Lacan es sagt, "bedingungslos an seiner Stelle klebt",<sup>19</sup> in welchem es "keine Abwesenheiten"<sup>20</sup> gibt und das nur durch eine Vertauschung oder Verkennung, also durch das Symbolische oder Imaginäre zugänglich ist. Hertz sieht in seinen Funken von Anfang an etwas, das er sich und uns nicht verschweigen will und dennoch uns und sich nicht vorstellen kann. Seine Lösung wird in vieler Hinsicht radikal und revolutionär sein und einschließen, im Funken selbst mit einer semiotischen Verschiebung zu operieren, die er mit dem präzisesten möglichen Begriff bezeichnet, der dafür zur Verfügung steht, nämlich mit dem des "Zeichens".<sup>21</sup> Ein kurzer Blick in die Geschichte des physikalischen Funken-Dispositivs legt die diskursive Formation offen, in die Hertz mit dieser wichtigen semiotischen Verschiebung interveniert.

## II. Zur Geschichte des elektrischen Funkens.

Im Grimm'schen Wörterbuch findet sich ein altes Wort, das es heute nicht mehr gibt, nämlich den "Funkenzieher". Ein Funkenzieher im 18. Jahrhundert ist einer, der einen Funken aus einem Menschen herauszieht, so wie Stephen Gray das im Juni 1731 erstmals machte und in den "Transactions" der "Royal Society" beschrieb. Es war die erste Aufschreibung des Funkens im Rahmen der sich bildenden physikalischen 'community' überhaupt, des Funkens als Durchschlag der Elektrizität durch das Gasgemisch namens Luft. Zwölf Jahre später finden wir in den zeitgenössischen Experimenten den an gewundenen Seidenfäden aufgehängenen Knaben, der einen weiteren Knaben an die linke Hand faßt, aus dessen rechter dann ein Funken sprühen wird. Der hängende Knabe, der stromleitende Mensch, wird aufgeladen mittels einer Hauksbeeschen Reibeelektriermaschine, einer großen rotierenden Kugel oder Scheibe aus Glas.<sup>22</sup> Der Funken im achtzehnten Jahrhundert ist das Kernstück einer imaginären Symbolik des "elektrischen Feuers". Diese wird ein erstes Mal radikal verschoben, als um 1755 die Elektrizitätstheorie Benjamin Franklins die Identität von Blitz und Funken theoretisch und praktisch begründet.<sup>23</sup> Möglich wird diese Theorie durch das erste Medium der Elektrizitäts-Physik, nämlich die Leydener Flasche, das erste Speichermedium der Elektrizität, ihrerseits zuvor gefunden in der Kasualität der endlosen Experimente zur Elektrisierung von Wasser an der Universität in Leyden, eine der damals führenden Wissenschaftsstätten der Welt.<sup>24</sup> Mit ihr, der Flasche, kann man nicht nur erstmals elektrische Ladungen aufbewahren, transportieren, also speichern und übertragen, sondern man kann sie auch verdoppeln, addieren und multiplizieren, mit dem Nebeneffekt, daß gewaltige Entladungen, gewaltige Funken und lebensgefährliche Elektroschläge möglich werden. Man kennt die Geschichten von den hopsenden Soldaten des Abbé Nollet in den Tuileries zu Paris, die im Kreis stehen und sich an den Händen fassen, während der erste und der letzte Soldat die Flasche berührt.

Mit der Leydener Flasche entsteht ein erstes Experimentalgerät der Elektrizität, das das Symbolische vom Imaginären zu trennen erlaubt. Elektrizität wird endlich theoriefähig. Die Leydener Flasche verweist auf Austausch, Ausgleich, auf die Egalisierung der Auftrennung einer ursprünglichen Universalität, und so wird sie sehr schnell zeitgenössisch von Benjamin Franklin gelesen. Der Mitbegründer der Vereinigten Staaten von Amerika führt um 1760 die noch heute geläufigen Begriffe ‘Ladung’, ‘Batterie’, ‘Plus’ und ‘Minus’ ein, und zwar als Begriffe eines unitären Elements, das universelle Existenz haben soll, in der Atmosphäre wie auf der Erde, in jedem einzelnen Ding wie im Kapital des revolutionären Bürgertums. Als sichtbarer Augenschein dieser Universalisierung der Elektrizität erobern Franklins Blitzableiter die Welt. Die gefundene Universalität und Kommutabilität des Elektrischen eröffnet einen weiteren und zugleich entscheidenden Einsatz des Symbolischen in das Feld der Elektrizität, nämlich den der Mathematik. Das geschieht 1760 durch Franz Ulrich Aepinus. Aepinus postuliert sofort die Ähnlichkeit, eine Art Äquivalenz der Elektrizität und des Magnetismus und schlägt damit eine erste Brücke über den Graben, der erst im neunzehnten Jahrhundert, durch Oerstedt, Ampère und Faraday wirklich geschlossen werden sollte. Galten doch Elektrizität und Magnetismus in der gesamten Aufklärung bis 1820 als getrennte Kräfte, eine Trennung, die vielleicht, wenn es physikalische Sünden gibt, zu den notwendigsten und folgenreichsten Sünden der Aufklärung gehört. William Gilbert hatte die Trennung 1600 erklärt, indem er Magnetismus als universelle, die Erdanziehung bewegende, Elektrizität aber als lokale Kraft deklarierte, als begrenzte Erscheinung, gebunden an einige wenige spezielle Materialien und Materien. Aepinus, der Elektrizität und Magnetismus spekulativ-mathematisch wiederzuvereinigen sucht, schreibt damit 1760 bereits Vorformen der modernen Elektrodynamik an.

Aber eben nur Vorformen, denn dem Euler-Schüler Aepinus stand nun genau der Effekt im Wege, der immer noch das einzig elektrisch Greifbare war, nämlich der Funke. Mathematisch ist mit dem Funken wenig anzufangen, das gilt in gewisser Weise bis auf den heutigen Tag. Funken sind ionisierende lawinenartige Elektronendurchschläge durch Gase, und da gibt es bestenfalls Näherungsgleichungen.<sup>25</sup> Für Aepinus, den Mathematiker, repräsentiert der Funke irgendeine Art von Materialität, die möglicherweise gar nicht zur Elektrizität gehört. Was allerdings eine gewagte Diagnose war. Denn die Berichte von Blitzeinschlägen in Schiffen, in deren Folge Kompasser an Bord Umpolungen zeigten, oder Berichte von Einschlägen in Eisenbündel, die auf einmal magnetische Kräfte bewiesen, waren zahllos und zu Aepinus Zeiten schon acht verschiedene Male in den “Transactions” der Newtonschen Society beschrieben worden. Aepinus gibt das zu, aber er traut sich nicht. Wie unendlich langsam und mühselig sich die Historie der Elektrizität in der neuzeitlichen Physik entfaltet, in Bezug auf einen Gegenstand, der offenbar nicht zu fassen ist, wird an diesen Skrupeln des Ulrich Aepinus ganz deutlich.

“Man hat einigemal bemerkt, daß der Donnerstrahl, wenn er in ein Schiff eingeschlagen, und die Magnetnadel oder den Seecompaß getroffen hat, diesen sehr in Unordnung gebracht, ja daß er zuweilen die Pole der Nadel ganz umgekehrt habe. Hiervon hat Herr Franklin Anlaß genommen, den Schlag der Leydener Flasche durch eisernen Draht gehen zu lassen, und hat befunden, daß derselbe sehr magnetisch geworden. Es wäre leicht, hieraus auf eine Verknüpfung der Elektrizität und der Magnetenkraft zu schließen, und nicht nur eine Aehnlichkeit, sondern gar eine verborgene und vollkommene Gleichheit beyder Kräfte zu muthmaßen. Aber ich getraue mir nicht, also zu folgern. Denn da der aus der Musschenbroekischen Flasche herausfahrende Schlag die Theile des Körpers, durch den er geht, bis in das Innerste

erschüttert, welches niemand läugnen wird, welcher jemals diese elektrischen Erschütterungen erlitten, und sich durch einen schmerzhaften Versuch davon überzeugt hat; und da ferner jede Erschütterung eines in gehöriger Lage gehaltenen Eisens die Magnetenkraft hervorbringt: so kann fast kein Zweifel entstehen, daß es die bloße Erschütterung sey, welche hier die Magnetenkraft erweckt, und daß dahero die Electricität hier nicht als Electricität, sondern bloß durch mechanische Erschütterung des Eisens, wirke.<sup>26</sup>

Ab hier beginnt, um es mit Maxwell zu sagen, die Spaltung der Geschichte der Elektrizität in eine analytische und eine synthetische Richtung. Die Mathematiker, Analytiker wie Aepinus, werden nicht mehr über den Funken sprechen, und die Experimentalisten, die Synthetiker, lange Zeit jedenfalls nicht, die Sprache der Mathematik. Wir nähern uns bereits dem allesentscheidenden synthetischen Experiment, nämlich der Wasserspaltung von Paets van Troostwijk, Johann Rudolph Deimann und John Cuthbertson 1789. Die drei spalteten mittels Entladungsfunken in einem einzigen Vorgang zunächst Wasser in Wasser- und Sauerstoffgas, also Knallgas, um das erzeugte Produkt durch denselben Funken explosionsartig in Wasser zurückzuverwandeln.<sup>27</sup> Dieses Experiment war Wasser auf die Mühlen von Lavoisier, weil es der Phlogiston-Theorie den letzten Sargnagel versetzte. Aber doch nur, sofern man voraussetzte, daß die Elektrizität des Funkens selbst keine chemische Materie sei, die in ihrem Feuer etwas der Chemie hinzufügt. Funke, Feuer, Wärmestoff, calorique - man werfe nur einen Blick in Kants Opus Posthumum, um die Qual des alten Mannes zu erkennen, der sieht, daß etwas Gewaltiges über seine transzendental geordnete Newtonsche Welt hereinzubrechen droht.

### III. Die Flügel des Geistes, Metaphysik der Teilchen

Chemie wird um 1800 mehr und mehr, mit Goethe, Schlegel und Novalis, wie die Literaturwissenschaftler wissen, ein romantisches Passwort des Geistes. Ein anderes Wort für Wahlverwandtschaft. Getreu der Parole von Hölderlin, Hegel und Schelling im Tübinger Stift, der "langsamen, an Experimenten mühsam schreitenden Physik" die "Flügel" zu geben,<sup>28</sup> errichtete Schelling die äußerst komplizierte und hochspekulative Systemphilosophie einer dualistischen, alles gebärenden romantischen Weltseelenkraft, die eine lange deutsche Ära der Naturphilosophie, bis weit ins 19. Jahrhundert hinein bestimmen sollte. Es mag grotesk genug erscheinen, aber aus diesem hochspekulativen Kontext der romantisch-chemistischen Weltseelenmetaphysik ist im September 1820 das zweite Schlüsselexperiment der Elektrizitätsgeschichte hervorgegangen. Es ist der Nachweis des Professor Oerstedt aus Kopenhagen, Philosoph, Kantianer und Romantiker, daß ein stromdurchflossener Kupferdraht eine Magnetnadel anzieht. Diese Entdeckung stürzt das epistemische Ding namens Funken elektrizitätshistorisch vorerst vom Sockel.

Es vergingen wenige Wochen, bis sich Ampère und Faraday unmittelbar nach 1820, der eine schnell und mathematisch, der andere mühsam und in der Langsamkeit einer dreißigjährigen empirischen Arbeit, an die Aufschreibung dieses elektrodynamischen Effekts der Magnetnadelanziehung machten. Im Zuge dessen fand Faraday um 1830 die magnetische Induktion, heißt das Prinzip des Elektrogenerators und Elektromotors zugleich, was ihm Anlaß gab, in unaufhörlichen Veröffentlichungen, seine Theorie der magnetischen und elektrischen Feldlinien zu entwickeln. Seltsame Gebilde sollten das sein, Kräfte im Raum, die Nahwirkungen entfalteten, ohne etwas anderes zu repräsentieren als Verschiebungs- und Verdichtungswirkungen. Nichts Atomar-Stoffliches, sondern gebogene, gekrümmte Linien der Kraft im Äther. Der schon genannte William

Thomson war ein großer Verehrer dieser akribischen, aber auf alle Mathematik verzichtenden Experimentalberichte des Michael Faraday und setzte etwa ab 1850 einen jungen Studenten namens James Clerk Maxwell auf die Fährte Faradays mit dem klaren Auftrag, alles das in mathematische Ausdrücke umzusetzen, was Faraday, ohne eine einzige Formel, über Jahrzehnte deiktisch präzise beschrieben hatte. Daraus wurde die Maxwellsche Theorie, die keinen Unterschied mehr macht zwischen Elektrostatik und Elektrodynamik und bereits in den sechziger Jahren, mit einer teilweise völlig neuen mathematischen Ausdrucksweise, nicht nur vorhersagte, sondern darauf gründete, daß elektrodynamische Kräfte, also rechtwinklig aufeinandersetzende magnetische und elektrische Feldkräfte, sich frei und mit Lichtgeschwindigkeit im Raume fortbewegen. Daß sich elektrische und magnetische Felder frei im Äther bewegen sollten, war selbst für die Ätherenthusiasten der viktorianischen Physik, zu denen William Thomson zählte, etwas viel. Und die dazugehörige Mathematik war ausschließlich für Eingeweihte verständlich. Thomson verstand sie nicht oder nur halb, und auf dem Kontinent wurde darüber, auch ein wenig von Helmholtz, nur der Kopf geschüttelt. Hertz kannte ebenfalls Maxwell zunächst nicht im Original, sondern nur über eine Helmholtzsche Lesart der Maxwellschen Theorien.<sup>29</sup>

In Deutschland schloß man sich Frankreich an, also Ampère, von dem das erste elektrodynamische Gesetz herrührt, auf der Höhe der Mathematik seiner Zeit differentialgeometrisch formuliert. Ampère, ein systemphilosophischer Romantiker wie Schelling oder Hegel, behauptete, daß in einem Eisenmagnet das Integral kleinster galvanischer Ströme wirke, eine permanent kreisende molekulare Stromwirkung also, die senkrecht zur magnetischen Achse gelegen sei. Das ist, als physikalisches Bild, eine erstaunliche Vorahnung dessen, was die Quantenphysik sagen sollte. Ein gleichgerichteter Elektronen-Spin in den Eisenatomen wird heute tatsächlich als die Ursache von konstanten Magneten angesehen. Aber Ampère war auf diese atemberaubende Hypothese nur gekommen, weil sie die strikt mathematische Konsequenz seines differentialgeometrischen elektrodynamischen Kalküls war, das den Magnetnadel-Ablenkungseffekt zu beschreiben hatte. Romantiker, wenn sie Physiker sind, denken durchaus hochabstrakt. Ampères Definition molekularer Teilchenströme wurde in Deutschland zunächst von Franz Neumann und Gustav Theodor Fechner, später von Wilhelm Weber zu einer noch viel komplizierteren Theorie erweitert. Gleichwohl wurde sie Gemeingut jedes deutschen Physikers im neunzehnten Jahrhundert.

Wilhelm Weber, einer der 'Göttinger Sieben', kombinierte das Coulombsche und das Ampèresche Gesetz mit äußerst komplizierten mathematischen Annahmen, denen die physikalische Vorstellung von konzentrisch und elliptisch umeinander kreisenden, entgegengesetzt geladenen elektrischen Massenteilchenpaaren entsprechen sollten.<sup>30</sup> Atomismus in Deutschland, Ätherphysik in England, das war die Lage Mitte des Jahrhunderts. Die Stromteilchen, so stellte sich Weber das vor, sollten in einem stromführenden Leiter entgegengesetzt fließen, plus und minus repräsentierend, und dabei eben jene Wirkung namens "elektrische Kraft" aufeinander ausüben. Die Kraft aber war als klassische Fernwirkung gedacht, heißt: instantan, *actio in distans*, unmittelbare Wirkung ohne Zeitverlust, so wie Newton mathematisch die Gravitation angeschrieben hatte. Wie immer atomistisch klein auch die einzelnen Kraftabstände ausgelegt waren, "diese Beziehungen waren Gesetze, d.h. Kraftgesetze, die die Gesetzmäßigkeiten des Geistes ausdrückten".<sup>31</sup> Stoffliches und Kraft, Materie und Geist physikalisch durch die Mathematik vereint. Das ist die Pointe der deutschen Physik der Elektrizität, in die Heinrich Hertz hineingeboren wurde und in der er, wie Weber und Kirchhoff, Kohlrausch und Helmholtz, zuhause war. Noch auf der Naturforschertagung 1889 bekennt Hertz:

“In unserer Vorstellung spielt sicherlich die stofflich gedachte Elektrizität eine große Rolle. Und in der Redeweise vollends herrschen heute noch unumschränkt die althergebrachten, allen geläufigen, uns gewissermaßen lieb gewonnenen Vorstellungen von den beiden sich anziehenden und abstoßenden Elektrizitäten, welche mit ihren Fernwirkungen wie mit geistigen Eigenschaften begabt sind.”<sup>32</sup>

Elektrizitäten atomistisch kleinster Teilchennatur, die geistigen, heißt mathematischen Kraftgesetzen folgen, das war Wilhelm Webers ganz antimaterialistisch gedachte Physik der Elektrizität. Die Mathematik als geistiges Werkzeug in der Hand des freien, ungebundenen Physikers, sie sollte und konnte mit ungeahnten Freiheitsgraden nun diese Kraftbeziehungen nachzeichnen und ausspinnen, um den Geist in der Natur zu finden. “Die Gesamtheit dieser Bestrebungen”, sagt Heinrich Hertz, “bildete ein in sich geschlossenes System voll wissenschaftlichen Reizes; wer einmal in den Zauberkreis desselben hineingeraten war, blieb in demselben gefangen.”<sup>33</sup> Unter den deutschen Physikern gab es nur einen, der an diesem Zauberkreis einer metaphysischen Mathematik Zweifel angemeldet hatte, nämlich Hermann von Helmholtz. Um Webers romantische Metaphysik zu decouvrieren, leitete Helmholtz in den siebziger Jahren aus Webers hochabstrakten Formeln Grenzfälle ab, in denen das Gesetz von der Erhaltung der Kraft verletzt war, was wiederum zu einem Sturm der Entrüstung gegen Helmholtz führte. Man warf ihm vor, ein Freund der Engländer zu sein, dieser Taits und Maxwells, die keiner verstand. Im Gegenzug ließ sich Helmholtz, immer auf der Suche die Webersche Schule, die die herrschende war, zu schwächen, eine Preisaufgabe der Berliner Akademie einfallen, um endlich eine experimentelle Prüfung der Richtigkeit entweder der Maxwellschen oder der Weber/Neumannschen Theorie zu erzwingen. Diese sollte, als der Preis längst verfallen war, am Ende bei Heinrich Hertz landen.

#### IV. Feddersens Fotofunken

Aus dem tiefsten Zauberkreis der metaphysischen Mathematik Wilhelm Webers stammt Berend Wilhelm Feddersen (1832-1918).<sup>34</sup> In dieser Zaubervelt geistiger Elektrizitäten reaktivierte er ebenso buchstäblich wie folgenreich einen für Hertz wahrhaftigen Zauberkreis, nicht ohne Hilfe eines zweiten reellen Mediums allerdings, nämlich des modernsten, das ihm zur Verfügung stand. Gemeint ist die fotografische Platte. Feddersen ließ Funken knallen und fotografierte sie. Die physikalischen Berechnungen, die Feddersen an den Abzügen machte, führen uns direkt in den konkreten Experimentalkontext von Heinrich Hertz zurück. Der Funke, der bei Hertz übersprang, hieß eben auch Feddersen, aber dazu später. Wir gehen zurück ins Jahr 1858. Ein junger Wissenschaftler aus Kiel fotografiert den Funken. Zunächst einfach so, wie er funkt, statisch, mit einer Belichtungszeit, die eben genau so lang beziehungsweise ein Bruchteil von Millisekunden kurz ist, wie ein Entladungsfunken einer Leydener Flasche. Damit hat Feddersen gleich zwei Dispositive in die Physik gebracht. Nicht nur, daß er Fotometrie ein für alle Mal ins experimentelle Arsenal seiner Wissenschaft integriert hat. Vielmehr hat Feddersen auch initiiert, daß der Funke ab jetzt als erste Belichtungszeit unterhalb aller Wahrnehmungsschwellen fungierte.

Die Auslösung des Fotos als sein Gegenstand, Objekt und Sujet. Wenn nämlich ein Funke fotografiert werden soll, dann braucht es dazu keine Belichtungszeit, weil ein Funke, dieses wahrhafte Phantasma der Elektrizitätsgeschichte, seine eigene mediale Belichtung ist. Das ist sein Sein, das mittels der Fotografie zum Doppelsein wird, und sich jetzt nur noch in der Zeit aufspannen muß, um als Geschoßfotografie und damit

Messung des Unmeßbarsten zu werden, zum Beispiel also eines Machschen Überschall-Knalls. Die Funkenfotos Feddersen zeigen “das Ausströmen der Elektrizität” von den Polen einer Leydener Flasche, zwischen denen die Entladung stattfindet. An jedem der beiden Polflächen, also an den Plus- und Minuspole der Flasche, treten leuchtende Verdickungen auf, was Feddersen bereits für den ersten Beweis der “verschiedene[n] aufeinander folgende[n] Oszillationen”<sup>35</sup> in einem Funken erklären konnte. Dabei wollte, wie so oft in der Physik, Feddersen, vom Experimentalkontext her, nur eine alte Weisheit neu bestätigen. Hermann von Helmholtz hatte bereits 1847 gesagt, Entladungen seien nicht “als einfache Bewegung der Electricität in einer Richtung” vorzustellen, “sondern als ein Hin- und Herschwanke derselben zwischen den beiden Belegungen in Oscillationen, welche immer kleiner werden, bis die ganze lebendige Kraft derselben durch die Summe der Widerstände vernichtet ist.”<sup>36</sup> William Thomson, der spätere Lord Kelvin, hatte seinerseits, in einem telegraphischen Zusammenhang, den zu erläutern interessant genug wäre, bereits 1853 eine griffige mathematische Formel gefunden, die sogenannte Thomsonsche Schwingungsformel, die sich in vielen telegraphischen Anwendungen, wo es um Spulen und Flaschen, also um Induktionen und Kapazitäten ging, bewährt hatte. Aber empirisch bewiesen worden, im Sinne eines exakten, direkten Beweises, war sie bis 1858 noch nicht. Weshalb es natürlich auch Thomson selbst war, der dem unbekanntem Kieler Physiker Feddersen zu einer beträchtlichen Berühmtheit verhalf.

Viel bedeutender als dieser Beweis ist Feddersens Experimentalsystem selbst, das zeigt, wie Medien, nämlich die Fotografie, in der Physik zum Attraktor der Reformulierung ganzer Forschungsrichtungen werden. Es ist Feddersens Medium, das die Physik in Richtung Medien schiebt, wie marginal, wie unauffällig diese Verschiebung auch immer sein mag. Denn auch der Experimentalaufbau war nichts Neues. Feddersen schließt an Wheatstone an, der bereits 1834 mit einem rotierenden Spiegel Funkenentladungen sichtbar gemacht hatte, als eine Art helles Lichtband auf einer dunklen Wand. Feddersens Lichtbänder (Abb. 2) sind in einem gewissen Sinn nichts anderes als Wheatstones Lichtbänder von 1834. Der einzige Unterschied ist, daß Wheatstone seine Bänder ganz allein sah und nie wirklich genau, während Feddersens Lichtbänder gespeichert waren und in aller Ruhe vermessen werden konnten. Technische Medien sind, bislang jedenfalls, unaufhaltsame Wandler des Verhältnisses von Speicherung und Übertragung und nicht gemacht von Menschenhand. Bestenfalls von Menschenhänden und einer historischen Kombination derselben, auf deren Suche wir sind.

Der Experimentalaufbau Feddersens minus Fotografie stammt im Prinzip von Charles Wheatstone. Ein englischer Instrumentenbauer, Begründer der englischen Telegraphie, Physikprofessor und Multi-Ingenieur: 1834 konstruiert er einen Hohlspiegel, den er fünfzig Mal in der Sekunde rotieren ließ.<sup>37</sup> Einen Funkenüberschlag vor diesem rotierenden Spiegel projiziert er auf die gegenüberliegende Wand, aber, infolge der Drehung des Spiegels, nicht als Lichtstrich, sondern eben als Lichtband. Dessen Länge konnte er ungefähr messen und also die Funkendauer leicht ermitteln: Lichtbandlänge dividiert durch die Rotationsgeschwindigkeit, respektive den Weg, den der Spiegel durchlief, in Winkelsekunden ausgedrückt. “Verwandlung von Zeitintervallen in Raumabstände”<sup>38</sup> wird Feddersen diese Technik nennen. Aber er projiziert nicht auf die Wand, sondern auf eine belichtbare fotografische Platte bei abgedunkeltem Raum. Die gebogene Form der Lichtbänder (Abb. 3) repräsentiert die Aufspannung eines schnellen Vorgangs in einem gebeugten Raum. Bogenmaß ist also ein Geschwindigkeitsmaß, aber dort, wo in den Zwischenräumen Nichts zu sehen ist, da ist auch tatsächlich Nichts. Aber was ist dieses Nichts? Eine Pause? Ein Anhalt? Feddersen findet eine Nomenklatur und dann

eine Erklärung. Die Nomenklatur heißt "Querstreifen". Alle seine Lichtbänder sind offensichtlich in Querstreifen unterteilt. Den in allen Lichtbändern mal deutlicher, mal schwächer vorfindlichen Abstand zwischen den Querstreifen, erklärt Feddersen mit klaren Worten. Sie sind die medialen Zeichen, ein Abbild der Oszillation. "Da in einem elektrischen Strome nichts Anderes existiert, was seine Richtung wechselt, was sich umkehren kann, als die Richtung des Stromes selbst, so sehe ich die Möglichkeit einer Erklärung nur in der Annahme, daß in jeder Querabtheilung das Licht eines elektrischen Stromes fotografiert wird, der in entgegengesetztem Sinne fließt wie in der folgenden oder vorhergehenden."<sup>39</sup> Alternierend, oszillierend, wie auch immer, ein weiterer, ein noch schönerer Beweis für die Oszillationstheorie. Aber was besagt diese Theorie in Feddersens Augen? Hier kommt es auf jedes Wort an.

"Wir haben die Erscheinung, daß die Elektrizität in wellenartigen hin- und hergehenden Strömen den Draht durchläuft. Könnten wir uns einen widerstandslosen Leiter denken, so würden diese Oscillationen niemals aufhören; da aber jeder Leiter einen gewissen Widerstand bietet und derselbe so wirkt, als wenn die Elektrizität eine Art Reibung in demselben erführe, wobei beständig ein Theil der lebendigen Kraft verbraucht (in Wärme verwandelt) wird, so muß die elektrische Bewegung nach einer größeren oder kleineren Anzahl von Oscillationen bald unmerklich werden."<sup>40</sup>

Man sieht, wie mechanisch und materiell Feddersens Vorstellung von der Elektrizität ist. Elektrizität ist gleichsam ein Strom von "lebendiger Kraft", der wie ein mechanisches Pendel zu einem Stillstand kommt, wenn ihm ein Widerstand entgegentritt.

Der entscheidende Punkt an Feddersens fotometrischen Beweisen war, daß sein Querstreifenmaß der Oszillationsdauer äquivalent war, also zu oder abnahm, je nach Veränderung nicht des Widerstands, sondern der Kapazität seiner Leydener Flaschen. Je geringer die Fläche der entladenen Flaschen, um so schmaler die Streifen. Und umgekehrt. Ein proportionales Maß. Das war theoretisch völlig klar, denn nach Thomson mußte die Periodendauer der Oszillation der Quadratwurzel der Kapazität proportional sein,

Aber im Feddersenschen Medium konnte man es sehen. Feddersen braucht nur ein Millimetermaß, um die Dauer einer einzelnen Oszillation innerhalb der Summe von Oszillationen zu ermitteln, die der Funke zeichnet. Das Querstreifenmaß, gerechnet in Millimetern, hat noch einen anderen Effekt. Es kann nämlich nun seinerseits die anderen Terme der Formel,  $L = \text{Induktion}$  und  $C = \text{Kapazität}$ , die im Gaußschen System ebenfalls in Zentimetern gemessen werden, neu kalibrieren. Eine solche Umrechnungsarbeit, die das Maß der Oszillation zum Maß der Thomsonschen Gleichungsterme umdeutet, erscheint, wie wir sehen werden, kurz vor den Hertzschen Versuchen. Feddersen, dreißig Jahre zuvor, betreibt Fotometrie im Innersten des Funkens. Er inauguriert damit die physikalische Fotometrie, die fortan ihren Platz nicht mehr verlieren wird, ermöglicht die Machschen, Toeplerschen und Cranzschen Funkenfotografien, von Bertillon, Marey und Gilbreth abgesehen, bis hin zu Wilsons Nebelkammerfotografien und dem damit verbundenen Experimentalsystem der Teilchenphysik zu Anfang dieses Jahrhunderts.<sup>41</sup> Das alles beginnt also 1858 in Kiel. Ein weiteres Mal im 19. Jahrhundert artikuliert sich das fotografische Phantasma der medialen Naturselbstaufschreibung, immer auch an der Grenze zum Spiritismus balancierend. Die Geisterfotografie, nicht zu vergessen, beginnt ebenfalls um 1860 und währt bis um die Jahrhundertwende.<sup>42</sup> Aber Feddersen nimmt hier nicht bei Geistern Maß, sondern bei Funken, einem Effekt im Reellen.

#### V. Das Aufmaß des Reellen

Heinrich Hertz hat am 31. Juli 1886 geheiratet. Im August und September 1886 folgt eine ruhige Zeit und Hertz nimmt sich Zeit zum Lesen. Waren es Fachaufsätze, die er las, dann mußte für ihn Feddersen wieder einmal sehr aktuell geworden sein. In den "Annalen der Physik", dem Haupt- und Staatsblatt der deutschen Physik, Jahrgang 1885 und 1886 findet sich eine große, zweiteilige Abhandlung eines gewissen Robert Andréjewitsch Colley (1845-1891) - Dr. phys, Kasan, Tartarien, Rußland - abgedruckt, der mittels einer modifizierten Feddersen-Oszillationsapparatur die Lichtgeschwindigkeit zu errechnen vorschlug.<sup>43</sup> Die Arbeit enthielt nichts Aufregendes. Aber ihr Zweck - eine physikalische Umdeutung der Maßsysteme der Thomsonschen Formel anhand der Feddersenschen Ergebnisse - veranlaßte Colley zu einer sehr sauberen und vollständigen Zusammenfassung all dessen, was von 1858 an über die Funkenoszillation je geschrieben worden war. Wer das gelesen hatte, war wieder auf dem Stand der Dinge. Hertz weist auf den ersten Teil von Colleys Arbeit in seiner ersten Veröffentlichung explizit hin. Daß er sie gelesen hat, ist also sicher.

Der junge Professor Heinrich Hertz ist am 4. Oktober 1886 vermutlich sehr glücklich, noch 29 Jahre alt und befindet sich mitten in der Vorbereitung auf sein Wintersemesterkolleg. Ausweislich seines Tagebuchs und eines erst jüngst von Albrecht Fölsing aufgefundenen Experimentierprotokolls wissen wir, daß es genau an diesem 4. Oktober 1886 Funken sind, so lächerlich, trivial, simpel und abgeschmackt es auch

klingen mag: zwei kleine Funken, die Heinrich Hertz auf eine mehrjährige Experimentierreise schicken.<sup>44</sup> Es gibt gute Gründe, warum sich Hertz im Nachhinein dieses Funkenfonds erinnern muß, und also lesen wir sechs Jahre später:

“In der physikalischen Sammlung der Technischen Hochschule zu Karlsruhe [...] hatte ich zu Vorlesungszwecken ein Paar sogenannter Riess'scher oder Knochenhauerscher Spiralen vorgefunden und benutzt. Es hatte mich überrascht, daß es nicht nöthig war, große Batterien durch eine Spirale zu entladen, um in der anderen Funken zu erhalten, daß vielmehr hierzu auch kleine Leydener Flaschen genügten, ja der Schlag eines kleinen Inductionsapparates, sobald nur die Entladung eine Funkenstrecke zu überspringen hatte.”<sup>45</sup>

Für die Vorlesung zur Einführung in die Elektrodynamik braucht Hertz das, was alle Professoren der Physik seiner Zeit für solche Zwecke brauchen: eine Riess'sche Spirale, ein Labordemonstrationsgerät. Es sind zwei Spiralkörper, auf runde Holzscheiben angebracht. Eine dieser Platten ist mit spiralförmig aufgedrehten Kupferdrähten eng belegt. Auf der anderen, gleich großen Platte ist ein sehr viel kürzerer und dickerer Draht in einer Spirale befestigt. Beide Platten werden in geringem Abstand, aber berührungslos gegeneinander aufgestellt. Faßt ein Proband die beiden Enden am dünneren Spiraldraht an, während eine Leydener Flasche über den dickeren Draht entladen wird, so erhält er einen spürbaren Schlag. Dies ist ein Effekt, den Wilhelm Weber einmal die “Voltainduktion” taufte. Eine stromdurchflossene Leiterspirale induziert Strom in einer davon getrennten zweiten Spirale. Das ist alles, nein, es ist fast alles. Hertz benutzt zwar für seine Vorlesung Riess'sche Spiralen, aber die sahen etwas anders aus. Auf einer Hertz'schen Originalzeichnung, die aus seiner Bonner Zeit stammt, sieht man deutlicher, was Hertz verwendet hat. Die Spiralen liegen berührunglos übereinander und sind jeweils mit zwei offenen Drahtenden versehen. Das ist wichtig, denn an beiden Paaren dieser offenen Enden wird Hertz kleine Fünkchen überspringen sehen.

Hertz sieht Funken, aber wo und wieso? Was möglicherweise tausend Physikern in tausend Vorlesungen passiert war, brennt sich für Hertz als etwas ein, das ihn nicht mehr losläßt. Wir rekonstruieren: Wenn er die Leydener Flasche nicht direkt mit der oberen Spirale verbindet, wie es eben tausend andere getan hatten, sondern zur Entladung der Flasche einen kleinen Luftspalt läßt, so daß ein Fünkchen überspringt, dann zeigten sich auch an den offenen Drahtenden der unteren Spule Fünkchen (Abb. 4). So sagt es uns Hertz selbst. Was aber sind Fünkchen nach Feddersen? Nach Feddersen sind es mediale Zeichen der Oszillation. Entladungen, das wußte Hertz, sind stets oszillatorische Vorgänge, es sei denn, der Widerstand ist riesig. Aber diese Spirälchen, was sollen die für einen Widerstand haben? Kaum einen. Was heißt es, wenn ganz kleine Leydener Flaschen, also Flaschen mit ganz geringer Kapazität, entladen werden, mit ganz kleinen Fünkchen an der oberen Spirale, und offenbar gleichzeitig, räumlich getrennt von dieser, an den Drahtenden der unteren Spirale auch Fünkchen entstehen? Nun, jedenfalls oben

Abb. 4: Handskizze von Heinrich Hertz der von ihm benutzten Spiralen im Copier-Buch des Physikalischen Instituts der Universität Bonn. Nachträglich eingezeichnet sind in die Skizze die Stellen des Funkenübergangs. Aus: Albrecht Fölsing, *Heinrich Hertz. Eine Biographie*, Hamburg 1997, S. 269.

ist es ein mediales Zeichen einer sehr viel schnelleren Oszillation. Hertz hat, davon dürfen wir bei diesem literaturfesten Physiker ausgehen, Querstreifen von Feddersen vor Augen gehabt, wenn es um schnelle Oszillationen ging. Er wußte, was in den Fünkchen passiert. Ganz genau konnte er es bei den Fünkchen an der oberen Entladungs-Spirale wissen, denn da war die Sache mathematisch durch die Belegung der Leydener Flasche, und die stand auf dem Etikett, ganz leicht zu berechnen. Aber unten, was waren das für Fünkchen unten? Wo war denn hier Kapazität? Offenbar nahezu keine. Wieso dann Fünkchen überhaupt?

Hertz hatte etwas entdeckt und zweifelt. “Anfangs hielt ich die elektrische Bewegung für zu stürmisch und zu unregelmäßig, um sie weiter benutzen zu können”,<sup>46</sup> sagt er. Ein wichtiger Satz. Hertz hielt die Sache also zunächst für Labordreck. Induzierte Funken, Funken die Funken produzieren, das war ein Effekt, den man entweder für einen üblichen Schmutz, für ein typischen Fall von Experimentierausfällen, also für etwas halten konnte, was halt so beim Experimentieren passiert, wie es vielleicht tausend andere Kollegen an eben diesen Riess'schen Spiralen auch schon gesehen hatten. Oder aber da war etwas. Sagen wir ruhig: da waren die Schemen eines epistemischen Dings. Anfang Oktober 1886 notiert Hertz auf ein Experimentierprotokollblatt: “Gedanke, die ‘Plötzlichkeit’ des Funkens zu untersuchen. Benutzung zur Einwirkung auf Dielektrica”.<sup>47</sup> Hertz also sieht nicht so sehr den Funken, als vielmehr seine Plötzlichkeit. Und das heißt, mit Feddersen: meßbare Plötzlichkeit. Wir übersetzen: Hertz sieht in den Fünkchen Oszillation in hoher Frequenz, “Plötzlichkeit”, als einen gleichwohl endlichen, meßbaren Parameter. Sofort fällt ihm die Preisaufgabe von Helmholtz ein, von der vorhin schon die Rede war, 1879 gestellt und in der Frist längst abgelaufen. Die Aufgabe hieß: Es möge jemand an einem elektrodynamischen Prozeß mit ungeschlossenen Stromkreisen einen Effekt zeigen, der auf nicht-leitende Materialien wirkt, und damit experimentell zeigen, ob oder ob nicht diese nicht-leitenden Materialien einen meßbaren Einfluß auf den Effekt hätten. Mit dem Funken am Riess'schen Spiralgerät springt also noch ein anderer Funke bei Hertz über. Dieser nächste Funke ist ein Funke im Symbolischen, gewöhnlich Gedankenblitz genannt. In der Hertz'schen, in der Helmholtz'schen und in der Feddersen'schen Terminologie ist ein Funke, der beim Anschluß der Leydener Flasche an eine Spirale aufblitzt, wegen der Oszillation auch ein elektrodynamischer Effekt. Funke produziert Funke, heißt also: Oszillation produziert Oszillation, heißt ein elektrodynami-

scher Effekt produziert einen weiteren elektrodynamischen Effekt. Das 'sieht' Hertz und das wird jetzt gedanklich interessant.

Die Webersche Theorie sagt vorher: Dielektrika, also Glas, Holz, Papier, Pech, Asphalt oder Stein, können einen solchen elektrodynamischen Effekt nicht beeinflussen. Bei Weber ist elektrische Wirkung in den Raum Fernwirkung mit schnell nachlassender Wirkung im Abstandsquadrat. Diese Potentialwirkung ist keine kinetische, und also invariant in Bezug auf Dielektrika. Dielektrika in den Raumabstand zwischen zwei evozierte Funken eingebracht, dürften auf den Effekt keine Wirkung haben. Die Maxwell'schen Theorie aber besagte: Dielektrika beeinflussen elektromagnetische Ausbreitungen sehr wohl. In Maxwells Theorie haben elektromagnetische Wirkungen im Raum Wellenstruktur, und Dielektrika sind folglich Brechungsmedien dieser Wellenstrukturen, so wie das Licht im Wasser gebrochen wird oder die Sonnenstrahlen im Regenbogen; in der Weberschen gilt das alles nicht. Bis zum 4. Oktober 1886 wäre das alles graue, graue Theorie gewesen, ein pures und in seinen Details ganz unklares Gedankenspiel.

Angesichts der beiden Fünkchen, von denen hier die Rede ist, mag man aber ermessen, welche visionären und zugleich riskanten, abstrakt-mathematischen und zugleich phantasmatischen Dimensionen der Physiker Hertz mit ihnen verbindet. Und vergessen wir nicht: In der physisch-physikalischen Welt, in der Hertz Wissenschaftler ist, existieren keine elektromagnetischen Wellen. Sie haben keinerlei physikalische Repräsentation. Es gibt sie nicht. Seit fünfundzwanzig Jahren spuken sie als Maxwellsches Theoriekonstrukt durch die viktorianische Physik, aber Maxwell selbst nicht und keiner nach seinem Tod 1879 hatte auch nur eine Idee, wie er sie hätte produzieren oder gar nachweisen sollen. Elektrizität in freischwingender Wellenbewegung als physikalische Realität, das war pure Theorie, reine, abstrakte Mathematik. Seltsam genug: Auch dann, als Hertz das Maxwellsche Aufmaß der Wellen längst gesichert hat, sein Befund also eine Existenz in einer physikalisch gesicherten Naturbeobachtung hat, hält Hertz daran fest, daß Maxwell "reine Mathematik" ist. Genau das verursacht jenen epistemologischen Schub in das zwanzigste Jahrhundert, von dem anfangs die Rede war: "Auf die Frage: 'Was ist die Maxwell'sche Theorie?' wüßte ich also keine kürzere und bestimmtere Antwort als diese: Die Maxwell'sche Theorie ist das System der Maxwell'schen Gleichungen."<sup>48</sup>

Das aber heißt, daß das, was Hertz sah, unbeobachtbar bleibt, außer man stellte es in die Form einer Mathematik des Reellen, in eine reine Form des Signifikanten. Dort operiert, was zu beobachten ist, gleichsam völlig leer. Das Mathematische selbst, eine Gleichung, die Funktion von Operatoren sind nicht beobachtbar; denn sie selbst sind, wenn überhaupt, das Beobachtende. In den Maxwell'schen Gleichungen operiert außer Vektoren nichts, was eine elektromagnetische Welle repräsentieren könnte. Es sei denn man behauptete, zum Schrecken von Feynman, eine "Zahl im Raum" sei vorstellbar. Wenn nicht, so gibt es nichts Vorstellbares in der Natur, das Maxwell entspricht. Jenseits des Operativen, der Operatoren und Operationen der Mathematik ist nichts zu behalten, nichts zu begreifen und nichts zu vergessen. Alle Versuche also, die Hertz'schen Versuchsreihen von Herbst 1886 bis Januar 1888 zu erläutern, darzustellen, 'wie es war', geraten um so mehr genau in diesen unabbildbaren, unanschaulichen, unsagbaren, unstellbaren Kontext. Hertz' Experimentalsystem durchläuft in seiner kurzen Geschichte tatsächlich eine Achse, an der es einen Treffer erzielt, jenseits dessen es als Experimentalsystem nichts mehr darstellt.

Der Grund für diese Unvorstellbarkeit liegt im Medialen, und zwar genauer in einer historisch neuen Qualität des Medialen. Hertz wird vor sie durch seinen eigenen buchstäblich 'blitzartigen' Einfall gestellt. Es ist ein Einfall, ein Gedanke, in dem unserer These nach schon selbst eine rezente mediale Erinnerung steckt, nämlich die Oszillationsfotografien Feddersens - wieder in Erinnerung gebracht durch Colley. Das alles geschieht zufällig beim Rumhantieren mit einem Uraltgerät für physikalische Vorlesungen, das einen Effekt zeigt, den Hertz schrittweise medial aufzuspannen, medial zu stellen hat. Es gibt keine Wand, wie bei Wheatstones flüchtigen Effekten und kein Fotopapier wie bei Feddersen. Funken bilden jetzt gleichsam Funken ab, denn im Hertz'schen Fund ist ein Funke nichts als ein Effekt eines Funkens. Und an dieser Funkenprojektion soll, ganz wie bei Feddersen, eine Messung erfolgen? Hertz kommt sozusagen aus den Funken nicht mehr heraus. Aber was ist ihre Dimension? Das Ganze geschieht nicht mehr auf Papier, sondern gleichsam in der Dimension der Dimensionen, im Raum. Genau hier beginnt der Einsprung des Satzes, der fortan für alle technischen Medien gelten wird, nämlich daß der Träger des Medialen das Reelle ist. Das ist der Rubikon, hinter den fortan keine Medientheorie mehr zurückspringen kann. Hier ist kein Buch, kein Papier, kein belichtetes Glas, kein Zelluloid, sondern Raum. Der Raum zwischen zwei Funken ist das Mediale, das die Abbildung des Funkens auf den Funken trägt.

Hertz, der Physiker, noch keine dreißig Jahre alt, hat also den Raum seines Effekts abzusichern, auszumessen, aufzumaßen. Er muß, so oder so, seinen Effekt hart, reproduzierbar machen. Wir können auch sagen, er muß reell machen, was zugleich das Mediale seines Effekts ist. Er muß an der Achse des Medialen drehen. Nur darin und nicht im unmittelbar Technischen wird die Wahrheit des Satzes liegen, daß es eben doch Hertz war, der das Radio erfunden hat. Hertz geht denn auch los auf etwas Abstraktes, nämlich auf die Geometrisierungen seines Raums, heißt auf eine vereinfachte räumliche Anordnung des Experimentalaufbaus. Vier Wochen später hat er den Draht aus der rechten Riess'schen Spule zu einer Geraden aufgebogen, ihn "Auslader" getauft und als Funkenerreger einen Rühmkorff eingebaut. Ein kühner Schritt. Damit ist der berühmte Hertz'sche 'Dipol' schon geschaffen, der jetzt, Winter 1886, noch nicht so heißt, aber später und dann auf alle Tage so genannt werden wird. Zwei Jahre darauf wird er in einem seiner faszinierendsten Aufsätze das diesen Dipol umgebende "Spiel der Kräfte um eine geradlinige

Schwingung“ bis in alle Einzelheiten erklären, ableiten und aufmalen.<sup>49</sup> Die linke Spirale, die ursprünglich chaotische Spirale des Empfangs, hat er ebenfalls geradegebogen - viermal gerade zu einem Rechteck - und daraus den Resonator draht kriert. Welcher blinde Mut, diese Rektifizierungen vorzunehmen, um aus dem spiralisierenden Kreisrund eine vereinfachte Orthogonalität zu konstruieren. Soviel ist sicher, eine Mathematik dafür hatte er nicht, als er es tat, irgendwann Ende Oktober 1886. In der Geschichte der Elektrizität hatte niemals jemand zuvor die Resonanz des Elektrischen stellen und aufmaßen müssen. Hertz sagt zu diesem Vorgang der Geometrisierung seines Experimentalaufbaus den Naturforschern drei Jahre später: “Dies Mittel mußte durch die Erfahrung selbst an die Hand gegeben werden, die Überlegung konnte es wohl nicht voraussehen.”<sup>50</sup> Keine Frage, keine Philosophie und keine Physik hätte hier “Überlegungen” des Denkens hin zu einem konkreten Mittel der Darstellung leiten können, weil das Reelle, dessen harter Begriff Lacan zu verdanken ist, nicht gegenständlich gedacht werden kann.

Schlagen wir noch einmal den Bogen. Daß Hertz die Resonanz der Fünkchen an einem spiralisierten Allerweltsgerät entdeckt, folgt aus der Überdeterminierung einer medialen Spur des Funkens und folgt nicht einer physikalischen Spur des Funkens. Er sieht ja zunächst nur die mediale Spur der Funken und fragt sich, welche physikalische Spur bestehen mag. Hertz hat jetzt, nachdem er etwas sieht, nichts anderes zu tun, als diesen Effekt zu sichern, er muß die Sache buchstäblich geradebiegen und die Erfahrung zur Erfahrung machen, das heißt: er muß sichern und veröffentlichen. Sicherung eines aus der physikalischen Forschung geborgenen Effekts. Nichts anderes beinhaltet seine erste Veröffentlichung vom März 1887.<sup>51</sup> Hertz stellt dar, was später als Fotoeffekt in die Physikgeschichte eingehen wird. Für ihn bleibt das ein Nebeneffekt, der seinem Problem nicht weiterhilft. Alles Folgende, also die Versuchsreihen von Herbst und Winter 1887, dienen ausschließlich der experimentellen Austestung und Ausmessung dieses medialen Raums, den er immer sicherer, aber noch starr, rechtwinklig und steif zwischen Funken und Funken aufgespannt hat.

Am Anfang ist alles in diesem Raum noch ungewohnt und prekär, so daß alle Versuche, Dielektrika einzubringen, also Glasflaschen, unwickelte Holzgestelle und ähnliches, vollständig scheitern. Über Monate hat er einen Effekt, aber er kann mit ihm nichts Rechtes anfangen. Erst zwischen Herbst und Winter 1887 wird Hertz allmählich klar, daß sich das, was er tut, nicht mehr im Rahmen der kontinentalen, Weberschen, oder Helmholtzschen Elektrodynamik beschreiben läßt. Das wissen wir nur, weil es Hertz uns gesagt hat. Nur durch ihn selbst wissen wir, daß Hertz nach monatelangem Scheitern des Versuchs, Nichtleiter in den Resonanzraum zwischen Erreger und Empfängerfunken zu wuchten, darauf gekommen ist, diesen Raum, diesen Abstand zwischen seinen Geräten, anders zu begreifen. Bis dahin begreift er den Resonanzraum zwischen Funken und Funken als ein wie auch immer oszillierendes Potential, einen Potentialraum, der seine Wirkung in den Drähten repräsentiert. Schon der Begriff des Potentials war und ist ein Mathematem, ein Laplacesches Bündel an Funktionentheorien auf Papier, und nicht eben leicht vorstellbar. Gleichwohl war das ‘Potential’ in der Elektrizität im Sinne Webers ein metaphorisch stimulierter Begriff, weil genau im elektrischen Potential sich Fernkräfte, die reinen Kraftbeziehungen, also am Ende Insignien romantisch geistiger Natur sollten entfalten können. Actio in Distanz. Dieses Potential, von Neumann und Weber fürs Elektrische definiert, erweist sich jetzt als mathematischer Unsinn im Fall der Anschreibung der elektrischen Wirkungen in einem Raum, mit dem Hertz es hier zu tun hat. Und Hertz sagt das auch so. Er sagte es vorsichtig aber klar.

“Erst ganz allmählich gelang es mir, mir klar zu machen, dass jener Satz, welcher die Voraussetzung meines Versuches bildete, hier keine Anwendung fände; dass bei der Schnelligkeit der Bewegung auch Kräfte, welche ein Potential besaßen, in der fast geschlossenen Leitung Funken erregen könnten; dass überhaupt die grösste Vorsicht zu beobachten sei bei Anwendung der allgemeinen Begriffe und Lehrsätze, welche der gewöhnlichen Electricitätslehre entstammten. [...] Ich sah ein, dass ich gewissermaassen allzu gerade auf mein Ziel zugegangen war. Es gab ja noch eine unendliche Mannigfaltigkeit anderer Lagen des secundären gegen den primären Leiter, unter diesen konnte wohl solche sein, welche für mein Vorhaben günstiger waren.”<sup>52</sup>

Jetzt erst, im Dezember 1887, spannt er seinen Raum wirklich auf, in einer völlig anderen Geometrie, gekrümmt, sphärisch, dreidimensional (Abb. 5). Er probiert und ahnt, was niemand vor ihm ahnen konnte, nämlich wie sich eine Welle, oder etwas Wellenähnliches vom geraden Schwingungsdraht des Dipols “abschnürt” und dann gleichsam umklappt und gekrümmt im Raum verbreitet. Jetzt mißt er jeden Punkt im Raum und macht sich in seinen Labornotizen Schritt für Schritt, auch wieder buchstäblich: Schritt für Schritt, eine Skizze und dann eine Vorstellung von der Welle. Er spannt die Dimensionen des Raums auf und mißt. Was er nicht messen kann, überbrückt er vermutlich durch erste Erwägungen in der Theorie und mißt an anderen Stellen, die ihrerseits nur aus theore-

Abb. 5: Laborskizze von Heinrich Hertz, Ende Dezember 1887. Aus: Hermann Gerhard Hertz und Manuel G. Doncel, “Heinrich Hertz’s laboratory notes of 1887”, *Archive for History of Exact Sciences*, Bd. 49, 1995, S. 222.

tischen Ableitungen erreichbar sind. So interpoliert er aus Theorie und Messung die Skizzen seines Karlsruher Raums (Abb. 6).

Gleichzeitig und jetzt erst beginnt Heinrich Hertz, wirklich und ernsthaft Maxwell zu lesen, und bekommt eine Ahnung, welche tiefgreifenden Wechsel der Physik bevorstehen. Vor allem wird klar, was ihm selbst bevorsteht. "Allgemeine Begriffe und Lehrsätze der Elektrizitätslehre" gelten nicht mehr. Das hieß: Abschied vom Begriff der Kraft als einem jahrzehntelang eingeübten Potentialausdruck von Fernwirkungskräften. Abschied vom Begriff der Kraft als dem Inbegriff der Verklammerung von Geist, Natur und Physik in der Tiefenstruktur. Abschied von einem deutschen Jahrhundert der Idee, daß die Natur das tut, was der Mensch denkt. Es wundert nicht, daß Hertz ab 1891 aufhört zu experimentieren und den Plan faßt, nicht irgendein Lehrbuch zu Maxwell, sondern die "Mechanik" "in neuem Zusammenhang dargestellt" zu schreiben, eine Mechanik, die - was Wunder - ohne den Begriff der Kraft auskommen wird. Ein Werk, dessen letzte Sätze er Philipp Lenard, seinem Assistenten, diktiert, als er, 37 Jahre jung, nur noch starr und bewegungslos daliegen kann, gezeichnet von einer den ganzen Körper erfassenden Sepsis der Mund- und Nasenhöhlen, einer auch nach sechs Operationen unheilbar gewordenen Vergiftung, die sehr wahrscheinlich ihren Ausgang nahm vom Quecksilberunterbrecher des Rühmkorff, dessen feine, giftige Dämpfe er mehr als ein Jahr lang, Winter 1886 bis Winter 1887, einzuatmen hatte. Hertz stirbt mit 37 an den Spätfolgen seiner Versuche zur Elektrizität.

Hertz hat, als erster Physiker überhaupt, dasjenige zu stellen und messen gehabt, was man nicht repräsentieren kann, nicht abbilden, nicht aufmalen und nicht denken kann. Nennen wir es, wenn es denn noch etwas sagt: das Reelle der Elektrizität. Gleichwohl, ab jetzt ist Elektromagnetismus als Welle in der Welt und damit an seinem Platz, wo er "an seiner Schuhsohle klebt, ohne daß es etwas gibt, das es verbannen könnte",<sup>53</sup> um es mit Lacan zu sagen. Schon auf dem Weg dahin, ihn auf seinen Platz zu stellen, gab es eine Übertragung im Medialen. Es war eine wahrhaft unbedeutende Sache, die man ebensogut unvor-denklich nennen muß, nämlich der Fund eines Fünkchens. Danach aber hatte

Abb. 6: Laborskizze von Heinrich Hertz, Ende Dezember 1887. Aus: Hermann Gerhard Hertz und Manuel G. Doncel, "Heinrich Hertz's laboratory notes of 1887", *Archive for History of Exact Sciences*, Bd. 49, 1995, S. 223.

Hertz nicht einmal mehr die Wahl, das Reelle als Mediales nicht zu stellen, weil er das, was ein unvor-denklicher Effekt einer Übertragung ist, als Medium seines Effekts vor sich hatte. Soweit es eine ihm alles andere als geheuere Theorie, nämlich die Maxwellsche, vorschrieb, hat er nach Maßgabe dieser Theorie Messungen gemacht. Erst aber durch Hertz ist ja über dann noch viele Jahrzehnte hin die historische Weiterentwicklung der Theorie in Gang gekommen, inklusive aller Normalisierungen der Schreibweisen und der Klärung ihrer mathematischen Struktur, so daß sie den Physikern heute geläufig ist wie der Satz des Pythagoras. Wichtiger aber ist noch, daß Hertz gesehen hat, wie jegliche Übertragung des und im Reellen, wenn sie denn beschrieben werden soll, eine Verschiebung im Semiotischen impliziert. Das ist ein Befund an einer wiederum ganz unscheinbaren, aber ebenso eindeutigen Stelle. Zu den Naturforschern sagt er zunächst: "die Dauer jeder einzelnen Schwingung [im Funken] ist viel kleiner, als die Gesamtentladung [des Funkens]". Das ist schlichter Feddersen. Und fügt dann hinzu: "Man kann auf den Gedanken kommen, die einzelne Schwingung als Zeichen zu benützen."<sup>54</sup> Das tat er um die Jahreswende 1887/88 und sagt es ein Jahr später. Ab 1897 wird Ferdinand de Saussure noch einmal auf den Gedanken kommen und sich jahrelang damit quälen, das Zeichen, ohne Hertz zu kennen, so wie Hertz zu beschreiben, nämlich als etwas, das oszilliert, das sich nicht fixieren läßt im Signifikant oder Signifikat, und doch unauflöslich mit beiden verbunden ist.

Wenn mit und seit Hertz die Schwingung ein Zeichen ist, dann ist das Zeichen eben auch eine Schwingung, jenes intellegible Pendel, als das Saussure es definiert, Zeichen der Relation von etwas Undarstellbarem, das übertragen werden muß, damit es als ein Effekt, als eine Verschiebung, ex post, immer unter Bedingungen eines Aufschubs oder eines Aufgeschobenens, sich darstellen kann. Diese Arbeit des Aufschubs und der Übertragung beginnt schon mit Hertz. Er, der keine Ohren hat zu hören, will uns ausgerechnet an der Akustik und feinsten Klangerscheinungen klarmachen, was Elektromagnetismus ist. Damit hat schon Hertz und er als erster, in dieser ersten Verschiebung, die Kette von Übertragungen losgetreten, die mit der Eroberung der Frequenz seither verbunden sind, Funktelegraphie, Radio, Radar, Fernsehen, Computer, satellitengestützte Netze, jene Kette von innerem, Sucht-, Sorge- und auch zerstörungswütigen Expansionscharakter, die Konstruktivisten so gerne als "Evolution der Kommunikation"<sup>55</sup> drapieren. Auch in ihren gesellschaftlichen Folgen aber basiert diese Evolution auf der Entwicklung technischer Medien der elektromagnetischen Frequenz. In ihrer Ausbreitung und Durchdringung von Hertz an ist eine pure, stets mit dem Einsatz aller Mittel betriebene epistemologische Expansion wirksam geworden, deren selbst noch epistemologische Pointe ist, daß sie sich so schlicht als Skansion im Reellen des Technischen und in der Symbolik von Zeichen darstellt. Anders gesagt: Daß Frequenz als Elektromagnetismus, daß Schwingung im Reellen zum Zeichen wird, zu einem realen Begriff des Zeichens, heißt, daß das meßbar Reelle, dessen Mathematik funktioniert, nicht mehr aufhören wird, an dieser unübertragbaren Stelle zu oszillieren, und eben darum auch nicht aufhören wird, in seinem Rahmen, jede, aber auch jede Art von Übertragung zu erzwingen. Semiotische Oszillation, Skansion und Expansion gehören ebenso zu Hertz wie sein Name als Begründer des Radios und sein Name als Name der technischen Einheit der Frequenz. Daher dann auch die so berechtigte, weil naheliegende Frage des Telefoningenieurs Heinrich Huber. Hier

muß doch, das weiß schon Huber, etwas zu übertragen sein. Aber wie, das ist unklar, weil die Zeichen des Reellen, um die es hier geht, in einem ganz unanthropologischen Sinn "nichts nur Menschliches"<sup>56</sup> sind.

<sup>1</sup> Zitiert nach: August Weilenmann, *Die elektrischen Wellen und ihre Anwendung zur drahtlosen Strahlentelegraphie nach Marconi*, Zürich 1903, S. 15.

<sup>2</sup> Heinrich Hertz, *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt: Drei Beiträge (1891-1894)* (= Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 263) Nachdruck der Ausgabe Leipzig: Akademie Verlags-Gesellschaft Geest und Portig 1984, Thun, Frankfurt am Main 1996, S. 67.

<sup>3</sup> Vgl. Andrew D. Wilson, "Hertz, Boltzmann and Wittgenstein Reconsidered", *Studies in History and Philosophy of Science*, Bd. 20, 1989, S. 245-263; sowie Peter Barker, "Hertz and Wittgenstein", *Studies in History and Philosophy of Science*, Bd. 11, 1980, S. 243-256.

<sup>4</sup> Hertz, *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt* (Anm. 2), S. 67.

<sup>5</sup> Zu Hertz' 'Bildmächtigkeit' siehe Vilhelm Bjerknes, *Untersuchungen über elektrische Resonanz. Sieben Abhandlungen aus den Jahren 1891-1895. Mit einer Einleitung dem Andenken an Heinrich Hertz gewidmet*, Leipzig 1923.

<sup>6</sup> Richard Feynman, Robert Leighton und Matthew Sands, *Vorlesungen über Physik* (1963), Bd. 2, München 1991, S. 382f.

<sup>7</sup> Vgl. Martin Heidegger, "Die Frage nach der Technik" (1953), in: ders., *Gesamtausgabe. Band 7: Vorträge und Aufsätze*, hg. von Friedrich-Wilhelm von Herrmann, Frankfurt am Main 2000, S. 5-36, S. 20ff.

<sup>8</sup> Peter Mittelstaedt, *Philosophische Probleme der modernen Physik*, 7. Auflage, Mannheim 1989, S. 13.

<sup>9</sup> Vgl. Michel Foucault, *Archäologie des Wissens* (1969), übers. von Ulrich Köppen, Frankfurt am Main 1981.

<sup>10</sup> Peter Mittelstaedt, "Gibt es eine Geschichte der Physik", in: ders., *Die Sprache der Physik. Aufsätze und Vorträge*, Mannheim 1972, S. 75-83, S. 77.

<sup>11</sup> Karl Popper, *Logik der Forschung*, 8. Auflage, Tübingen 1984, S. 72.

<sup>12</sup> Hans-Jörg Rheinberger, "Experimentalsysteme, Epistemische Dinge, Experimentalkulturen. Zu einer Epistemologie des Experiments", *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, Bd. 42, 1994, S. 405-418, S. 408.

<sup>13</sup> Vgl. Albrecht Fölsing, *Wilhelm Conrad Röntgen: Aufbruch ins Innere der Materie*, München 1995.

<sup>14</sup> Heinrich Hertz, "Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität" (1889), in: ders., *Gesammelte Werke*, Bd. 1, Leipzig 1895, S. 339-354, S. 349.

<sup>15</sup> Heinrich Hertz, "Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung", *Annalen der Physik*, Bd. 267 (= 3. Folge, Bd. 31), 1887, S. 983-1000. Hertz' Assistent Philipp Lenard 1899 und Einstein 1905 klären den Effekt weitgehend auf.

<sup>16</sup> Hertz, "Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität" (Anm. 14), S. 350.

<sup>17</sup> An die Eltern, 30. Januar 1887, zitiert nach Albrecht Fölsing, *Heinrich Hertz. Eine Biographie*, Hamburg 1997, S. 279.

<sup>18</sup> Hertz, "Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität" (Anm. 14), S. 350f.

<sup>19</sup> Jacques Lacan, "Das Seminar über E. A. Poes 'Der entwendete Brief'" (1966), in: ders., *Schriften*, hg. von Norbert Hass, Bd. 1, Olten 1973, S. 7-60, S. 24. Vgl. Friedrich Kittler, "Die Welt des Symbolischen - eine Welt der Maschine" (1989), in: ders., *Draculas Vermächnis. Technische Schriften*, Leipzig 1993, S. 58-80, S. 68.

<sup>20</sup> Jacques Lacan, *Das Ich in der Theorie Freuds und in der Technik der Psychoanalyse. Seminar II* (1954-1955), Olten 1980, S. 396. Vgl. Georg Christoph Tholen, "Platzverweis. Unmögliche Zwischenspiele von Mensch und Maschine", in: Norbert Bolz, Friedrich A. Kittler und Christoph Tholen (Hg.), *Computer als Medium*, München 1994, S. 111-138, S. 132

<sup>21</sup> Hertz, "Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität" (Anm. 14), S. 348.

- <sup>22</sup> Vgl. Willem D. Hackmann, *Electricity from Glass: The History of the Frictional Electrical Machine 1600-1850*, Alphen aan den Rijn 1978.
- <sup>23</sup> Vgl. Bernard I. Cohen, *Franklin and Newton. An inquiry into speculative Newtonian experimental science and Franklin's work in electricity as an example thereof*, Cambridge/Massachusetts 1966.
- <sup>24</sup> Vgl. John Heilbron, "G. M. Bose: The Prime Mover in the Invention of the Leyden Jar?", *Isis*, Bd. 57, 1966, S. 264-267.
- <sup>25</sup> Vgl. Helmut Hess, *Der elektrische Durchschlag in Gasen: der elektrische Durchschlag und die Entwicklung des Funkens in Gasen*, Braunschweig [1976].
- <sup>26</sup> Franz Ulrich Theodosius Aepinus, *Akademische Rede von der Aehnlichkeit der elektrischen und magnetischen Kraft, welche in der feyerlichen Versammlung der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften im Jahr 1758 ...*, Leipzig 1760, S. 39.
- <sup>27</sup> "Schreiben des Herrn Paets van Trostwyk und Deimann an Herrn de la Metherie, über die Zerlegung des Wassers in brennbare und Lebensluft durch den electrischen Funken" (1789), *Journal der Physik*, Bd. 2, 1790, S. 130-141.
- <sup>28</sup> Georg Wilhelm Friedrich Hegel, "Das älteste Systemprogramm des deutschen Idealismus" (1796/1797), in: ders., *Werke in zwanzig Bänden: auf der Grundlage der Werke von 1832-1845 neu edierte Ausgabe*, Bd. 1: Frühe Schriften, Frankfurt am Main 1986, S. 234-236, S. 234.
- <sup>29</sup> Vgl. Peter M. Heimann, "Maxwell, Hertz and the Nature of Electricity", *Isis*, Bd. 62, 1971, S. 149-157; Salvo D'Agostino, "Hertz' Researches on Electromagnetic Waves", *Historical Studies in the Physical Sciences*, Bd. 6, 1975, S. 261-323; James G. O'Hara und Willibald Pricha, *Hertz and the Maxwellians. A Study and Documentation of the Discovery of Electromagnetic Wave Radiation, 1873-1894*, London 1987; John H. Bryant, *Heinrich Hertz: The Beginning of Microwaves*, New York 1988; Jed Z. Buchwald, "How Hertz Fabricated Helmholtzian Forces in His Karlsruhe Laboratory or Why He Did Not Discover Electric Waves in 1887", in: Lorenz Krüger (Hg.), *Universalgenie Helmholtz. Rückblick nach 100 Jahren*, Berlin 1994, S. 43-65; Jed Z. Buchwald, *The Creation of Scientific Effects. Heinrich Hertz and Electric Waves*, Chicago 1994; sowie Davis Baird, R. I. G. Hughes und Alfred Nordmann (Hg.), *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*, Dordrecht 1998.
- <sup>30</sup> Vgl. Jörg Meya, *Elektrodynamik im 19. Jahrhundert. Rekonstruktion ihrer Entwicklung als Konzept einer redlichen Vermittlung*, Wiesbaden 1990, S. 164ff.
- <sup>31</sup> Ebd., S. 163.
- <sup>32</sup> Hertz, "Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität" (Anm. 14), S. 341.
- <sup>33</sup> Ebd., S. 342.
- <sup>34</sup> Zu Feddersens Biographie siehe die Notiz in Berend Wilhelm Feddersen, *Entladung der Leidener Flasche, intermittierende, kontinuierliche, oscillatorische Entladung und dabei geltende Gesetze: Abhandlungen* (= Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 166), hgg. von Theodor Des Coudres, Leipzig 1908, S. 125-127.
- <sup>35</sup> Berend Wilhelm Feddersen, "Über die elektrische Flaschenentladung", *Annalen der Physik*, Bd. 192 (= 2. Folge, Bd. 116), 1862, S. 132-171, S. 134.
- <sup>36</sup> Hermann von Helmholtz, "Über die Erhaltung der Kraft" (1847), in: ders., *Wissenschaftliche Abhandlungen*, Bd. 1, Leipzig 1882, S. 12-75, S. 46.
- <sup>37</sup> Vgl. Charles Wheatstone, "An Account of Some Experiments to Measure the Velocity of Electricity and the Duration of Electric Light" (1834), in: ders., *The Scientific Papers of Sir Charles Wheatstone*, London 1879, S. 84-96.
- <sup>38</sup> Berend Wilhelm Feddersen, "Beiträge zur Kenntnis des elektrischen Funkens", *Annalen der Physik*, Bd. 179 (= 2. Folge, Bd. 103), 1858, S. 69-89, S. 69.
- <sup>39</sup> Feddersen, "Über die elektrische Flaschenentladung" (Anm. 35), S. 142.
- <sup>40</sup> Berend Wilhelm Feddersen, "Über die elektrische Flaschenentladung", *Annalen der Physik*, Bd. 189 (= 2. Folge, Bd. 113), 1862, S. 437-466, S. 439.
- <sup>41</sup> Vgl. Peter Galison, *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*, Chicago 1997.
- <sup>42</sup> Vgl. Wolfgang Hagen, "Der Okkultismus der Avantgarde um 1900", in: Sigrid Schade und Georg Christoph Tholen (Hg.), *Konfigurationen: zwischen Kunst und Medien*, München 1999, S. 338-357.

- <sup>43</sup> Robert Colley, “Über einige Methoden zur Beobachtung electricischer Schwingungen und einige Anwendungen derselben”, *Annalen der Physik*, Bd. 242 (= 3. Folge, Bd. 26), 1885, S. 432-456; sowie ders., “Ueber einige neue Methoden zur Beobachtung electricischer Schwingungen und einige Anwendungen derselben”, *Annalen der Physik*, Bd. 244 (= 3. Folge, Bd. 28), 1886, S. 1-21.
- <sup>44</sup> Fölsing, *Heinrich Hertz* (Anm. 17), S. 573.
- <sup>45</sup> Hertz, *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt* (Anm. 2), S. 2.
- <sup>46</sup> Heinrich Hertz, “Einleitende Übersicht” (1891), in: ders., *Gesammelte Werke*, Bd. 2, Leipzig 1894, S. 1-31, S. 2.
- <sup>47</sup> Experimentierprotokoll, Anfang Oktober 1886, zitiert nach: Fölsing, *Heinrich Hertz* (Anm. 17), S. 269.
- <sup>48</sup> Hertz, *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt* (Anm. 2), S. 23.
- <sup>49</sup> Heinrich Hertz, “Die Kräfte elektrischer Schwingungen, behandelt nach der Maxwell’schen Theorie” (1888), in: ders., *Gesammelte Werke*, Bd. 2, Leipzig 1894, S. 147-170, S. 147.
- <sup>50</sup> Hertz, “Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität” (Anm. 14), S. 349.
- <sup>51</sup> Vgl. Hertz, “Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die electricische Entladung” (Anm. 15).
- <sup>52</sup> Hertz, “Einleitende Übersicht” (Anm. 46), S. 5f.
- <sup>53</sup> Lacan, “Das Seminar über E. A. Poes ‘Der entwendete Brief’” (Anm. 19), S. 24.
- <sup>54</sup> Hertz, “Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität” (Anm. 14), S. 348.
- <sup>55</sup> Vgl. Klaus Merten, “Evolution der Kommunikation”, in: Klaus Merten, Siegfried J. Schmidt und Siegfried Weischenberg (Hg.), *Die Wirklichkeit der Medien. Eine Einführung in die Kommunikationswissenschaft*, Opladen 1994, S. 141-162.
- <sup>56</sup> Martin Heidegger, “Einblick in das was ist. Bremer Vorträge 1949”, in: ders. *Gesamtausgabe. III. Abteilung: Unveröffentlichte Abhandlungen, Vorträge, Gedachtes*, Bd. 79: Bremer und Freiburger Vorträge, Frankfurt am Main 1994, S. 3-77, S. 39.