

Richard Feynmans Vision theologischer Prägung: Etappen einer Geschichte der Mikromanipulation

Stefan DITZEN

Hochschule für Gestaltung Karlsruhe & Humboldt-Universität zu Berlin
sditzen@hfg-karlsruhe.de

Abstract. This article detects the sources of Richard Feynman's famous Caltech talk of 1959 referring to the possibilities of writing the Lord's Prayer on the head of a pin and his plea for the improvement of the ability of writing on a small scale. Both of his topics, the finest writing as well as the pin are confronted with their role in the history of microscopy. The analysis reveals the connotations of their use and shows that Feynman's way of visionary thinking had been highly influenced by a historical background of interpreting the microcosm in a religious way.

1. Einleitung: Feynmans Science/Fiction

Im Dezember des Jahres 1959 hielt der Physiker Richard Feynman (1918-1988) am Californian Institute of Technology (Caltech) einen Vortrag mit dem Titel „There's Plenty of Room at the Bottom“. Dabei plädierte er für ein Forschungsprogramm, das die Speichermöglichkeiten von Informationen auf kleinstem Raum revolutionieren sollte:

What I want to talk about is the problem of manipulating and controlling things on a small scale.

As soon as I mention this, people tell me about miniaturization, and how far it has progressed today. They tell me about electric motors that are the size of the nail on our small finger. And there is a device on the market, they tell me, by which you can write the Lord's Prayer on the head of a pin. But that's nothing; that's the most primitive, halting step in the direction I intend to discuss, it is a staggeringly small world that is below. In the year 2000, when they look back at this age, they will wonder why it was not until the year 1960 that anybody began seriously to move in this direction.

Why cannot we write the entire 24 volumes of the Encyclopaedia Britannica on the head of a pin?

Let's see what would be involved. The head of a pin is sixteenth of an inch across. If you magnify it by 25,000 diameters, the area of the head of the pin is then equal to the area of all the pages of the Encyclopaedia Britannica. Therefore, all it is necessary to do is to reduce in size all the writing in the Encyclopaedia by 25,000 times. Is that possible? The resolving power of the eye is about 1/120 of an inch – that is roughly the diameter of one of the little dots on the fine half-tone reproductions of the Encyclopaedia. This, when you demagnify it by 25,000 times, is

still 80 angstroms in diameter – 32 atoms across, in an ordinary metal. In other words, one of those dots still would contain in its area 1,000 atoms. So, each dot can easily be adjusted in size as required by the photoengraving, and there is no question that there is enough room on the head of a pin to put all of the Encyclopaedia Britannica.

Furthermore, it can be read if it is so written. Let's imagine that it is written in raised letters of metal; that is, where the black is in the Encyclopaedia, we have raised letters of metal that are actually 1/25,000 of their ordinary size. How would we read it?

If we had something written in such a way, we could read it using techniques in common use today. (They will undoubtedly find a better way when we do actually have it written, but to make my point conservatively I shall just take techniques we know today.) We would press the metal into a plastic material and make a mold of it, then peel the plastic off very carefully, evaporate silica into the plastic to get a very thin film, then shadow it by evaporating gold at an angle against the silica so that all the little letters will appear clearly, dissolve the plastic away from the silica film, and then look through it with an electron microscope!

There is no question that if the thing were reduced by 25,000 times in the form of raised letters on the pin, it would be easy for us to read it today. (Feynman 1960, S. 22ff)

Nach einem kurzen Verweis auf den zusätzlichen Vorteil der einfachen Reproduzierbarkeit eines derartigen Informationsträgers, wendete sich der Physiker in seinem Vortrag der eigentlich wichtigsten Frage an dieser Vision zu: „The next question is: How do we write it? We have no standard technique to do this now.“ (Ebd.)

Feynmans Vision der gesamten Enzyklopädie auf der Nadel, die Forderung nach einer kontrollierbaren Reduktion schriftlicher Grapheme auf eine atomare Ebene wird retrospektiv zu einem Startpunkt nanotechnologischer Forschung. Seine offen gelassene Frage, wie eine solche Schrift zu verfassen sei, blieb über die folgenden Jahrzehnte eine Anforderung an die Wissenschaft, deren Erfüllung bis in die 1980er Jahre offen stehen sollte.

An der visionären Forderung des Physikers fallen zwei Topoi besonders ins Auge, die Feynman zur Grundlage seiner gesamten Auflösungsrechnungen macht: das Schreiben im Mikrokosmos mittels einer speziellen Gerätschaft, die auf dem Markt verfügbar sein sollte („there is a device on the market“), und die Nadel, als einem wichtigen Maßstab der Feinauflösung seiner Vision. Mit dem Kopf einer Nadel als Schreibfläche für die Enzyklopädie handelte es sich dabei um ein Vergleichsobjekt, das in seinen Dimensionen der unbewaffneten menschlichen Wahrnehmung noch zugänglich war.

Es stellt sich die Frage nach dem historischen Hintergrund dieser sehr spezifischen Sinnbilder als Grundlage für Feynmans Vision. Beide Elemente waren, wie sich zeigen wird, bereits seit hunderten von Jahren prominente Begleiter bei einer vergleichenden Gegenüberstellung der mikroskopischen Erzeugnisse des Menschen mit Gottes Schöpfung.

2. Die Nadel – menschliche Kunstfertigkeit gegenüber göttlicher Schöpfung unter dem Mikroskop

Eine Vielzahl mikroskopischer Atlanten des 17. und 18. Jahrhunderts stellte in einem Vergleich die Schönheit mikroskopischer Details der Natur menschlichen Kunstprodukten gegenüber. Eines der prominentesten Bücher in diesem Zusammenhang stellt Robert Hooke (1635-1703) *Micrographia* des Jahres 1665 dar.¹ Bereits zu Beginn des Buches präsentierte der Autor die Schneide einer Rasierklinge und die Spitze einer Nadel. Diese *Artificialia* sollten einleitend dem Leser für die folgenden mikroskopischen Untersuchungen die Grenzen menschlicher Kunstfertigkeit vor Augen stellen. In Bezug auf die Nadelspitze stellte Hooke fest, dass dieser nur scheinbar spitze Punkt einem direkten Vergleich mit den Erscheinungsformen der Natur nicht standhielt:

... though this point be commonly accounted the sharpest (...) yet the Microscope can afford us hundreds of Instances of Points many thousand times sharper: such as those of the hairs, and bristles, and claws of multitudes of Insects. (Hooke 1665, S. 2)

Die augenscheinlich glatte Nadel erwies sich unter dem Mikroskop als von Rissen und Kratern geradezu überhäuft und ihr spitzes Ende glich mehr einer Plattform als einem Punkt (siehe Abbildung 1). Ganz im Gegensatz dazu bezeichnete Hooke den Stachel einer Biene, der im weiteren Verlauf der Veröffentlichung dieser Nadel gegenübergestellt wurde, bewundernd als „very sharp“. Fasziniert von Form und Funktion dieser feingliedrigen Nadel der Natur beschrieb er sie in der genauen Darstellung der Widerhaken ihrer Spitze, die sich dafür verantwortlich zeigten, dass der Stachel nach dem Stich der Biene in der Haut des Opfers verblieb, als „of admirable shape“ (ebd., S. 163f).

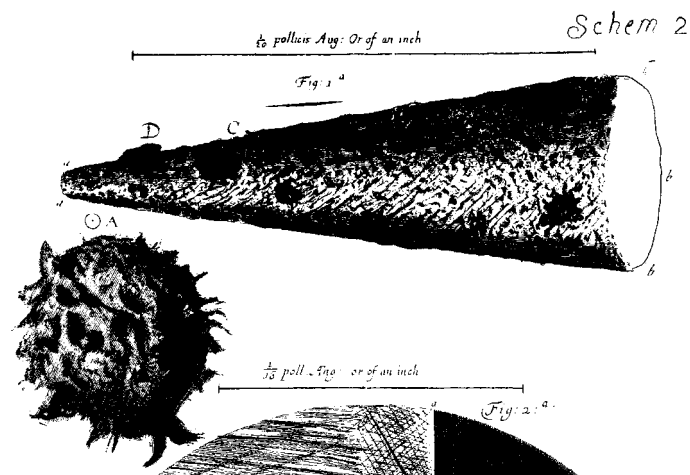


Abbildung 1: Mikroskopische Ansicht einer Nadelspitze und eines Tintenpunkts aus Schema 2 von Hookes *Micrographia* (1665).

¹ Zur Kontroverse zwischen Kunst und Natur unter dem Mikroskop in den folgenden Jahren siehe auch Nicolson 1935, S. 62f.

Dass gerade für einen Vergleich von Kunst und Nature unter dem Mikroskop eine Nadel gewählt wurde war nicht ganz zufällig. Die Nadel tauchte zwangsläufig als ein wichtiges Instrumentarium mikroskopischer Präparation unter der vergrößernden Linse auf. Sie wurde bei der Sektion von Insekten unter mikroskopischer Beobachtung verwendet. Bei vielen einlinsigen Mikroskopen, wie etwa jenen von Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723), stand die Nadelspitze ganz prominent allein vor der Linse, bevor auf sie das zu beobachtende mikroskopische Objekt aufgespießt wurde.

So beschrieb Johan Frantz Griendel von Ach (1631-1687) in der *Micrographia nova* ebenso wie zuvor Hooke die Mängel einer Nadel, die sich dem Auge unter dem Mikroskop boten:

Die Nadelspitzen werden gemeiniglich sehr scharff gemacht / daß das blosser Auge derselben kleinen Theil oder Spitze nicht wol sehen / viel weniger unterscheiden kann: Wann sie aber mit einem Vergrößer-Glaß beschauet werden / so befindet sich / daß die Spitze oder Ende einer Nadel / ob solche dem Auge nach sehr scharff scheint / dennoch breit / stumpf und recht ungleich zugehet / oder der Spitze größten Theil gar ermangelt. Ich hab die Spitze einer kleinen und gar scharffen Nadel durch mein Microscopium mehr als einen 4ten Theil eines Zolls breit / wie Figura I. zu sehen ist / gesehen / der untere Theil der Spitze ware wol 2. Zoll dick / die ganze Länge der Nadel befande sich auf die 15. Werck-Schuh; die obere Fläche der Spitze / ob sie schon dem blossen Auge gar subtil schiene / so ware sie doch uneben / voller Schrunden / Hölen / Löcher und rauhen Oerter / man kunte gar eigentlich sehen die Striche und Stösse von der Feilen herührend ... (Griendel 1687, S. 58)

Es war nicht zuletzt das Bildprogramm der Hookschen Veröffentlichung, das diesen Untersuchungsgegenstand vermehrt in den Fokus und damit in eine Bildtradition brachte. Dies lässt sich etwa an den Übereinstimmungen mit der Gestalt der Nadel aus Martin Frobenius Ledermüllers (1719-1769) Publikation erkennen (Ledermüller 1763). Ledermüller kopierte für seine *Mikroskopische Gemüths- und Augen-Ergötzung* noch fast ein Jahrhundert später die Nadel aus Hookes *Micrographia* und kreuzte sie mit dem Stachel der Biene. Er brachte damit den Wettstreit von Kunst und Natur, deren jeweils prominenteste Repräsentanten sich gleich zwei Schwertern im Kampf kreuzten, emblematisch zum Ausdruck (Abbildung 2).

Es war vornehmlich die Nadel, an der seit der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts die schöpferische Potenz menschlicher Kunstfertigkeit evaluiert wurde. Jede Verfeinerung skalierte zwangsläufig an diesem Objekt weiter in mikroskopische Tiefen hinab, und behielt es gleichsam als Orientierungspunkt der Skalierung, als Auflösungsmaßstab für den nächsten Schritt bei. Dieses Vorgehen war bereits in Griendels neuer Mikrographie zu finden, in der er die Verfeinerungen kunsthandwerklicher Goldschmiedekunst an einer Nadelspitze beschrieb:

... dahero ist sich nicht so hoch zu verwundern / dass einmal ein Goldschmiedegesell auf eine Nadelspitz eine Reiterei mit samt dem Pferd erkänlich gestochen / welches Zweifels ohne durch ein dergleichen Vergrößer-Glaß geschehen ist: Ich hab es einmal versucht / und durch ein Gläßlein eines Microscopii auf ein Papier eines kleinen Pfennigs groß / eine ganze Kompagni Fußvolcks oder Musquetirer gerissen / daß sie durch das Glaß schön entschieden / und erkänlich schienen / mit dem blossen Auge aber sahe man nichts als kleine schwarze Stichel. (Griendel 1687, S. 58)

Ob es den Kunsthandwerkern des 17. Jahrhunderts gelungen sein mag, ganze Reiterbildnisse auf die Spitze einer Nadel zu gravieren mag anzweifelbar sein. Allein, der Topos der mikroskopischen Auflösung gegenüber dem Vergleichswert der Nadel findet sich darin bereits definiert und dies im Vergleich zur Projektion von Feynman sogar in gesteigerter Form, denn hier wurde nicht der Kopf sondern die Spitze der Nadel als Informationsträger genutzt. Nachdem diese Spitze in den mikroskopischen Untersuchungen des 17. Jahrhunderts als eher flach denn spitz ausgemacht worden war, diente diese Fläche als Einheit graphischer Speicherung.

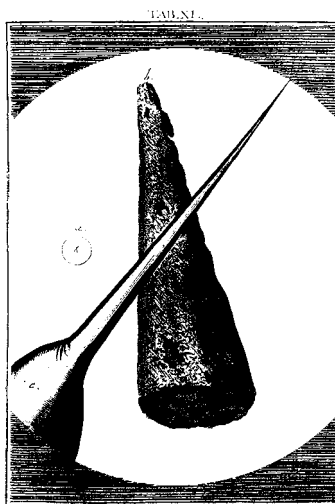


Abbildung 2: Sich kreuzende Nadelspitze und Bienenstachel unter dem Mikroskop von Ledermüller (Ledermüller 1763).

3. Der Vergleich der Bücher

Die Erforschung der Natur wurde innerhalb des 17. und zu Anfang des 18. Jahrhunderts zur wahren Gotteserkenntnis, durch sie wurde die Erfahrung der Schöpfung in besonderer Weise möglich. Insbesondere die mikroskopische Forschung kam in diesem Zusammenhang einem Gottesdienst gleich, in dem das Buch der Natur entziffert wurde. Dieses, neben der Bibel, zweite Buch Gottes war mit dem Sündenfall verloren, das heißt, der Mensch war seiner ursprünglichen Fähigkeit der Entzifferung dieser Schrift verlustig gegangen. Optische Instrumente schufen hierfür einen Ausgleich, mittels ihrer Hilfe konnte das Buch der Natur wieder entschlüsselt werden.² So verweisen Mikroskopiker, wie beispielsweise Ledermüller, eigens auf dieses Buch und den Auftrag der Naturbetrachtung als einem Vorgang des Lesens in dieser Schrift:

² Siehe zur Frage, ob sich anhand der Auseinandersetzung der Kirche mit gerade den optischen Wissenschaften der Zeit diese beiden Bücher entsprechen, Blumenberg 1986, S. 68ff.

Die ältesten Kirchenlehrer haben daher die Betrachtung der Werke Gottes selbst eifrigst angerathen, wie z.B. S. Bernardus Serm. Die Welt ist ein Buch von Gott geschrieben, darinnen wir fleisig lesen sollen. (Leder Müller 1763, Vorbericht)

Die religiöse Pflicht der Naturerkenntnis lässt sich als physikotheologischer Einfluss in den Studien und Kompendien der Mikroskopie vielfach finden. Das Instrument machte in diesem Gedankenkreis Gottes Schöpfung bis hin zu den „Atomen“ den menschlichen Sinnen wieder fassbar und war deshalb als Erkenntniswerkzeug legitim.³

Ja vielmehr wird ein jeder fleißiger Nachforscher der Natur mir Beyfall geben, daß diesem vergrößernden Werckzeuge allein das Lob gebühre, wodurch man zu derer kleinsten Körper und atomorum eigentlichem Wesen, welches als unsichtbar unserm Verstande verborgen war, bringen, und solcher Gestalt die unendliche Weißheit und Allmacht des Schöpfers aus denen kleinsten und geringsten Dingen, auch mit denen äußerlichen Sinnen begreifen und abnehmen könne.

In diesem Sinn des instrumentellen Entzifferns einer göttlichen Handschrift war auch der Titel von Hookes Werk zu verstehen. Die *Micro-graphia* entdeckte diese graphische Mikroschrift Gottes in den kleinsten Bausteinen der Natur. Ihr Design erkennen hieß, in dieser Schrift zu lesen (Dennis 1989, S. 336f), so wie es Henry Baker (1698-1774) in klangvollen Worten zum Ausdruck brachte:

Bears, Tigers, Lions, Crocodiles and Whales, Oaks and Cedars, Seas and Mountains, Comets, Stars, Worlds and Suns, are the CAPITALS in Nature's mighty Volume, and for them we should not be ignorant: but whoever would read there with Understanding, must make himself Master of the little Letters likewise, which occur a thousand times more frequently, and, if he does not know them, will stop him short at every Syllable. (Baker 1769, S. IVf)

In einem umgekehrten Vergleich von „Nature's mighty Volume“ mit der menschlichen Kunstfertigkeit stellten die Mikroskopiker die besten Druckzeugnisse ihrer Zeit der zweiten Schrift Gottes gegenüber, das heißt, dass die mikroskopischen Untersuchungen von Schrift- und Druckzeugnissen quasi als ein Vergleich der Bücher erfolgten.

So beschrieb Hooke detailliert die Erscheinung von schriftlichen Erzeugnissen, sowohl unter mikroskopischer Beobachtung als auch nach bloßem Augenschein. Für seine Untersuchungen verwendete er das kleinste ihm zu Verfügung stehende schriftliche Zeichen: die Erscheinung eines Tintepunkts (siehe Abbildung 1; in dem Kreis markiert mit „A“, wie der Punkt dem bloßen Auge erscheint und direkt darunter die mikroskopische Vergrößerung). An diesem Produkt menschlichen Schaffens entdeckt er unter dem Mikroskop ebenso viele Unregelmäßigkeiten, wie sie bereits die Nadelspitze aufgewiesen hatte:

The Irregularities of it are caused by three or four coadjutors, one of which is, the uneven surface of the paper, which at best appears no smother then a very course piece of shagd cloth, next the irregularity of the Type or Ingraving, and a third is the rough Daubing of the Printing-Ink that lies upon the instrument that makes the impression, to all which, add the variation made by the Different lights and shadows, and you may have sufficient reason to gness that a point may appear much more ugly then this, which I have here presented, which though it appear'd through the Microscope gray, like a great splatch of London dirt, about three inches over;

³ Hertel 1716, 136. Interessanterweise spricht der Autor an dieser Stelle abgrenzend von „äußerlichen Sinnen“, was nahe legt, dass für ihn weiterhin noch innerliche Sinne existieren, über die der Mensch der Kraft Gottes gewahr werden kann.

yet to the naked eye it was black, and no bigger then that in the midst of the Circle A. And could I have found Room in this Plate to have inserted an O you should have seen that the letters were not more distinct then the points of Distinction, nor a drawn circle more exactly so, then we have now shown a point to be a point. (Hooke 1665, S. 3f)

Auch mit dieser Feststellung stand Hooke nicht alleine. Ebenso verwies Griendel auf die mangelnde Präzision der Druckerzeugnisse, und stünden sie in ihrer angenommenen Perfektion auch noch so hoch im Ansehen:

Es ist bishero allezeit der zarte Amsterdamer Druck hoch gehalten worden wegen seiner / subtile und Reinigkeit / welches mich auch dahin getrieben / selbigen dem Vergrösser-Glaß unter zu legen / und zwar nur ein a von dem kleinsten Druck / wie ungeschickt aber / und ausser aller Gestalt derselbe dardurch zu sehen war / bildet die Figur vor / und ist sonderbar zu beobachten / dass die Druckschwärze das Papier nicht überall angenommen / und ein so confuses chaos praesentiret / dass ich das a nicht wol erkennen können; dergleichen observierte ich auch mit einer von Dinten und zärter Reißfeder gezogene Linie, mit B. bemercket / welche auf den Seiten sehr ungleich gefallen / und sehr grob und ungeschickt anzusehen war. Haben also die Amsterdamer Buchdrucker nicht viel zu gloriren mit ihren silbernen Buchstaben / indem sie ein so ungespilten und unformentlichen Druck auf die Welt gebracht / und so theuer verkauffen. (Griendel 1687, S. 60)

Die Schrift wurde an dieser Stelle zu einem Bild, dessen mangelnde Pinselführung und Feinheit der Farbränder in die Kritik geriet. Schriftlichkeit unter dem Mikroskop und die Nadel in Form der „zärter Reißfeder“ traten in eine direkte Verbindung. Neben den Unebenheiten des Blattes, auf dem der Druck oder die handschriftliche Linienführung erfolgte, war die Perfektion der Spitze des Werkzeugs von hauptsächlicher Relevanz. War ein Goldschmiedegeselle angeblich in der Lage ein Bild auf die Spitze einer Nadel zu stechen, so hieß das zunächst, dass er über ein Werkzeug der Mikromanipulation verfügen musste, das entschieden „zärter“ war als die Nadelspitze selbst. Diese wurde damit von dem feinsten mikroskopischen Werkzeug zu einem Bildträger der eigentlichen Manipulation degradiert. Damit war die Frage nach der mikroskopischen Perfektion im Wettstreit von Kunst und Natur eine Stufe weiter hinab in die mikroskopische Auflösung gestiegen, wobei die Degradierung des vorhergehenden Werkzeugs, das damit gleichzeitig unter der Linse verblieb, für die Anbindung an den vorhergehenden Maßstab sorgte.

Es war gerade dieser Wettstreit um die Perfektion von *Artificialia* und *Naturalia*, der sich gleich einem roten Faden durch die Geschichte der Mikroskopie zog und der in deutlicher Ausprägung im Folgenden für die Mikrometrie des 19. Jahrhunderts untersucht wird, um daran die Verbindung zu Feynmans Topoi zu verfolgen.

4. Zur Perfektion von Kunst und Natur im 19. Jahrhundert

Die Frage mikroskopischer Perfektion wurde im 19. Jahrhundert im Rahmen einer Vergleichbarkeit der Instrumente selbst diskutiert. Eines der Hauptprobleme an der Frage nach der Zuverlässigkeit einer mikroskopischer Information bestand darin, dass es sich bei allen Instrumenten um Einzelstücke handelte, die bis in die 1830er Jahre keinerlei Standardisierung unterworfen waren (siehe u.a. Turner 1980a). Deshalb sollten mikrometrische Testobjekte dabei helfen, das Auflösungsvermögen der Mikroskope

unterschiedlicher Instrumentenbauer einzuschätzen, um daran festzumachen, welche mikroskopischen Strukturen die Geräte überhaupt sichtbar machen konnten. Für diese Evaluierung waren möglichst einheitliche, gleich bleibende Testobjekte notwendig, an deren Feinstruktur absehbar war, ob die optischen Möglichkeiten eines Mikroskops ausreichten, um sie zu detektieren.

4.1 Flügel von Schmetterlingen und Motten

Im Jahr 1827 demonstrierte der englische Mikroskopiker C.R. Goring (1792-1840) eine Entdeckung, die sich gerade in diesem Zusammenhang für die weitere Entwicklung der Mikroskopobjektive als überaus wichtig herausstellen sollte (Schickore 2003). Anhand der feinsten Strukturen an Schmetterlings- und Mottenflügeln konnte er nachweisen, dass die Auflösung der Ansichten anstieg, je größer der Aperturwinkel der Objektive gehalten wurde. Auch wurden unter schräg einfallender und mittelbarer Beleuchtung mehr Details des mikroskopischen Objekts sichtbar als unter direkter Beleuchtung (Goring 1827). In der Folge dieser Entdeckung wurden Insektenflügel als Auflösungstests verwendet, denn unter dem Mikroskop wurden Strukturdetails dieser Flügel als Streifenmuster oder Tüpfelungen sichtbar. Die Prüfung der Mikroskope lief damit darauf hinaus, ob die zumeist verwendeten parallel laufenden Linierungen erkennbar wurden.⁴ Die Größenordnung dieser Linien und damit auch die Möglichkeit der Sichtbarmachung differierte zwischen den einzelnen Arten. Deshalb ließen sich Reihungen von Probeobjekten herstellen,⁵ bei denen sich die Erkennung der feingliedrigen Strukturen zunehmend schwieriger gestaltete.

Unter divergierender Beleuchtung konnten die Flügelschuppen allerdings „zu mancherlei irrigen Ansichten Veranlassung gegeben haben, indem einfach optische Täuschungen als wirkliche Wahrnehmungen beschrieben wurden“ (Harting 1866, S. 311). Das Problem bestand darin, dass diese Insektenschuppen aus zwei Schichten bestanden: einer oberen oder äußeren Schicht, in der die parallel verlaufende Längsstreifung zu erkennen war, und einer zweiten Schicht, die rechtwinklig zur ersten stand und ausgeschweift oder gekrümmt sein konnte. Diese quer gestreiften Strukturen sorgten für die erwähnten optischen Täuschungen, denn sie waren im Mikroskop nicht zugleich mit derselben Tiefenschärfe wie die obere Schicht scharf zu stellen. Dabei hing es von der Art und Weise der Beleuchtung ab, ob längs laufende und quere Streifen mit parallelen Grenzlinien unter dem Mikroskop erschienen, oder ob nur die Längsstreifung aufgelöst wurde, die dann allerdings der Überlagerungen wegen aus Kügelchen zu bestehen schien (ebd., S. 311f). Die unterschiedlichen Ansichten, die „schattenartig wogend oder im Zickzack“ verliefen, erklärten sich durch die Projektion dieser beiden Schichten aufeinander, denn es kam dabei zu Moiréeffekten (ebd., S. 314). Auch variierten die Schüppchen innerhalb einer Art von Individuum zu Individuum in ihren Dimensionen, so dass für die Größenangaben der Streifen in den Schuppen ein Mittelwert festgestellt werden musste (ebd., S. 316). Auch diese Varianz machte die Verwendung dieser natürlichen Objekte als Teststandard problematisch.

⁴ Ein Verweis auf diese parallel laufenden Streifen auf den Flügelschuppen vom Schmetterling der Seidenraupe findet sich bereits bei Antoni van Leeuwenhoek in einem Brief aus dem Jahr 1702.

⁵ Außer auf Goring in England verweist Harting (1866) vor allem auf Jacquin in Deutschland als einem Hersteller solcher Probeobjekte.

4.2 Diatomeen

Mit der zunehmenden Verbesserung der Linsensysteme wurden für die Evaluierung der Instrumente feinere Strukturen als Prüfmuster notwendig (Heurck 1869, S. 55). J.D. Sollitt und R. Harrison empfahlen daher bereits ab 1854 die Verwendung von Diatomeen für diesen Zweck (Sollitt & Harrison 1854). Gegenüber den Insektenflügeln hatten die Panzerschalen dieser Kieselalgen entscheidende Vorteile: Ihre Zeichnungen erwiesen sich als wesentlich regelmäßiger und waren zugleich ganz ungemein fein.

Schon bald waren Testsätze mit diversen Arten von Diatomeen im Handel, die von den Mikroskopikern in London bei Stevens und Tennant oder in Paris bei Bourgoigne käuflich erworben werden konnten (Harting 1866, S. 319). Im holsteinschen Weddel fertigte M. Moller Platten mit bis zu 400 unterschiedlichen Diatomeen an, deren Musterungen sukzessive schwieriger zu detektieren waren (Heurck 1869, S. 223).

Doch auch bei diesen Testobjekten standen die erkennbaren Musterungen – ebenso wie bei den Insektenflügeln – in Abhängigkeit von der Beleuchtung des Objekts. Ebenso waren die Arten in ihrer Ausdifferenzierung, je nach dem Ort ihres Vorkommens, höchst variabel. Deshalb verwies Pieter Harting (1812-1885) darauf, dass über den Fundort des Präparats bei allen Vergleichen Rechenschaft abgelegt werden solle und darüber hinaus auch die Präparationsmethode zu beachten sei, die in erheblichem Maß ein eingreifendes Moment darstellen konnte:⁶ „So macht es sich für eine Vergleichung der Resultate manchmal nöthig, dass der Name des Präparatverfertigers beigefügt wird.“ Als problematisch konnte sich beispielsweise der Kitt erweisen, mit dem die Deckplättchen befestigt wurden, denn durch seine Dämpfe konnten die Linierungen der Diatomeeschalen versehentlich beschädigt werden. Eine solche Deformation zeigte sich auf einer Mikrofotografie, die Gustav Theodor Fritsch und Georg Ferdinand Otto Müller (1837-1917) im Jahr 1870 veröffentlichten. Deutlich wurde hier bei 1200-facher Vergrößerung erkennbar, wie die inneren Strukturen von *Pleurosigma angulatum* am rechten Rand lädiert worden waren (Fritsch & Müller 1870, Taf. IX). Die Natur schien nicht allein in einem zu geringen Maße normierbar, sie war auch zu empfindlich gegenüber der Handhabung durch den Menschen, um zuverlässige Testobjekte zu stellen.

4.3 Die Kunst der Gravur

In seiner „Vergleichung der Diatomeen“ hielt Friedrich Adolph Nobert (1806-1881) die Untersuchung aller ihm zu Verfügung stehenden unterschiedlichen Präparate fest und bemerkte exemplarisch für seine Objekte der Spezies *Navicula rhomboides*, dass „die grosse Mehrzahl, selbst im direkten Sonnenlichte unter Anwendung sehr guter Wasserlinsen keine Spur von Linien [zeige], ein Beweis, wie launenhaft die Einwirkung des Dampfes auf solche zarten Objekte [sei].“⁷

Nobert, ein Instrumentenbauer aus Barth in Pommern, hatte bereits 1846 in der Kritik der natürlichen Testobjekte auch die Forderung nach einem artifiziellen Test zum Ausdruck gebracht:

Es ist also einleuchtend, dass die Natur, bei den steten Veränderungen, die sie in diesen Bildungen zu verfolgen scheint, nicht geeignet ist, sichere Vergleichsobjek-

⁶ Harting 1866, 319f. Harting benannte selbst für seine Auflösungstabellen Stevens als Bezugsquelle der Objekte und vermerkte, dass er für seine Auszählung der Streifungen „mittelgrosse Individuen“ erwähnt habe (ebd., S. 320ff).

⁷ Nobert 1882, 103f.

te, die sich, wie die neuere Physik in allen ihren Theilen fordert, auf Zahl und Mass zurückführen lassen, zu geben. (Nobert 1846, S. 174)

Mitte des 19. Jahrhunderts hatte sich damit das Ergebnis des Vergleichs von Kunst und Natur, das im 17. Jahrhundert noch eindeutig zu Gunsten der Natur ausgegangen war, gedreht. Die „neuere Physik“ forderte laut Nobert ein höheres Maß an Perfektion ein, als es die Natur scheinbar bieten konnte. Eine dem Menschen mögliche Präzision der Mikromanipulation sollte den natürlichen Tests überlegen sein. Doch äußerte Nobert diese Kritik wohl nicht zuletzt als Verkaufsargument für die von ihm vertriebenen künstlichen mikrometrischen Platten. Er hatte eine Kreisteilmaschine entwickelt, die der Herstellung mikroskopischer Testplatten aus Glas⁸ und geritzter Beugungsgitter diente, und schloss damit an die Arbeiten von Georg Friedrich Brander (1713-1783), Ernst Abbe (1840-1905) und Joseph Fraunhofer (1787-1826) an.⁹ Nobert wollte mit seinen künstlichen Testplatten die natürlichen, unzuverlässigen Testobjekte ersetzen.¹⁰ Es ging dabei um nichts weniger, als die Frage, ob „es der Kunst [gelingen könne], in der Feinheit der Theilung die Natur noch zu übertreffen“ (Harting 1866, S. 326).

Im Jahr 1846 erklärte Nobert, dass es dazu notwendig wäre, auf einer Glasplatte eine Reihe von Punktepaaren darzustellen, die progressiv abnehmende Abstände hätten (Nobert 1846, S. 174f). Allein, die Darstellung solcher Punkte war technisch nicht umsetzbar, vielmehr orientierte er sich an Fraunhofers Herstellung geritzter Beugungsgitter. Dieser hatte Linien verwendet, deren gegenseitiger Abstand bereits nahezu 1/714 der Pariser Linie betrug.¹¹ Nobert war mit seiner Kreisteilmaschine in der Lage, so feine Linien in sukzessiv engeren Streifenbändern zu gravieren, dass ein stetiger Disput unter den Mikroskopikern entstand, mit welchem Objektiv die Platten auflösbar seien. In einem regelrechten Wettlauf setzten Noberts Ritzungen jeweils die nächste Marke, deren Auflösung von den Instrumentenbauern weltweit die Konstruktion der nächsten Generation von Mikroskopen erforderlich machte. Seine letzten Gravuren waren schließlich so fein und dicht, dass sie mittels der Lichtmikroskopie nicht mehr aufgelöst werden konnten. Der Nachweis der wirklichen Existenz dieser Gravuren erfolgte erst in den 1960er Jahren mit Hilfe eines Elektronenmikroskops unter Anwendung der hierbei üblichen Präparationsverfahren, wie sie auch Feynman für die Sichtbarmachung der miniaturisierten Enzyklopädie vorgeschlagen hatte (Turner & Bradbury 1966, Turner 1880b).

⁸ Außer auf Glasplatten existierten auch Mikrometer aus Metall, Elfenbein, Horn und Perlmutter von Coventry und von Barton mit bis zu 10 000 Linien pro Inch (Goring & Pritchard 1837, S. 42ff).

⁹ Zu seiner Arbeit an den Beugungsgittern siehe Nobert 1852a/b. Diese Untersuchung lässt allerdings eine genauere Betrachtung dieser Gitter außen vor, insbesondere da die Kreisteilmaschine von Nobert vornehmlich für die Herstellung von Testplatten entwickelt worden war. Zur Betrachtung seiner Beugungsgitter siehe Hentschel 1998, S. 84-95.

¹⁰ Allerdings empfiehlt H. van Heurck (1838-1909) noch 1869, dass die Testplatten mit 20 Diatomeen von M. Moller bis zu einem gewissen Punkt den Test von Nobert ersetzen könnten. Diese Empfehlung mag auch der Tatsache geschuldet sein, dass Noberts Testplatten sehr teuer waren, was zweifelsohne dem Aufwand ihrer Produktion geschuldet war. So kostete 1880 die Platte mit 19 Streifenbändern immerhin 8£ während die feinste Platte bis zu 15£ kostete (Turner & Bradbury 1966, S. 436).

¹¹ Die „Pariser Linie“ war ein Maß der kontinentalen Instrumentenbauer und ist äquivalent zu 2.25583 mm (Nobert 1846, S. 174f). Auch A. Oertling bemerkte in seinem Gutachten, dass Noberts Methode „ihrem Wesen nach nicht neu“ war. Sie sei dem Verfahren, welches „Reichenbach in *Gilbert's Annalen*, Jahrgang 1821, beschrieb, [...] vollkommen identisch, während sie dem Prozedere des Herzog von Thaulnes und des Kapitain Kater ähnlich sei.“ (Oertling bei Nobert 1845, S. 212). Als weiterer Vorläufer der mikrometrischen Glasritzungen ist vor allem Georg Friedrich Brander (1713-1783) zu nennen. Siehe hierzu Brachner 1983. Turner (1980b, S. 155) bemerkt, dass der Ursprung einer solchen Maschine auf Robert Hooke zurückgeht. Diese wurde für die Herstellung gleichmäßiger Zahnräder entwickelt.

5. Die Verschränkung der Bücher: das geheiligte Wort als Mikro-graphem

Dennoch wurden auch die Qualität und Zuverlässigkeit von Noberts Testplatten in Zweifel gezogen. Der englische Mikroskopiker William Webb verfasste eine Kritik an Noberts Linienbändern, die darauf fußte, dass bei steigender Auflösung und Feinheit der Linienbänder die Gravuren ineinander übergehen müssten. Je dichter die Linien aneinander gesetzt wurden, umso geringer wurde der Abstand zwischen den einzelnen Linien, bis sie – laut Webbs Aussage – ineinander übergehen müssten (Webb 1873).

Webb hatte ein ganz eigenes Interesse, Noberts Streifenplatten zu diskreditieren, hatte er doch selbst vermeint, „The best, the most simple, and unerring test for objectives“¹² präsentieren zu können. Auch sein Verfahren wandte sich von den natürlichen Probeobjekten ab, jedoch wollte er die mikrometrische Objektivität nicht auf Maß und Zahl zurückführen. Webb wollte die instrumentelle Sicht wieder mittels Schriftzeichen evaluieren und damit an das Wort Gottes anbinden:

For my purpose I engrave a series of plates with letters measuring from on two hundred thousandths of an inch to one two hundred millionths of an inch. Each engraving is of the Lord's Prayer, varying only in size ... (Webb 1872, S. 113)

Es war ein derartiges Lord's Prayer, auf das sich Feynman zu Mitte des folgenden Jahrhunderts beziehen sollte. Dabei stellte Webb eine Aufrechnung von Buchstaben vor, ebenso wie es später Feynman an der Enzyklopädie vornehmen sollte. Er definierte zunächst, aus wie vielen Buchstaben das Alte und das Neue Testament zusammen bestünden, nämlich insgesamt 3.566.480, und rechnete daran aus, bis zu welcher Größe der Ritzung wie viele Buchstaben auf einem Inch (2,54 cm) Platz fänden. Die Schrift der Bibel wurde hier zur Maßeinheit mikroskopischer Auflösung. Dabei verwendete er – im Gegensatz zu Feynman – fast ausschließlich ausgeschriebene Zahlwörter anstelle der numerischen Schreibweise. Das bedeutete bei den hier erreichten Auflösungen, dass sich lange Wortkaskaden für die Zahlen aneinander reihten. So führte Webb beispielsweise aus, welchen Raum ein einzelnes „e“ einnahm, nämlich „the two hundred and thirteem million nine hundred and eighty-eight thousand eight hundredth of an inch“ (ebd., S. 114).

Das erste Buch Gottes wurde auf die Leseebene des zweiten Buches, des der Natur, hinabskaliert und als Auflösungstest verwendet. Dabei war Webb nicht der einzige Mikroskopiker, der im 19. Jahrhundert das mikroskopisch geritzte „göttliche Wort“ als Maßeinheit der Auflösung verwendete. Im Jahr 1873 berichtet Joseph Janvier Woodward (1833-1884) von einem Mr. Peters, von dem er durch den Präsidenten der Royal Microscopical Society, Mr. Farrants, erfahren habe (Woodward 1873, S. 229). Peters hatte eigenen Aussagen zufolge gravierte Schrift hergestellt, die er als „executed at the rate of twenty-two Bibles to the inch“ bezeichnete (ebd.).

Eine mikrometrische Platte mit solch gravierter Schrift, die Farrants selbst mit Hilfe dieser Maschine angefertigt hatte, befindet sich heute im Deutschen Museum in München. Die Testplatte ist mit „The Lord's Prayer“ beschriftet und zeigt unter dem Mikroskop in der Tat eine vollständige Gravur der englischen Version des „Vater Unser“ (Abbildung 3).¹³ Die Schrift war in einer Kreisform erstellt, damit sie in maximaler Auflösung in dem Okularausschnitt eines Mikroskops erscheinen konnte. Unter-

¹² So lautete bereits der Titel von Webb 1872.

¹³ Mein ausdrücklicher Dank gilt an dieser Stelle Dr. Christian Sichau, der mich auf die Platte aufmerksam machte, und Heidrun Schoel sowie Klaus Macknapp für die Anfertigung und Bereitstellung der Ablichtungen.

zeichnet ist dieses Rund mit den ebenfalls eingravierten Worten: „Written (with W. Peter’s machine) by R J Farrants City Road London 124“.

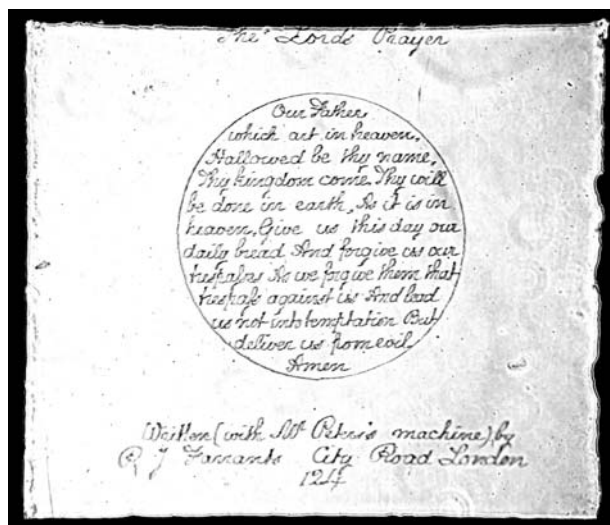


Abbildung 3: Vergrößerung einer mikroskopischen Testplatte mit der Gravur des *Lord's Prayer* (privates Bildarchiv des Autors).

6. Maschinelle Schrift im Mikrokosmos

Es handelte sich bei diesem Übertrag von Schrift in den Mikrokosmos um den Transfer einer Handschrift, wie eine mikroskopische Untersuchung der Platte unschwer erkennen lässt. Bei der dazu verwendeten Apparatur, „Peter’s machine“, handelte es sich wohl um einen Pantografen, dessen Schreibarm mit einem Gravurdiamanten besetzt war. Dieses Instrument wurde bereits 1603 von Christophorus Scheiner (1573-1650) entwickelt und ließ sich für Perspektivkonstruktionen sowie zur Herstellung vergrößerter und verkleinerter Kopien verwenden (Frieß 1993, S. 117ff).

Der Pantograf bestand aus einem Parallelogramm mechanisch beweglicher Stangen, die an einem Punkt (X) fixiert waren. In Abhängigkeit der Verhältnisse der Stangen ließ sich eine Zeichnung oder ein Schriftbild, das auf der rechten Seite in bcd nachgezogen wurde, auf die Ebene Z verkleinert übertragen (Abbildung 4).

Dabei ging auch dieses Schreiben des göttlichen Wortes in den Mikrokosmos, das Übereinanderbringen der beiden Bücher, bereits auf eine Tradition zurück, die bis in das 17. Jahrhundert zurückverfolgbar ist. So beschrieb Hooke bereits mikroskopische Schriftstücke, die Bibelstellen und das Vater Unser zeigten:

Nay, having view'd certain pieces of exceeding curious writing of the kind one of which in the bredth of a two-pence compris'd the Lord's Prayer, the Apostles Creed, the ten Commandments, and about half a dozen verses besides of the Bible, whose lines were so small and near together, that I was unable to number them

with my naked eye, a very ordinary Microscope, I had then about me, inabled me to see that what the Writer of I had asserted was true... (Hooke 1665, S. 3)

Hooke fuhr fort in einer Beschreibung der Qualität dieser Schrift, die sich allerdings in ihrer Perfektion als ebenso wenig vollendet erwies, wie die zuvor untersuchten herkömmlichen Schriftstücke:

... but withall discover'd of what pitifull bungling scribbles and scrawls it was compos'd, Arabian and China characters being almost as well shap'd, yet thus much I must say for the Man, that it was for the most part legible enough, though in some places there wanted a good fantasy well preposed to help one through. (Ebd.)

Hooke beendete diese Ausführungen mit der Projektion einer Verbesserung dieser Schrift und entwarf die Vision der Einsetzbarkeit eines derartigen mikroskopischen Schreibverfahrens, eine Vision von – in Feynmans Worten – „manipulating and controlling things on a small scale“:

If this manner of small writing were made easie and practicable (and I think I know such a one, but have never yet trial of it, whereby one might be inabled to write a great deale with much ease, and accurately enough in a very little room) it might be of very good use to convey secret Intelligence without any danger of Discovery or mistrusting. (Ebd.)

Die Vision des Mikroskopikers aus dem 17. Jahrhundert hob neben der Informationsspeicherung gerade den Topos der Unsichtbarkeit hervor. Die Information erschloss sich nur dem Eingeweihten, der sie mit dem bewaffneten Auge gleichsam dechiffrierte, wie es den geheimen Diensten von Nutzen sein konnte.

Bei dem Instrument, von dem Hooke berichtete, dass er es kenne aber noch nicht benutzt habe, handelte es sich aller Wahrscheinlichkeit nach um einen Pantografen nach Scheiner, der seine Erfindung 1631 der Öffentlichkeit vorgestellt hatte (Scheiner 1631).

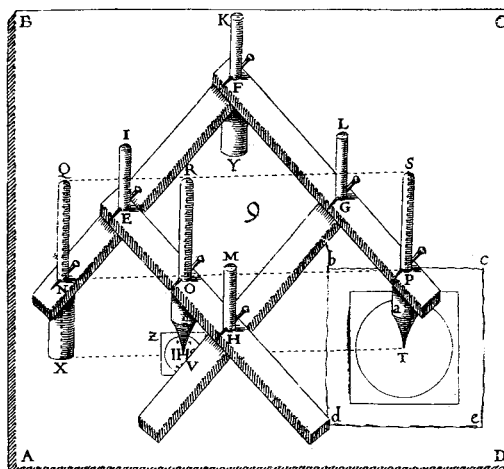


Abbildung 4: Der Pantograf von Scheiner (1631).

7. Das Licht trägt das Wort Gottes in den Mikrokosmos: von der mechanischen zur optisch-chemischen Speicherung von Schrift im Mikrokosmos

Der mechanische Übertrag von Gottes Schrift in den Mikrokosmos war mit einem nicht unerheblichen Aufwand verbunden, der ein hohes Maß an handwerklichem Geschick erforderte. Doch bereits als Webb seine Platten mit den Gravuren des „Vater Unser“ produzierte existierte eine weitere Methode, die Schrift Gottes in den Mikrokosmos zu transferieren. Im Jahr 1839 stellte John Benjamin Dancer (1812-1887) seine ersten mikroskopischen Fotografien auf Daguerre Platten her. Zwar gelang ihm eine Reduktion der Größe um den Faktor 1:160, doch die produzierten Bilder waren noch nicht für die Betrachtung durch das Mikroskop geeignet. Dies ging hauptsächlich auf die grundlegende Struktur des Bildes zurück: Die mikroskopische Vergrößerung konnte wegen der Dimensionen der Quecksilberpartikel nicht über das 20fache erhöht werden (Bracegirdle & McCormick 1993, S. 5).

Im Jahr 1851 machte Frederick Scott Archer (1813-1857) die Erfindung des Kollodium-Verfahrens für die Fotografie bekannt. Dieses Verfahren konnte Dancer für wesentlich höhere Auflösungen mikroskopischer Fotografien nutzen, denn mittels des sensiblen Kollodiumfilms ließ sich ein sehr feinkörniges Bild herstellen, das dadurch auch hoch vergrößert werden konnte, ohne an Klarheit zu verlieren (ebd., S. 9). Damit war Dancer in der Lage, verkleinerte mikroskopische Platten mit einer Vielzahl von Motiven zu fertigen, die er als Neuerungen vertrieb. Sein Katalog beinhaltete 277 unterschiedliche Ansichten von allem, was der mikroskopischen Speicherung und Vergnügung würdig erschien, von Werken der Kunst über Architektur- und Naturansichten, Fotografien des Mondes und Portraits bis zu Banknoten, Literaturpassagen und religiösen Schriften. Die bereits bei Hooke zitierten Passagen, die Gebote sowie das Glaubensbekenntnis und das „Vater Unser“, wurden nun mittels des Lichts in den Mikrokosmos transferiert.

Bei der Produktion der fotografischen Miniaturen wurden stellenweise die beiden bislang analysierten Leit motive des Mikrokosmos, nämlich die Nadel und die mikroskopische Schrift Gottes, ineinander verwoben. Dies war in besonderer Weise bei zwei Platten der Fall, die Richard Suter (1864-1955) herstellte. Suter war ein bekannter Londoner Präparathersteller, der nach Dancers Tod dessen Geschäft übernahm (ebd., S. 12). Eine seiner mikroskopischen Ansichten zeigte „The Eleventh Commandment in the eye of a needle“, wie es bereits der Beschriftung der Trägerplatte zu entnehmen war. Das Nadelöhr einer Nähnadel war unter dem Mikroskop als ein dunkler Schatten in horizontaler Position zu erkennen. Durch das Oval des Öhrs war deutlich die Schrift des elften Gebotes zu entziffern: „The ELEVENTH COMMANDMENT. A NEW commandment I give unto you, That ye love one another; as I have loved you, that ye also love one another.“

Eine weitere Platte Suters zeigte „The Lord's Prayer in a pinhole“. Das „Vater Unser“ war kreisförmig geschrieben, wie es bereits bei der gravierten Version von Webb der Fall gewesen war. Dieser Kreis war gerahmt von einer sich schwarz abzeichnenden Fassung, in deren Mitte die Schrift sichtbar wurde. Auf diese Weise entstand der Eindruck, als werde die Schrift durch ein Loch hindurch lesbar, das mittels einer Nadel in ein Blatt Papier oder Karton gestochen worden war (Abbildung 5). Dabei zeigte sich jedoch, dass sich die Ränder des Nadelstichs auf dem Bild in der gleichen Tiefenschärfe abzeichneten wie die der darunter liegenden Schrift. Dies war jedoch unter den Bedingungen mikroskopischer Beobachtung keinesfalls möglich, denn der Fokus hätte nur entweder den Papierrand oder die angeblich darunter liegende Schrift

so deutlich erfassen können. Daraus folgt, dass das Bild zusammengesetzt wurde, um diese beiden Topoi des Mikrokosmos in der Bildrhetorik einer fotografischen Aufnahme miteinander verbinden zu können.



Abbildung 5: Mikrografie des „Lord’s Prayer“, scheinbar durch ein Nadelloch hindurch (aus Braegirdle & McCormick 1993, reproduziert mit Genehmigung von James McCormick).

Dass es sich bei diesem Verfahren mikroskopischer Reduktion nicht nur um eine Technik der Belustigung handelte, die unterhaltend den Sonntagnachmittag einer viktorianischen Gesellschaft bereichern sollte, zeigte sich an mehreren Anwendungen und Verbindungen. Sir David Brewster (1781-1868), der mit Dancer in Kontakt stand, hatte derartige Platten 1856 in Rom und Florenz sowie dem Papst im Vatikan vorgestellt. Gleichfalls präsentierte er die Neuerung den Mitgliedern der Académie des sciences in Paris. Schon bald danach ließ sich der Pariser Fotograf René Prudent Patrice Dagron (1813-1900) ein Patent auf das Verfahren ausstellen und präsentierte es als seine eigene Erfindung (ebd.). Im Französisch-Preußischen Krieg war Dagron daran beteiligt, die Technik der Speicherung von Information auf kleinstem Raum gemäß Hookes Idee einzusetzen, nämlich „to convey secret Intelligence without any danger of Discovery“. Dabei überbrachten Brieftauben Mikrofilmbotschaften über die Belagerung von Paris hinweg (ebd.).

Doch dies war nicht die einzige praktische Nutzenanwendung des Verfahrens. Die Möglichkeit, grundsätzlich jede graphische Information auf kleinstem Raum zu speichern, wurde bereits zu dieser Zeit mit dem Gedanken der Wissensspeicherung verbunden. Im Jahr 1853 hatte Sir John Herschel (1792-1871) vorgeschlagen, die Technik für den Erhalt von Referenzarbeiten und Karten anzuwenden. Noch im 19. Jahrhundert verkleinerte ein New Yorker Enzyklopädieverlag 25.000 Seiten, um sie damit gegen einen Verlust durch Feuer zu schützen (ebd., S. 97).

8. Die Enzyklopädie und die *Theologia* als die höchste Form des Wissens

An das Beispiel mikroskopischer Sicherheitsspeicherung enzyklopädischen Wissens lässt sich eine Betrachtung anschließen, wie sich Feynmans Verweis auf die Enzyklopädie zu dem religiösen Hintergrund der beiden Bücher aus Gottes Feder verhält. Ein Einwand mag sein, dass mit der Forderung nach einer nanoschriftlichen Fassung der *Encyclopaedia Britannica* alle religiösen Konnotationen der vorhergehenden mikroschriftlichen Versionen des „Lord’s Prayer“ abgestreift seien. Doch gerade die Gattung der Enzyklopädie ist keinesfalls frei von diesen Verbindungen.

Wenn man mit einer Enzyklopädie wie der *Britannica* einen der Religion entgegenstehenden Impetus verbindet, ein Streben nach der Aufgeklärtheit des menschlichen Denkens, so geht dies wohl weniger auf die Geschichte der *Britannica* zurück,¹⁴ mit ihrem bereits seit 1889 gewaltigen Volumen von 24 Bänden. Diese Deutung bezieht sich vielmehr auf ein Ansehen, das seit Denis Diderots (1713-1784) und Jean Lerond d’Alemberts (1717-1783) *Encyclopédie* mit einer solchen Sammlung von Wissen in Buchform mitschwang. Diese Veröffentlichung hatte eine tiefgreifende Tendenz zur Häresie erkennen lassen. Die katholische Kirche hatte hier keinen Anteil an einer Welt der Erkenntnis, die bestimmt war von Wissenschaften, welche sich aus der Vernunft empirischer Beobachtungen speisten (Darnton 2001, S. 458). Diese kritische Haltung konnte stellenweise sogar in extreme Querverweise münden, wenn etwa unter dem Stichwort „Menschenfresser“ (Anthropophage) die Beschreibung des Kanibalismus mit dem Hinweis „siehe Eucharistie“ endete; desgleichen stand hinter den Ausführungen zur heiligen Kommunion „siehe Menschenfresser“ (ebd., S. 456).

Doch stellte die französische Enzyklopädie aus der Mitte des 18. Jahrhunderts keineswegs den Anfangspunkt enzyklopädischer Wissensbereitung in Buchform dar. Vielmehr hob sich die ketzerische Handlung gerade durch die Verwebung dieses Gedankens mit den kirchlichen Wurzeln so vehement ab. Die Ursprünge des enzyklopädischen Gedankens reichten zwar bis in die Antike (West 2002, Meier 2002), jedoch war hier eine Kollektion des Wissens noch nicht an ein Objekt gebunden, sei es in Form eines Buches oder in anderer Weise. Die Idee einer Enzyklopädie als einem singulären Objekt entstand in den 1480er Jahren innerhalb des humanistischen Kreises um Angelo Poliziano (1454-1494) (West 2002, S. 15f). Sie ging auf einen Transkriptionsfehler des griechischen Ausdrucks „*enkuklios paideia*“ in den lateinischen Manuskripten von Plinius und Quintilianus zurück. Diese eigentliche Missinterpretation verhinderte in der Folge nicht den Versuch, tatsächlich eine Enzyklopädie zu erstellen, so dass schon bald nach dem Aufkommen dieser Idee Bücher erschienen, welche das Wort „Enzyklopädie“ in den Titel aufnahmen. So trug bereits Gregor Reischs (1467-1525) *Margarita Philosophica* von 1508 das griechische Wort „*Κυκλωπαίδεια*“ im Untertitel (ebd., S. 15). Die direkte lateinische Benennung als *Encyclopaedia* erfolgte 1559 mit der *Encyclopaedia seu orbis disciplinarum tam sacrarum quam profanarum epistemon* von Paul Skalich de Lika (1534-1573) (ebd.).

Bereits mit der zweiten Tafel aus Reischs *Margarita Philosophica* zeigte sich die Verbindung des Projekts einer enzyklopädischen Wissenssammlung mit der Theologie. Die Abbildung zeigte einen Turm des Lernens, der den Aufstieg des Intellekts zu Wissen und Weisheit sinnfällig machte (Abbildung 6). Reisch skizzierte in diesem Holzschnitt den Vorgang des Lesens der Enzyklopädie als eine Bewegung durch den imaginären Raum des Turms, dessen Stationen nicht mehr von den allegorischen Figuren der *artes liberales*, sondern von den Autoritäten einzelner Wissenszweige besetzt waren. Es war die Grammatik, die am unteren linken Bildrand den Wissbegierigen zu diesem Aufstieg durch den Bau des Lernens geleitete. Sie hielt ihm mit der rechten Hand eine Tafel mit dem Alphabet entgegen, während sie sich zugleich anschickte, mit dem Schlüssel in ihrer Linken das Tor des Turmes zu öffnen.

Die dargestellte Architektur symbolisierte den Vorgang des Lernens als eine Bewegung durch die Zeit, in der ein Schüler die Durchwanderung der Turmstruktur entlang der einzelnen Stationen vornahm. Dabei bezeichneten die am Turm angebrachten Schriftbänder die Autoritäten der einzelnen Stufen dieses Aufstiegs als kanonisierte

¹⁴ Siehe „The Strange History of the Britannica“ in Stockwell 2001, S. 110ff.

Autoren der *artes liberales*. Zu Beginn waren es Donatus und Priscian, welche in der Basis des Turms die Grundlagen zu einem weiteren Aufstieg im Turm legten. Dieses Erklimmen erfolgte dann über die Schriften von Autoren wie Cicero, Euklid, Ptolemaios und Seneca. Die Spitze des Turms wurde von der *Theologia* gebildet, repräsentiert durch Petrus Lombardus (gest. 1160). Damit skizzierte der Prior der Freiburger Kartause Reisch bereits zu Beginn eines direkt als Enzyklopädie bezeichneten Kompendiums eine Hierarchie des Lernens, bei der das gesammelte Wissen gleichsam der Theologie als Fundament diente.



Abbildung 6: Der Turm des Lernens aus Reisches *Margerita Philosophica* (aus West 2002, reproduziert mit Genehmigung von Cambridge University Press).

Ebenso war auch das universale Wissenschaftsmodell des Guillaume Postel (1510-1581) begründet, das er 1547 in der *Pantenusia* entwarf. Hierbei wurde die Enzyklopädie im Kontext der Theorie einer göttlichen Ursprache zu einer Form der Erlösung, die durch die Harmonisierung der Diversifikation zu einer ursprünglichen Weisheit vor der Erbsünde Adams zurückführen sollte (Schmidt-Biggemann 2002).

Nicht allein der Inhalt, sondern auch bereits der grundlegende strukturelle Aufbau der Enzyklopädien war häufig von religiöser Prägung. So orientierte sich beispielsweise eines der Strukturmodelle enzyklopädischer Ordnung gemäß der biblischen *Genesis* am Sechstageswerk. Diese Struktur besaß über das Mittelalter hinaus eine hohe Autorität und fand vielfach Anwendung, denn sie war biblisch legitimiert und konnte darüber hinaus durch die Korrespondenz von sechs Tagen und sechs Weltaltern eine Brücke

zwischen Kosmologie und Heilsgeschichte schlagen (Meier 2002, S. 514f). Bereits Isidor von Sevilla (um 560-636) hatte in *De natura rerum* einen derartigen Werkbeginn erwogen, nachdem er den Ursprung des Wissens und der Dinge in Gott definiert hatte (ebd.). So zeigt sich im Gesamtbild, dass die Geschichte der enzyklopädischen Speicherung von Wissen eng verbunden ist mit religiösen Leitmotiven.

9. Schlussfolgerung: Visionen brauchen Geschichte

Die Resultate belegen, dass Richard Feynmans Vision verschiedene Topoi in einer Kombination zusammensetzte, die bereits über hunderte von Jahren in der Geschichte der „Kleinsicht“¹⁵ wirksam waren. Die grundlegende Wirkung von Feynmans Vision speiste sich aus der Geschichte der historischen Vorläufer, wobei die visionären Aspekte seiner Forderung darauf beschränkt blieben, anhand der existierenden Topoi weiter in die Tiefe der Mikromanipulation zu skalieren.

So entfaltete das Leitmotiv der Nadel gerade durch eine lange Tradition seine Wirksamkeit. Einerseits band die Nadel die Präsentation an den Augenschein an, sie wurde zu einer Vergleichskala, einer Maßeinheit. Andererseits entwickelte vor allem der Gedankenkreis um den Vergleich von Gottes Schöpfung mit den Möglichkeiten menschlicher Kunstfertigkeit in der Tradition seine Wirkung. Der Vergleich von Kunst und Natur unter dem Mikroskop, der im 17. und 18. Jahrhundert zu Erstaunen über die Perfektion der Natur und damit zu religiöser Ehrfurcht geführt hatte, wurde später in der Geschichte der Mikrometrie des 19. Jahrhunderts zu einem Ansporn, in den Fähigkeiten der Mikromanipulation die Feinheit der Natur noch zu übertreffen.

Ebenso stehen die heutigen Schriftzeichen auf atomarer Ebene in einer direkten Tradition vorhergehenden Schreibens im Mikrokosmos. Die Entstehung und Geschichte dieser Schriftlichkeit in möglichst kleinen Dimensionen steht in einem direkten Zusammenhang mit dem zweiten Buch Gottes und damit mit religiösen Motiven. Nicht nur die Gedanken des Physikers konnten wohl nur vor diesem Hintergrund entstehen, auch die Rezeption seiner Forderung konnte nur in einem gedanklichen Umfeld fruchtbar werden, das mit dem Topos überhaupt umzugehen wusste, weil er bereits durch geschichtliche Vorläufer etabliert und verankert war.

Damit zeigt sich, dass die Grundlage von Feynmans naturwissenschaftlicher Vision auf Motive zurückging, die über die Mikroskopiegeschichte bis in die Religion reicht. Eine strikte Trennung zwischen diesen religiösen Momenten mikroskopischer Wissenschaft und den Bereichen einer nanotechnologischen Forschung auf der Grundlage von Feynmans Vision wird somit problematisch. Der Folgeschritt einer technologischen Entwicklung braucht immer die Anbindung an bereits zuvor bekannte Elemente, um sich entlang dieses Halts weiter entwickeln zu können. Wäre eine Vision völlig frei von derartigen Anbindungen, so würde sie keinerlei Resonanz in einer wissenschaftlichen Gemeinschaft evozieren und damit auch nicht zu einer Handlungsdirektive werden. Ohne eine Definition des bislang Möglichen ist keine Prospektion denkbar und so braucht die Vision Geschichte, um überhaupt ihre Wirkmacht entfalten zu können.

¹⁵ Das Wort „Mikroskopie“ setzt sich zusammen aus dem Griechischen „*mikrós*“ (klein, kurz, gering) und „*skopía*“ (die Beobachtung, Spähen von hoher Warte aus). In diesem ursprünglichen Wortsinn kann das Wort noch immer für den Bereich der Auflösung auf Nanoebene verwendet werden.

Literaturverzeichnis

- Baker, H. (1769): *The Microscope Made Easy*, London.
- Blumenberg, H. (1986): *Die Lesbarkeit der Welt*, Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Bracegirdle, B. & McCormick, J.B. (1993): *The Microscopic Photographs of J.B. Dancer*, Chicago: Science Heritage.
- Brachner, A. (1983): *G.F. Brander 1713-1783. Wissenschaftliche Instrumente aus seiner Werkstatt*, München: Deutsches Museum.
- Darnton, R. (2001): „Eine kleine Geschichte der Encyclopédie und des enzyklopädischen Geistes“, in: A. Selg & R. Wieland (Hg.), *Die Welt der Encyclopédie*, Frankfurt/M.: Eichborn, S. 455-464.
- Dennis, M.A. (1989): „Graphic Understanding: Instruments and Interpretation in Robert Hookes Micrographia“, *Science in Context*, 3, 309-364.
- Feynman, R. (1960): „There's plenty of room at the bottom“, *Engineering and Science*, 23, 22-36 [http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html] (19.10.2005).
- Frieß, P. (1993): *Kunst und Maschine. 500 Jahre Maschinenlinien in Bild und Skulptur*, München: Deutscher Kunstverlag.
- Fritsch, G.T. & Müller, O. (1870): *Die Sculptur und feineren Structurverhältnisse der Diatomaceen mit vorzüglicher Berücksichtigung der als Probeobjecte benutzten Species; 12 Tafeln mikrographischer Abbildungen*, Berlin: Müller.
- Goring, C.R. (1827): „On Artificial Cobwebs for Micrometer“, *The Quarterly Journal of Science, Literature, and Art*, 22, 81-83.
- Goring, C.R. (1827): „On Mr. Tulley's thick aplanatic object-glasses for diverging rays; with an Account of a few microscopic test-objects“, *The Quarterly Journal of Science, Literature, and Art*, 22, 265-284.
- Goring, C.R. & Pritchard, A. (1837): *Micrographia*, London: Whittaker.
- Griendel von Ach, J.F. (1687): *Micrographia nova*, Nürnberg.
- Harting, P. (1866): *Theorie und allgemeine Beschreibung des Mikroskopes*, Braunschweig: Vieweg.
- Hentschel, K. (1998): *Zum Zusammenspiel von Instrument, Experiment und Theorie*, Hamburg: Kovac.
- Hertel, C.G. (1716): *Vollständige Anweisung zum Glass-Schleiffen*, Halle: Renger.
- Heurck, H. van (1869): *Le Microscope*, Brüssel: Baggerman.
- Hooke, R. (1665): *Micrographia, or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries thereupon*, London: Martyn & Allestry.
- Ledermüller, M.F. (1763): *Mikroskopische Gemüths- und Augenergötzung*, Nürnberg: Winterschmidt.
- Meier, C. (2002): „Enzyklopädischer Ordo und sozialer Gebrauchsraum. Modelle der Funktionalität einer universalen Literaturform“, in: C. Meier (Hg.), *Die Enzyklopädie im Wandel vom Hochmittelalter bis zur Frühen Neuzeit*, München: Fink, S. 511-532.
- Nicolson, M. (1934-1935): „The Microscope and English Imagination“, *Smith College Studies in Modern Languages*, Vol. XVI, 3, 22-37.
- Nobert, F.A. (1845): „Ueber Kreistheilung im Allgemeinen und über einige, bei einer Kreistheilmaschine angewendete, Verfahren zur Erzielung einer großen Vollkommenheit der Theilung derselben. Nebst einem Gutachten des Herrn Oertling“, *Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses in Preussen*, 24, 202-215.
- Nobert, F.A. (1846): „Ueber die Prüfung und Vollkommenheit unserer jetzigen Mikroskope“, *Annalen der Physik und Chemie*, 67, 173-185.
- Nobert, F.A. (1852a): „Die Interferenz-Spectrumplatte“, *Annalen der Physik und Chemie*, 85, 80-83.
- Nobert, F.A. (1852b): „Ueber eine Glasplatte mit Theilungen zur Bestimmung der Wellenlänge und relativen Geschwindigkeit des Lichts in der Luft und im Glase“, *Annalen der Physik und Chemie*, 85, 83-92.
- Nobert, F.A. (1882): „Die höchste Leistung des heutigen Mikroskops und seine Prüfung durch künstliche und natürliche Objekte“, *Mittheilungen aus dem naturwissenschaftlichen Vereine von Neu-Vorpommern und Rügen in Greifswald*, 13, 92-105.
- Scheiner, C. (1631): *Pantographice seu ars delineandi res quaslibet per parallelogrammum lineare seu cavum mechanicum, mobile*, Rom: Grignani.
- Schickore, J. (2003): „Cheese mites and other delicacies: the introduction of test objects into microscopy“, *Endeavour*, 27 (Nr. 3), 134-138.
- Schmidt-Biggemann, W. (2002): „Guillaume Postels christologische Enzyklopädie“, in: C. Meier (Hg.), *Die Enzyklopädie im Wandel vom Hochmittelalter bis zur Frühen Neuzeit*, München: Fink, S. 409-419.
- Sollitt, J.D. & Harrison, R. (1854): „On the Diatomaceae found in the vicinity of Hull“, *Quarterly Journal of Microscopical Science*, 2, 61-64.
- Stockwell, F. (2001): *A History of Information Storage and Retrieval*, Jefferson, NC & London: McFarland.
- Turner, G. L'E. (1980a): „The History of Optical Instruments“, in: ders., *Essays on the History of the Microscope*, Oxford: Senecio, S. 31-72.

- Turner, G. L'E. (1980b): „The contributions to science of Friedrich Adolph Nöbert“, in: ders., *Essays on the History of the Microscope*, Oxford: Senecio, S. 141-158.
- Turner, G. L'E. & Bradbury, S. (1966): „An electron microscopical examination of Nöbert's finest test-plate of twenty bands“, *Journal of The Royal Microscopical Society*, 85 (Nr. 4), 435-447.
- Webb, W. (1872): „The best, the most simple, and unerring tests for objectives“, *The Journal of the Quekett Microscopical Club*, 3, 113-116.
- Webb, W. (1873): „On Nöbert's Tests“, *The Journal of the Quekett Microscopical Club*, 3, 155-160.
- West, W.N. (2002): *Theatres and Encyclopedias in Early Modern Europe*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Woodward, J.J. (1873): „On some photographs of microscopic writing“, *The Journal of the Quekett Microscopical Club*, 3, 228-229.