

Andrea Sick

Viren „bilden“

Visualisierungen des Tabakmosaikvirus (TMV) und anderer
infektiöser Agenten

aus:

Sichtbarkeit und Medium.

Austausch, Verknüpfung und Differenz naturwissenschaftlicher und
ästhetischer Bildstrategien

Herausgegeben von Anja Zimmermann

Seiten 255–287

Impressum für die Gesamtausgabe

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Diese Publikation ist außerdem auf der Website des Verlags Hamburg University Press *open access* verfügbar unter <http://hup.rrz.uni-hamburg.de>

Die Deutsche Bibliothek hat die Netzpublikation archiviert. Diese ist dauerhaft auf dem Archivserver Der Deutschen Bibliothek verfügbar unter <http://deposit.ddb.de>

ISBN 3-9808985-9-8 (Printausgabe)

© 2005 Hamburg University Press, Hamburg

<http://hup.rrz.uni-hamburg.de>

Rechtsträger: Universität Hamburg

Produktion: Elbe-Werkstätten GmbH, Hamburg

<http://www.ew-gmbh.de>

Inhalt

| | |
|---|-----|
| Zur Einleitung | 9 |
| <i>Anja Zimmermann</i> | |
| Bildtechniken | 19 |
| Mikroskopie in populärwissenschaftlichen Büchern des 17. und 18. Jahrhunderts | |
| <i>Angela Fischel</i> | |
| Heilig oder verrückt? | 47 |
| Die Visualisierung von Ekstase in Kunst und Medizin im Frankreich des 19. Jahrhunderts | |
| <i>Simone Schimpf</i> | |
| Bilder von Medien | 73 |
| Der wissenschaftliche Okkultismus und seine fotografischen Dokumente | |
| <i>Joseph Imorde</i> | |
| Medium, Technik, Medientechnik | 115 |
| Zur Debatte um die Geisterfotografie im ausgehenden 19. Jahrhundert | |
| <i>Anette Hüscher</i> | |
| Visualisierungen der physischen Anthropologie um 1900 | 129 |
| <i>Christine Hanke</i> | |
| Die Kunstgeschichte und ihre Bildmedien | 151 |
| Der Einsatz von Fotografie und Film zur Repräsentation von Kunst und die Etablierung einer jungen akademischen Disziplin | |
| <i>Barbara Schrödl</i> | |
| Fotografie und Lichtbild: Die ‚unsichtbaren‘ Bildmedien der Kunstgeschichte | 169 |
| <i>Ingeborg Reichle</i> | |

| | |
|--|-----|
| Die Allianz von Naturwissenschaft, Kunst und Kommerz in Inszenierungen des Gorillas nach 1900 | 183 |
| <i>Britta Lange</i> | |
| Durch Fotografien überzeugen | 211 |
| Die Pflanzenfotografien des Folkwang-Auriga-Archivs im Spannungsfeld von naturwissenschaftlicher und künstlerischer Bildgestaltung | |
| <i>Wiebke von Hinden</i> | |
| Bild und Zahl | 231 |
| Das Diagramm in Kunst und Naturwissenschaft am Beispiel Wassily Kandinskys und Felix Auerbachs | |
| <i>Karin Leonhard</i> | |
| Viren „bilden“ | 255 |
| Visualisierungen des Tabakmosaikvirus (TMV) und anderer infektiöser Agenten | |
| <i>Andrea Sick</i> | |
| Beitragende | 289 |
| Abbildungsnachweis | 295 |

Viren „bilden“

Visualisierungen des Tabakmosaikvirus (TMV) und anderer infektiöser Agenten

Andrea Sick

Welche Funktion kommt der Sichtbarmachung im Prozess der Modell- und Wissensbildung der Labore zu und welche Technik bringt den sichtbaren Gegenstand hervor? Hier sollen die Bedingungen der Sichtbarkeit ebenso wie auch die Funktion der Bilder im Labor rekonstruiert werden. Ich spreche in diesem Kontext von Sichtbarmachen an Stelle von Repräsentieren, da das Sichtbarmachen das Abbilden nicht als notwendigen Bezugspunkt benötigt. Dabei wird entscheidend sein, die Wechselwirkungen von Medientechnik, Sichtbarmachung und Modellbildung zu verfolgen. Welche Bedeutung nehmen die Gegenstände im hier zu beschreibenden Experimentalsystem der Labore ein, wenn es in den Laboren um die Produktion von visuellen Effekten geht?¹

Anhand der Geschichte der Modellierung und Sichtbarmachung des Tabakmosaikvirus (TMV), eines Pflanzenvirus, soll exemplarisch dargestellt werden, inwiefern Bilder in ihrer Gestaltgebung im Laborprozess erfunden werden, inwiefern das Virus gebildet wird. Theoretischer Ausgangspunkt meiner Überlegungen ist die These, dass die Sichtbarmachung immer eine „konstitutive Unsichtbarkeit“ voraussetzt, welche das Sichtbare oder Zeigbare – das heißt das Tabakmosaikvirus – rahmensetzend allererst eröffnet.² Welche Wechselwirkungen zeigen sich zwischen den beiden Betrachtungsweisen, den sichtbaren Gegenstand als etwas, was enthüllt wird, oder als etwas, was erst experimentell hergestellt wird, zu erkennen? Dass Apparate und Techniken ihr eigenes Forschungsfeld und Modell erzeugen, somit

auch unterschiedliche Formen bildlicher Evidenz, markiert die Voraussetzungen für diese Frage.

In der sich in den 1930ern und 1940ern etablierenden Virologie wurde das Tabakmosaikvirus als Ursprungsmodell³ erkannt und eingesetzt. Es wurde dessen Wirksamkeit und Funktionsweise auf andere Viren wie zum Beispiel den Influenza- oder Poliovirus übertragen. In der Rekonstruktion der Geschichte dieses Ursprungsmodells können Praktiken hervortreten, die in der wissenschaftlichen Bildpraxis Zusammenhänge zwischen Visualisierung und Erkennen offen legen. Folgende Fragestellungen möchte ich daran entwickeln:

Inwiefern bestimmen die Medientechniken die Wirksamkeit der wissenschaftlichen Visualisierungen des TMV? Welche forschungspolitischen Effekte provozieren die experimentellen Erzeugungen von Visualisierungen? Wie fungiert das TMV als visualisiertes (Ursprungs-)Modell? Welche Gründe lassen sich für die Wirksamkeit anführen? Welche Veränderungen lassen sich in der visuellen „Bildung“ des TMV erkennen?

Das Tabakmosaikvirus: Die Geschichte einer entdeckterischen Erfindung

Die Geschichte der Visualisierung des TMV reicht von der anfänglichen Beobachtung der dunkel- und hellgrünen Fleckenzeichnung befallener Tabakblätter, also dem Erkennen des Virus aufgrund der Symptome einer infektiösen Erkrankung, die sich als Verfärbung zeigen (Abb. 1 und 2), bis hin zur experimentell erzeugten Sichtbarmachung des aktiven TMV-Komplexes, der Mutationen hervorbringt. Die Phase von 1930 bis 1950, die zunächst im Fokus meines Interesses steht, ist noch gekennzeichnet durch die Etablierung eines Labors biophysikalischer und biochemischer Analytik, das das TMV als Grundschema für andere virale Agenten hervorbringt. Die Geschichte der Erforschung der Tabakmosaikkrankheit entfaltet sich zwischen Verfahren zur Analyse und Produktion, deren Grundlage die Isolation und Sichtbarmachung einer zu identifizierenden Einheit ist – durch Form, Größenverhältnisse und Baustruktur bestimmt. Erst in aktuelleren Visualisierungen werden auch die viralen Prozesse dieser erkannten Einheit, das heißt auch ihre Veränderungen, als vornehmlich animierte Bildfolgen sichtbar gemacht.

Für die anfängliche Visualisierung des TMV sind die Forschungsarbeiten des Chemikers Wendell Stanley bestimmend, die die Wissenschaftsforscherin Angela Creager in dem Buch *The Life of a Virus*⁴ ausführlich dargelegt hat. Sie beschreibt die Entwicklung des TMV-Komplexes als Wechselspiel zwischen Laborstätte, Förderern, staatlichen Gesundheitszielen und Forscherambitionen, wenn sie zeigt, wie dieses Pflanzenvirus die Funktionsmechanismen vieler anderer Viren erklären konnte und insofern eine große Rolle für die Entwicklungen in der Molekularbiologie spielte. Das TMV wurde, wie auch Christina Brandt in ihrer Arbeit zum TMV-Komplex an den Max-Planck-Instituten nachweist, zum bevorzugten Objekt experimenteller Forschungen an der Schnittstelle von Biochemie, Biophysik und Genetik.⁵

Ich möchte zwei zentrale Techniken und ihre Bedeutung im Zusammenhang mit der Modellierung des TMV-Komplexes rekonstruieren: die Technik der Ultrazentrifuge, ein Verfahren zur Isolation, und die Technik des Elektronenmikroskops, ein Verfahren zur Visualisierung von isolierten Einheiten und Strukturen. Dabei soll auch deutlich werden, inwiefern diese beiden Verfahren einander bedingen, sie aber aufgrund unterschiedlicher Notwendigkeiten der Präparation auch unterschiedliche Bilder hervorbringen. Grundsätzlich sind die Darstellungsformen des TMV in den 1930er und 1940er Jahren durch diese beiden Techniken geprägt.⁶

Damit das TMV als Modell eingesetzt werden konnte, war eine Erzeugung bildlicher Evidenz notwendig: das Aufzeichnen der Visualisierungen, so dass sie als Beweismittel fungieren können – zum Beispiel die Handzeichnung, die als „Selbstabbildung“ verstandenen Mikrofotografien und das Dauerpräparat.⁷ Jede Aufzeichnung (Zeichnung, Dauerpräparat beziehungsweise Sedimente, Fotografie, Grafik) kann als Visualisierung von Eigenschaften des Gegenstandes der Untersuchung gelesen werden. In dieser Hinsicht entspricht die Visualisierung auch der Erzeugung eines Gegenstandes: TMV.

Isolieren und Kultivieren

Als Grundvoraussetzung für die Visualisierung beziehungsweise Sichtbarmachung des Virus selbst und nicht nur seiner Symptome galt seine Isolation – was ja gerade beim Virus, der mit seinem Wirt immer eine Einheit zu bilden beabsichtigt, ein geradezu unmögliches Unterfangen darstellt. Ende

des 19. Jahrhunderts erforschte ein junger russischer Botaniker namens Dimitri Iwanowski⁸ die Tabakmosaikkrankheit, indem er versuchte, den infektiösen Stoff zu isolieren. Er zerkleinerte einige erkrankte Tabakpflanzen in einer Schale und presste den Saft durch ein Leintuch. Mit der Substanz, die er erhielt, konnte er die Krankheit auf andere Pflanzen übertragen. Allerdings ging Iwanowski noch von einer bakteriellen Infektion aus (Abb. 3).⁹

Eine ähnliche Versuchsreihe zur Mosaikkkrankheit startete M. W. Beijerinck etwas später (1897). Er versuchte neben der Isolation den Krankheitserreger auch zu kultivieren, das heißt zu produzieren. Dazu verwendete er Methoden, die es Bakterien erlaubt hätten, sich zu vermehren. Aber er blieb erfolglos, es fand kein Wachstum der infektiösen Substanz statt. So musste er davon ausgehen, dass er es offensichtlich mit einem neuen Typ von Organismus zu tun hatte, der durch Filter schlüpfte, durch die andere lebende Organismen nicht schlüpften, und der sich in Bezug auf die Kultivierung wie eine chemische Substanz und nicht wie ein Mikroorganismus verhielt. Hier schon stellte sich also die Frage: Lebend oder nicht lebend? Dennoch nannte er diese neue für ihn geheimnisvolle Lebensform „contagium vivum fluidum“ (löslich lebender Keim).¹⁰ Mit dieser kühnen Namensgebung setzte er sich über das allgemein akzeptierte Dogma hinweg, dass alles Lebende aus einzelnen oder mehrfachen Zellen zu bestehen habe.¹¹ Später fand er noch heraus, dass sein so genannter „löslich lebender Keim“, um sich zu reproduzieren, erst in das „lebende“ Protoplasma der Zelle aufgenommen werden musste. Dennoch wurde das TMV aber nach wie vor aufgrund seiner Wirkung beziehungsweise seiner Symptome sichtbar, die allerdings jetzt an den durch die isolierte Substanz infizierten Pflanzen entdeckt und hergestellt werden konnten. Die vermuteten Einheiten, die Viren selbst, konnten noch nicht so isoliert werden (das heißt als homogene Einheit dargestellt und erkannt werden), dass sie als Einheiten zu identifizieren gewesen wären, wofür das Erkennen – im Sinne des Kennens einer Struktur – notwendig gewesen wäre.

TMV als reines Protein

Als Wendell Stanley¹² seine Arbeit am TMV ca. 1931 am Rockefeller-Institut in Princeton begann, war das Virus im Labor schon als Untersuchungsgegenstand etabliert und unterschieden von Bakterien. Aber um es genauer

analysieren zu können, musste es zunächst endgültig von seinem Wirt isoliert werden, damit es dann visualisiert und seine Baustruktur entwickelt werden konnte. Stanley, dem Chemiker, gelang dies, indem er das fast reine TMV kristallisierte beziehungsweise in kristalliner Form darstellte. Der Prozess der Kristallisation machte es möglich, TMV als lang gestrecktes Molekül von sehr hohem Molekulargewicht, in Folge als stäbchenförmig beschrieben, zu identifizieren. Das kristallisierte Virus gab sich Stanley als etwas zu erkennen, das sich in allen Eigenschaften wie ein chemisch reiner Eiweißstoff verhält, ohne Beimischungen von Fett, Lipoiden, Kohlehydraten und Salzen.¹³ Insofern entstand auch die These, dass das Virus nur als Proteinmolekül (Globulin) und somit als chemische Einheit und nicht als Organismus zu betrachten wäre. Es wurde fortan eher aufgrund seiner Molekularstruktur an Stelle von Krankheitssymptomen definiert. Mit dieser Hervorbringung des TMV als kristallisiertes Protein wandelte Stanley das TMV von einem biologischen Krankheitserreger zu einem chemischen Molekül, das heißt es wurde als stäbchenförmiger Kristall sichtbar. Die Form des TMV, die zu seiner Modellierung beitrug, war entdeckt. So veröffentlichte 1935 die Zeitschrift *Science* erstmalig, dass Stanley das TMV als ein stäbchenförmiges reines Protein entdeckt habe (Abb. 4).¹⁴

Retrospektiv wird deutlich, dass Voraussetzung für die Sichtbarkeit der Baustruktur des stäbchenförmigen Virus war, Wirkungsweisen zu erkennen, die in ihrer architektonischen Darstellung als Modell zu fungieren vermochten. Je genauer die chemische Substanz analysiert werden konnte, desto differenzierter konnte eine Baustruktur entdeckt werden, die die Erfindung eines allgemein gültigen TMV-Modells ermöglichte.

Forschungsobjekt

Charles S. Peirce schreibt in seinen *Semiotischen Schriften* über den Chemiker und seine Forschung: „Doch das Objekt der chemischen Forschung, das, womit er experimentiert, ist dasjenige, worauf sich seine der Natur vorgelegten Fragen beziehen, ist die Molekularstruktur, und diese hat in allen Proben eine so vollständige Identität wie sie eine Molekularstruktur ihrer Natur nach nur besitzen kann.“¹⁵ Es wird also nicht die besondere Probe – denn diese wurde wahrscheinlich nach dem Experiment weggeworfen –, sondern die Molekularstruktur, für Peirce mit dem Diagramm bezie-

hungsweise der Landkarte verwandt, von dem Chemiker erforscht und somit auch entworfen und sichtbar gemacht. Allerdings ist hierfür, das stellt Peirce auch heraus, das Erkennen einer verallgemeinerbaren Struktur an der besonderen Probe (konkretes Modell) unabdingbar. Nur so kann er davon sprechen, dass das Forschungsobjekt des Chemikers „eine Form der Relation“ sei.

So stellt sich hier die Frage: Was ist nun das Forschungsobjekt von Stanley? Ist es die, wie es Peirce nennt, „Form der Relation“, die sich in der Molekularstruktur, also im erfundenen Bauplan zeigt, oder die Probe selbst?

Hieran lässt sich zeigen, dass sich im Labor, soll ein verallgemeinerbares Modell oder Muster hergestellt werden, die Versuche des Darstellens und Erkennens notwendig kreuzen müssen. Eine paradoxe Situation stellt sich für die Viren bildende „Mustererkennung“ ein: Das Muster zeigt sich selbst, muss aber, um erkannt zu werden und etwas anzuzeigen, somit schon vorher dagewesen sein. In diesem paradoxalen Sinne besitzt das Muster selbst Zeichenfunktion. Das Muster bedarf eines Vorwissens, und diese Vorgängigkeit bestimmt das Sehen und Erkennen, wie es auch im Experimentalsystem des Chemikers Stanley deutlich wird. Mein Anliegen ist es, die paradoxe Situation des Experimentierfeldes hervorzubringen, die es zwischen Sehen und Wissen zu markieren vermag: Denn das Wissen vom Gegenstand konstituiert erst das Sehen (eines Musters, das als Gegenstand/Einheit identifiziert wird), welches aber wiederum das Wissen etabliert hat. Das Erkennen eines allgemein gültigen Musters, das zum Beispiel als TMV identifiziert wird, setzt ein schon erkanntes Muster voraus. Das Muster ist immer schon vor dem Muster. Dieses Paradoxon kann das „Scheitern einer Darstellbarkeit“ wissenschaftlicher Evidenz im Rahmen eines dualistischen Wissenssystems von Erkennen und Wissen in Anschlag bringen.¹⁶ Stanleys Veröffentlichungen zum TMV-Komplex als kristallines Protein generierten eine verallgemeinerbare Struktur, die zur Grundlage für weitere Forschungsarbeiten an TMV und anderen Viren wurde und so immer wieder ähnliche Modelle hervorbrachte. Seine Demonstration des stäbchenförmigen Proteins TMV öffnete ihm als Forscher den Weg zu neuen physikalischen Methoden beziehungsweise neuen wissenschaftlichen Kollaborationen unter anderem mit Physikern, Medizinern und Biologen, öffnete ihm den Weg zur Technik der Ultrazentrifuge, letztendlich auch um das selbst entwickelte Modell zu spezifizieren und weiter zu verifizieren. Auch wenn schon 1937 klar war, dass mit der Kristallisierung des TMV die

Selbstreproduktion nicht erklärbar wurde und dass das TMV auch kein autokatalytisches Enzym sein konnte.

Die Technik der Ultrazentrifuge

Das präparative Instrument der Ultrazentrifuge, das hohe Geschwindigkeiten (bis zu 60.000 Umdrehungen pro Minute) und Zentrifugfelder (bis zu 50.000 xg – d. h. die Zentrifugalkraft beträgt das 50.000fache der Erdbeschleunigung) erreicht, trägt zur schnellen Sedimentierung von Makromolekülen (also auch Proteinen und Nukleinsäuren) bei. So erbringt es zunächst die Isolation des gesuchten Präparats als Sediment. Das heißt, physikalische Chemiker entwickelten Ultrazentrifugen, die ein Instrument darstellen, um Information über Größe und Form von Materialien, die sich als Sedimente absetzen, zu gewinnen.¹⁷

Nachdem Stanley das TMV kristallisiert hatte und als reines Protein darstellte, suchte er nach Möglichkeiten, diese Darstellung zu beweisen, und sah dies mit dem Einsatz der Ultrazentrifuge als gegeben. Ebenso versuchte er auch das Virus mit der Ultrazentrifuge vor der Kristallisation zu präparieren. Das Bild des stäbchenförmigen reinen Protein-Virus sollte mit der Ultrazentrifuge bestätigt werden. Insofern bestimmte das schon vorhandene Bild des TMV-Komplexes die Entwicklungen der zentrifugalen Technik:

„Stanley’s adoption of the ultrazentrifuge had profound consequences for biochemical research on virus, but it also had implications for the design and production of the machine, which became standardized for molecular biological research in the 1940s.“¹⁸

Die Ultrazentrifuge sollte also sowohl die Technik der Kristallisation weiterführen als auch Stanleys Visualisierung des TMV verifizieren. Doch die experimentellen Ergebnisse sahen zunächst anders aus: Stanley erhielt von dem schwedischen Entwickler Theodor Svedberg, dem er zunächst Priorität gab, nicht die entsprechenden Bilder, die das TMV als homogenes Protein darstellten. Mit Svedbergs analytischer ölangetriebener Ultrazentrifuge wurden nicht die erwarteten und notwendigen Visualisierungen für Stanleys Beweisführung hergestellt, denn Svedberg erkannte in den Sedimenten zu unterteilende Untergruppen, die dem homogenen Modell Stanleys zu widersprechen schienen. Und so musste Stanley sich noch anderen Techni-

kern und Techniken der Ultrazentrifuge zuwenden, die die entsprechenden Bilder produzieren sollten. J. W. McBain zeigte dann auch mit seiner eher präparativen luftangetriebenen Ultrazentrifuge zu Stanleys Befriedigung und zur Untermauerung seiner Hypothese das TMV homogen, also als Einheit aus Proteinen. Inwiefern aber diese Homogenität abhängig von der Präparation war, die auch notwendig vor der Fraktionierung mit der Ultrazentrifuge stattfand, wurde nicht diskutiert.

Deutlich wird: Es gab unterschiedliche Ergebnisse in unterschiedlichen Laboratorien. Und es wurden selbstverständlich die Ergebnisse befördert und favorisiert, die die eigene These Stanleys unterstützten und erneut hervorbrachten. Die Ergebnisse des Chemikers bestimmten so die technischen Entwicklungen in der Zentrifugenkonstruktion. Die Ultrazentrifuge, ursprünglich zur Analyse gedacht, wurde angepasst, um das Virus als Makromolekül zu präparieren. Da Stanleys Forschungsergebnisse am TMV als verallgemeinerbare Modelle fungierten, übernahmen viele Forscher (Militärforscher, Biologen, Tierforscher) diese Methode für die Viren, zum Beispiel auch Polio- und Influenzaviren, an denen sie forschten. Nur so konnte sich das TMV als „Schlüssel-Virus“ entwickeln, mit einem dazugehörigen Referenzsystem und Forschungsstil, mit der dazugehörigen Technik, der Ultrazentrifuge (Abb. 5).¹⁹

Stanley fixierte nicht nur seine Forschungsergebnisse über das reine Proteinvirus TMV brillant, sondern er vermarktete sie ebenso. Dabei mischte er in allen möglichen Disziplinen mit, um die Wichtigkeit der Virusforschung zu verdeutlichen: zum Beispiel in *The Annual Review of Biochemistry*, in Robert Doerrs *Handbuch der Virusforschung*, auf dem 3. internationalen Krebskongress 1939, auf dem internationalen Kongress zur Mikrobiologie.²⁰ Oppositionelle Stimmen wie die von F. C. Bawden und N. W. Prie, die nicht davon überzeugt waren, dass sich die Virusfunktionen über die Isolation eines homogenen Virus von seinem Wirt erschließe, wurden demontiert, ebenso wie schon Svedbergs Überlegungen, dass die Einteilung des Virus in kleinere Untergruppen mehr Information über seine Funktionsweise bereitstellen könnte. Bawden und Prie, die grundsätzlich mit den Ergebnissen Stanleys übereinstimmten, sahen aber in dem gereinigten Viruskristall nicht das Modell für die Wirkungsweisen des TMV, denn, so die Argumentation, in einem solchen aggregaten Zustand konnten die unterschiedlichen Umgebungen nicht mehr berücksichtigt werden. Die Printmedien allerdings, wie zum Beispiel die *New York Times*, hoben jedoch die

positiven Effekte und Möglichkeiten hervor, die das „idealisierte Virusmodell“ Stanley für Forschungen an anderen Viren brachte:

„Before Dr. Stanley did his work, the viruses were recognized only by their effects on living plants and animals. Since 1935 he has been isolating them, whirling them in centrifugal machines and concentrating them just as cream is separated from milk in any dairy separator. [...] A tremendous forward step was taken, when these concentrates were crystallized and found to be huge protein molecules [...].“²¹

Konsequenz war: Die Zusammenarbeit von Ultrazentrifugaltechnik und Virusforschung wurde standardisiert, industrielle Instrumente produziert und es wurde weiter an der Optimierung der Technik für die Virusforschung gearbeitet.

Neben dieser Kommerzialisierung der Instrumente kamen noch neue finanzielle Unterstützungsprogramme für die Virusforschung mit der ultrazentrifugalen Technik ins Spiel, zum Beispiel von der „National Foundation for Infantile Paralysis“ (NFIP) wie auch von der US-Regierung selbst.

Da sich die Entwicklung der Technik der Ultrazentrifuge ständig so verschoben hat, dass neue sichtbare Effekte zu erwirken und neue Ergebnisse zu erzeugen waren, kann mit der Rekonstruktion der Entwicklungen dieser Technik und ihrem Einsatz in den Forschungslaboren die dynamische Instabilität eines solchen Experimentalsystems gezeigt werden. Die Offenlegung des Prozesses der Modellierung des abgegrenzten TMV als homogenes Makromolekül (als reines Protein) verweist so gleichzeitig auch auf das „Scheitern der Darstellbarkeit“ von wissenschaftlicher Evidenz.

Elektronenmikroskopie

Bei manchen Krankheiten, bei denen filtrierbare Viren involviert zu sein schienen, schien schon das Licht-Mikroskop die Existenz so genannter „Einschlusskörperchen“ enthüllen zu können. So berichtet A. Borrel 1904 über das Vorkommen kleinster korpuskulärer Elemente bei Schafpocken und Geflügelpocken, die er als Erreger dieser Krankheiten betrachtete. Ähnliche Beobachtungsergebnisse wurden von E. Paschen (1906) mitgeteilt, der menschliches Pockenmaterial untersucht hatte, was die Annahme zuließ, dass wenigstens einige Viren mit gewöhnlicher mikroskopischer Technik

sichtbar gemacht werden könnten.²² Dieser Entdeckung schloss sich zugleich eine lebhaftere Suche nach weiteren morphologischen Elementen an (Abb. 6). Allerdings bleibt der Anblick, der sich dem Betrachter bietet, so lange flüchtig, wie man ihn nicht zum Beleg für andere fotografisch oder zeichnerisch festhält.

Schon die Mikroskopierer des 19. Jahrhunderts haben die Anblicke, die ihre Instrumente ihnen boten, auf unterschiedliche Weise fixiert: in Zeichnungen und Stichen oder seit 1840 auf Mikrofotografien,²³ die eine Momentaufnahme und nicht, wie der Zeichnung zugeschrieben, eine „Gesamtanschauung“ liefern.²⁴ Eine weitere Möglichkeit war das Anlegen von Sammlungen von Dauerpräparationen. Insofern stehen Visualisierungen im Labor durch das Elektronenmikroskop (EM) in Verbindung mit den Erfindungen und Entdeckungen der Aufzeichnungen der durch das EM erzeugten Bilder, denen erst dann die Beweiskraft zur Situierung eines Forschungsergebnisses und somit auch zur Etablierung eines Modellsystems zugeschrieben wird. Eine Beweiskraft, deren Wirksamkeit eben gerne die Fiktionen, die in der Herstellung der Bilder liegen, zum Vergessen bringt, um ein Ideal von wissenschaftlicher Objektivität erfüllen zu können. Die Funktionen des hergestellten Belegs, zum Beispiel der Mikrofotografie, ließen sich nur in Relation zu dem Erfolg der Interventionen beurteilen, die zur Herstellung der Belege erforderlich waren.²⁵ Das fixierte mikroskopische Bild wird durch die Fotografie gleichsam verdoppelt, dabei aber weiter vergrößert. Insofern trägt die Vergrößerung und anschließende Aufzeichnung dieses mikroskopischen Bildes auch zu dem bei, was Walter Benjamin mit Enthüllungen des „optisch Unbewussten“ bezeichnet, welches er mit dem „Triebhaft-Unbewussten“ vergleicht, von dem man erst in der Psychoanalyse erfährt:

„So hat Bloßfeldt mit seinen erstaunlichen Pflanzenphotos in Schachtelhalmen älteste Säulenformen, im Straußfarn den Bischofsstab, im zehnfach vergrößerten Kastanien- und Ahornsproß Totenbäume, in der Weberkarde gotisches Maßwerk zum Vorschein gebracht.“²⁶

Bei der direkten mikroskopischen Betrachtung muss das Virus von dem Betrachter erkannt werden, das Mikroskop muss eine sichtbare Gestalt erzeugen, welche in Abhängigkeit zu den Einstellungen und Fähigkeiten des Betrachters steht. Diese Gestalt muss aufgrund von Vorkenntnissen vom

Betrachter zum Beispiel als TMV identifiziert werden. Der Betrachter muss sein Modell erkennen. Alle Einzelheiten der ApparateEinstellung müssen dafür standardisiert sein. Trotzdem bleibt ein recht großer Spielraum bei der Bilderzeugung, den zum Beispiel Robert Koch für die Bakterienbetrachtung bemängelt und deshalb für eine standardisierte Aufzeichnung plädiert. So beklagt er, dass „beim Mikroskopieren nicht zwei Beobachter zur gleichen Zeit dasselbe Objekt ins Auge fassen“ können.²⁷ Es schien, als ob durch die fotografische Aufzeichnung, durch die bildliche Fixierung das sichtbar gemachte Virus, eine verallgemeinerbare Gestalt erhalten werde und so als Beweismaterial fungieren könne. Die Mikrofotografien scheinen Bedingung dafür zu sein, ein allgemein gültiges Modell sichtbar zu machen. Sie tragen zur Entdeckung eines Modells bei, in dem – entsprechend der Zielsetzung der Anwender – ein Unsichtbares sichtbar gemacht wird. Gleichzeitig wird aber die konstitutive Unsichtbarkeit auch allererst im Zeigen konstituiert beziehungsweise erfunden.

In den 30er Jahren fand nun die Virusforschung durch die stark vergrößernde und hochauflösende Technik des Elektronenmikroskops (EM), mit dessen Einsatz zuerst deutschen Forschern um Ernst Ruska wichtige Schritte in der Produktion und Erfindung des Virusmodells gelangen, neue Perspektiven. Die Technik der Ultrazentrifuge und des EM scheinen sich tatsächlich im Rückblick beziehungsweise gerade auch in der Rekonstruktion des Experimentalsystems zu ergänzen, da die Zentrifuge notwendig war, um gute Präparate für das Elektronenmikroskop zu erhalten.²⁸

Unter einem Elektronenmikroskop versteht man ein Gerät, welches mit Hilfe von Elektronenstrahlen vergrößerte Bilder eines Objektes darstellt. Solche Elektronenstrahlen entstehen dann, wenn die durch Erhitzen eines Metalls im Vakuum aus der äußeren Atomhülle sich ablösenden Elektronen in den Wirkungsbereich eines elektrischen Feldes geraten, das ihnen eine Beschleunigung erteilt.²⁹

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Arten von Elektronenmikroskopen: die dem Durchlichtmikroskop gewissermaßen analogen Transmissions-elektronenmikroskope (TEM) und die etwas später entwickelten Raster-elektronenmikroskope (REM), welche mit einer Lupe oder einem Auflichtmikroskop verglichen werden können. Hier wird die dicke Oberfläche einer Probe mit einer dreidimensionalen Perspektive abgebildet. Im Gegensatz zum Durchlichtbild wird im REM der Elektronenstrahl auf einen sehr kleinen Punkt der Probenoberfläche fokussiert und die Probe dann zeilenweise

abgerastert. Die Wechselwirkung des Strahls mit der Probe erzeugt Sekundärelektronen, die benutzt werden, um das Bild zu erzeugen.

Die Elektronen werden also auf unterschiedliche Art und Weise benutzt, um Bilder zu erzeugen. Einmal wird das Bild im so genannten Abbildmodus hergestellt und erscheint umgedreht, das andere Mal entsteht das Bild durch sich entwickelnde Sekundärelektronen. Beide Techniken setzen unterschiedliche Präparation voraus, die auch wieder das visuelle Bild beeinflusst.

Damit die Proben – das relativ isolierte TMV – im Elektronenmikroskop ein visuelles Bild erbringen, müssen sie je nach Technik als dünne oder dickere Schnitte präpariert werden. Alle Proben müssen frei von Wasser, Lösungsmitteln oder anderen Stoffen sein, die im Vakuum mit Gasen die Säule verunreinigen. Zusätzlich ist ein Vakuum notwendig, denn ein Elektronenstrahl kann nicht in einer Gasatmosphäre erzeugt werden.

Die Darstellung so genannter lebender Zellen ist insofern praktisch nicht möglich, da diese zwar das Vakuum des Apparates überstehen können, jedoch durch die Austrocknung und Hitzeeinwirkung und durch die schädigende Ionisationswirkung der Elektronen rasch abgetötet werden.³⁰

Ziel war es, Form und Struktur des schon konstituierten stäbchenförmigen Tabakmosaikvirus nun auch mit dem Elektronenmikroskop sichtbar zu machen und durch die mikrofotografischen Aufnahmen zu fixieren. Sichtbarmachen heißt hier, das schon idealtypische stäbchenförmige TMV wieder zu entdecken.

Zu diesem Zweck muss das Virus bei der mikroskopischen Betrachtung erkannt werden, das heißt das Mikroskop muss eine sichtbare Gestalt erzeugen, welche in Abhängigkeit zu den Einstellungen und Fähigkeiten des Betrachters steht. Diese Gestalt muss aufgrund von Vorkenntnissen vom Betrachter zum Beispiel als TMV identifiziert werden. Der Betrachter muss sein Modell erkennen – hier das TMV –, auch mit seiner genauen Größe.

Dies war allerdings gar nicht einfach, denn bei den ersten Aufnahmen um 1939 wurden sehr große Schädigungen beobachtet. So hatte, wie Lütcke darstellt, Ruska bei der Präsentation der übermikroskopischen Aufnahmen die Aufgabe, auch hervorzuheben, dass die gefundenen Strukturen Produkte zeigten, die durch das Vakuum der Elektronenstrahlen zu Stande kamen. Lütcke vertritt insofern in seiner am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte entwickelten Arbeit zur Geschichte des Virus die These, dass der Einsatz des EM das Bild von der Virusnatur eher zu trüben als zu schärfen schien.³¹

Dennoch war es Stanleys Ziel, ähnlich wie beim Einsatz der Ultrazentrifuge das Elektronenmikroskop dazu zu nutzen, seine Interpretationen von Größe und Form des TMV, die er zuvor veröffentlicht hatte, zu unterstützen. So ist es nicht verwunderlich, dass die von E. Pfankuch und Ruska am Ende des Zweiten Weltkrieges veröffentlichten Elektronenmikrografien des Tabakmosaikvirus dieses ebenfalls als „rod-shaped structure“ (stäbchenförmige Struktur) in der von Stanley veröffentlichten Größe zeigten.³² Auch heute orientieren sich zahlreiche Publikationen in Lehre und Forschung der Virologie an diesen ersten Bildern zur Visualisierung des TMV (Abb. 7 bis 12).

Zur Visualisierung der Baustruktur von Viren (TMV) nach 1950

Wird das Virusmodell seit den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts visualisiert, wird das Virus als physikalischer Körper mit einer spezifischen Baustruktur erkannt und dargestellt, die wiederum mit unterschiedlichem Genom gefüllt beziehungsweise durch dessen Anordnung bedingt ist: ein- oder doppelsträngige RNA oder ein- oder doppelsträngige DNA. Die Baustruktur stützt sich nicht allein auf die Sichtbarmachung durch das Elektronenmikroskop, sondern auf die umfassend insbesondere seit 1950 in Laborexperimenten erforschte Molekularstruktur. Baustruktur und Genomtyp bestimmen bis heute die Systematik von Prototypen. Grundsätzlich wird die Baustruktur der Proteinhülle seit 1956 in Untereinheiten aufgeteilt. Diese Baustruktur teilt sich in zwei große Gruppen: entweder kubisch zu einem sphärischen beziehungsweise icosaedrischen Körper (Abb. 13 bis 14) oder wie das TMV und andere Pflanzenviren in helixartiger Anordnung (Abb. 15 bis 17). Allerdings werden neben dieser groben Einteilung noch weitere Prototypen unterschieden, schon allein für die RNA-Viren werden acht Strukturprototypen aufgestellt, die bis auf einen alle einsträngige RNA wie das TMV enthalten. Von der Bauansicht ist das TMV weiterhin als stäbchenförmiger Prototyp erkannt, jetzt mit einsträngiger RNA und einem zylindrischen Capsid zu beschreiben. Allerdings kann der Hohlzylinder des Capsids als eine Serie von Capsid-Untereinheiten aufgefasst werden, die wie Kringel auf einer Stange aneinandergelegt sind – von außen wie beim Maiskolben und innerhalb der Wand des Hohlzylinders wie bei einer Wendeltreppe. Diese Einteilung in Untereinheiten war ja schon von Svedberg Ende der

30er Jahre des 20. Jahrhunderts aufgrund seiner Ergebnisse mit der ölange-triebenen Ultrazentrifuge vorgeschlagen, aber von Stanley verworfen worden (Abb.15 bis 17).³³

Aufgrund der Laborexperimente der Molekularbiologie gilt TMV heute als ein Stäbchen, ohne Lipidhülle, nicht gebogen, mit einer Länge von 300 nm, einem Durchmesser von 18 nm, einem Zentralkanal von 2 nm, in helicaler Anordnung der Proteinuntereinheiten, mit einer Gangshöhe der Schraube von 2,3 nm. Seine biochemischen Eigenschaften werden durch ein einzelsträngiges Genom aus RNS bestimmt.³⁴

Trotz der heute erzeugten sichtbaren Unterschiede in der Baustruktur der verschiedenen Viren konnte das TMV lange Zeit – insbesondere von 1930 bis 1950 – als Grundmodell für Viren, aber auch als einfachste reproduzierende Einheit gelten, dessen Wirkungsweisen und Struktur für andere Viren übernommen wurden, ebenso wie auch die Techniken zu ihrer Erforschung, zum Beispiel die Technik der Ultrazentrifuge. Um also Polio- und Influenzaviren zu bekämpfen beziehungsweise Impfstoffe zu entwickeln, wurden Wirkungsweisen an den TMV-Mutanten erprobt, die als pflanzliche TMV einfacher zu präparieren sind.

Schlüsse

Die Techniken zur Isolation und Sichtbarmachung waren Voraussetzung dafür, im Labor das TMV-Modell zu entwickeln. Gleichzeitig bestimmte aber auch das TMV-Modell die Entwicklungen dieser Techniken. Dies lässt sich insbesondere an den Forschungsarbeiten von Wendell Stanley exemplifizieren.

Bei der Etablierung eines solchen Labor-Modells geht es darum, etwas zum Bild zu machen, im Sinne von „über etwas im Bilde sein“. Wir sind vermittels unserer technischen Verfahren über das jeweilige „Wissenschaftswirkliche“, hier das TMV selbst, im Bild. Im Anschluss an Jacques Lacan heißt das: Im wissenschaftlichen Wissen ist das Subjekt „im inneren Ausschluss seinem Objekt eingeschlossen“.³⁵ Mit anderen Worten: Bilder sind Bildungen, und hier sollten Bildungen der Laborbilder des TMV verfolgt werden. Im Zentrum meiner Analyse steht also nicht die Frage nach dem „Spiegeln“, sondern nach einem Sichtbar-Machen.³⁶ Das visualisierte TMV wäre in Anlehnung an Peirce als experimentell realisierte Spur, inso-

fern als Index beziehungsweise Indikator, oder auch konkretes Modell zu bezeichnen. Die Erzeugung dieses Modells habe ich hier verfolgt.³⁷

Die allgemein gültige Darstellung eines solchen Komplexes, wie es das TMV ist, muss notwendig immer eine negative sein, was heißt: Sie wird immer nur exemplarisch möglich sein. Das ist allerdings der Trick eines jeden visualisierten Modells. Das Erkennen setzt ein Muster voraus, aber ist selbst auch Voraussetzung für dessen Erzeugung. Eine paradoxe Bewegung, die das Muster in einer doppelten Struktur kenntlich zeigt,³⁸ die auch mit den Wechselbeziehungen von Entdeckung und Erfindung gebildet wird. Es wird deutlich, dass die Natur selbst in einem wissenschaftlich-technischen Sinne nur real als ein „Hingestelltes“ wirksam wird. Der Prozess der Sichtbarmachung geht nicht von der Oberfläche in die Tiefe, er konstituiert sich zwischen verschiedenen Repräsentationsräumen, als Vergleichung, Verschiebung, Hybridisierung.³⁹ Sowohl die Ultrazentrifuge wie auch das Elektronenmikroskop machen etwas verfügbar und geben keine „Darstellung von“. Sie bilden nichts ab. Die Darstellung im Sinne eines Hergestellten löst die Einteilung in Kultur und Natur, Subjekt und Objekt auf beziehungsweise treibt ihre Ununterscheidbarkeit als Modus voran.

Heute sollen die aus der Darstellung entwickelten Modelle „künstliche Viren“ erzeugen, die am lebenden Organismus geprüft werden, zum Beispiel als Transporteure für Gene. Die heutige Molekularbiologie hat hier einen weiteren Bereich eröffnet, der es ermöglicht, mit dem Lebendigen als Prozess der Speicherung und Transkription umzugehen.⁴⁰ Das Labor ist der Organismus selbst. Natürliches und Artifizielles verschieben und vertauschen sich weiter. Ein Prozess, dessen Funktionsweise aber schon an der TMV-Forschung der 30er Jahre des letzten Jahrhunderts rekonstruiert werden konnte. So funktionierte dieses Artefakt TMV als Diskursobjekt, dessen Unschärfe im vorgeführten Experimentalsystem zugleich erzeugt und eingegrenzt werden sollte.

Anmerkungen

¹ Nach Rheinberger funktioniert etwas so lange als epistemisches Ding – zum Beispiel das Gen, Virus (hier TMV) –, solange noch etwas unklar ist beziehungsweise im Unbewussten liegt. Epistemische Dinge sind im Gegensatz zu logischen Dingen oder auch zu technischen Objekten von einer notwendigen Unschärfe. Unschärfe wird im Experiment

- ausgenutzt und eingegrenzt. Hans Jörg Rheinberger: Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas. Göttingen 2001, S. 18-35. Vgl. C. H. Andrew: *The Natural History of Viruses*. London 1967.
- 2 Vgl. Christoph Tholen: *Digitale Divergenz*, in: Martin Warnke, Wolfgang Coy, Christoph Tholen (Hg.): *Hyperkult*. Basel, Frankfurt/M. 1997, S. 99-119.
 - 3 Bleibt zu fragen, ob nicht jedes Modell ursprünglich ist, insofern es den Bezugspunkt beziehungsweise das Vorbild für einzelne, spezifische Strukturen bildet, die es zu erkennen gilt – aber nicht insofern es eben auch aus einem Exemplarischen erkannt wurde und immer nur im Exemplarischen darstellbar ist. Vgl. dieser Artikel, Abschnitt: Forschungsobjekt, und Andrea Sick: *Infektiöse Muster. Exemplarische Entdeckungen am Modell Tabakmosaikvirus*, in: Andrea Sick, Ulrike Bergmann, Elke Bippus, Helene von Oldenburg, Claudia Reiche, Jutta Weber (Hg.): *Eingreifen. Viren, Modelle, Tricks*. Bremen 2003, S. 39-53.
 - 4 Angela N. H. Creager: *The Life of a Virus. Tobacco Mosaic Virus as an Experimental Model, 1930-1965*. Chicago 2002.
 - 5 Christina Brandt: *Metapher und Wissenschaftsdynamik. Zur Forschung am Tabakmosaikvirus in Tübingen in den 1950er und 1960er Jahren*, in: Ekkehard Hötermann (Hg.): *Die Entstehung biologischer Disziplinen. Beiträge zur 10. Jahrestagung der DGGTB in Berlin 2001*. Berlin 2002, S. 261-279, hier S. 263.
 - 6 Karlheinz Lütke: *Zur Geschichte der frühen Virusforschung. Wie sich mit technischen Fortschritten bei der Untersuchung filtrierbarer infektiöser Agenten das Verständnis der Virusnatur entwickelt hatte*. Berlin 1999, S. 46.
 - 7 Jutta Schirocke: *Fixierungen mikroskopischer Beobachtungen. Zeichnung, Dauerpräparat, Mikrofotografie*, in: Peter Geimer (Hg.): *Ordnungen der Sichtbarkeit*. Frankfurt/M. 2002, S. 285-313. Joel Synder: *Sichtbarmachung und Sichtbarkeit*, in: ebd., S. 142-171.
 - 8 Oder Ivanoskij, wie Lütke ihn schreibt. Vgl. Lütke: *Zur Geschichte der frühen Virusforschung*, S. 9.
 - 9 Vgl. Andrew Scott: *Zellpiraten. Die Geschichte der Viren – Molekül und Mikrobe*. Basel 1990, S. 5-16. Vgl. Lütke: *Zur Geschichte der frühen Virusforschung*, S. 1-10. Später strich Iwanowski den Presssaft durch einen Porzellanfilter, der nach der damaligen Meinung fein genug war, um alle Arten von Mikroorganismen zurückzuhalten. Dennoch war der erhaltene Saft immer noch infektiös.
 - 10 Scott: *Zellpiraten*, S. 17.
 - 11 Der Name „Virus“ wurde zu dieser Zeit allgemein für alle möglichen Krankheitserreger verwandt. Vgl. auch Lütke: *Zur Geschichte der frühen Virusforschung*.
 - 12 Veröffentlichungen von Wendell Stanley: *Isolation of a Crystalline Protein Possessing the Properties of Tobacco Mosaic Virus*, in: *Science* 81 (1935), S. 644-645. Wendell Stanley, Ralph W. G. Wyckoff: *The Isolation of Tobacco Ring Spot and other Virus Proteins by Ultracentrifugation*, in: *Science* 85 (1937), S. 181-83.
 - 13 Lütke: *Zur Geschichte der frühen Virusforschung*, S. 10.

- ¹⁴ Lüttke hebt hervor, dass G. Schramm 1942 nachwies: „Viren, wie die Maul- und Klauenseuche und das Kaninchenpapillom stehen dem Tabakmosaikvirus an Einheitlichkeit nicht nach. Bei der Untersuchung der Polyederkrankheit der Insekten zeigte es sich, dass die in den viruskranken Raupen auftretenden Polyeder wahrscheinlich als Kristallisate reiner Virusproteine aufzufassen sind. Diese tierischen Viren sind also chemische Verbindungen und keine Organismen.“ Vgl. Lüttke: Zur Geschichte der frühen Virusforschung, S. 11.
- ¹⁵ Charles S. Peirce: Prolegomena zu einer Apologie des Pragmatismus. Entwürfe und Nachträge IV: Prolegomena zu einer Apologie des Pragmatizismus P 1128 (1906), in: ders.: Semiotische Schriften, hg. v. Christian J. W. Kloesel u. Helmut Pape. Frankfurt/M. 2000, Band 3, S. 132-192, hier S. 134.
- ¹⁶ Vgl. Andrea Sick: Kartenmuster. Bilder und Wissenschaft der Kartografie. Universität Hamburg, Dissertation 2001, <http://www.sub.uni-hamburg.de/disse/1179/dissertation.pdf>, S. 230. Vgl. Tholen: Digitale Divergenz, S. 107. Vgl. Jacques Derrida: Die Schrift und die Differenz. Frankfurt/M. 1989, S. 422, S. 426. Vgl. Jacques Derrida: Grammatologie. Frankfurt/M. 1992, S. 55, S. 165.
- ¹⁷ Auch für die Sedimentierung mit der Ultrazentrifuge war das Virus in einer relativ reinen Form notwendig. Die Ultrazentrifugen selbst unterschieden sich: als analytische Maschine („analytical machine“) und präparative Maschine („preparative machine“). Schon 1921 entwickelte der Schwede Theodor Svedberg die optische Zentrifuge („optical centrifuge“), die es erlaubte, die Sedimente visuell zu beobachten. Sehr bald machte Svedberg es mit seiner ölantgetriebenen Zentrifuge, auf die eine Kamera montiert wurde, möglich, Moleküle zu visualisieren und auch so Proteine sichtbar zu machen. Vgl. Theodor Svedberg, Kai O. Pedersen: The Ultracentrifuge. Oxford 1940. Jesse Wakefield Beams und andere entwickelten hingegen eine Zentrifuge mit Pressluft, aber diese Maschine isolierte nur und war zunächst nicht mit Kameras zur Fixierung gewonnener Bilder versehen. Die Produktion dieser Zentrifuge wurde in der Folgezeit billiger, gerade auch, weil sie schneller industriell hergestellt werden konnte. Die Rockefeller Foundation, maßgeblicher Förderer der Forschung an dieser Technik, investierte aber letztendlich sowohl in die billigeren luftangetriebenen Zentrifugen als auch in die ölantgetriebenen. Vgl. Creager: The Life of a Virus.
- ¹⁸ Creager: The Life of a Virus, S. 79.
- ¹⁹ Creager: The Life of a Virus, S. 10.
- ²⁰ Creager: The Life of a Virus, S. 113.
- ²¹ Vgl. New York Times, 7.11.1937, zitiert nach Creager: The Life of a Virus, S. 112.
- ²² Die ersten Versuche zur Verbesserung der lichtmikroskopischen Vergrößerungsrate bestanden darin, Aufnahmen mit UV-Licht zu machen. Diese zeigten in der Folgezeit, dass solche Mikrofotografien kleine Teilchen eher sichtbar machten, aber auch Verunreinigungen in den Kulturen – es ließen sich schwer Erreger und Verunreinigung unterscheiden. So schreiben zum Beispiel W. Pfeiler und H. Simons 1925: „Die stark gesteigerte Auflösungsfähigkeit kann, so erwünscht sie auch dem Morphologen sein mag, der ätiologischen Erforschung filtrierbarer Virusarten unter Umständen verhängnisvoll werden.“

- Es ist nämlich bei dem heutigen Stande der bakteriologischen Kulturtechnik völlig unmöglich, Reinkulturen herzustellen, vielmehr sind immer auch Nährbodenteilchen und Staubpartikel enthalten.“ W. Pfeiler, H. Simons: Über die physikalischen Grenzen objektähnlicher Abbildungen von filtrierbaren Virusarten und anderen Objekten durch ultraviolette Licht (U.V.-Licht) und die Verwertung der Photographie im U.V.-Licht überhaupt, in: *Klinische Wochenschrift* 4 (1925), S. 253-257, hier S. 253. Vgl. Lüttke: *Zur Geschichte der frühen Virusforschung*.
- ²³ Mikrofotografien wurden in der Medizin bereits kurz nach der ersten Entwicklung fotografischer Aufzeichnungsverfahren verwendet. Vgl. Andreas-Holger Maehle: *The Search for Objective Communication. Medical Photography in the Nineteenth Century*, in: R. Mazzolini (Hg.): *Non-verbal Communication in Science prior to 1900*. Florenz 1993, S. 563-586, zitiert nach Schirocke: *Fixierungen*, S. 285.
- ²⁴ Schirocke: *Fixierungen*, S. 293.
- ²⁵ Schirocke: *Fixierungen*, S. 310.
- ²⁶ Walter Benjamin: *Kleine Geschichte der Photographie*, in: ders.: *Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit*. Frankfurt/M. 1968, S. 65-94, hier S. 72.
- ²⁷ Thomas Schlich: *Repräsentationen von Krankheitserregern. Wie Robert Koch Bakterien als Krankheitsursache dargestellt hat*, in: Hans Jörg Rheinberger, Michael Hagner, Bettina Wahrig-Schmidt (Hg.): *Räume des Wissens: Spur, Codierung, Repräsentation*. Berlin 1997, S. 165-190, hier S. 174.
- ²⁸ So schreibt Creager: *The Life of a Virus*, S. 123: „So far as I can see, there should be no competition between centrifuges and electron microscopes, for each is quite important in its own way, and there is no overlapping of the fields. As a matter of fact, in our particular case, it is necessary to have the centrifuge in order to secure good preparations for examinations by means of the electron microscope. If I were you, I should continue to urge the installation of the centrifuge irrespective of what happens in connection with the electron microscope.“
- ²⁹ Als Voraussetzung muss die Probe ausreichend dünn sein. Die bildvergrößernde Linse erzeugt dann das Bild. 1926 publizierte H. Busch seine Forschungsergebnisse über die Bewegung von Elektronen in magnetischen Feldern, die bewiesen, dass ein magnetisches Feld als Linse zum Fokussieren von Elektronen dienen kann. Die Elektronenstrahlen können als Wellen aufgefasst werden. (Bei elektronischer Bildübertragung ist auch Fernsehmikroskopie möglich, d. h. räumliche Trennung von Objekt und Mikroskop, zum Beispiel bei Keim- und Ansteckungsgefahr vorteilhaft.) Ähnlich wie mit dem Lichtmikroskop sind mit dem Elektronenmikroskop Dunkelfeld- und Stereobeobachtungen beziehungsweise -aufnahmen möglich. Vgl. Rudolf Dickscheit, Alexander Janke: *Handbuch der mikrobiologischen Labortechnik*. Dresden 1967, S. 86-87. Lüttke: *Zur Geschichte der frühen Virusforschung*. Vgl. Ernst Ruska: *Grundlagen und neuere Entwicklungen des Elektronenmikroskops*. Bremen 1966.
- ³⁰ Nur bei Bakteriensporen ist eine Lebensabbildung zum Teil gelungen. Vgl. Dickscheit, Janke: *Handbuch*.
- ³¹ Lüttke: *Zur Geschichte der frühen Virusforschung*.

- ³² Vgl. Creager: *The Life of a Virus*, S. 119. Lüdtkke: *Zur Geschichte der frühen Virusforschung*.
- ³³ Vgl. Scott: *Zellpiraten*, S. 46-47. Dietrich Falke: *Medizinische Mikrobiologie I*, in: Peter Klein (Hg.): *Virologie*. Berlin, Heidelberg 1976, S. 4-5. Georg Löffler: *Basiswissen Biochemie mit Pathobiochemie*. Berlin 2001, S. 411-427.
- ³⁴ Vgl. Scott: *Zellpiraten*.
- ³⁵ Jacques Lacan: *Die Wissenschaft und die Wahrheit*, in: ders.: *Schriften II*, hg. v. Norbert Hass. Olten 1975, S. 231-257, hier S. 239.
- ³⁶ Rheinberger: *Experimentalsysteme*, S. 271.
- ³⁷ Vgl. Charles S. Peirce: *Kurze Logik MS 595 (1895)*, in: ders.: *Semiotische Schriften*, Band 1, S. 202-229, hier S. 206-207.
- ³⁸ Sick: *Kartenmuster*, S. 323.
- ³⁹ Rheinberger: *Experimentalsysteme*, S. 276.
- ⁴⁰ Vgl. Rheinberger: *Experimentalsysteme*, S. 276.

Abbildungen



Abbildung 1: Tabakpflanzen, infiziert mit TMV; den TMV-Befall erkennt man an den mosaikförmigen Verfärbungen der Blätter.



Abbildung 2: Tabakpflanze, infiziert mit dem Wildstamm TMV vulgare.

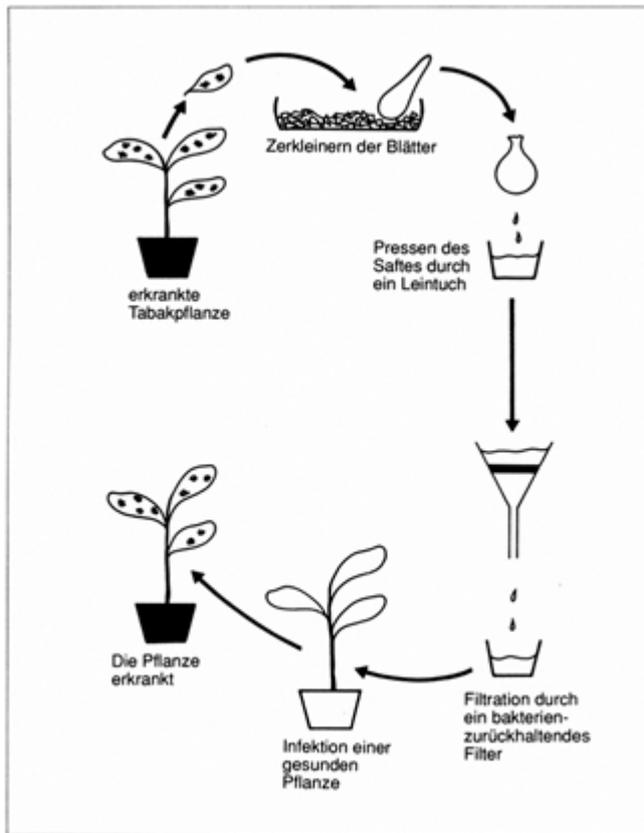


Abbildung 3: Filtration des Tabakmosaikkrankheitserregers und Infektion einer gesunden Pflanze (Verfahren von Dimitri Iwanowski).

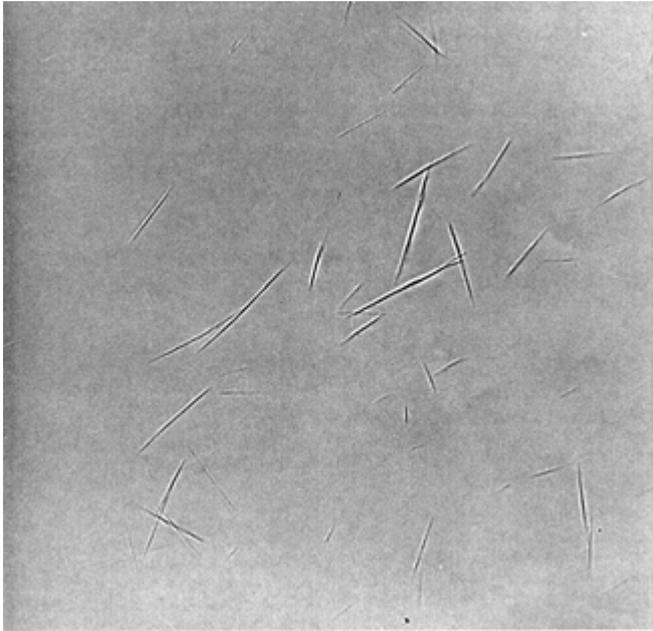


Abbildung 4: Stanleys kristallisiertes TMV x675; Photomikrograph, in zahlreichen Zeitschriften und Büchern publiziert.

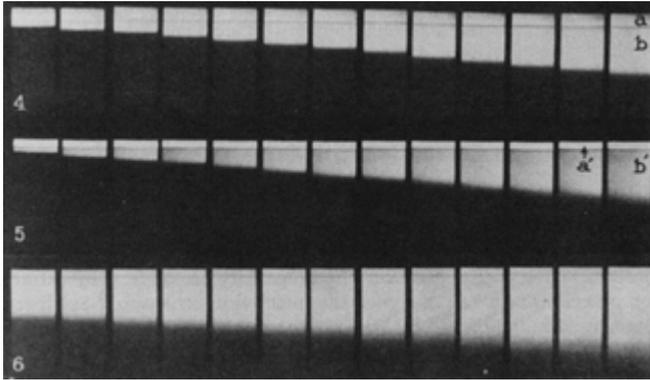


Abbildung 5: Mit der Ultrazentrifuge sedimentiertes TMV; im Vergleich homogene und weniger homogene Fälle von TMV.

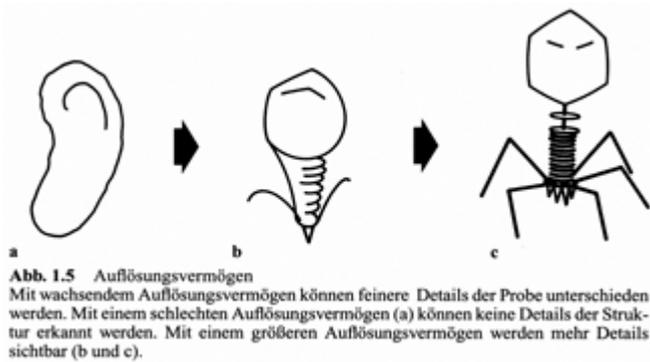


Abbildung 6: Auflösungsvermögen durch EM am Beispiel einer Bakteriophage.

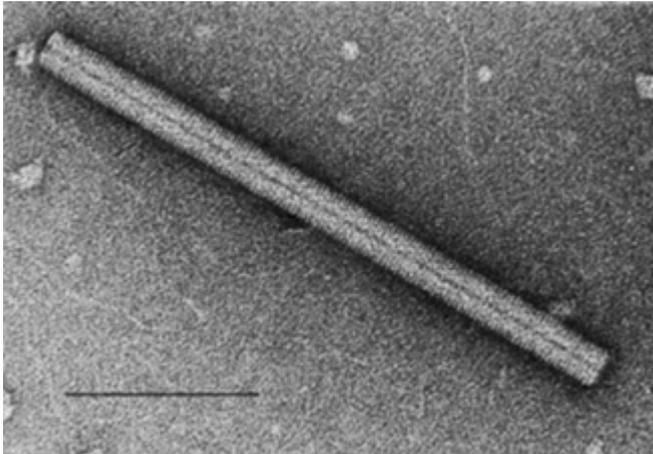


Abbildung 7: TMV (elektronenmikroskopische Abbildung, bis heute publiziert in zahlreichen Fach- und Lehrbüchern sowie auf verschiedenen Websites).

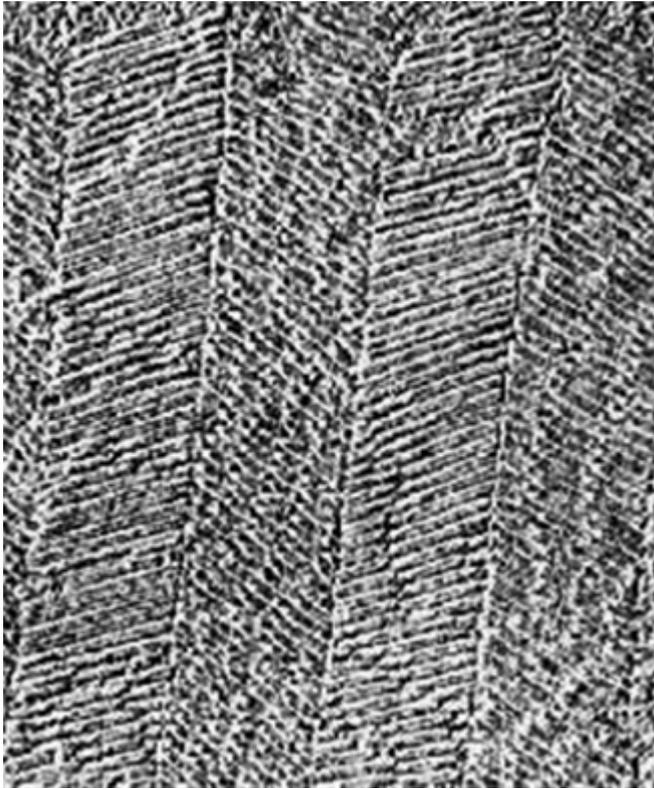


Abbildung 8: Kristalline Anordnung von Partikeln des Tabakmosaikvirus in Mesophyllzellen des Tabaks. Seitenansicht (Fischgrätenmuster) (J. H. M. Willson, Halifax 1976).

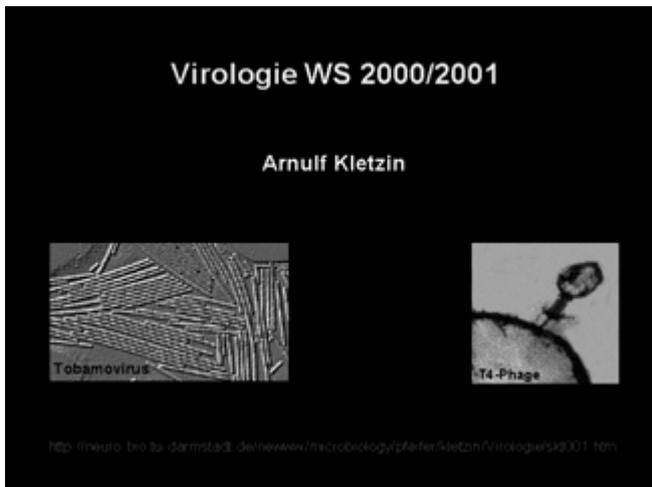


Abbildung 9: Website Virologie an der Technischen Universität Darmstadt 2000/2001.

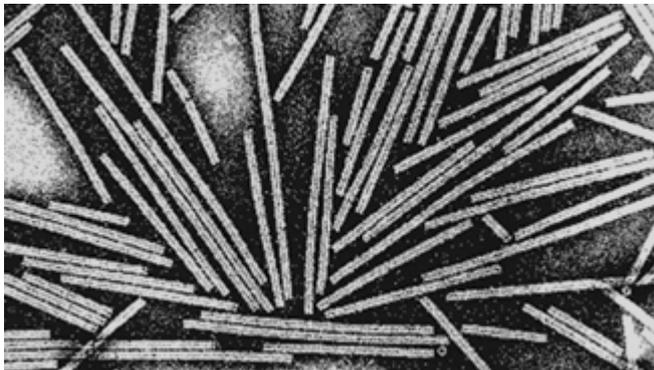


Abbildung 10: TMV mit EM gefärbt, aus dem populären im WWW publizierten *Big Virus Picture Book*.

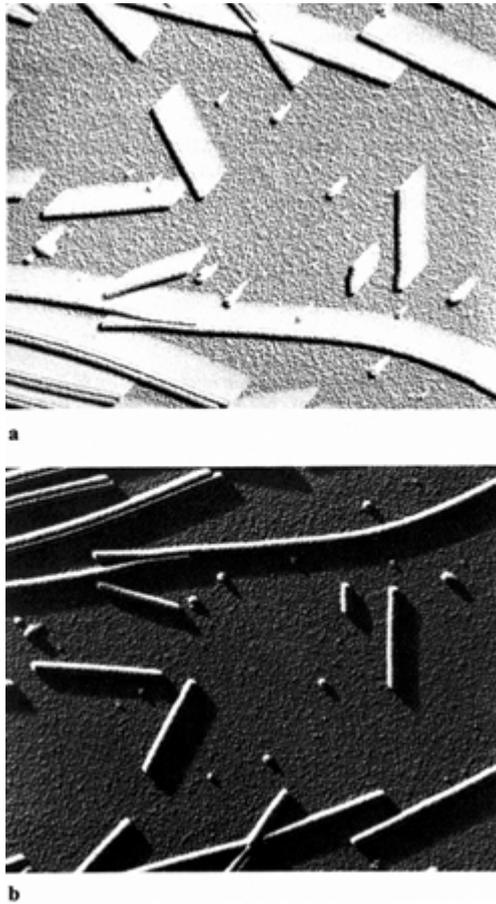


Abbildung 11 + 12: TMV mit EM (verschiedene Blickwinkel), aus dem Archiv der Autorin.

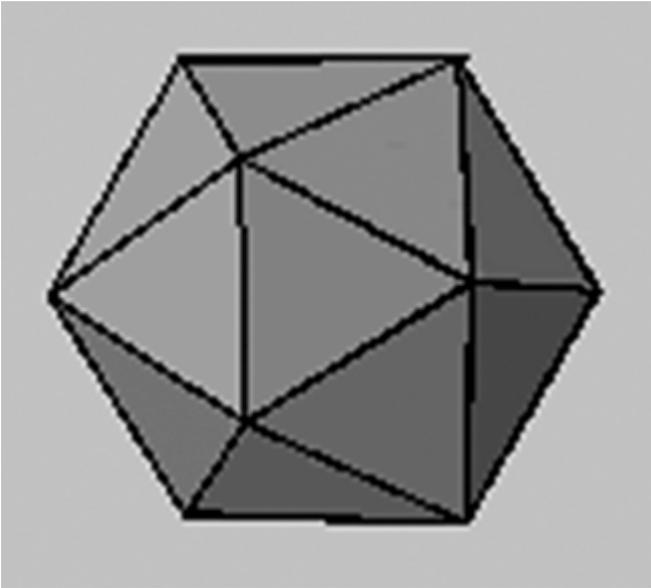


Abbildung 13: Icosaedrische Struktur eines Virus (Modell), aus dem *Big Virus Picture Book*.

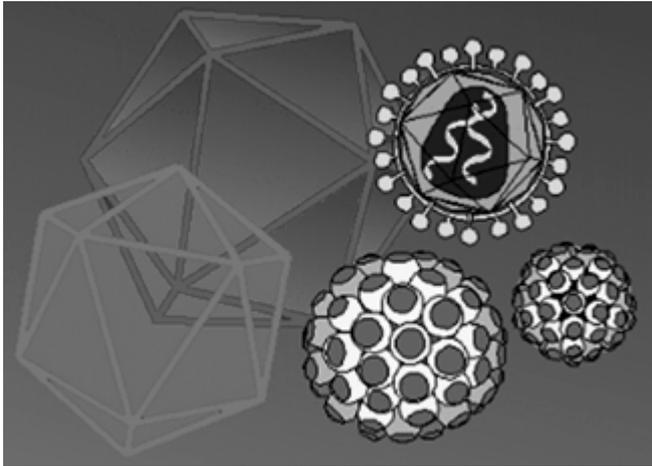


Abbildung 14: Baustrukturen von unterschiedlichen Viren-Modellen, aus *The Big Virus Picture Gallery*.

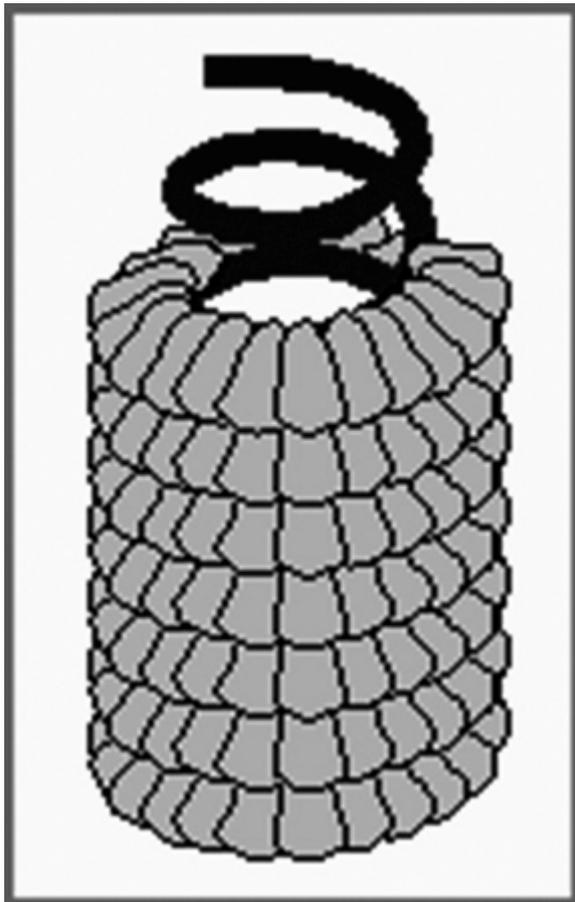


Abbildung 15: Helixartige Struktur des TMV (Modell), aus *The Big Virus Picture Gallery*.

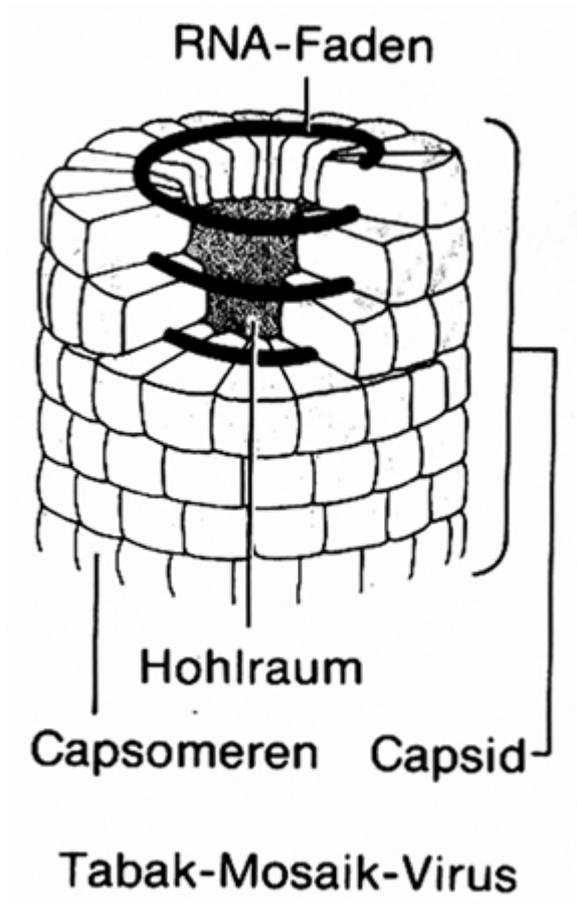


Abbildung 16: Helixartige Struktur des TMV.

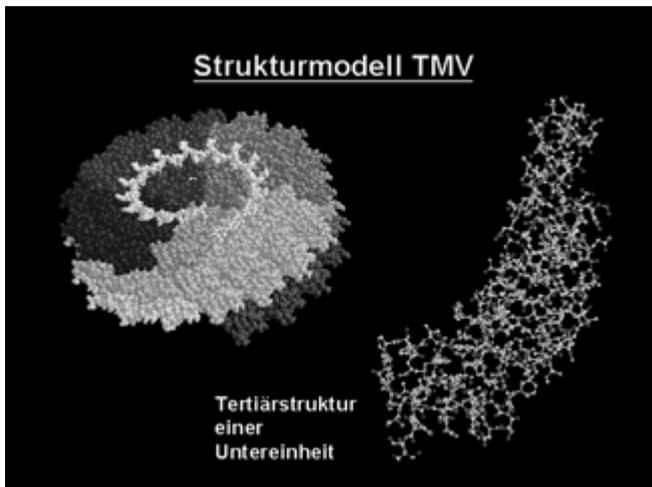


Abbildung 17: TMV-Strukturmodell, rechtshändige Helix, Lehrmaterial Biologie an der Universität Hamburg.