

Studien des Aachener Kompetenzzentrums für Wissenschaftsgeschichte

Band 1

Dominik Groß, Stefanie Westermann (Hrsg.)

**Vom Bild zur Erkenntnis?
Visualisierungskonzepte in den
Wissenschaften**

Schriftleitung: Gereon Schäfer und Nicole Jüngst

kassel
university



press

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar

ISBN: 978-3-89958-342-7

URN: urn:nbn:00023427

© 2007, kassel university press GmbH, Kassel
www.upress.uni-kassel.de

Umschlaggestaltung: Jörg Batschi Grafik Design, Kassel
Druck und Verarbeitung: Unidruckerei der Universität Kassel
Printed in Germany

Vorwort

Moderne Gesellschaften begreifen sich selbst als Wissensgesellschaften. „Wissen“ steht hierbei sowohl für eine individuelle Schlüsselqualifikation der einzelnen Bürger als auch für die gesellschaftliche Voraussetzung für Innovation. Die notwendige „Wissenschaftlichkeit des Wissens“ wird zum einen durch ihre (empirische) Belegbarkeit und Überprüfbarkeit und zum anderen durch eine Analyse ihrer historischen Gewachsenheit gewährleistet. In diesem Sinne trägt Wissenschaftsgeschichte nicht nur zur Selbstvergewisserung wissenschaftlicher Disziplinen und zur Analyse historischer Zusammenhänge, sondern auch zur Identitätsfindung moderner Gesellschaften bei.

Im September 2006 wurde das „Aachener Kompetenzzentrum für Wissenschaftsgeschichte“ (AKWG) gegründet. Ziel des AKWG ist es, die wissenschaftshistorischen Kompetenzen unterschiedlicher an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen verteilter Disziplinen zusammenzuführen. Dabei liegt dem AKWG ein weites Verständnis von Wissenschaftsgeschichte als Geschichte der spezifischen Art und Weise der überprüfbaren Auseinandersetzung mit der Welt, unter Einschluss des Menschen als geistigem Wesen, zugrunde. Neben Historikern unterschiedlicher Fachrichtungen (Medizin-, Technik-, Sozial- und Wirtschaftsgeschichte) und Epochen (Alte Geschichte, Mittelalterliche Geschichte, Frühneuzeitliche Geschichte, Neuere und Neueste Geschichte) gehören ihm auch Wissenschaftstheoretiker sowie Literaturwissenschaftler und Informatiker mit „historischen“ Forschungsinteressen an. Diese Zusammensetzung verweist bereits auf ein weiteres Ziel des Zentrums: die intensivierte interdisziplinäre Zusammenarbeit.

Der vorliegende Sammelband ging aus einem „Thementag Wissenschaftsgeschichte“ hervor, der am 14. Juni 2007 an der RWTH ausgerichtet und von Gerhard Müller-Strahl (Institut für Geschichte, Theorie & Ethik der Medizin) moderiert wurde. An diesem Tag stellten Mitglieder des AKWG wissenschaftshistorische und -theoretische Beiträge aus unterschiedlichen Disziplinen und Epochen zum Thema „Visualisierung“ vor. Auch wenn die den Referaten folgenden Diskussionen an dieser Stelle nicht aufgenommen werden konnten, so geben die Beiträge, die von nahezu allen Referenten dankenswerter Weise für den Abdruck zur Verfügung gestellt wurden und durch Arbeiten weiterer Mitglieder des AKWG ergänzt werden konnten, doch deutliche Hinweise auf die Bedeutung interdisziplinären Austausches und auf das erkenntnisgewinnende Potential wissenschaftshistorischer Forschung.

Wir hoffen, dass sich die gemeinsame fruchtbare Arbeit der vergangenen Monate in weiteren „Studien des Aachener Kompetenzzentrums für Wissenschaftsgeschichte“ niederschlägt. Mit dem hiermit vorgelegten ersten Buchband ist ein Anfang gemacht.

Aachen, im Oktober 2007

Die Herausgeber

Inhalt

<i>Vorwort</i>	5
 <u>A. Visualisierung in den Wissenschaften: Einleitende Bemerkungen</u>	
STEFANIE WESTERMANN UND DOMINIK GROB Vom Bild zur Erkenntnis? Eine Einführung	11
GERHARD MÜLLER-STRAHL Zur Ontologie des Bildes	17
 <u>B. Das Bild als Abbild von Wirklichkeit?</u>	
WALTER OBERSCHELP Bild und Wirklichkeit	29
CHRISTINE ROLL Farben und Verzerrungen auf Karten. Zu Möglichkeiten und Grenzen kartografischer Visualisierung	47
MARTINA DLUGAICZYK Von der ‚Grand Tour en miniature‘ zum avantgardistischen ‚Sonderfall‘. Das Reiff-Museum der Technischen Hochschule in Aachen	61
SABINE MÜLLER Visualisierung in der astronomischen Digitalfotografie mit Hilfe von Falschfarben	93
 <u>C. Bild und Erkenntnis</u>	
DAVID ENGELS Geometrie und Philosophie. Zur Visualisierung metaphysischer Konzepte durch die räumliche Darstellung in der pythagoreischen Philosophie	113
LIoba GEIS Das „Siegel der Ewigkeit“ als Universalsymbol. Diagrammatik bei Heymericus de Campo (1395-1460)	131
ALEXANDER MARKSCHIES In Bildern denken	149

D. Visualisierung und Technik

WALTER KAISER

The Beauty of Antennas and Machines – Visualization in Computational Electromagnetics 169

SABINE MÜLLER

Die Einführung der Digitalfotografie in die Astronomie – eine digitale Zäsur? 189

E. Visualisierung in der Medizin

GERHARD MÜLLER-STRAHL

Assoziative sowie ästhetische Strukturen der Lehre vom Blutkreislauf im 19. Jahrhundert und die Auswirkungen auf die Visualisierung dieser Lehre 219

GERHARD MÜLLER-STRAHL

Visualisierung und Heuristik physiologischer Modelle zu Kreislauftheorien des 19. und 20. Jahrhunderts 251

DOMINIK GROß UND GEREON SCHÄFER

Das Gehirn in bunten Bildern. Farbstrategien und Farbsemantiken in den Neurowissenschaften 271

Kurzbiografien der Autorinnen und Autoren 283

A. Visualisierung in den Wissenschaften:
Einleitende Bemerkungen

Vom Bild zur Erkenntnis? Eine Einführung

Stefanie Westermann und Dominik Groß

Der Begriff „Visualisierung“ ist vielschichtig: er kann sich auf unterschiedliche Phänomene in verschiedenen Zeiträumen beziehen, und er erscheint in vielerlei Hinsicht „interdisziplinär“.

Der Brockhaus definiert Visualisierung als die

„Bezeichnung für bildliche Formulierung und Kommunikation, das heißt für Aufbereitung von Information mit vor allem bildlichen Mitteln wie auch für visuelle Wahrnehmung. Daneben wird der Begriff im heutigen, auch wissenschaftlichen Sprachgebrauch oft unscharf verwendet: Verschiedene Interpretationen, Traditionen und Anwendungsbereiche lassen eine Eindeutigkeit nicht zu.“¹

In einer ersten Annäherung kann man der oben zitierten Definition zufolge festhalten, dass „Visualisierung“ eng mit dem Begriff des Bildes konnotiert ist; es geht ebenso um bildliche Darstellungen von Gewusstem und Imaginiertem – also um den Ausdruck mit Hilfe der Visualisierung – wie um die Wahrnehmung und möglicherweise Erkenntnis desselben mit Hilfe des Bildes. Hierbei kommt der Visualisierung eine kommunikative Bedeutung zu: Mit ihrer Hilfe lassen sich bei der Übermittlung von Inhalten sowohl zeitliche, sprachliche oder zivilisatorische Grenzen überwinden als auch neue Verstehenshindernisse aufbauen, so etwa in der bildhaften Kommunikation von Geheimbünden.

Mit Kurt Tucholskys Satz „Ein Bild sagt mehr als tausend Worte“ lässt sich die besondere Bedeutungsvielfalt und -breite von Bildern – gerade auch in ihrem emotionalen Verstehenszusammenhang – in Relation zur Sprache veranschaulichen. Die Sprache als Medium der Plausibilisierung kann hierbei leicht an Grenzen stoßen; demgegenüber drücken Visualisierungen oftmals komplexe Inhalte, welche sich an unterschiedliche Kognitionsebenen richten, aus. „Bilder besitzen eine eigene, nur ihnen zugehörige Logik“, so Gottfried Boehm, „die Macht des Bildes bedeutet: ‚Il fait voir‘, es öffnet die Augen, es zeigt.“² Dabei scheint es nebensächlich zu sein, welche Art von Bild gedeutet werden soll; eine „bildspezifische Eigenart“ scheint allen Bildern gemeinsam zu sein und sie gleichzeitig „von anderen Dingen grundsätzlich“ zu unterscheiden.³ Bilder enthalten sowohl eine materielle als auch eine immaterielle Ebene:

„Indem Bilder etwas zeigen, indem sie etwas sichtbar machen und damit dem Auge etwas zu sehen und dem Bewusstsein zu verstehen geben [...], zeigen sie zugleich sich selbst, verweisen sie auf sich, lassen sie sich sehen in der sinnlichen

¹ Brockhaus Enzyklopädie, Bd. 23, S. 380.

² Boehm (2005), S. 28 und 32.

³ Müller (2005), S. 80 f.

Fülle ihrer materiellen Präsenz. Sie erscheinen dem Betrachter damit auf eine in sich gedoppelte Weise.“⁴

Durch Visualisierung wird oftmals etwas Abstraktes konkret – sei es die Darstellung philosophischer Zusammenhänge oder etwa die bildliche Symbolik politischer Macht. Denkt man zudem etwa an die Möglichkeit der Astronomie, durch fotografische und farbliche Techniken bisher nicht erfassbare Strukturen aufzuzeigen oder durch kartografische Abbildungen punktuell Wissen zu verdichten, scheint insbesondere hier das Potential für Erkenntnisgewinn zu liegen.⁵ Gerade auch im Bereich der Vermittlung von Wissen, aber auch von Erkenntnissen sind Visualisierungen unverzichtbar, von didaktischen Konzepten im Schulunterricht bis zu den in einem Bild festgehaltenen Schrecken des Spanischen Bürgerkriegs in Pablo Picassos „Guernica“ (1937).

Dabei ist Visualisierung nicht zwangsläufig mit Erkenntnisgewinn verbunden; nicht selten wird ein solcher von Seiten der Adressanten lediglich (bewusst oder unbewusst) suggeriert und immer wird das Visualisierte durch den „Empfänger“ interpretiert⁶ – mit allen damit verbundenen Möglichkeiten der Fehldeutungen. Bilder können lügen,⁷ können Ereignisse und Zusammenhänge falsch darstellen, können instrumentalisiert und „zu einer furchtbaren Waffe gegen die Wahrheit“ (Bertolt Brecht) werden, können manipulieren: von politischen Entscheidungen bis hin zum durch die Werbung beeinflussten Verhalten des Konsumenten.⁸

Die infolge der technischen Innovationen der letzten Jahrzehnte feststellbare „Allgegenwart“ von Bildern durch niedrigschwellige Aufnahme- und stetig verbesserte Übertragungsmöglichkeiten und der zunehmende Bedeutungsgewinn von Visualisierungen, beispielsweise in den Naturwissenschaften und in der Medizin, führen zu einer neuen Aufmerksamkeit gegenüber diesem Phänomen. Die Rede ist von einem „iconic turn“ oder „visualistic turn“. Dabei ist durchaus zu fragen, was einen „visualistic turn“ inhaltlich ausmacht. Begreift man Visualisierung als alltäglichen, kulturübergreifenden, seit Jahrtausenden stattfindenden Prozess, so lässt sich die These eines aktuell stattfindenden Umbruchs nur durch eine grundlegende qualitative Verschiebung begründen. Ob diese aber – trotz der neuen Visualisierungstechnologien und der möglichen Über-

⁴ Müller (2005), S. 83; dabei betont Müller, dass nicht alle Bilder diese Doppelung gleichermaßen einlösen, vgl. ebd., S. 84 ff.

⁵ Vgl. z. B. Menkoric (1999). Siehe auch Heintz/Huber (2001).

⁶ Zu dem Zusammenhang von Sehen und Erkennen vgl. auch Brandt (2005); Singer (2005).

⁷ Unter dem Titel „Bilder, die lügen“ wurde eine Wanderausstellung vom „Haus der Geschichte der Bundesrepublik Deutschland“, Bonn, konzipiert, welche sich dezidiert mit dem Manipulationspotential von Bildern, insbesondere im medialen Kontext, befasst: www.bpb.de/veranstaltungen/QF3IQQ,0,Bilder_die_l%C3%BCgen.html [August 2007].

⁸ Vgl. hierzu auch Sachs-Hombach (2005b), S. 177: „Bilder sind Wesen zweier Reiche. [...] Sie sind bestimmter und zugleich unbestimmter als sprachliche Äußerungen. Sie sind bestimmter, weil sie uns etwas in unmittelbarer Weise zeigen. Zugleich sind sie unbestimmter, weil das, was sie zeigen, sehr verschieden verstanden werden kann. Da dies prinzipiell gilt, sind Bilder nicht nur manipulierbar, sondern im hohen Maße manipulativ.“

mittlung – tatsächlich vorhanden ist, wird derzeit diskutiert.⁹ Unbestreitbar sind in den gegenwärtigen westlichen Kulturen Bilder omnipräsent; zu fragen wäre hierbei aber, ob damit auch ein Mehr an Bedeutung des Visuellen verbunden ist. In diesem Kontext ist beispielsweise an den Einfluss religiöser Bilder auf den Menschen des Mittelalters zu erinnern, oder an die bildliche Kommunikation in antiken Hochkulturen. Weiterhin wäre zu überlegen, ob die Bandbreite der gegenwärtig vorhandenen Bilder, von künstlerisch gestalteten Objekten über Alltagsfotografie und Werbeplakaten bis hin zu naturwissenschaftlichen Visualisierungen, sich tatsächlich als ein einheitliches und mit ähnlichen Mitteln zu analysierendes Phänomen darstellt. Nimmt man das Beispiel (Falsch-)Farben, so lassen sich hiermit in den genannten Fällen völlig unterschiedliche Strategien verfolgen: In dem Bereich Kunst können mittels dieser Farben unter anderem Emotionen hervorgerufen oder Assoziationen konterkariert werden, während das Werbeplakat mittels Farbe u. U. die – Marketingstrategien folgende – Suggestionskraft und den Wiedererkennungswert nutzen will. Naturwissenschaftlichen Farb- und Visualisierungsstrategien geht es demgegenüber vor allem um die Sichtbarmachung mit dem bloßen menschlichen Auge nicht wahrnehmbarer Prozesse. Gemeinsam ist den genannten Beispielen die potentielle Assoziation, völlig verschieden sind letztlich aber die Intention und die Bedeutungsvielfalt.¹⁰

Neu scheint angesichts der zunehmenden Zahl von Bildern insbesondere das wachsende wissenschaftliche, interdisziplinäre Interesse an der Komplexität und den Verstehenszusammenhängen des Visuellen zu sein, wenngleich der Verweis auf Fachdisziplinen wie Kunstgeschichte¹¹ auch auf die historische Gewachsenheit dieses Prozesses hindeutet. Ein sich dem Untersuchungsfeld Visualisierung widmendes interdisziplinäres Fach „Bildwissenschaft“¹² kann somit auf Bestehendes aufbauen und die neue Quantität des Visuellen in einen Gesamtzusammenhang einordnen und vor diesem Hintergrund bewerten.

Die Vielschichtigkeit des Phänomens „Visualisierung“ wird auch angesichts der Aufsätze dieses Themenbandes deutlich. Entstanden anlässlich des ersten interdisziplinären „Tags der Wissenschaftsgeschichte“ des Aachener Kompetenzzentrums für Wissenschaftsgeschichte, beschäftigen sich die Beiträge mit jeweils spezifischen Visualisierungskonzepten in unterschiedlichen Zeiträumen und Disziplinen bzw. Fachrichtungen:

Während sich Gerhard Müller-Strahl eingangs in einer theoretischen Annäherung mit der „Ontologie des Bildes“ befasst und dabei Probleme „wachrufen“ möchte, „die sich im Umfeld der Konzeptionen zu Bild und Begriff immer wieder vorgedrängt haben“, verbindet die Aufsätze des folgenden Kapitels die Frage, inwieweit das Bild als Abbild von Wirklichkeit gesehen werden kann. Hierin untersucht Walter Oberschelp zu Beginn aus der Perspektive des Informatikers den Zusammenhang von Bild und Wirk-

⁹ Reinhard Brandt beispielsweise sieht einen qualitativen Wandel und einen „iconic turn“ durch die Foto- und Filmkunst und „die Tatsache, dass man Bilder allein mit Licht oder mit der Kombination von Licht und Bewegung schaffen kann“ erreicht: Brandt (2005), S. 53.

¹⁰ Zur Bedeutung von Farbe beispielsweise in der Medizin vgl. Groß/Duncker (2006).

¹¹ Vgl. Dilly (2005); Bruhn (2005).

¹² Vgl. hierzu z. B. Maar/Burda (2005); Sachs-Hombach (2005); Majetschak (2005); Müller (2005).

lichkeit. Anschließend beleuchtet Christine Roll die Möglichkeiten und Grenzen kartografischer Visualisierung. Sie geht dabei von der These aus, dass Karten Vorstellungen und Sehgewohnheiten beeinflussen und „auf diese Weise bei der Konstruktion von Wirklichkeit in unseren Köpfen“ mitwirken. Danach geht Martina Długaiczky am Beispiel des Aachener Reiff-Museums dem Einsatz und der Funktion von Originalkopien nach. Sabine Müller schließlich analysiert die Visualisierung von Messdaten in der astronomischen Digitalfotografie und nimmt hierbei die Bedeutung von Falschfarben in den Naturwissenschaften in den Blick.

Das nachfolgende Kapitel beleuchtet schlaglichtartig das Verhältnis von Bild und Erkenntnis: David Engels befasst sich hierbei unter der Überschrift „Geometrie und Philosophie“ mit der Visualisierung metaphysischer Konzeptionen in der Antike, während Lioba Geis am Beispiel des Heymericus de Campo religionsphilosophische Visualisierungen des Mittelalters erläutert. Alexander Marksches schließt mit kunsthistorischen Überlegungen zum Denken in Bildern und erhebt dabei die Frage nach der Eigengesetzlichkeit der Kunst.

Im vorletzten Buchabschnitt steht die Relation von Visualisierung und Technik im Mittelpunkt der Betrachtung. Walter Kaiser beschäftigt sich dabei zunächst unter der Überschrift „The Beauty of Antennas and Machines“ mit Visualisierungsstrategien im Fach Computational Electromagnetics. Danach gibt Sabine Müller einen zeitgeschichtlichen Überblick über die Einführung der Digitalfotografie in die Astronomie und widmet sich zugleich der Frage, ob es sich hierbei um eine „digitale Zäsur“ oder vielmehr um „eine kontinuierliche technologische Weiterentwicklung“ gehandelt hat.

Am Ende des Bandes steht der Versuch, einzelne Visualisierungsphänomene und -strategien in der medizinischen Wissenschaft nachzuzeichnen. Gerhard Müller-Strahl liefert hierbei zunächst einen medizinhistorischen Beitrag zu den assoziativen und ästhetischen Strukturen der Lehre vom Blutkreislauf im 19. Jahrhundert; dabei beschäftigt er sich insbesondere mit den Auswirkungen auf die Visualisierung dieser Lehre. Ein zweiter physiologiegeschichtlicher Aufsatz desselben Autors nimmt sodann die „Visualisierung und Heuristik physiologischer Modelle zu Kreislauftheorien des 19. und 20. Jahrhunderts“ in den Blick, bevor Dominik Groß und Gereon Schäfer den Themenband mit einem Forschungsabriss bezüglich der Farbstrategien und Farbsemantiken in den modernen Neurowissenschaften beschließen und damit zugleich den Bogen zur Gegenwart schlagen.

Wie verhält sich nun das Bild zur Erkenntnis? Die einzelnen Beiträge des Bandes geben hierauf erwartungsgemäß unterschiedliche Antworten und machen dabei zudem die in den verschiedenen Disziplinen durchaus disparaten Bedingungen und Ziele von Visualisierungsstrategien deutlich. Sie zeigen einzelne „formale“ Voraussetzungen zur Deutung des Visualisierten auf und verweisen auf die Notwendigkeit, bei der Analyse von Darstellungen die jeweiligen (historischen) Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.

Literatur

1. Beyer/Lohoff (2005): Andreas Beyer, Markus Lohoff (Hrsg.), Bild und Erkenntnis. Formen und Funktionen des Bildes in Wissenschaft und Technik, München, Berlin 2005
2. Boehm (2005): Gottfried Boehm, Jenseits der Sprache? Anmerkungen zur Logik der Bilder, in: Christa Maar, Hubert Burda (Hrsg.), Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder, Köln ³2005, S. 28-43
3. Brandt (2005): Reinhard Brandt, Bilderfahrungen – Von der Wahrnehmung zum Bild, in: Christa Maar, Hubert Burda (Hrsg.), Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder, Köln ³2005, S. 44-54
4. Breidbach (2005): Olaf Breidbach, Bilder des Wissens. Zur Kulturgeschichte der wissenschaftlichen Wahrnehmung, München 2005
5. Brockhaus Enzyklopädie in 24 Bänden, Bd. 23: Us-Wej, Mannheim ¹⁹1994, S. 380-382
6. Bruhn (2005): Matthias Bruhn, Historiographie der Bilder. Eine Einführung, in: Matthias Bruhn, Karsten Borgmann (Hrsg.), „Sichtbarkeit der Geschichte“: Beiträge zu einer Historiographie der Bilder, 2005 (= Historisches Forum, 5), http://edoc.hu-berlin.de/e_histfor/5
7. Dilly (2005): Heinrich Dilly, Bildgeschichten und Bildkritik der traditionellen Kunstgeschichte, in: Matthias Bruhn, Karsten Borgmann (Hrsg.), „Sichtbarkeit der Geschichte“: Beiträge zu einer Historiographie der Bilder, 2005 (= Historisches Forum, 5), http://edoc.hu-berlin.de/e_histfor/5
8. Groß/Duncker (2006): Dominik Groß, Tobias Heinrich Duncker (Hrsg.), Farbe – Erkenntnis – Wissenschaft. Zur epistemischen Bedeutung von Farbe in der Medizin, Berlin 2006 (= Anthropina. Aachener Beiträge zu Geschichte, Theorie und Ethik der Medizin, 1)
9. Gugerli/Orland (2002): David Gugerli, Barbara Orland (Hrsg.), Ganz normale Bilder. Historische Beiträge zur visuellen Herstellung von Selbstverständlichkeit, Zürich 2002
10. Heintz/Huber (2001): Bettina Heintz, Jörg Huber (Hrsg.), Mit dem Auge denken: Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten, Wien, New York 2001
11. Maar/Burda (2005): Christa Maar, Hubert Burda (Hrsg.), Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder, Köln ³2005
12. Majetschak (2005): Stefan Majetschak (Hrsg.), Bild-Zeichen. Perspektiven einer Wissenschaft vom Bild, München 2005
13. Menkovic (1999): Biljana Menkovic, Politische Gedenkkultur. Denkmäler – die Visualisierung politischer Macht im öffentlichen Raum, Wien 1999
14. Müller (2005): Axel Müller, Wie Bilder Sinn erzeugen. Plädoyer für eine andere Bildgeschichte, in: Stefan Majetschak (Hrsg.), Bild-Zeichen. Perspektiven einer Wissenschaft vom Bild, München 2005, S. 77-96
15. Sachs-Hombach (2005a): Klaus Sachs-Hombach (Hrsg.), Bildwissenschaft. Disziplinen, Themen, Methoden, Frankfurt a. M. 2005
16. Sachs-Hombach (2005b): Klaus Sachs-Hombach, Die Bildwissenschaft zwischen Linguistik und Psychologie, in: Stefan Majetschak (Hrsg.), Bild-Zeichen. Perspektiven einer Wissenschaft vom Bild, München 2005, S. 157-177

17. Singer (2005): Wolf Singer, Das Bild in uns – Vom Bild zur Wahrnehmung, in: Christa Maar, Hubert Burda (Hrsg.), Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder, Köln³2005, S. 56-76

Zur Ontologie des Bildes

Gerhard Müller-Strahl

Die veröffentlichten Arbeiten in diesem Band haben – abgesehen von der vielfältigen Herkunft ihrer Themen – einen gemeinsamen Bezug, den sie vom Konzept der Visualisierung hernehmen. Obwohl die Visualisierung in den letzten Jahren ein Schwerpunkt der Debatten innerhalb der Wissenschaftsgeschichte und auch -theorie geworden ist, bezwecken die im Folgenden vorgelegten Arbeiten zusätzliche, anregende Impulse für eine erstarkende Entwicklungslinie unter den aktuellen und relevanten Forschungsaktivitäten. Dieser einführende Beitrag jedoch möchte sich im Gegensatz zu jenen übergeordneten Zielen damit begnügen, Fragestellungen und Probleme wachzurufen, die sich im Umfeld der Konzeptionen zu Bild und Begriff immer wieder vorgedrängt haben, um das theoretisierende Vermögen zu Einsichten zu bewegen, die mittlerweile zu den allgemein bekannten gehören.

Es kann von der Annahme ausgegangen werden, dass ein Bild sinnlich gegeben ist. Doch lassen sich leicht auf der Grundlage eines gegebenen Bildes auch Elemente entdecken, die sich dem Sinnlichen zwar verdanken, zugleich aber den sinnlichen Bereich verlassen, so dass sich bereits unter intuitiver Leitung leicht Bündel von Begriffen auffinden lassen, welche nach gewissen Vorschriften arrangiert werden können – z. B. dass von Begriff zu Begriff der Anteil der Verweisungen an das Übersinnliche zuzunehmen habe; eine solche Intensitätsskala ließe sich nach folgendem Schema staffeln: Farbe, Helligkeit, Glanz, Kontrast, Form, Räumlichkeit, Gestalt, Figur, Zeichen, Symbol, Allegorie.

Um diese eher spontanen Vorüberlegungen zu verstehen, wird eine systematischere Analyse des Bildbegriffes erforderlich sein; wenn diese jedoch nur skizzenhaft bleiben wird, dann möge diese kritische Straffung nochmals mit dem zuvor gegebenen Argument entschuldigt werden, dass sich die angestrebte Analyse in vielen Teilen auf bereits vertraute Sachverhalte berufen kann.

An einem gegebenen Bild die Unterscheidung zu treffen, ob es als *natürliches* oder als *künstliches* Produkt vorliege, führt nicht weit hinsichtlich einer ontologischen Charakterisierung des Bildbegriffes. Ein wenig reichhaltiger ist aber eine klassifikatorische Unterscheidung, welche die *Genesis* und die *Mimesis* eines Bildes vor Augen hat. Ein Bild kann in Bezug auf die erste Klasse als dasjenige Produkt aufgefasst werden, welches aus einer schöpferischen Zeugung hervorgeht, und dann – trotz aller erkennbarer Regeln, die seine Abkunft unter den Einfluss von zeugenden Faktoren stellen – eine bedeutende Selbständigkeit zu erlangen vermag, indem es bei sich bleibt und aus sich zu walten vermag; es besitzt Autarkie. In diesem Sinne können z. B. Organismen – bei entsprechendem theoretischem Rahmen – als Bilder von elterlichen Organismen verstanden werden, da sie Individualität im vollen Sinne repräsentieren; noch stärker tritt dieser selbstständigende Zug bei den organischen Metamorphosen hervor; aber auch theoretische Konstruktionen können als genetische Bilder verstanden werden, die – einmal von ihrem Schöpfer freigesetzt – ihre je eigene Dynamik entfalten. Dazu alternativ jedoch,

im Falle der Mimesis, wird der gesamte Entstehungsprozess des Bildes unter die Obhut instrumental festgelegter Gestaltungsschritte gestellt, die sich von einer identifizierbaren Vorlage her ableiten lassen; als ein solches *mimetisches* Objekt verliert das Produkt die verbindliche Form einer Abhängigkeit von seinem Urbild nicht; es kann den Bezug zur Vorlage nicht abstreifen, ja erhebt sogar einen Anspruch darauf. In diesem Sinne sind die in der Antike geschaffenen Statuen oder die üblichen Landschaftsbilder und Porträts eher mimetische Objekte. Auch im organischen Bereich begegnen mimetische Bildungen; denn unter der Voraussetzung eines theoretischen Rahmens, der die Existenz präformativer Strukturen annimmt – wie etwa im 18. Jahrhundert – ist die Entwicklung eines Organismus nichts anderes als die expansive Realisation eines strukturell vollständig ausgebildeten, jedoch submikroskopisch kleinen Organismus; diese Realisation ist Mimesis. Solche physiologischen Konzepte wurden noch im Verlauf des 18. Jahrhunderts angezweifelt, da von manchen eingesehen wurde, dass die angesprochenen Prozesse nur unter der Voraussetzung (epi)genetischer Prinzipien durchführbar wären; nach einer Phase im 19. Jahrhundert, welche von aller Präformation Abstand zu nehmen bemüht war, tauchten gegen Ende desselben Jahrhunderts wieder präformative Elemente in den epigenetischen Organismustheorien auf.

Die Vergleiche genetischer und mimetischer Konzepte der vorgestellten einfachen Bildtheorie mit Konzepten physiologischer Theorien mögen dazu anregen, einen Dialog zwischen Kunsttheorie und Theorie der Physiologie zu eröffnen; denn in beiden Grunddisziplinen hat zu bestimmten Zeiten jeweils ein kompetitives Verhältnis zwischen beiden Bild-Konzeptionen bestanden, was schließlich jedoch zu einer Auflösung dieser Dichotomie durch Subordination beider Begriffe unter einen höherrangigen Entwicklungsbegriff geführt hat. Es wären Untersuchungen angebracht, ob bestimmte Muster der Argumentation in dem einen wie in dem anderen Gebiet angetroffen werden können, welchen Zusammenhang die Genesis mit teleologischen oder die Mimesis mit kausalen Denkformen hat, und welche Theoriendynamiken sich in welchen Epochen jeweils für die physiologische Theorie bzw. für die Kunsttheorie daraus ergeben haben.

Die bisher vorgestellten einfacheren Klassifikationsweisen werden verlassen, wenn das Bild relativ zu der dualistischen Erkenntnissituation aus einer Gegenüberstellung von Subjekt und Objekt seine theoretische Einordnung erfährt. Die unmittelbare sinnliche Wahrnehmung mag dann einerseits als ein selbstständiges Bild an sich aufgefasst werden, welches den Gedanken an eine Entwicklung völlig hinter sich gelassen hat; es gibt keine Bezüge auf einen vorgängigen Entstehungsprozess, alles liegt in dem Bild als sinnlicher Entität, wie sie sich an sich zeigt. Andererseits kann das Bild als das Produkt elementarer Wechselwirkungen gewertet werden, welche der Vorstellung die Erscheinungen in Form von Bildern borgen; die Vorstellung wird zu einem eigens bereitgestellten Raum der ästhetischen Theorie, in welchem sich das Bild präsentiert. Die Erscheinungen des Vorstellungsraumes können erstens als eine unter subjektiver Anteilnahme vollzogene Leistung des Vorstellenden begriffen werden – sei diese aktive Instanz nun im Zuge des organischen Zusammenhanges angeboren oder aus psychologischer Sicht durch Erfahrungen gestaltet, eventuell bis zur Unmerklichkeit der Konsequenzen aus diesem Lernprozess; die Konfrontation mit einem Bild bedeutet dann immer auch eine

Berücksichtigung subjektiver Voraussetzungen, ohne welche das Bild nichts oder ein anderes wäre. Das Erscheinungs-Bild erhält dann seine Perspektiven von den kategorialen Voraussetzungen, von der Gemütsverfassung und von der organischen Konstitution. Der Vorstellungsraum kann aber zweitens aufgefasst werden als das Ende einer Bewegung, die ihr *primum movens* allein im Objekte vorfindet, wobei der Vorstellende nur als ein allzeit bereiter Spiegel jener objektiven Bewegung fungiert, welcher er sich passiv – nach bereits festgeschriebenen Gesetzen – ausgeliefert sieht, so dass die perzipierten Bilder in der Vorstellung allenfalls symmetrische oder invertierte Gegenwelten zu den Objektwelten darstellen; die Objekte zerfallen durch den Bezug von Subjekt und Objekt in eine Vielheit möglicher Perspektiven – Bilder, die so aber auch unabänderlich gegeben sind.

Die subjektive wie auch die objektiv aufgenommene Vorstellung haben bei aller Verschiedenheit ihrer konzeptionellen Verknüpfungen immerhin noch die Eigenschaft gemein, dass beide, zumeist räumliche Repräsentationsformen ihre jeweilige Existenz nur im Zusammenhang mit der ästhetischen Kategorie der Zeit für sich beanspruchen können. Eine Ablösung von diesem zeitlichen Charakter gelingt jedoch erst in einer ontologischen Einordnung der bildhaften Erscheinungen, indem Bezug genommen wird auf ihr jeweilig vermitteltes Sein oder auf das Walten eines Scheins.

Wird in einem philosophischen System davon ausgegangen, den nicht-bildlichen Formen des Seins allein Gewissheit zuzuerteilen, dann gerät das Bild in engste Abhängigkeit von diesem vorab gesicherten Sein, indem es unter solchen Vorannahmen nur noch eine abbildende Repräsentation eines wahrhaft Seienden darstellen kann. Am Leitfaden der solchermaßen konstruierten Abbildung stellt sich die Frage, wie im Ausgang vom direkt zugänglichen Bild ein Zugang zu den jenseitigen gesicherten Seinsformen, zu einer verborgenen Wirklichkeit hergestellt, auf welche Weise zu den Gewissheiten und schließlich zur Wahrheit vorgedrungen werden kann. Der Schein des Bildes evoziert einen Rekurs auf reflektierende Formen des Denkens, welche wiederum den Weg zu den jenseitigen transzendenten Formen zumindest aufzeigen.

Nun existiert aber zwischen Sein und Schein bei aller qualitativen Geschiedenheit eine anerkannte quantitative Korrelation: Wie viel Schein an einem Gegenstand des Denkens aufgezeigt werden kann, so viel Sein ist mit diesem Nachweis bereits verbunden; denn der Schein kann einer Relation zum Sein keinesfalls entbehren. Mit der Position von Schein ist also die Position von Sein gleichermaßen gegeben – und das notwendig verbindende Moment unter den Positionen, das sind die Relationen. Es hindert also nichts daran, dem bildhaften Sein – dem Schein des Erscheinenden in der Auslegung jener vorhin erwähnten Gruppe von philosophischen Systemen – absolute Gewissheit zuzusprechen, um in dieser Setzung einem zweiten Typus von philosophischen Systemen das nötige Fundament zu geben. Infolge dieser Setzung tritt das Bild als unhintergehbare Existenzform, als nicht-erscheinendes Seiendes an sich auf; von diesem auf eine ursprünglichere Form des Seins zu schließen, erübrigt sich. Vielmehr tritt jetzt die Frage hervor, wie mit diesem Ideal-Sinnlichen umzugehen ist, um Wirklichkeit zu begründen und um von Wahrheit sprechen zu können. Das, was Bild an sich ist, dient zur Grundlegung von Konstruktionen auf ein nichtsinnliches Ziel hin – um der empirischen

risch bedingten Gewissheit willen. Der Begriff von einem subjektiv gestalteten Vorstellungsraum wird unter dieser theoretischen Einbettung stark eingeeengt.

Wenn das Bild sowohl die Möglichkeit bietet, so verstanden zu werden, dass es durch ein von ihm verschiedenes Objekt indirekt bestimmt ist, als auch dazu dienen kann, auf ihm nicht unmittelbar angehörige Begriffe hin bestimmend zu wirken, dann sind damit die aner kennenswerten Tatsachen festgestellt, zu denen im Rahmen der ontologischen Aufgabe die gemeinsamen Voraussetzungen aufzufinden sind; diese liegen dann im vollen Umfange vor, falls sie erschöpfend die Verhältnisse in den bereits vorgestellten Systementwürfen zu subsumieren vermögen.

Die beiden Richtungen der Konstruktion im Ausgang von den Elementen des gegebenen Bildes zu gesicherten oder zu abgeleiteten Grundlagen bedeuten doch, dass das Bild als Element des Vorstellungsraumes *Abbild*, als sinnliches Ideal *Urbild* sein kann. Diese Einsicht in eine tiefer liegende Dualität der beteiligten Welten klärt wiederum darüber auf, dass mit jeglicher Position eines Bildes – sei es als Vorstellung oder als Ideal – immer auch diejenige eines anderen, nicht unbedingt bildhaften Seins gesetzt ist, zwischen welchen beiden Seienden ein relationales Verhältnis besteht. Solche Relationen, wenn sie schon durch die Position eines einzelnen Seins zum notwendigen Bestandteil eines elementaren Zusammenhangs zweier Seiender werden, müssen neben ihren verbindenden Eigenschaften aber auch eine Richtungsangabe an die Hand geben können; denn sonst könnten Urbild oder Abbild im Verhältnis zum gegebenen Bild nicht unterschieden werden; die in den Begriffen Abbild oder Urbild antizipierte Richtungsanweisung muss in der Relation gründen, die dem gegebenen Bild angehört; ohne diese Anweisung wäre der vorausgesetzte Sinn von Bild verfehlt.

Offen bleibt für die geforderte Relation aber noch, in welcher Form das Sein, auf das hingewiesen wird – auf das ursprüngliche oder auf das abhängige – erreichbar ist oder nicht. Davon bleibt unberührt, ob dieses zu erreichende Sein als eine eigene und vollwertige Form des Seins genommen wird oder nicht; als vollwertig kann es selbst dann eingestuft werden, wenn dieses Sein durch vorgängige Annahmen, etwa zu dessen unterbestimmten Gewissheit, ganz in den Schein verlegt worden wäre, oder wenn die zugehörige Relation nicht mehr als einen bloßen Hinweis auf die Existenz eines Seins liefert, welches mittels der Relation zwar erreichbar, nicht aber darüber hinaus weiter bestimmbar ist – wie es in der Philosophiegeschichte dem Ding an sich begegnet ist.

Durch die so geschehene Präzisierung des relationalen Zusammenhanges im Umfeld des Bildbegriffes kann die ursprüngliche Frage nach dem ontologischen Status des Bildes in neuer Form aufgeworfen werden, wobei zugleich ein Weg zu ihrer Beantwortung angeboten wird; denn die bewusst kontrastierende Übersicht zur Einbettung des Bildes in unterschiedliche Formen des Seins oder Nicht-Seins zeigt soweit hinreichend, dass eine Ontologie des Bildes nicht alleine auf die üblichen Operationen angewiesen ist, die das gegebene Bild begrifflich festzustellen versuchen: Das Sein in unterschiedlichsten Arten und mit verschiedensten Intensitäten an die elementaren Bestandteile des Bildes (Farbe, Glanz, Helligkeit, Kontrast, Form, Gestalt, Figürlichkeit) zu verteilen, wird allemal übertroffen durch ontologisch mitgegebene Formen des Denkens, die erst beim konkreten Versuch der Einbettung des Bildes in seine möglichen Bezüge ihre Bestimmung zeigen, indem sie zu abgrenzbaren Seinsweisen außerhalb der sinnlichen Un-

mittelbarkeit des Bildes hinüberreichen. Diese Aussage gilt sowohl für das Sinnliche im Vorstellungsraum als auch für das Ideal-Sinnliche.

Wenn soweit immer auch eine gleichsam evidente Voraussetzung mit im Spiel war – die Materie des Bildes sei sinnlich allein verfügbar –, so wird durch die Untersuchung des Seins des Bildes selbst in fortschreitendem Maße jenes primär sinnlich gegebene Sein verlassen und dadurch geradewegs aufgehoben, indem die Durchführung dieser Aufgabe schließlich auf allein begrifflich verfügbare Gegenstände des Denkens besonderer Art angewiesen ist, auf elementare Relationen. Diese Operationen entnehmen ihre Bedeutung dem Sinnlichen, das Sinnliche wird zur Quelle ihrer bedeutungsvollen Verweisung auf das nächste Übersinnliche; die Relationen zwischen Sinnlichem und Übersinnlichem sowie das dadurch zu einem Sinnlichen gelieferte Übersinnliche selber erhalten wegen der Nähe zum Sinnlichen einen besonderen Stellenwert innerhalb der relationalen Beziehungen des Bildes und verdienen daher ihre je eigenen Namen: Das nächst-sinnliche Übersinnliche wird durch primäre Ideale¹ vertreten, welche über primäre Relationen mit dem Sinnlichen in Beziehung stehen. Die primären Relationen sind es dann auch, welche die Richtung vom Bild entweder zum Abbild oder zum Urbild enthalten. Von den primären Idealen lässt sich aber darüber hinaus nicht erwarten, dass sie in ihrem substanziellen Sein bereits dazu geschaffen sind, die Richtung des weiteren Beziehungsgefüges im Umkreis des Bildes durch Anschluss an zusätzliche sekundäre Relationen ausreichend zu begründen; sie haben aber immerhin die Bedingung zu erfüllen, den Zugang zu allen denkbar möglichen und daher auch gesuchten relationalen Operationen zu eröffnen, die dem Bild soviel Sein zuerteilen, wie anteilmäßig vom Schein des Bildes selbst verlangt wird; denn mit den primären Idealen sind die notwendigen Voraussetzungen gegeben, um die weiter angefragten sekundären Relationen zu begründen, die auf primäre Ideale Bezug nehmen, um andere Ideale – mitunter wieder auch primäre – hervorzubringen. Führt z. B. der Verbund von primärer Idealität und sekundärer Relation mitunter wieder zu einer primären Idealität zurück, dann ist dadurch erneut eine substanzielle Seinsweise gegeben; dieser korrespondiert diesmal jedoch ein relationaler Begriff mit einem anders gerichteten Verweis als bei den zuvor charakterisierten primären Relationen, indem invers dazu die Bedeutung dieser nachgeschalteten Relation von einer primären Idealität gespeist wird und auf Elemente des Sinnlichen hinzielt. Und schließlich lässt sich dieses Fundament leicht weiter ausbauen: Durch Relationen zwischen den sekundären Relationen können tertiäre Relationen definiert werden, um wiederum höherstufigen Relationen zur Grundlage zu dienen. Dabei gehen die niedrigstufigen Relationen als substantielle Formen in die höherstufigen Relationen ein, so dass diese nach ihrer Sättigung ihre eigentliche Funktion erfüllen können, um substantielle Formen – Ideale einer höheren Stufen – zu liefern.

Die dabei in Kraft tretenden Affinitäten von Relationen und Idealen lassen einen weiteren Aspekt der nicht-sinnlichen formalen Struktur des Bildes hervortreten; es ist eine Verträglichkeit der Ideale einer Stufe mit den Relationen einer höheren Stufe zu fordern, wodurch jene den Operationen der höherstufigen Relationen zugeführt wer-

¹ Um dem Verdacht einer idealistischen Anschauung zu entgehen, wäre es vielleicht ratsamer gewesen, den Begriff ‚Ideal‘ durch ‚Symbol‘ zu ersetzen. In der Hoffnung aber, dass sich diese Fehlleitung leicht ausräumen lässt, wird der ursprünglich gewählte Begriff ‚Ideal‘ beibehalten.

den können. Das primäre Ideal, z. B., kann nur so die Möglichkeit für den Anschluss an sekundäre Relationen – auch Funktionen genannt – bieten, so dass sich dadurch zugleich die Bestimmungen der angewandten sekundären Relationen erfüllen. Da die sekundären Relationen – wie auch ihre höherstufigen analogen Operationen – nur indirekt auf sinnliche Eindrücke Bezug nehmen, können alle höherstufigen Operationen in Abhebung von der primären Relation auch insgesamt als Funktionen bezeichnet werden.

Aus primären Idealitäten und den darauf bezogenen primären und sekundären Relationen, aus sekundären Idealitäten und den darauf bezogenen tertiären Relationen lassen sich induktiv sinnvolle Ketten von Bezügen und Referenzen um das sinnliche Material herum bilden. Folglich kann erst durch die Berücksichtigung relationaler Begriffe sowie der Funktionen der volle Sinn des Abbildens, dessen Verweisungsrichtung sowie das Durchlaufen verschiedener Seinsstufen differenziert werden. Primäre Idealitäten nehmen insofern eine Sonderstellung ein, als sie die Errichtung verweisender Relationen zwischen den Elementen ein und derselben Klasse ermöglichen – derjenigen nämlich, in der das sinnlich Seiende der Bilder zusammengehalten wird – sie ermöglichen zugleich aber auch den Übertritt von der Klasse sinnlicher Seiender in das übersinnliche Sein der Begriffe und umgekehrt. Oder es kann – um dem Bildbegriff sein volles Sein aus der Sphäre der Begriffe zurückzugeben – auch die Formulierung geprägt werden: Dem Bild inhärieren auf unterschiedlichste Weisen gesonderte Typen von Begriffen, die schließlich sogar eine Inhärenz von Bildern in Bildern begründen können. So entsteht der substantielle Schein, dass Bilder aus Bildern anderer Herkunft erklärt werden könnten, oder dass ‚in Bildern gedacht‘ werden könne. Die abbildenden Funktionen aber sind es, welche in gleichem Maße zum Sein der Bilder beitragen wie zum davon abhängigen Schein der Abbilder – oder – nach dem bereits erwähnten metaphysischen Grundsatz – in gleichem Maße zum Schein der Bilder wie zum Sein der ihnen zugeordneten Urbilder. Aus den Funktionen erklären sich auch die Möglichkeiten zu einem reversiblen oder bloß irreversiblen Durchlaufungssinn der Bezüge zwischen den bildlichen Elemente aus der sinnlich gegebenen Klasse von Gegenständen, zur spezifischen Art der Abhängigkeit zwischen Bild und Abbild bzw. Urbild oder zu den mannigfaltigen Formen, in denen die Abbildungsvorschriften der Funktionsbegriffe auftreten können – von naturwissenschaftlich präzisen Gesetzen bis hin zu psychologisch frei assoziierbaren Dingen oder Gedanken.

Der Begriff vom Bild wird durch die so weit getriebene Analyse über seine vordergründigen Bezüge zum sinnlichen Material hinausgedrängt in den Bereich des Übersinnlichen – und teils zurück in andere Bereiche des Sinnlichen; durch den Funktionsbegriff wird der Bild-Begriff zwar zunehmend entsinnlicht, durch eine andere Bewegungsrichtung der Zusammenhänge im Umfeld des Bild-Begriffes zugleich aber auch in seiner Sinnlichkeit zusammengehalten – wegen der Rückgriffe auf differentes Sinnliches. Der Funktionsbegriff erwirkt aber auch eine Verteilung des Seins im Ausgang von den ursprünglichen Setzungen, so dass es auch an diesem liegt, nicht nur Bereiche des Seienden zu umgrenzen, sondern auch womöglich zusammenfließen zu lassen.

Wird das Bild vorab nicht als sinnliche Idealität genommen, gereicht es also nicht zum Grund möglicher Relationen, sondern präsentiert sich als Resultat abbildender

Funktionen, die in möglichst allgemeinem Sinne auftreten können – von der logischen Abbildung von Tatsachen bis hin zur freien Assoziation –, dann lässt sich ein Großteil der Verweisungszusammenhänge im Umfeld des Bildes durch primäre Idealitäten beschreiben. Eingangs wurde ein Spektrum von Begrifflichkeiten vorgestellt, dessen intuitiv empfundene Steigerung der Verweisungen an das Übersinnliche sich nun mit der entwickelten Theorie der Relationen bewahrheiten lassen sollte. Anstelle dieses mechanischen Verfahrens sei stellvertretend ein Blick in die Philosophiegeschichte getan, um den ontologisch fundierten Begriff des Bildes in wenigen, dafür aber umso charakteristischeren historischen Verwendungsweisen wieder aufzufinden.

In den kosmologischen Abschnitten der Erkenntniskritik Kants spielen zwei relationale Beziehungen, die an den Bild-Begriff direkt anknüpfen, eine zentrale Rolle – ihre rezeptionsgeschichtliche Wirkung reicht bis in die Gegenwart: Die Lehre von der Anschauung und die Lehre vom Schematismus. Auf beide Lehren kann im Rahmen der bereitgestellten Theorie kursorisch eingegangen werden, um die Anwendungsmöglichkeiten derselben anzudeuten.

Zunächst einige Ausführungen zur Lehre von der Anschauung: Nach Kants transzendentaler Ästhetik² ist eine Welt der Dinge dem Subjekt allein in den bildhaften Erscheinungen zugänglich – das kosmologische Urbild derselben bleibt dem Subjekt verschlossen; denn weil die Erscheinungen bloße Vorstellungen der subjektiven Sinnlichkeit sind, ist von diesen eine Sphäre transzendentaler Gegenstände zu sondern, die als Dinge an sich dem Erkenntnisvermögen ganz entzogen sind. In den Erscheinungen zeigt sich aber auch die Möglichkeit der empirischen und – werden daraus die empfindungsmäßigen Anteile abgezogen – reinen Anschauung. Die Formen der reinen Anschauung sind die von Raum und die Zeit. Folglich ist der Raum kein Prädikat der Dinge an sich, er ist vielmehr die Form, in der sich ein primäres Ideal der Anschauung in Relation zu den Dingen an sich darstellt, ohne dass je Aufschluss über die Art dieser primären Relation zwischen dem Urbild, dem Ding an sich, und der Anschauung erhalten werden könnte – ebenso wenig über die Art der gegenständlichen Korrelate; der Raum ist folglich eine primäre Relation. Aus diesem sinnlich-begrifflichen Beziehungsgefüge wird unmittelbar einsichtig, inwiefern der Raum als empirische Realität wie auch als transzendente Idealität im System Kants einzuordnen ist. Empirische Realität kann der Raum beanspruchen, da die Existenz einer primären Relation im System Kants mit seinem Begriff der Anschauung gegeben ist – Anschauung verwirklicht sich nur mit Bezug auf empirisch erfahrbare Korrelate; bei allen subjektiven Verhältnissen dieser Konzeption verschafft die bloße Existenz der im Raumbegriff gegebenen primären Relation den Erscheinungen der Anschauung zugleich eine objektive Gültigkeit, so dass auf Grund dieser Relation erst von Dingen an sich, von den Urbildern der Anschauung gesprochen werden kann. Dem Raum kann aber auch der Status einer Idealität zugesprochen werden, da die Rede von Dingen im Raume ohne die primäre Relation ohne Sinn wäre; denn nur in der Anschauung sind die Dinge im Raum, und sie sind damit primäre Ideale als Resultanten einer primären Operation. Eine ähnliche Verkettung von

² Kant (1986), S. 69-96.

Argumenten lässt sich für die Zeit als einer weiteren Form der reinen – aber inneren – Anschauung finden.

Es verbleibt, die Lehre vom Schematismus im vorgegebenen Rahmen zu besprechen: Die Anschauung bildet nach Kant einen Grund für das spontane Vermögen des Verstandes, Begriffe zu den Gegenständen zu denken, die in der Anschauung zur Erscheinung gelangen.³ Der Verstand vermag aber auch ohne Präsenz des anschaulich Gegebenen eine bildliche Vorstellung zu seinen Begriffen zu veranlassen, wobei ihm die synthetische transzendente Einbildungskraft zur Seite steht. Das transzendente Schema ist eine zeitlich bestimmte Regel a priori, die der Einbildungskraft ein synthetisches Verfahren der Verbildlichung der bloß intellektualen Begriffe an die Hand gibt. In diesem Verfahren realisiert sich der Begriff, er liefert eine exemplarische Anschauung, und wird dadurch überhaupt erst zu einem Gegenstand möglicher Erfahrung. Ohne Schematismus gäbe es keine Möglichkeit, einen Umgang mit empirisch relevanten Begriffen überhaupt einzugehen. Erst in der anschaulichen Realisation einer dem Begriff eigenen Regel, erst in dem singulären Abbild eines allgemeinen Begriffs wird der empirische Begriff erfahrbar. Begriff und Bild bedingen einander.

Die Lehren von der Anschauung und vom Schematismus finden – unter anderen Akzentuierungen – zum Ende des 19. Jahrhunderts in Lehren neukantischer Prägung ihren Niederschlag, z. B. bei Helmholtz⁴ oder Hertz. Im Gedenkjahr für den letzteren Naturwissenschaftler mag es nicht unangebracht sein, dessen Bildtheorie aus der Einleitung zu dessen *Mechanik* zu zitieren, die ebenfalls eine breite Rezeptionsgeschichte zur Folge hatte: „Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände.“⁵

Es ist offensichtlich, dass diesem Bild-Begriff eine Beziehung von gegenständlichem Urbild und abgebildeter Seinsweise zugrunde liegt, die sich des sinnlichen Materials des Urbildes entledigt; denn nur eine solche primäre Relation führt aus der Seinsweise des Urbildes heraus, so dass das Bild-Resultat inkomparabel kongruent dem Urbild gegenüber treten kann; die Kongruenz beruht auf der übereinstimmenden Struktur des urbildlichen Bildes mit dem Bild-Resultat, die Unvergleichbarkeit beruht auf der Elimination der empfindungsmäßigen Bestandteile im Bild-Resultat, wodurch das Bild auf Zustände in einem Zustandsraum reduziert wird, der insgesamt die anschauliche Grundlage der naturwissenschaftlichen Mathematisierungstendenz liefert. Die Struktur des Bild-Resultats, welches von einem urbildlichen System abgeleitet ist, vertritt in diesen Fällen das primäre Ideal; es ist charakterisiert durch den Zustand eines abzubildenden Systems in einem anschaulich fassbaren Zustandsraum und geht mit Notwendigkeit eine Bindung mit einer richtungsweisenden sekundären Relation bzw. Funktion ein; aus diesem Komplex lässt sich ein weiteres primäres Ideal, ein weiterer Zustand, entwickeln, welcher als Bild seinerseits eine inkomparable Kongruenz mit den in der Folge auftretenden Phänomenen der natürlichen Abläufe zeigen soll, um der Bildtheorie im

³ Kant (1986), S. 187-194.

⁴ Helmholtz (1998).

⁵ Hertz (1894).

Rahmen der naturwissenschaftlichen Theorie Bestand zu gewähren. Die Möglichkeit der Rückübersetzung in die Sphäre der Naturerscheinungen übernimmt eine weitere primäre Relation. Auf diese Weise generieren einzelne Zustände und Funktionen nach und nach den vollständigen Zustandsraum eines abzubildenden Systems der Natur.

Typische Bilder, die sich – wie die Zustandsräume der naturwissenschaftlichen Abbildungsvorschriften – einem schöpferischen Akt des menschlichen Geistes verdanken – ohne dabei jedoch der Bezugnahme auf das sinnliche Material zu entsagen –, sind die Bilder der Kunschtchaffenden.⁶ Wird davon ausgegangen, dass Bilder nur im Vorstellungsraum in Erscheinung treten können, dann ist das darstellende Bild des Künstlers immer auch ein in ein Bild hineingehaltenes Bild. Die Bilder der Kunst sind Bilder in Bildern, sie sind dadurch Bilder zweiter Art. Bilder zweiter Art können durch eine starke Ähnlichkeitsbeziehung auf die ursprünglichen Bilder, die einzig den Akt der Wahrnehmung – und nicht den zusätzlichen des Künstlers – voraussetzen, Bezug nehmen z. B. im Porträt oder in der Landschaftsskizze. Da ein Bild – wie oben gezeigt wurde – nicht allein aus sinnlichen Elementen schöpfen kann, um sich als Bild zu behaupten, so bietet sich im sekundären Bild die Möglichkeit, die nicht-sinnlichen Elemente des primären Bildes im sinnlichen Material niederschlagen zu lassen – ihm die Perspektive des künstlerischen Sehens zu verleihen. Diese Versinnlichung von Funktionen ermöglicht dem Betrachter wiederum einen Vergleich mit der nichtsinnlichen Seite des eigenen, subjektiven Sehens und so eine gewandelte Bezugnahme auf die primären Bilder. Das sekundäre Bild steht also nicht beziehungslos im primären Bild, sondern führt in der Auseinandersetzung mit ihm durch den Rezipienten zu einer gesonderten Bildwerdung der primären Bilder, indem an diesen die mehrmals gebrochene Weitergabe von Funktionen schließlich an ihr Ziel kommt. Die Tatsache aber, dass sekundäre Bilder aus der Hand des Künstlers Funktionen in ihrer sinnlichen Form festhalten können – ja darin könnte wohl ihr eigentliches Sein als Kunstwerk allein bestehen – diese Tatsache erweitert die Möglichkeiten des Künstlers, die Abbildung zwischen Urbild und sekundärem Bild zu gestalten und demgemäß zu realisieren. Er ist konsequenterweise nicht nur auf die von der Tradition her bekannte starke Ähnlichkeitsbeziehung angewiesen, sondern kann sich auf Relationen von viel allgemeinerer oder sogar logisch-struktureller Natur einlassen, wie sie z. B. seit der frühen abstrakten Kunst vorgelegt worden sind, oder er kann das sinnlich-funktionale Element aus seinem Werk versuchen zu eliminieren, um beim Betrachter die Notwendigkeit des Griffs zu Funktionen zu evozieren.

Die einzelnen Stationen dieses Beitrages lassen sich abschließend zu folgenden Überlegungen zusammenfassen: Die Reflexionen über den Wahrnehmungsprozess und über die Inzitation des Vorstellungsraumes haben dazu geführt, der Ontologie des Bildes entlang seines relationalen Charakters nachzugehen. Das nicht-sinnliche Relations-

⁶ Nicht die darstellenden Künste alleine liefern solche Bilder, sondern auch die Bilder nach Art der musikalischen oder literarischen Schöpfungen verweisen auf gewisse Relationen, in denen ein Bezug zu ursprünglicheren Verfassungen hervortritt. Erst unter Einschluss dieser Abbildungsvorschriften tritt der Bildbegriff in seiner größtmöglichen Allgemeinheit hervor. Dennoch genügt für die folgenden Ausführungen ein gewöhnlicher Bildbegriff, der die visuelle Präsenz der künstlerischen Schöpfung voraussetzt. Steht doch auch der Begriff der Anschauung am ehesten mit den visuellen Empfindungen in Verbindung.

gefüge des Bildes besteht zumindest aus den primären Relationen, aus den primären Idealen und aus den sekundären Relationen bzw. Funktionen, die zwischen den primären Idealen vermitteln. Primäre Ideale entsinnlichen das Bild keineswegs, da die Funktionen die Rückführung zu weiterem sinnlichen Material ermöglichen; die konzentrierte Besinnung auf die nicht-sinnlichen Relationen und Funktionen begründet schließlich eine beliebig ausdehnbare Bereicherung der sinnlichen Dimension der Bild-Ontologie. Die Existenz der einzelnen ontologischen Momente des Bildes konnte an Fällen aus der Philosophiegeschichte demonstriert werden. Dass die bereitgestellte ontologische Struktur die geforderte Allgemeingültigkeit auch erfüllen kann, dazu wurde im letzten Teil des Beitrages eine Theorie des Bildes sowohl für die Naturwissenschaften als auch für die Kunstwissenschaften skizziert.

Literatur

1. Helmholtz (1998): Hermann von Helmholtz, Schriften zur Erkenntnistheorie, kommentiert von Moritz Schlick und Paul Hertz, herausgegeben von Ecke Bonk, Wien, New York 1998
2. Hertz (1894): Heinrich Rudof Hertz, Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhang dargestellt. Leipzig 1894
3. Kant (1986): Immanuel Kant, Kritik der reinen Vernunft, herausgegeben von W[.] Weischedel, Darmstadt 1968

Weiterführende Literatur

1. Grush (2007): Rick Grush, Berkley and the spatiality of vision, *Journal of the History of Philosophy* 45 (2007), pp. 413-442
2. Herissone-Kelly (2007): Peter Herissone-Kelly, The Transcendental Ideality of Space and the Neglected Alternative, *Kant-Studien* 98 (2007), S. 269-282
3. Holz (1996/97): Hans Heinz Holz, Philosophische Theorie der bildenden Künste, Bielefeld, 1996-1997, Bd. 1-3
4. Ingarden (1962): Roman Ingarden, Untersuchungen zur Ontologie der Kunst. Musikwerk, Bild, Architektur, Film, Tübingen, 1962
5. Reisinger (1979): Peter Reisinger, Idealismus als Bildtheorie. Untersuchungen zur Grundlegung einer Zeichenphilosophie, (Habil. Univ.) Stuttgart, 1979
6. Schellenberg (2007): Susanna Schellenberg, Action and Self-location in Space, *Mind* 116 (2007), pp. 603-631
7. Schmid (1975): Rainer Schmid, *Lux incorporata*. Zur ontologischen Begründung einer Systematik des farbigen Aufbaus in der Malerei, (Univ. Diss. München) Hildesheim 1975
8. Siewerth (1952): Gustav Siewerth, Wort und Bild. Eine ontologische Interpretation, Düsseldorf 1952
9. Wunenburger (1997): Jean-Jacques Wunenburger, *Philosophie des images*, Paris, 1997

B. Das Bild als Abbild von Wirklichkeit?

Bild und Wirklichkeit

Walter Oberschelp

1. Einleitung

Unser tägliches Leben und Erleben wird entscheidend gesteuert durch die Wahrnehmung der Wirklichkeit. Diese vollzieht sich mit allen Sinnen in der vierdimensionalen Welt von Raum und Zeit. Doch die Wirklichkeit ist flüchtig, der Augenblick verweilt nicht, wenn er auch noch so schön ist. Deshalb hat der Mensch in seiner kulturellen Evolution niederdimensionale Techniken entwickelt, um das Erlebte zu bewahren, seine Kommunikationsmöglichkeiten zu erweitern und die komplexe Wirklichkeit durch Strukturierung zu vereinfachen.

Die ältesten Errungenschaften dieser Evolution sind Sprache und Schrift. Während Sprache auch noch von (höheren) Tieren bewältigt wird, ist Schrift bereits ein anthrop(ologisches) Alleinstellungsmerkmal. Zeichen und Ziffern – sie sind nicht mehr der Vergänglichkeit ausgeliefert, sondern eindimensionale Codierungen einer bleibenden Information. Die Höhlenmenschen von Altamira wagten sich dann an die Erschaffung und Verarbeitung von Bildern. Sie lernten es, Darstellungen von Tieren und Menschen zu schaffen, die unser Auge (mit Hilfe des Gehirns) wieder erkennen und deuten kann. Nur wenige Tiere können – in sehr eingeschränktem Maße – Bilder lesen.

Wir gehen im Folgenden vor allem von Bildern aus, bei denen der Produzent (Maler) mit seinem Werk einen Publikums-Erfolg beabsichtigt, indem er eine Aussage macht, die man „lesen“ (verstehen) soll. Seiner Technik der Bild-Synthese entspricht auf der anderen Seite die Analyse – schlicht gesagt das Betrachten eines Bildes und die daraus resultierende Deutung. Dabei beschränken wir uns auf fest stehende Bilder, lassen also bewegte Bilder (Filme, Videos) außer Betracht. Die Film-, Video- und Fernseh-Technik überlistet mit hoher Bildrate die Trägheit des menschlichen Auges und schafft eine (fast) perfekte Bewegungs-Illusion. Das Bild aber bleibt in der Flächen-Dimension, es übt im Hinblick auf die Verwirklichung zeitlicher Abläufe Abstinenz und fordert hohen Zeitaufwand zu seiner Auswertung. Nicht immer zeigt ein solches Bild eine Augenblicks-Wirklichkeit: Es ist auch möglich, in einem Bild Bahnen von Bewegungen und damit auch eine kinematische Wirklichkeit darzustellen.

Des Weiteren verzichtet das Bild auf die Darstellung der dritten Raumdimension, welche der Skulptur in der Plastik, einer weiteren Disziplin der bildenden Kunst, direkt möglich ist.

2. Das technische Bild als Informations-Speicher

Die Fotografie war der erste Schritt einer Technik, die „Handarbeit“ des Malers durch eine automatische Wiedergabe von Helligkeits- und Farb-Werten auf einer zweidimensionalen Fläche zu ersetzen. Die Fähigkeit, mit zwei Augen auf der zweidimensionalen Netzhaut die Wirklichkeit auch räumlich zu erkennen, dieses Erfolgsmodell der Evolution bildet in der klassischen Fotografie mit dem mehr oder weniger feinkörnig mit

Chemikalien beschichteten, scheinbar kontinuierlichen Foto und mit der heutigen, für mehrere Millionen Pixel ausgelegten Kamera den Versuch einer technischen Analogie zu unserer anatomischen Ausstattung. Fotografische Genauigkeit ist – besonders in der Wissenschaft – zum Maß aller Dinge geworden. Diese Analogie ist allerdings nicht perfekt, denn erst mit einer 3D-Brille kann man bei dafür präparierten Bildern einen wirklichkeitsgetreuen Raum-Eindruck erzielen. Die Technik der Holografie mit ihren je nach Blickrichtung unterschiedlichen Bildgebungen schießt dann über das Ziel einer treuen Wirklichkeits-Wahrnehmung hinaus und wird vom Betrachter eher als Zauberei denn als Wirklichkeit gewertet.

Es geht häufig darum, wissenschaftliche Bilder für das betrachtende Publikum derart aufzubereiten, dass sie die interessierende Information freigeben. Bilder sollen Anschauung vermitteln. Man muss dabei nicht nur an Fotos der Erde aus dem Welt-raum heraus, der Rückseite des Mondes und weiterer von Weltraumsonden aufgenommener Objekte (Mars, Jupiter, Saturn mit Mond Titan, Deep-Sky-Konfigurationen) denken. Es gibt auch eine Anschauung des eigentlich Unsichtbaren, eine intellektuelle Phantasie des bildhaften Modells. Man denke an Visualisierungen mit Hilfe des Elektronenmikroskops aus der Nano-Welt, die Situationen zeigen, die man im normalen Licht nicht sehen kann, oder gar an fiktive Bilder (Bohr'sches Atom-Modell mit kreisendem Elektron), die Wirklichkeitswert besitzen können.

Solche Abbildungen im Sinne eines vereinfachenden Modells für eine komplexere Wirklichkeit stellen eine funktionelle Parallele zur Karikatur in der Bildkunst dar. Die Skizze als technisches Bild ist das Gegenstück von fotografischer Exaktheit und hat ebenfalls einen hohen Anschauungswert. Gerade an einer Technischen Hochschule wie der RWTH Aachen hat somit das technische Bild einen hohen Stellenwert nicht nur für die wissenschaftliche Dokumentation, sondern auch als Quelle der Inspiration für weitergehende Forschungen. Der Band „Bild und Erkenntnis“¹ gibt davon Zeugnis.

Um zu einer räumlichen Information des Dargestellten zu kommen, entwickelte die Mathematik Methoden, aus mehreren unterschiedlichen Perspektiven zweidimensionaler Projektionen das korrekte dreidimensionale Objekt koordinatengetreu zu rekonstruieren. Die Konstantin-Ausstellung in Trier 2007 zeigte die Kopie eines überdimensionalen Kopfes des Kaisers, die allein aus Fotos des in Rom verbleibenden Originals „originalgetreu“ hergestellt wurde. In der Organ-Prothetik, z. B. auch der Zahnmedizin, wurden Techniken entwickelt, statt aufwendiger (Gips-)Modellierungen die räumliche Situation mit Hilfe von Fotos der Rudimente zu berechnen. Neuere bildgebende Verfahren in der Medizin (Röntgen, Ultraschall, MRT, PET, SPECT usw.) überwinden das Hindernis der unmittelbaren Sichtbarkeit und enthüllen Projektionen einer dem Auge verborgenen Wirklichkeit.

Alle diese Techniken sind reproduktiv – sie geben eine Wirklichkeit „treu“ wieder. Dem steht nicht entgegen, dass man in der Bildverarbeitung wirklichkeitsgetreue Bilder auch (bis hin zur Fälschung) manipulieren kann, z. B. durch Änderung ganzer Farbbereiche zwecks besserer Anpassung an die Farb-Empfindlichkeit des menschlichen Auges (Falsch-Farben-Technik) oder durch systematisches Verzerren (Morphen) oder

¹ Beyer/Lohoff (2005).

Zoomen einzelner Bild-Strukturen. Künstlerische Darstellungstechniken wie die von Modigliani oder Dali sind durchaus in gewissem Umfang mathematisch analysier- und imitierbar und darüber hinaus auch noch weiter variierbar.

Ein weiterer Quantensprung vollzog sich dann mit den generativen Möglichkeiten des Computers: Lange, mehr als eine Generation lang, hatte die Informatik seit der Mitte des 20. Jahrhunderts im elektronischen Nachvollzug die Kulturtechnik des Arbeitens mit (eindimensionalen) Zeichenreihen weiter entwickelt. Formale Sprachen als Idealisierungen der natürlichen Sprache halfen nicht nur, diese besser zu verstehen und zu analysieren, sondern sie trugen mit ihren generativen Möglichkeiten auch dazu bei, sinnvolle Texte der Alltagssprache zu erzeugen – nicht nur als Software-Programme einer Kommandosprache. Serienmäßig hergestellte Briefe und Bescheide enthalten heute Textbausteine, die nach Analyse der vorliegenden Semantik inhaltskonform und formgetreu zu einem Gesamt-Dokument zusammengebunden werden.

Es war dann nur folgerichtig, dass die Informatik in den 1980er Jahren mit der Computergrafik den Schritt vollzog, die Techniken der Bildkunst perfekt nachzuahmen. Der Rechner kann heute zeichnen und pinseln, er kann virtuelle dreidimensionale Modelle von Objekten, von Bauten, von Strömungen – auch in Bewegung – auf den Bildschirm projizieren, mit vielen (parametrisierbaren) Techniken kolorieren und beleuchten. Diese Visualisierungen sind rationale digitalisierte Nachkonstruktionen von Wirklichkeit. Sie können bei sehr feinem Raster auch als „verschmierte“ Abbildungen den Eindruck vollkommener Natürlichkeit erwecken. Wir sind weit davon entfernt, in banausischer Verblendung hier eine Alternative zur bildenden Kunst zu sehen (das Schlagwort „Computerkunst“ meint etwas anderes, z. B. die Welt der „Apfelmännchen“, die das Tor zu nie vorher gesehenen künstlichen Wirklichkeiten eröffnet). Immerhin kann aber das Wissen über die im Computer präzisierten Bild-Erzeugungstechniken dem Kunsthistoriker Hinweise für Voraussetzungen und Hintergründe der künstlerischen und auch der rationalen Bilderzeugung geben.

Das Wettrüsten der künstlichen Bilderzeugung ist noch nicht zu Ende. Es geht dabei nicht nur um unwirkliche Welten – auch die virtuelle Realität (VR), d. h. die „unwirkliche Wirklichkeit“, steht vor den Toren. Noch erscheint es unsicher, ob wir zukünftig automatisch in Realzeit 3D-Wirklichkeit erzeugen können, obwohl dies sicher eine wünschenswerte Technik sein könnte – z. B. in der Erzeugung von Relief-Landkarten für Blinde. Wer, ausgestattet mit Spezialbrille und sonstigem Accessoire in der „Cave“ virtuelle 3D-Wirklichkeit wahrnimmt, kann mit seinen Händen (nicht mit dem Daten-Handschuh) immer nur den Bildschirm fassen.

Alle diese Techniken gehen von dem Paradigma aus, dass auf dem Bildschirm eine aus rechteckig angeordneten Bildelementen (Pixeln) bestehende Information aufgebaut wird, die man als Abbild entweder mit dem Auge oder auch mit systematischer – meist rechnergestützter – Analyse bis ins letzte Detail auswerten kann.

3. Bild-Verstehen als ungelöstes Problem der Informatik

Aber es fehlt der Informatik noch etwas: Das Bild-*Verstehen*. Wer einmal einen Algorithmus analysiert hat, der die Menge der unterschiedlichen Blutkörperchen eines „Blutbildes“ automatisch zählt und dabei sich überlagernde Objekte voneinander trennt, versteht die Grenzen der Bildverarbeitung durch den Computer. Wir haben insbesondere noch keine zuverlässige automatische Suchtechnik für Bilder. Wenn eine medizinische Operation gefilmt wird und nachkontrolliert werden soll, ob Schwester Annemarie wirklich den vierten Tupfer entfernt hat, so können wir den Film beliebig schnell abspulen und an textuell definierte Positionen springen, aber die kritische Bild-Stelle müssen wir noch selbst finden. Es sei denn, wir haben eine Software eingebaut, die Mulltupfer erkennen kann. Das Paradigma des Bild-Verstehens steht noch auf vielen Krücken. Zwar liefern die diagnostischen Möglichkeiten der medizinischen Bildverarbeitung dem Arzt wertvolle und unersetzliche Hilfestellungen, aber noch ist seine eigene Analyse unersetzlich. Die digitale Bildverarbeitung ist „extensional“ und simuliert „Intensionen“ durch mathematische „pixelbasierte“ Hilfskonstruktionen. Das Problem einer autonomen vorstrukturierten Erkennung von Bild-Teilen oder gar -Impressionen ist auf Pixel-Ebene noch nicht direkt lösbar. Instrumente dieser niederen Ebene sind bisher behavioristisch imitierende Techniken: Histogramm, Cluster, Differenzbild für Bewegungen und Kontraste, ROI (Region Of Interest), Einstellung der Bildschärfe, Beleuchtungsmodelle für diffuses Licht, Reflexion und Brechung, Messung des Informationsgehaltes von Bildern.

Worin liegt die eigentliche Schwierigkeit des Verstehens? Der Computer kann die durch die enorme Vernetzungsdichte der Neuronen ermöglichten assoziativen Fähigkeiten des Gehirns, die durch die lange Evolutionsgeschichte „trainiert“ wurden, noch nicht adäquat bei der Selektion des Gesuchten imitieren. Beim Bild-Verstehen geht es immer um die Rückkopplung zwischen dem Bild-Produzenten (sei es der Maler oder auch der Fotograf bei der Auswahl seines Motivs) mit dem Bild-Rezipienten, dem Betrachter, der nicht nur die abgebildete Wirklichkeit erkennen will, sondern auch die Intention des Produzenten und den jeweiligen Kontext. Die Probleme der Informationstechnik mit dieser Anforderung zeigen sich z. B. bei den Versuchen, unerwünschte Werbung aus TV-Sendungen automatisch auszufiltern: Immer wieder werden solche Filter entwickelt und auf Messen vorgeführt, aber offensichtlich von Werbekartellen erfolgreich boykottiert und unterdrückt, und ganz einfachen Ersatz hierfür kann man sich offensichtlich nicht selbst programmieren. Es geht beim Bildverstehen auch nicht nur um das Erkennen von Objekten und Formen, sondern meist um abstraktere Konzepte: Wenn ich vor dem Fernseher einschlafe und nur geweckt werden will, wenn „Sport“ kommt, so kann es geschehen, dass mich der automatische Filter auch bei der Darstellung eines Sonnen-Unterganges weckt, weil er die Sonne für einen Sport-Ball hält. Das automatische Erkennen einer komplexen Wirklichkeit ist eins der großen ungelösten Probleme der Informationstechnik. Man hilft sich bei dem skizzierten Problem mit einer behavioristischen Erkennung von Sport-Szenen: Schneller Szenenwechsel, akustischer Beifall sind typische Begleiterscheinungen, die allerdings auch als Indikatoren versagen können (beispielsweise beim Schachsport). Das Internet kann (noch) keine Dien-

ste anbieten, aus Bild-Dateien, die ohne verbale Überschriften oder Inhaltsangaben gespeichert sind, zu selektieren. Denkbar wäre ja zumindest ein Eingabe-Display, das zu einer Bildskizze passende Bilder aus dem Bestand „retriviert“; Interessant wäre dann die Antwort auf ein eingegebenes Klecksogramm. Momentan undenkbar ist wohl auch noch eine Suchtechnik, die zu einer Karikatur das gemeinte Objekt findet oder die gar den „Witz“ an der Sache „versteht“.

Dem schwierigen, offensichtlich (noch) nicht automatisierbaren Problem des Bild-Verstehens muss sich auch die Alltagswelt stellen bei der Betrachtung von Abbildungen, die den Anspruch erheben, eine spezielle Wirklichkeit abzubilden. Hierzu gehören auch Landkarten, die in einem laufenden Forschungsprojekt² behandelt werden. Karten und Pläne erschließen ihren Sinn nur dem Kundigen, der mit den jeweiligen Konventionen der Wirklichkeits-Darstellung vertraut ist. Der Durchschnittsbürger hat z. B. Schwierigkeiten, eine Straßenkarte zu lesen, bzw. die Fähigkeit hierzu scheint zu degenerieren mit dem immer perfekter werdenden Angebot von GPS, einen Weg „eindimensional“ durch eine Folge von Befehlen zu finden. In der Regel wird auch ein normales Bild erst durch die Unterschrift verständlich. Von der Problematik illustrierter Gebrauchsanweisungen weiß nahezu jeder ein Lied zu singen.

4. Naturwissenschaften bei der rationalen Analyse historischer Bilder

Historische Bilder bieten weitere Verständnisprobleme. Es sind hier noch Verständnishorizonte erforderlich, die über die üblichen Kriterien des Bildverstehens hinausgehen. Diese Bilder sind in der Regel geschaffen, um in einen Dialog mit dem Betrachter zu kommen. Sieht man einmal von den Schöpfungen des Naturalismus ab – den Vorläufern der Fotografie – so bieten sie uns in einer chiffrierten Manier diesen Dialog an. Da der zeitliche Abstand zwischen der Produktion und der Rezeption des Bildes groß ist, braucht man zum Verstehen historisches Know-How. Es kann hier nicht das gesamte Repertoire der kunsthistorischen Bild-Analyse behandelt werden. Vielmehr wollen wir uns auf solche Bilder konzentrieren, die einen Wirklichkeitsanspruch erheben und die zu ihrer sachgemäßen Interpretation auch solches zusätzliche Wissen erfordern, das Kunsthistoriker in der Regel nicht besitzen. Dabei soll hier von speziellen Aspekten der Bild-Erzeugungstechnik abgesehen werden – wie z. B. Farb- und Material-Analysen. Vielmehr geht es uns im Folgenden um zusätzliche naturwissenschaftliche Analysen des Dargestellten im Hinblick auf die Bild-Inhalte. Wir wollen also im Sinne historischer Forschung Bilder untersuchen aus der Sicht des Betrachters, der ein Bild als etwas Gegebenes wahrnimmt und der in der Regel keinen direkten Kontakt zum Maler mehr hat, der aber im Bild in detektivischer Manier mit seinem speziellen Wissen inhaltliche Fakten oder zumindest Indizien entdeckt, die neu sind und die zu einem tieferen Verständnis führen.

Die begrenzten Methoden der Naturwissenschaften reichen natürlich nicht aus, um neue Erkenntnisse über Stimmungen und emotionale Inhalte, über Impressionen

² Gemeinsam mit C. Roll und D. Engels im Rahmen des Aachener Kompetenzzentrums für Wissenschaftsgeschichte (AKWG). Vgl. www.akwg.rwth-aachen.de. Siehe hierzu auch den Beitrag von C. Roll in diesem Band.

und Expressionen, aus Bildern herauszulesen. Auch diese Inhalte geben selbstverständlich Wirklichkeit wieder. Es geht uns hier um rationale Erkenntnisse über Bild-Inhalte und -Kontexte. Wir beschränken uns dabei auf historische Bilder, haben aber bereits darauf hingewiesen, dass auch für moderne wissenschaftliche Fragen das Problem der naturwissenschaftlichen Deutung von Visualisierungen besteht. Die im Anhang beispielhaft behandelten Bilder bzw. Abbildungen stammen aus völlig verschiedenen kunstgeschichtlichen Bereichen und mögen die Vielfalt der Möglichkeiten für neue rationale Erkenntnisse in historischen Bildern verdeutlichen.

5. Insiidiäre Indizien bei Programm-Bildern

Dass Werke der bildenden Kunst kulturgeschichtliche Details ihrer Entstehungszeit verraten können, ist eine Binsenweisheit: Man braucht nur themenbezogene Bilder des täglichen Lebens (z. B. die „Kinderspiele“ von Pieter Brueghel) oder Schlachtengemälde anzuschauen. Man findet in ihnen eine Fülle von Details und Eindrücken, die man aus Quellen-Texten (Szenen-Beschreibungen) kaum herauslesen könnte.

Es geht bei unseren Betrachtungen aber um eher hintergründige, von uns „insidiär“ genannte Erkenntnisse (insidiae, -arum, lat. Hinterhalt), welche man aus solchen „Programm“-Bildern herauslesen kann, wobei wissenschaftliche Methoden helfen müssen. Bilder von Grünewald, Elsheimer und Kalf dienen hier als Beispiele. Bilder müssen aber nicht unbedingt dingliche Wirklichkeiten thematisieren. Ein Schrei (Munch) oder die zerfließende Zeit (Dali) sind Beispiele für abstrakte Themen. Der Holzschnitt „Melencolia“ von Dürer thematisiert ebenfalls eine abstrakte, beinahe surreale Wirklichkeit.³ Hier wird eine eher rätselhafte Konstruktion vorgenommen, wobei die einzelnen Bildelemente vordergründigen Wirklichkeitswert besitzen, aber ebenfalls insidiäre Indizien verbergen. Noch stärker ist dieser Eindruck bei Abbildungen von M. C. Escher, der mit Vorliebe aus lokal mit der räumlichen Erfahrung konsistenten Szenen ein Gesamtbild erzeugt, das paradox ist: Wasser fließt schließlich eine Treppe hinauf. Von hier bis zum Vorspiegeln einer Wirklichkeit durch optische Täuschungen ist es dann nur noch ein kleiner Schritt.

6. Meta-Indizien bei Abbildungen mit dokumentierender Intention

Eine besonders interessante Klasse von rationalen Erkenntnissen gewinnen wir aus historischen Bildern, die mit einer belehrenden Intention geschaffen wurden. Dazu gehören beispielsweise das Salzburger Planisphærium und die Ebсторfer Weltkarte.⁴ Ein genaueres wissenschaftliches Studium solcher Objekte kann zusätzliche Erkenntnisse (über den reinen Aussagegehalt hinaus) erbringen, die als Meta-Indizien bezeichnet werden können. Der Entstehungskontext oder allgemeiner der Kenntnis-Stand der Zeit kann aus solchen Indizien methodisch enthüllt werden. Als weiteres Beispiel sei die

³ Vgl. Abbildung 1.

⁴ Vgl. Abbildung 2.

Schedel'sche Weltkarte genannt mit den sich daran anschließenden Spekulations-Möglichkeiten über das geografische Vorwissen der frühneuzeitlichen Entdecker.

Erwähnt seien hier ferner die vielen astronomischen Zeichnungen und Skizzen nach der Erfindung des Fernrohrs – aber vor der Einführung der Himmels-Fotografie, die in ihrem Wirklichkeitswert durch optische Täuschungen (Marskanäle von Schiaparelli) korruptiert werden konnten. Man erkennt hier auch Grenzen der Interpretationsgenauigkeit von Zeichnungen: Die Frage z. B., ob Domenico Cassini 1676 tatsächlich der Entdecker der nach ihm benannten Teilung des Saturnringes gewesen ist, oder ob Giuseppe Campani zwölf Jahre vorher eine gleichwertige Beobachtung getätigt (und auch beschrieben) hat, lässt sich auf der Grundlage der vorhandenen Bild- und Textquellen nur unter Hinzunahme weiterer Kenntnisse über die technischen Möglichkeiten von Fernrohren der damaligen Zeit mit letzter Sicherheit beantworten.⁵

Eine besonders ergiebige Klasse von Abbildungen ist schließlich die der Darstellung von historischen technischen Geräten. In der Moderne ist die Erstellung von Gebrauchsanweisungen eine Notwendigkeit, weil der Markt die vielen Benutzer mit einem Gerät vertraut machen muss. Bei historischen Abbildungen von Geräten wird dagegen in der Regel angenommen, dass der Betrachter die Benutzungsweise kennt (oder sie vielleicht auch gar nicht kennen lernen soll). Für den heutigen Betrachter entsteht also das Problem einer Rekonstruktion der Gebrauchswirklichkeit.

Ein Paradebeispiel für diese Problematik ist der antike Abakus. Wir verfügen nur noch über zwei aus der Antike stammende Abakusse, die aber teilweise beschädigt und nicht mehr gebrauchstüchtig sind, ferner über wenige bildliche Darstellungen.⁶ Wie wurde mit dem Abakus gerechnet? Für die niederen Rechenoperationen (Addition, Subtraktion) ist dies noch einigermaßen evident, aber die Ausführungsweise von Multiplikationen oder gar Divisionen bleibt rätselhaft, und auch die Handhabung moderner Abakusse in östlichen Ländern (Russland, China, Japan) kann zur Rekonstruktion der antiken Wirklichkeit wenig beitragen. Zudem ist die oft gehörte Behauptung, nur der Abakus hätte im Altertum und im frühen Mittelalter das Rechnen ermöglicht, nicht richtig: Die hoch entwickelte karolingische Kultur, die ebenfalls rechnen konnte, kannte den bisherigen Erkenntnissen nach den Abakus überhaupt nicht, und überdies wissen wir aus eigenen Untersuchungen, dass die Systematik der damals gebräuchlichen römischen Zahlen durchaus ein vernünftiges Rechnen mit münzenartigen Rechensteinen ermöglichte.

Ein weiteres – wohl weitgehend gelöstes – Rätsel ist das Astrolab, das bereits in der Antike bekannt war.⁷ Nach wie vor umstritten ist aber die Benutzungsweise der „Sternenuhr“ des Pacificus von Verona, die wenigstens in einigen mittelalterlichen Klöstern im Gebrauch gewesen sein muss.⁸ Die Abbildung eines „Memoriergerätes“ aus der Früh-Renaissance schließlich ist ein Beispiel für die Notwendigkeit einer kritischen Hinterfragung angeblicher Gebrauchsanweisungen und einer eigenständigen Begutachtung solcher Abbildungen.

⁵ Vgl. Abbildung 3.

⁶ Vgl. Menninger (1958).

⁷ Vgl. Abbildung 4.

⁸ Vgl. Abbildung 5.

7. Anhang: Die Beispiele

Im Folgenden werden einige der in den beiden vorangegangenen Kapiteln 5 und 6 zitierten und teilweise abgebildeten Bilder quellenmäßig beschrieben, und ihre Relevanz im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird jeweils kurz dargestellt.

7.1 Zu 5. *Insidiäre Indizien bei Programm-Bildern*

7.1.1 Matthias Grünewald, ‚Kreuzigungsbild‘ (Isenheimer Altar in Colmar) (1512-1515)

Dieses Meisterwerk zeigt in einmaliger Weise eine düstere Stimmung bei der Kreuzigung Jesu mit der Darstellung der biblisch bezeugten Sonnenfinsternis. Die Korrektheit der Szene ist natürlich für den Astronomen nicht glaubhaft: Beim jüdischen Passahfest, das an die Vollmond-Konstellation gekoppelt ist, kann keine (sich nur bei Neumond ereignende) Sonnenfinsternis stattgefunden haben. Doch diese Wirklichkeits-Kritik ist hier nicht der Punkt, sie führt in die Tiefen der Deutung von Bibeltexten. Stattdessen: Grünewald zeigt die Stimmung einer totalen Sonnenfinsternis mit ihren charakteristischen Erscheinungen (besonders dem allseitig hellen Horizont), die zu seiner Zeit nur jemand kennen konnte, der eine totale Sonnenfinsternis schon einmal selbst erlebt hatte. Totale Sonnenfinsternisse sind sehr selten und überdies nur in sehr schmalen geografischen Bereichen als solche beobachtbar. Die Astronomie kann alle diese Ereignisse zeit- und ortsgenau rekonstruieren. Somit müsste eine Zuordnung des von Grünewald beobachteten Ereignisses zu seiner nur fragmentarisch bekannten Vita möglich sein.

7.1.2 Adam Elsheimer, ‚Flucht nach Ägypten‘ (1609)

Dieses bekannte Gemälde aus der Alten Pinakothek in München zeigt die nächtliche, vom Vollmond erhellte Stimmung bei der biblisch berichteten Flucht mit dem Jesuskind im Kontext einer deutsch anmutenden Landschaft. Es war 2006 Gegenstand einer von Astronomen des Deutschen Museums betreuten Ausstellung, die an dem Bild einen astronomischen Wirklichkeitsbezug aufzufinden glaubten. Die Astronomen behaupten, dass der Künstler ein wirklichkeitsgetreues Gemälde des Sternenhimmels geben wollte und datieren die Szene mit astronomischen Rekonstruktionen taggenau in das Jahr 1609. Überdies ist das Entstehungsjahr 1609 des Bildes verbürgt. Generell sollte man Skepsis gegenüber astronomischem Übereifer bei solchen Datierungsversuchen hegen. Entsprechende Versuche, Aussagen hinsichtlich des Entstehungsdatums der (eine Planetenkonstellation zeigenden) Leidener Aratea zu treffen oder gewagte Hypothesen über die Realität des Sterns von Bethlehem als astronomisches Ereignis aufzustellen, sind nach unserer Meinung zum Scheitern verurteilt – Kepler durfte da noch anderer Meinung sein: Er deutete mit seiner damals neuen Technik der Rückrechnung planetarischer Konstellationen das biblische Ereignis als „große Konjunktion“ der Planeten Jupiter und Saturn. Unsere heutigen Vorstellungen über den mythischen und den faktischen Gehalt des Matthäus-Evangeliums lassen uns dagegen diese und andere Spekulationen (Komet, Supernova) als fundamentalistische Bestätigungsversuche erscheinen.

Im Gegensatz zu solchen problematischen Spekulationen scheint es aber beim Elsheimer-Gemälde eine unleugbare Tatsache zu sein, dass hier der Mond mit einer Genauigkeit gemalt wurde, die auf die Verfügbarkeit eines Fernglases schließen lässt. Und nun kommt der Clou: Dies ist dann vor dem Jahr 1610 gewesen, dem Jahr, in dem nach bisherigem Kenntnisstand Galilei weltweit als erster mit einem Fernrohr den Himmel beobachtet hat. Unplausibel ist eine solche Korrektur der bisherigen Meinung nicht, denn das Fernrohr wurde 1608 in den Niederlanden durch H. Lippershey erfunden, und wir wissen, dass sich diese Erfindung schnell herumsprach und dass im Jahr danach schon viele Zeitgenossen ein Fernglas besaßen.

7.1.3 Willem Kalf, *„Stilleben“* (ca. 1650)

Das Stilleben ist ein Genre der bildenden Kunst, in dem sich die Frage nach dem Wirklichkeitsbezug in besonderer Weise stellt. Neben dem Interesse an der Darstellung der einzelnen Elemente eines solchen Bildes spielt natürlich die Frage nach der Gesamtaussage einer solchen Komposition eine wichtige Rolle. In der Ausstellung „Gemaltes Licht“ von Stilleben des niederländischen Malers Willem Kalf im Frühsommer 2007 im Aachener Suermondt-Ludwig-Museum gab es Anlass zu interessanten kunsthistorischen Studien. Dabei wurde in einem Vortrag von Stefan Grohé (Köln) die Perfektion in der Wiedergabe von Beleuchtung hervorgehoben und die Einbettung dieses neuen Könnens in den naturwissenschaftlichen „Geist dieser Zeit“ vorgenommen. Für den Informatiker, der sich mit der Modellierung von Beleuchtungs-Szenen durch physikalische Analogien auskennt, stellt sich die legitime Frage: Was genau in der Wiedergabe von beleuchteten Szenen hat Kalf damals „verstanden“? Es erscheint uns ein sinnvoller Versuch zu sein, mit modernen virtuellen parametrisierten Beleuchtungstechniken das Ergebnis von Kalf wenigstens im Hinblick auf die Beleuchtung zu reproduzieren. Dies ist kein pietätloses Banausentum, sondern ein legitim erscheinendes Bemühen, Phänomene der Kunstgeschichte und deren Kontext zu verstehen. Die Untersuchung könnte noch weiter gehen: Die etwa gleichzeitig entwickelte Darstellungstechnik Rembrandts selbstleuchtender und indirekter Lichtquellen (Nachtwache) ist ebenfalls einer Analyse durch Beleuchtungstechniken der Informatik wert.

7.1.4 Albrecht Dürer, *„Melencolia“* (1514)

Dieser Stich schildert eine beinahe surreale Szene aus lauter wirklichen Details. Wenn man davon ausgeht, dass Dürer – wie die Überschrift besagt – mit diesem Bild eine Stimmung oder eine Idee ausdrücken und damit einen Dialog mit dem künftigen Betrachter eröffnen wollte, muss man die Elemente des Bildes spekulativ zu einer gedanklichen Einheit zusammenfügen. Das ist in der Kunstgeschichte auf unterschiedliche – teilweise abenteuerliche – Weise geschehen. Eine völlig neue Deutung des Gesamt-Kontextes legte kürzlich z. B. E. Scheil vor.⁹

Man kann aber noch tiefer in Details der Darstellung einsteigen und weitere Schlüsse ziehen. Betrachten wir beispielsweise das im Stich dargestellte Polyeder: Ist dies die Vorderansicht eines wirklichen und standfähigen mathematischen Objektes,

⁹ FAZ vom 11.04.2007 – vgl. auch Fußnote 11.

oder hat Dürer ohne weitere Überlegung ein solches Objekt nur andeuten wollen? Laut H. Hemme¹⁰ gibt es ausführliche mathematische Spekulationen allein über dieses Detail, die zu einem „plausibelsten“ standfesten Objekt mit der Angabe des zugehörigen Oberflächen-Netzes geführt haben. Somit müssen wir Dürer für den Zeitpunkt der Anfertigung seines Kupferstichs ein beträchtliches räumliches Vorstellungsvermögen attestieren, das gestützt wird durch weitere mögliche Rückschlüsse aus diesem Bild auf seine sonstigen mathematischen Kenntnisse (z. B. über magische Quadrate).

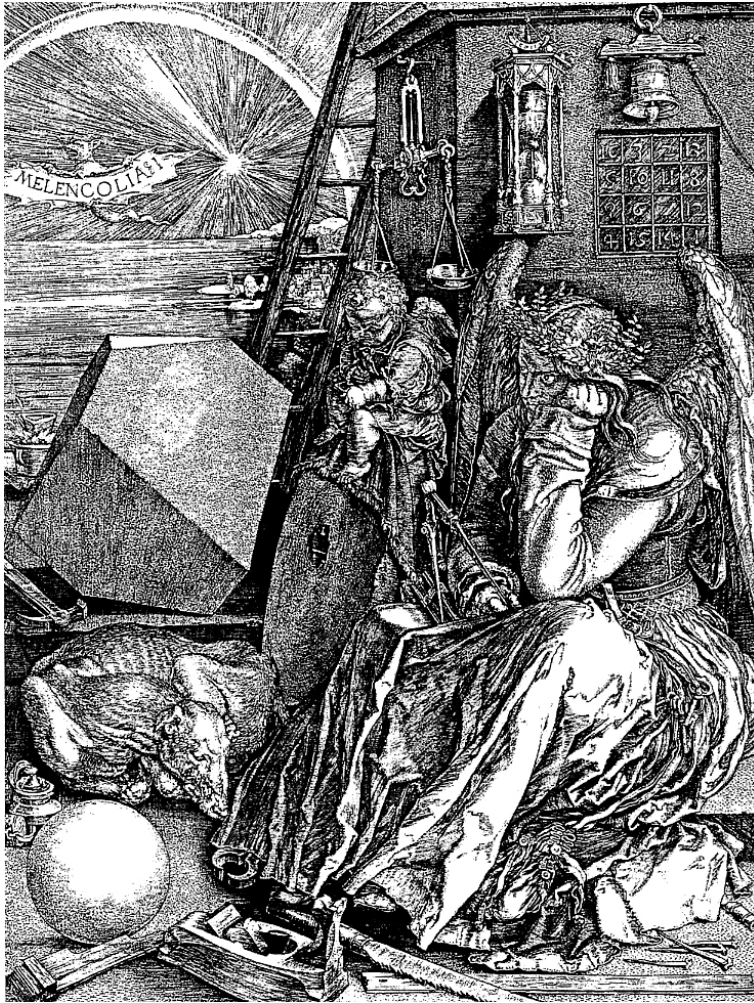


Abbildung 1: Albrecht Dürer, ‚Melencolia‘ (1514)¹¹

¹⁰ Vortrag von Heinrich Hemme in der AG „Mittwoch-Cirkel“ am 13.06.2007 an der RWTH Aachen.

¹¹ Abbildung aus der FAZ vom 11.04.2007. Ein Druck befindet sich im Kupferstichkabinett der Staatlichen Kunstsammlungen zu Berlin. Die originale Kupferplatte existiert meines Wissens nicht mehr.

7.2 Zu 6. *Meta-Indizien bei Abbildungen mit dokumentierender Intention*

7.2.1 *Das Salzburger Planispherium (ca. 818)*

Über den künstlerischen Wert dieses (auch farblich) wunderschönen Gemäldes aus der Buchmalerei der karolingischen Zeit hinaus ist festzuhalten: Es handelt sich um eine Darstellung des Fixsternhimmels in stereografischer Projektion. Auf dieser Abbildung aus einem karolingischen Computus (der wichtige Bildungs-Intentionen verfolgte) sind Objekte – die aus der Phantasie geborenen Sternbilder der Antike – figürlich dargestellt. Der astronomisch versierte Betrachter erkennt sie auch heute noch wieder. Es ergibt sich die Frage: Ist der Himmel tatsächlich so vom Bild-Produzenten beobachtet worden, d. h. gibt der Künstler ein Abbild der von ihm gesehenen Wirklichkeit, oder hat er eine andere Vorlage benutzt oder gar kopiert? Diese Frage scheint bereits mit Kriterien der Kunstgeschichte beantwortet worden zu sein: Es handelt sich um eine Visualisierung zu dem „Lehrgedicht“ des Griechen Aratos von Soloi, die nachweislich von dem Tiberius-Neffen Germanicus um etwa 15 n. Chr. aufgegriffen wurde und die in der Abbildungstechnik auch anderweitig Spuren hinterlassen hat. Dürfen wir bei dieser Sachlage aus dem Bild Schlüsse auf das astronomische Wissen der Karolinger ziehen? Wie korrekt sind die Positionierungen der Sternbilder im Rahmen der zumutbaren Genauigkeit dieses Kunstwerkes angegeben? Lassen sich vielleicht aus der geometrischen Positionierung des Himmelspols (nahe dem Kopf der kleinen Bärin) Schlüsse auf das Entstehungsdatum der Ur-Vorlage des Bildes ziehen oder überfordert man hiermit die Genauigkeit einer solchen Abbildung? (Die Präzession der Erdachse bewirkt bekanntlich eine säkulare Bewegung des Himmelspols, die im Laufe von Jahrhunderten deutlich erkennbar sein müsste.)

Und wie steht es mit dem Wirklichkeitsanspruch dieses Planispheriums, das z. B. das Sternbild „Hinterdeck“ (Puppis) deutlich zeigt, obwohl dieses infolge der Präzession in karolingischer Zeit in Mitteleuropa nicht mehr sichtbar war – wohl aber im Bereich des Mittelmeeres?

Die Bedeutung der meisten Kreise auf dem Bild als astronomische Basis-Linien (Himmelsäquator, Ekliptik) erscheint klar, lediglich ein besonders deutlich ausgearbeiteter weißer Kreis im linken Bildteil erschien uns rätselhaft. Kunsthistoriker deuteten ihn als Planetenbahn.¹² Aber diese Spekulation ist astronomisch unstimmig. Ein Vergleich mit einem späteren beschrifteten ähnlichen Planispherium (Boulogne-sur-Mer, 10./11. Jahrhundert)¹³ brachte uns dann die Erkenntnis, dass die Milchstraße gemeint sein muss. Die Anordnung dieses Himmelsphänomens im Bild stimmt ungefähr mit der wirklichen Lokalisation überein, es bestätigt sich hier die Beobachtung, dass die Antike wie auch das Mittelalter die Milchstrasse für eine kreisförmige Konstellation gehalten hat – entgegen dem sich auch ohne Teleskop ergebenden Augenschein.

¹² Euw (1993).

¹³ Künzl (2005), S. 105.



Abbildung 2: Das Salzburger Planisphærium (ca. 818)¹⁴

7.2.2 Die Ebstorfer Weltkarte (ca. 1300)

Diese bedeutendste Mappa Mundi, gefunden im 19. Jahrhundert in einer Abstellkammer im Kloster Ebstorf bei Lüneburg, ist im Zweiten Weltkrieg 1943 in Hannover verbrannt. Kopien sind aber erhalten geblieben. Das Gemälde ist – wie auch andere Darstellungen dieser Zeit – ein Versuch, die Welt bzw. die Erde als ein Objekt in der Form des Körpers Christi darzustellen. Dabei zeigt die Karte Hunderte von geografischen Lokalitäten, die größtenteils aus der lateinischen Beschriftung identifizierbar sind. Das Werk ist in keiner Weise maßstabsgetreu – norddeutsche Bereiche sind viel größer dargestellt als andere. Trotzdem erhebt die Karte offensichtlich topologisch den Anspruch zumindest lokaler Korrektheit. Was folgt für das Verständnis der Zeit aus der Setzung des Paradieses ins hintere Indien, der Arche Noah nach Armenien (Ararat), des Turms zu Babel ins mesopotamische Zweistromland? Wie ist die geografische Raumkenntnis des Herstellers? In welcher Weise sind die Bilder von Objekten (Tiere) mit der geografischen Position verwoben?

¹⁴ Aus Künzl (2005), S. 89 (Codex Monacensis lat. 210, fol. 113 v, Staatsbibliothek München).

Welche Rolle spielte Aachen, die Stadt der „fontes calidi“ (und auch offensichtlich als Krönungsstadt), im Bewusstsein der Künstler? Welche geografischen Kenntnisse ergeben sich aus der Platzierung von Aachen in der Nachbarschaft von Köln, Koblenz, Mainz, Worms, Verdun, Tongern usw.? Was ist das zu Grunde liegende Rom-Bild? Welche Bedeutung für den Herstellungskontext hat insbesondere die Tatsache, dass Rom die Gestalt eines Löwen (nicht eines Wolfs) hat, wenn man beobachtet, dass sich der gleiche (welfische) Löwe nur noch in Braunschweig wieder findet? Es scheint gelungen zu sein, allein aus den Informationen der Karte (es gibt keine Quellen zum Herstellungskontext) eine zuverlässige Datierung und plausible Vermutungen über den Status der Hersteller abzuleiten.¹⁵

Darüber hinaus muss dieses Werk auch als ein wichtiger Vorläufer der viel späteren geografisch orientierten Kartografie bewertet werden. Die Aufteilung der Erde in viele abgeschlossene Regionen kommt meist vom Hörensagen und aus der biblischen Tradition. Sie verdankt sich nur weniger echter Reise-Erfahrung, imponiert aber durch die kunstvolle Einpassung dieser Regionen in ein globales Bild, das natürlich aus heutiger Sicht vielfach falsch ist – eine Wirklichkeits-Bewältigung, wenn nicht sogar -Verge-wältigung.

7.2.3 Die Schedel'sche Weltkarte (1493)

Dies ist eine der vielen in der Frühen Neuzeit sich auf Ptolemaeus berufenden Karten, welche die damals bekannte Welt zwar annähernd in der richtigen geografischen Breitenlage angibt, aber in der geografischen Länge eine (prinzipiell gut erklärliche) Überschätzung der Ausdehnung der Alten Welt erkennen lässt.¹⁶ Ob die daraus resultierende Unterschätzung der Breite der anderen, Neuen Welt (Amerika und Pazifik) eine Ermütigung für Christoph Kolumbus gewesen sein könnte, den Weg nach Indien westwärts zu suchen, ist eine wesentliche Spekulation in der noch immer nicht endgültig beantworteten Frage, was Kolumbus beim Start seiner Mission wirklich wusste oder wenigstens vermuten durfte.

Beachtlich für die Geschichte der Kartografie ist der (bereits bei Ptolemaeus vorfindliche) Versuch, die Kugelgestalt der Erde durch die Art der Projektion – heute Kegelprojektion genannt – zu erfassen.

Das Bewusstsein, dass man eine bessere Veranschaulichung der Erdkugel – nicht nur des Himmels – mit einem dreidimensionalen Erd-Globus geben kann, entstand ebenfalls in dieser Zeit. Es wurde durch Martin Behaims „Erdapfel“ stimuliert.

7.2.4 Teilung des Saturnringes nach Giuseppe Campani

Dieses Bild aus einer Quelle des Jahres 1668 zeigt deutlich eine Unterteilung des Saturnringes, die auf der so genannten Cassini'schen Teilung beruht. Diese Bezeichnung resultiert aus der bisher gängigen Ansicht, dass der damalige Leiter der Pariser Sternwarte Domenico Cassini im Jahr 1675 die Teilung erstmals entdeckt habe. Wir konnten aber nachweisen, dass der in Rom lebende Optiker und Astronom Giuseppe

¹⁵ Vgl. Wilke (2001).

¹⁶ Vgl. Schneider (2004), S. 33.

Campani bereits 1664 eine entsprechende Beobachtung gemacht und auch veröffentlicht hat.¹⁷

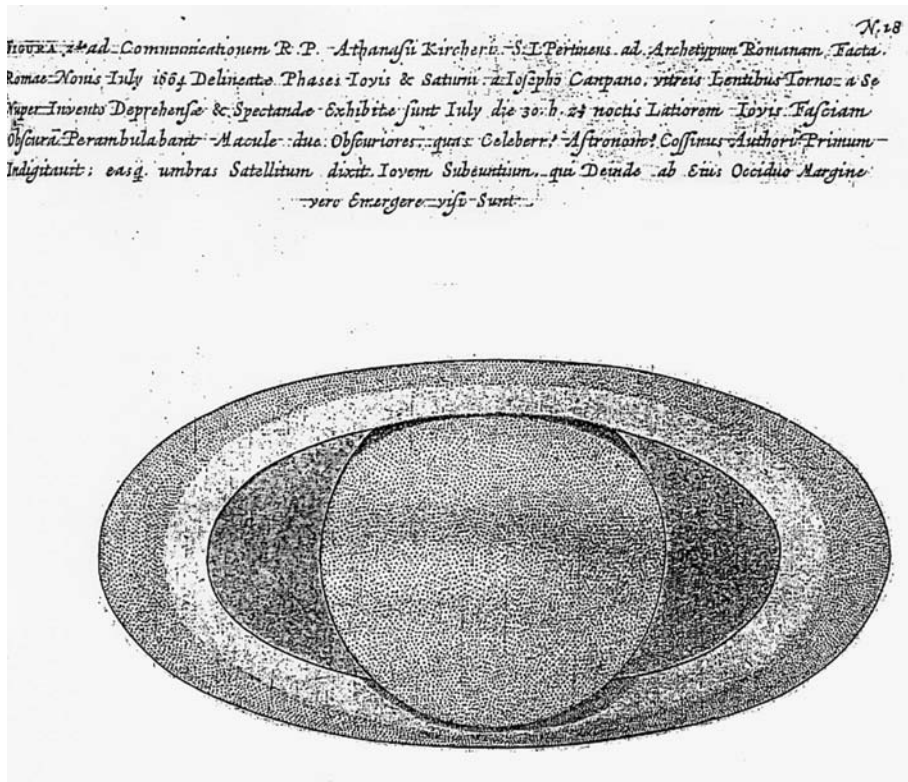


Abbildung 3: Teilung des Saturnrings nach Giuseppe Campani¹⁸

7.2.5 Gebrauch des Astrolabiums, Paris 13. Jh.

Aus dem arabischen Mittelalter gibt es erste erhaltene Exemplare, und das Astrolab wurde bis in die Frühe Neuzeit in mannigfachen Anwendungen benutzt. Es existiert aber unseres Wissens nur dieses einzige Bild – ohne Gebrauchsanweisung – von der Benutzung des Astrolabs; dieses ergänzt heute unsere Anschauung von den doch recht abstrakten Fähigkeiten dieses genialen und äußerst vielseitigen Gerätes.

¹⁷ Oberschelp/Oberschelp (2007), S. 164–184.

¹⁸ Aus Oberschelp/Oberschelp (2007), S. IX.



Abbildung 4: Gebrauch des Astrolabiums, Paris 13. Jahrhundert¹⁹

7.2.6 Sternenuhr des Pacificus von Verona

Wir verfügen zwar über Texte, in denen die Eigenschaften dieses Gerätes mehr oder weniger poetisch beschrieben werden²⁰, aber für die genaue Benutzungsweise, zu der laut Bild teilweise artistische Fähigkeiten gehörten, gibt es unterschiedliche Lesarten. Nur mit einem recht hohen astronomischen Hintergrundwissen kann man unseres Erachtens die Funktionsweise dieses intelligenten Gerätes, das allerdings dem Astrolab unterlegen war, rekonstruieren. Wir haben das gesamte Abbildungsmaterial zu diesem Fragenkomplex gesichtet und zu einer unserer Meinung nach stimmigen Gesamthypothese zusammen gebunden (in Vorlesungen dokumentiert).

¹⁹ Die Abbildung befindet sich in der Bibliothèque Nationale de France, Paris: Psautier de Saint Louis et de Blanche de Castille, ms 1186 res, fol.1v. Sie stammt von ca. 1200.

²⁰ Vgl. Wiesenbach (1993), S. 237-239.

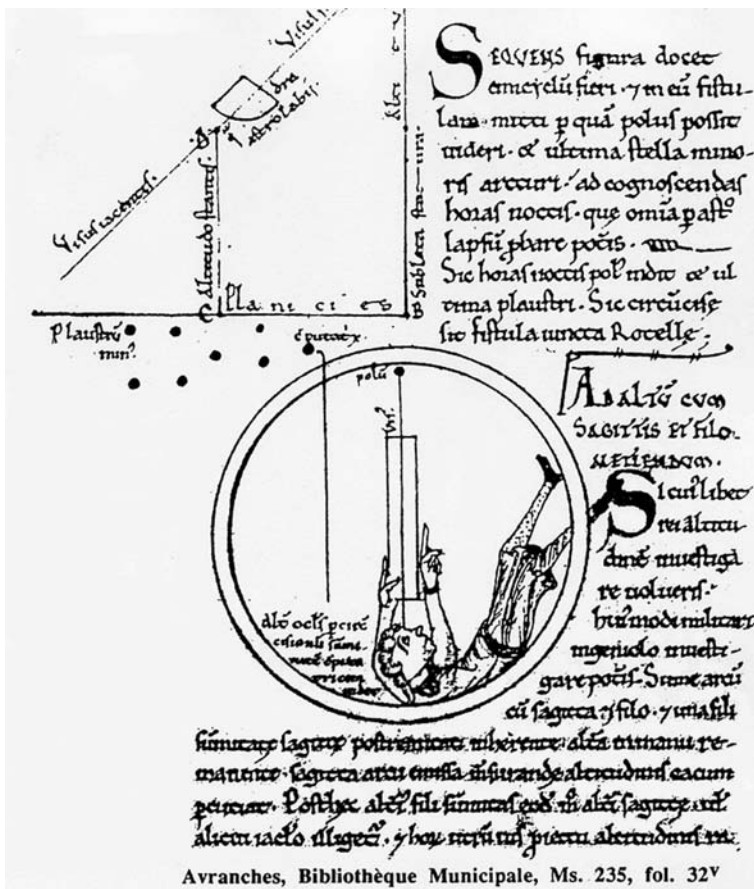


Abbildung 5: Sternenuhr des Pacificus von Verona²¹

7.2.7 Abbildung von „Memorierhilfen“ bei J. Fontana (Anfang 15. Jahrhundert)

In einem weiteren Vortrag unseres Thementages hat Horst Kranz mehrere Zeichnungen aus einem Text von J. Fontana (1390-1459) vorgestellt, die dort als „Memorierhilfen“ bezeichnet werden.²² Aus dem Text scheint eindeutig hervorzugehen, dass Fontana die Funktion der abgebildeten Geräte – aus welchen Gründen auch immer – nicht vollständig erklärt hat, da der Aufwand zum „Sich-Merken“ eines kurzen Wortes völlig unangemessen hoch wäre. Vielmehr scheint es sich um die Darstellung von Vorrichtungen zur Codierung und Decodierung von Wörtern zu handeln, im Kontext der schon in der Früh-Renaissance geläufigen Kryptografie und Anagramm-Technik. So gilt Leon Battista Alberti (1404-1472), ein Zeitgenosse Fontanas, mit seiner Alberti-Scheibe als Vorläufer und Ideengeber für den französischen Edelmann Blaise de Vigenère, der

²¹ Aus Wiesenbach (1993), S. 233.

²² Kranz (2007).

1585 die später nach ihm benannte Verschlüsselungstechnik beschrieben hat. Diese ist eine bis heute als fast perfekt bekannte Verbesserung des eher trivialen, auf Julius Cäsar zurückgeführten Transpositionscodes. Wir vermuten, dass im gedanklichen Hintergrund der Abbildungen Fontanas Überlegungen zu Verschlüsselungs-Techniken stehen – vielleicht sogar schon Realisierungen, die vom Typ her sogar an die Enigma-Technik des Zweiten Weltkrieges erinnern. Weitere Untersuchungen dazu sind im Gange.

Die hier geäußerte Vermutung kann allerdings gemäß den Arbeitsmethoden der Geschichtswissenschaft erst dann als bewiesen gelten, wenn schriftliche Quellen gefunden werden, die einen solchen frühen „Erfinder“ identifizieren könnten. Wir befinden uns hier noch in einem wissenschaftlichen Stadium, das man als „Bildarchäologie“ bezeichnen könnte. Ob der Abbildung eine Wirklichkeit zukommt im Sinne einer existierenden Funktionalität des gezeigten Objektes, dies muss zunächst zweifelhaft bleiben. Dennoch müssen Hypothesen über einen derartig frühen Fund mit hoher Komplexität als seriös gelten, solange nicht eine überzeugende einfachere Deutung vorgelegt wird.

Literatur

1. Beyer/Lohoff (2005): Andreas Beyer, Markus Lohoff, Bild und Erkenntnis, Berlin, München 2005
2. Euw (1993): Anton von Euw, Die künstlerische Gestaltung der astronomischen und komputistischen Handschriften des Westens, in: Paul Leo Butzer, Dietrich Lohrmann (Hrsg.), Science in Eastern and Western Civilisation in Carolingian Times, Basel 1993, S. 252-269
3. Kranz (2007): Horst Kranz, Akademische Mechanik im 15. Jahrhundert. Die Visualisierung von Technik in Johannes Fontanas Jugendwerken. Unveröffentlichter Vortrag beim Thementag Wissenschaftsgeschichte des Aachener Kompetenzzentrums für Wissenschaftsgeschichte am 14.06.2007
4. Künzl (2005): Ernst Künzl, Himmelsgloben und Sternkarten, Darmstadt 2005
5. Menninger (1958): Karl Menninger, Zahlwort und Ziffer, Göttingen 1958
6. Oberschelp/Oberschelp (2007): Walter Oberschelp, Reinhard Oberschelp, Cassini, Campani und der Saturnring, Acta Historica Astronomiae 33 (2007), S. 164-184
7. Schneider (2004): Ute Schneider, Die Macht der Karten, Darmstadt 2004
8. Wiesenbach (1993): Joachim Wiesenbach, Pacificus von Verona als Erfinder einer Sternenuhr, in: Paul Leo Butzer, Dietrich Lohrmann (Hrsg.), Science in Eastern and Western Civilisation in Carolingian Times, Basel 1993, S. 229-250
9. Wilke (2001): Jürgen Wilke, Die Ebstorfer Weltkarte, Bielefeld 2001

Weiterführende Literatur

1. Butzer/Lohrmann (1993): Paul Leo Butzer, Dietrich Lohrmann (Hrsg.), Science in Eastern and Western Civilisation in Carolingian Times, Basel 1993
2. Lehmann et. al. (1997): Thomas Lehmann, Walter Oberschelp, Erich Pelikan et al., Bildverarbeitung für die Medizin, Berlin, Heidelberg 1997

3. Oberschelp (2002): Walter Oberschelp, Nützt die Astronomie der Geschichtswissenschaft?, in: Horst Kranz, Ludwig Falkenstein (Hrsg.), *Inquirens subtilia diversa*, Dietrich Lohrmann zum 65. Geburtstag, Aachen 2002, S. 261-279
4. Oberschelp/Springsfeld (2003): Walter Oberschelp, Kerstin Springsfeld, Astronomische Erkenntnisse und deren Darstellung, in: *Ex Oriente*, Katalog der Ausstellung in Aachen 2003, Bd. 1, Mainz 2003, S. 194-207

Farben und Verzerrungen auf Karten. Zu Möglichkeiten und Grenzen kartografischer Visualisierung

Christine Roll

Dieser Beitrag steht im Zusammenhang mit einem in Aussicht genommenen Forschungsprojekt über die Wechselwirkungen zwischen Karten und Weltbildern in verschiedenen Kulturen.¹ Es verfolgt einen Forschungsansatz, der in der angelsächsischen Forschung seit den 1970er Jahren entwickelt und in den letzten Jahren auch in Deutschland aufgegriffen worden ist. Für diesen Ansatz steht der aus der Kognitionswissenschaft entlehnte Begriff der „mental maps“ – er ist ins Deutsche am besten als „Kognitive Karte“ oder „Karte im Kopf“ zu übersetzen – und geht davon aus, dass Menschen sich auch räumlicher Bilder und Vorstellungen bedienen, um Informationen und Wissen zu speichern, zu verarbeiten und in Sprache und Handeln umzusetzen.² Für den entsprechenden kulturwissenschaftlichen Zugang zu Karten folgt daraus die Einsicht, dass Karten nicht bloß Ausdruck oder Spiegel von Weltvorstellungen waren und sind, sondern auch ihrerseits das Weltbild der Menschen mit geprägt haben – und natürlich weiterhin mit prägen: Karten sind nicht einfach neutrale Informationsspeicher und bilden die Wirklichkeit nicht objektiv ab. Vielmehr zeigen uns Karten durch Projektionen, Farbgebungen, Illustrationen und durch die Wahl thematischer Schwerpunkte, ja schon durch den gewählten Ausschnitt, bestimmte Perspektiven auf die Wirklichkeit. Damit aber tragen sie selbst zur Ausbildung und Strukturierung von Raumvorstellungen bei, beeinflussen ihrerseits unsere Sehgewohnheiten und Vorstellungen und wirken auf diese Weise bei der Konstruktion von Wirklichkeit in unseren Köpfen mit – und beeinflussen eben auch unser heutiges Weltbild. Mithin können Karten Botschaften übermitteln, Kontinente konstituieren und Länder bestimmten Zivilisationen zuordnen, ihnen diese Zugehörigkeit aber auch absprechen.

Diese formende Kraft ist freilich kein verderblicher Nebeneffekt der Karten, und entkommen kann man ihm schon gar nicht. Sie ist ihnen immanent, und man muss mit ihr rechnen, wenn man Karten benutzt. Die vielfältigen Effekte, die zu dieser Wirkung von Karten führen und die nun auch in deutschen Publikationen in Anlehnung an angelsächsische Bücher über „The power of Maps“ als die „Macht der Karten“ bezeichnet werden, finden derzeit großes Interesse.³ Allerdings ist die Forschung weit davon entfernt, die komplexen Wechselwirkungen zwischen kartografischen Darstellungen und Weltbildern methodisch und in der Sache geklärt zu haben. Welche Bedeutung in diesem Zusammenhang anderen Ordnungsvorstellungen zukommt, welche Rolle

¹ Das Projekt wird zusammen mit Prof. Dr. Walter Oberschelp und Dr. David Engels konzipiert und möchte Karten und deren Funktionen und Wirkungen im mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Europa im Vergleich mit arabischen Kulturen untersuchen.

² Zur Diskussion über „Mental Maps“ siehe das gleichnamige Heft 3 des Bandes 28 (2002) der Zeitschrift „Geschichte und Gesellschaft“: GG (2002).

³ Aus der großen Anzahl neuer Publikationen sei hier vor allem hingewiesen auf das instruktive und inspirierende Buch von Schneider (2004).

Kenntnisse, Vorverständnisse und Erfahrungen spielen, ist nicht näher bekannt,⁴ und ebenso unklar sind die Wechselwirkungen auch mit den technischen Innovationen der Vermessung und Abbildung.

Das Interesse der Frühneuzeitlerin an diesen Fragen konzentriert sich naturgemäß auf alte Karten. Doch es beschränkt sich nicht darauf, zumal es durchaus für gegenwärtige Tendenzen im Umgang mit Karten und kartografischer Visualisierung zu sensibilisieren vermag. In jüngster Zeit werden nämlich höchst interessante Experimente mit neuen Formen kartografischer Visualisierung unternommen, die im Englischen unter dem Begriff „Morphing Animation“ gefasst werden und eine Auseinandersetzung lohnen. In beiden Fällen, also bei der Analyse historischer Karten und bei solchen modernen, experimentellen Formen kartografischer Visualisierung, spielen Farben und Verzerrungen eine wichtige Rolle. Schaut man hier genauer hin, gewinnt man nicht nur Einsichten in die symbolische, politische und propagandistische Funktion von Kolorierung auf Karten und sieht ähnliche Funktionen auch bei Verzerrungen, sieht vor allem auch die einander verstärkende Wirkung von Farben und Verzerrungen, sondern man wird beim konsequenten Weiterdenken auch der Grenzen kartografischer Darstellbarkeit gewahr. Das aber ist wiederum insbesondere methodisch interessant und weiterführend, weil man an den Grenzen der Kartografierbarkeit Genaueres über das Spezifische, das Einzigartige von Karten überhaupt erfährt.

Damit ist der Themenbereich dieses Beitrags abgesteckt: In einem ersten Abschnitt sollen einige Befunde zur Bedeutung der Farbe in der Geschichte der Kartografie vorgestellt werden; insbesondere geht es um die Farbe Rot. Der zweite Abschnitt ist dann einigen Beispielen für modernste kartografische Visualisierung statistischer Daten durch Verzerrung gewidmet, der „Morphing animation“. Abgeschlossen wird die kleine Studie mit einigen Überlegungen zu den Möglichkeiten wie vor allem zu den Grenzen, Sachverhalte auf Karten zu visualisieren.

1. Befunde und Überlegungen zur Bedeutung von Farbe in der Geschichte der Kartografie – die Farbe Rot

Dass Karten koloriert werden, ist uns wohl vertraut: Farben strukturieren eine Karte und erhöhen damit deren Lesbarkeit. Ferner lenken sie die Aufmerksamkeit des Betrachters auf die Bedeutung unterschiedlicher Einfärbungen, mit der vielfach darstellerische und didaktische Zwecke – im weitesten Sinne – verfolgt werden. Im Folgenden geht es aber um eine dritte Funktion von Farben in der Kartografie, um ihre symbolische Bedeutung.

Von der Antike bis zum Beginn der Neuzeit war die Vorstellung von einer symbolischen Verbindung zwischen Farben und Himmelsrichtungen selbstverständlich.⁵ Für die europäische Tradition ist, wie im Folgenden deutlich werden wird, vor allem die persische Weltansicht auf Himmelsrichtungen und Farben wichtig geworden, namentlich

⁴ So versucht auch Christoph Conrad zu klären: „Wie interagieren bei der Entstehung und Wirkung von „Karten im Kopf“ direkte Erfahrungen und praktische Notwendigkeiten, kulturelle Codes und Medien des räumlichen Wissens, Identitäten und Projektionen?“, Conrad (2002), S. 339.

⁵ Dazu am besten Schneider (2004), Kapitel „Farben und Benennungen“, S. 120-131.

die Verbindung der Farbe Schwarz mit dem Norden und der Farbe Rot mit dem Süden.⁶ Auch in China wurde Rot mit dem Süden assoziiert, aber Gelb mit dem eigenen Land, während die Babylonier den Norden ebenfalls mit Schwarz in Verbindung brachten, den Süden aber mit Weiß, den Osten mit Rot und den Westen mit Gelb.⁷ In all diesen Fällen dürfte die Verbindung von Farben mit Himmelsrichtungen wohl nicht auf den Sonnenverlauf zurückzuführen sein – etwa Rot für den Osten als Himmelsrichtung des Sonnenaufgangs –, sondern auf kosmologische Ideen.⁸ Insbesondere die griechischen Naturforscher unternahmen aber auch Versuche, Naturerscheinungen und Farben miteinander in Zusammenhang zu bringen – etwa, wie Empedokles, auch den Elementen Farben zuzuordnen –, doch im Übergang zum Mittelalter blieb die symbolische Funktion von Farben erhalten. Die Bedeutung der einzelnen Farbe allerdings verschob sich über die Jahrhunderte, namentlich unter dem Einfluss des Christentums.

So wurde die Farbe Blau, die zur Zeit des Plinius als die Farbe des Himmels galt, im Übergang zum Mittelalter zur Farbe der christlichen Göttlichkeit; in dieser Bedeutung gelangte sie in die mittelalterliche Kartografie. Beispiele für diese christliche Farbsymbolik finden sich auf den zahlreichen Weltkarten der Zeit, den *Mappae mundi*. Auf der Londoner Psalterkarte aus dem 13. Jahrhundert z. B. thront Christus, dessen Körper selbst in blau dargestellt ist, vor dem blauen Himmel beinahe schwebend über der Welt. Ein weiteres wichtiges Merkmal der *Mappae mundi* ist die Lokalisierung Jerusalems im Mittelpunkt der Karten; oftmals wird die Stadt, eben auf der Londoner Psalterkarte, aber auch auf der Ebstorfer Weltkarte, von goldenen Mauern umgeben. Doch nicht nur Gold und Blau, auch die meisten anderen Farben erhielten eine christliche Bedeutung, wie sie bei kirchlichen Festen und in der Kleidung des Klerus zum Ausdruck kam. Dazu gehört insbesondere das Rot, namentlich das Kardinalrot: Orte, die in der christlichen Heilsgeschichte eine herausragende Rolle spielen – wie eben Jerusalem – wurden zumeist durch Rotfärbung hervorgehoben.

Allerdings – das betont Ute Schneider ausdrücklich – weiß die Forschung über die Farbgebung mittelalterlicher Karten nur wenig, und diesem Missstand wird man vermutlich auch kaum abhelfen können, da sich nur wenige aus dem Mittelalter stammende Anweisungen zur Herstellung und Verwendung von Farben erhalten haben; zudem war die Farbterminologie bis ins 18. Jahrhundert nicht einheitlich. Die Buch- und Kartenmaler tradierten ihre Anweisungen nämlich zumeist nur mündlich, und die Farbpigmente konnten, da nicht genormt, von Kloster zu Kloster durchaus verschieden sein und wurden je nach Vorhandensein, Geschmack und Rezept angerührt. Ein Rest an Unsicherheit, ob das Rot der auf uns gekommenen *Mappae mundi* dem damaligen Rot entspricht, bleibt also. Doch lässt sich festhalten, dass die Farbe Rot, wie das Gold, zur Betonung wichtiger Orte der Heilsgeschichte verwendet wurde.

Vor diesem Hintergrund ist nun bemerkenswert, dass auf den mittelalterlichen *Mappae mundi* und auf den Portolankarten bis weit ins 16. Jahrhundert hinein das Rote Meer rot eingefärbt ist.⁹ Das ist bereits auf der Londoner Psalterkarte aus dem 13. Jahr-

⁶ Dazu Schmitt (1996), S. 221.

⁷ Schneider (2004), Abschnitt „Die Funktion der Farbe“, S. 122-129.

⁸ So ist wohl Schmitt (1996), S. 221 f. zu verstehen.

⁹ Vgl. etwa die Portolankarte von Abraham Cresques aus einem Atlas der damals bekannten Welt, um 1380.

hundert der Fall, auf der man außer dem Blau für die Sphäre des Göttlichen und dem Gold für die Heiligen Stätten ein deutlich ins Auge fallendes rotes Rotes Meer sieht. Auf die Hintergründe und offenen Fragen lohnt es näher einzugehen, scheint es sich doch hier um ein Beispiel für eine besonders vielschichtige Verbindung von Benennung nach einer Farbe, Kolorierung, Tradition und Rezeption zu handeln.

Ob das Rote Meer seinen Namen von der persischen Bezeichnung der Himmelsrichtungen erhalten hat, von der bereits die Rede war, oder von den roten Korallenbänken des Persischen Golfs, wird sich wohl kaum noch eindeutig klären lassen. Überzeugend erscheint indessen die Erklärung, die Rüdiger Schmitt vorgetragen hat.¹⁰ Danach ergibt der Name „Rotes Meer“ im Grunde nur dann einen Sinn, wenn man ihn zusammen mit dem Schwarzen Meer in ein kohärentes System persischer Weltsicht einordnet und dieses System dem Reich der Achämeniden zuschreibt, dem ersten Reich, das eine Weltherrschaft im eigentlichen Sinne dieses Wortes anstrebte. Das Schwarze Meer ist in diesem Kontext „das nördliche Meer“, das Rote Meer „das südliche Meer“, die Meere begrenzen also den Raum der imperialen Ansprüche der Achämeniden. Mit dem Roten Meer dürfte aber nicht nur das heutige Rote Meer gemeint gewesen sein, sondern ebenso der Persische Golf und die bekannten Teile des Indischen Ozeans – eben das gesamte „südliche Meer“; dass der Persische Golf durch seine Korallenbänke dem Wasser auch noch einen roten Schimmer verleiht, dürfte der entsprechenden Bezeichnung des „südlichen Meeres“ in der Kartografie bis ins 16. Jahrhundert hinein zusätzlich Kontinuität verliehen haben.

Aber warum wird das Rote Meer bis zum Beginn der Neuzeit rot gefärbt, das Schwarze Meer aber nicht schwarz? Diese kulturgeschichtlich sehr spannende, hier aber leider nicht endgültig zu beantwortende Frage findet immerhin eine Teilantwort in der Etymologie der Bezeichnung „Schwarzes Meer“, die der große Sprachwissenschaftler Max Vasmer geklärt hat.¹¹ Die Griechen, die im Rahmen der Kolonisation seit dem achten vorchristlichen Jahrhundert die Schwarzmeerküsten als Ansiedlungsgebiet entdeckten, übernahmen demnach die persische Bezeichnung für das Schwarze Meer, die „achshaenas“, „dunkel“ lautet, und machten daraus „axeinos“ – was so viel wie „ungastlich“ heißt.¹² Damit meinten die griechischen Seeleute vermutlich den häufig rauen Seegang des Schwarzen Meeres, weniger die Bevölkerung, auf die sie trafen. Offenbar schon bald hielten die Griechen denn wohl auch diese Bezeichnung für zu unfreundlich und machten aus dem „axeinos“ das Gegenteil: „euxeinos“ – „und schon war das ‚Schwarze Meer‘ zu einem ‚Gastfreundlichen Meer‘“ geworden.¹³ In der griechischen und dann auch der römischen Tradition setzte sich der „Pontus Euxinus“ als Bezeichnung für das Schwarze Meer durch, die Assoziation „dunkel, schwarz“ verschwand.

Doch in der persischen Tradition blieb sie erhalten – wie von Rüdiger Schmitt zu lernen ist, ist „achshaenas“ für „dunkel“ allen iranischen Sprachen aller Epochen gemein¹⁴ – und fand über die russische (als Černoe More), türkische, georgische, armeni-

¹⁰ Schmitt (1996).

¹¹ Vgl. dazu die Ausführungen bei Schmitt (1996), S. 220.

¹² Vgl. dazu und zum Folgenden auch Sonnabend (2007), S. 92 f. und Schmitt (1996), S. 219 f.

¹³ Sonnabend (2007), S. 92.

¹⁴ Schmitt (1996), S. 220.

sche und andere Sprachen seit dem 13. Jahrhundert wieder Eingang auch in das Ensemble der europäischen Toponyme und Thalassonyme. Zu der Zeit aber konnte, diesen Schluss darf man wohl ziehen, das „Schwarze Meer“ nicht mehr in das Farbsystem der mittelalterlichen Kartografie Eingang finden, jedenfalls, so der Befund an den Karten, kam es nicht zu einer symbolischen Umsetzung in der Kartografie.

Anders beim Roten Meer: Die Bezeichnung wurde von den Persern über die Griechen und Römer bis ins Mittelalter, ja darüber hinaus fortgeführt und das Meer durch die auffällige Farbgebung derart hervorgehoben, dass wir es auf fast allen mittelalterlichen Karten bis heute ohne Schwierigkeiten identifizieren können. Soll man, wie Ute Schneider annimmt, auch im Falle des Roten Meeres davon ausgehen, dass das christliche Mittelalter die Charakterisierung von Kardinalpunkten und Himmelsrichtungen von älteren Formen farblicher Zuordnung übernahm?¹⁵ Welcher Kardinalpunkt wäre das? Natürlich drängt sich sofort der Exodus auf, aber der Auszug der Kinder Israels aus Ägypten und der Durchzug durch das Schilfmeer wird im Alten Testament selbst keineswegs mit dem Roten Meer in Verbindung gebracht; überhaupt ist eine Lokalisierung des Schilfmeeres schwierig, und vom Roten Meer scheint im gesamten Alten Testament eher gar nicht die Rede zu sein. Demnach wäre nun zu klären, wie der Exodus als Heil stiftendes Ereignis hebräischer Tradition in die christliche Überlieferung gelangt und der Ort mit dem Roten Meer verbunden worden ist.

Das kann hier leider nicht geleistet werden. Bemerkenswert bleibt aber: Das Rote Meer ist rot auf der Portolankarte von Maggiolo aus der Mitte des 16. Jahrhunderts, und das Rote Meer blieb rot auch noch bei Pierre Desceliers 1550, eine Weltkarte, die den Portolantypus verlassen hat, sich also gar nicht mehr um die Häfen kümmert, sich dafür mit Illustrationen des Inneren der Kontinente beschäftigt und schon beinahe eine topografische Karte ist – aber das Rote Meer ist rot.

Um diese Zeit, um die Mitte des 16. Jahrhunderts, war mit der Renaissance freilich schon ein wichtiger Modernisierungsprozess in der Kartografie in Gang gekommen, nämlich eine gewisse Vereinheitlichung auch der Farbsymbolik im Rahmen der Verwissenschaftlichung der Kartografie. Leonardo da Vinci war einer der ersten, die die theoretische Auseinandersetzung mit Farben und ihrer Symbolik um Beobachtungen zum Zusammenspiel von unterschiedlichen Farbtönen und Licht erweiterte. Für die Kartografen fiel in diese Zeit nicht nur der Übergang zur topografischen Karte – Desceliers ist für diesen Übergang ein gutes Beispiel –, sondern sie sahen sich auch vor die Herausforderung gestellt, die Kolorierung den neuen wissenschaftlichen Ansprüchen an topografische Karten anzupassen. Doch natürlich war die christliche Farbsymbolik auch um die Wende zum 16. Jahrhundert noch die dominierende, und auch ältere Farbsymboliken waren durchaus noch präsent, wenngleich, wie das Beispiel des Roten Meeres gezeigt hat, deren Bedeutung nicht mehr allgemein und im Detail verstanden wurde. Im 16. Jahrhundert fand also ein Wandel statt, den man daran erkennen kann, dass sich verschiedene historische Schichten überlagerten. Ein gutes Beispiel für Karten aus dieser Phase des Übergangs ist die Portolankarte von Vesconte Maggiolo aus Genua, 1541: Das Rote Meer ist noch rot, aber die Farbe Blau bezeichnet nicht mehr die Sphä-

¹⁵ Schneider (2004), S. 123.

re des Göttlichen, sondern Wasser, allerdings nicht Seen und Meere schlechthin, sondern die oberitalienische Heimat des Kartografen, die Republik Genua.

Um die Mitte des 16. Jahrhunderts trat auf den nun vermehrt entstehenden topografischen Karten die möglichst natürliche Darstellung der geografischen Gegebenheiten deutlich in den Vordergrund: Ganz allmählich verbreitete sich die blaue Einfärbung der Meere und eine bräunlich-grüne Kolorierung des Landes. Gleichzeitig veränderten sich die Produktionsbedingungen: Frühneuzeitliche Karten wurden nicht mehr in Klöstern gezeichnet und sorgsam koloriert, sondern massenhaft gedruckt. Die Kolorierung wurde vom eigentlichen Herstellungsprozess getrennt und erfolgte nachträglich durch andere Hand. Kartendrucke konnten mit und ohne Kolorierung erworben werden. Dabei konnte die Einfärbung sehr unterschiedliche Funktion haben, auf jeden Fall aber verloren die christliche und die mystische Farbsymbolik allmählich, aber doch deutlich an Bedeutung. Auf den Hemisphärenkarten im Atlas des Frederick de Wit etwa, erschienen in Amsterdam 1680, diente die Kolorierung der Kontinente insbesondere der Übersichtlichkeit. Die Einfärbung der Kontinente bzw. deren farbliche Umrandung hatte freilich auch schon im Spätmittelalter eingesetzt, wie bei Hartmann Schedel oder der Ulmer Weltkarte nach Ptolemaios erkennbar. Die Kolorierung von Karten zur Abgrenzung von Staaten ist ja eine bis heute gängige Praxis in der Kartografie. Aber zu meinen, damit sei der Durchbruch zu einer wahrheitsgetreuen Abbildung der Welt erreicht gewesen, wie es die ältere Kartografiegeschichte gerne formuliert hat, hieße, auf naive Art und Weise die spezifische Macht der Karten zu ignorieren: Eben durch die Einfärbung von Staaten in Flächenfarbe auf Europakarten wurden ja Herrschaftsansprüche erhoben, denen keineswegs immer Herrschaftsrechte entsprachen, und zusammen mit der Kolorierung der Kontinente auf Hemisphärenkarten wurden diese Staaten und Kontinente in den Mental Maps der Betrachter recht eigentlich konstituiert; hier setzt denn auch die kritische Aufarbeitung der frühneuzeitlichen Kartografie an, wie sie vor allem von Peter Barber und David Buisseret in den 1990er Jahren entscheidend angestoßen worden ist.¹⁶

Beobachtungen in diesem Zusammenhang führten zu der wichtigen Einsicht, dass der Gebrauch von Karten nach wie vor keineswegs frei ist von symbolischen Bedeutungen. Vor allem die Farbe Rot wurde lange bevorzugt für das *eigene* Territorium verwendet. Ein besonders eindringliches Beispiel dafür ist die in London 1886 angefertigte Weltkarte „Imperial Federation Map of the World“. Sie gehört in den Kontext der Desintegrationserscheinungen des britischen Weltreichs im 19. Jahrhundert. Schon um die Wende zum 19. Jahrhundert war es für die Regierung in London zunehmend schwieriger geworden, das Empire zusammenzuhalten. Statistiken sollten durch genaueres Erfassen der feststellbaren Probleme Abhilfe schaffen. In diesem Zusammenhang erhielten auch Karten eine wichtige Bedeutung: Damit es dem Einzelnen möglich wurde, sich das Empire in seiner ganzen Ausdehnung zu vergegenwärtigen, wurden seit der Jahrhundertmitte Weltkarten angefertigt, in denen die Teile des Empire rot koloriert wurden, die übrigen Länder aber farblos blieben. Dabei aber beließ man es nicht, vielmehr erkannte die englische Regierung nun die Möglichkeit, mit einer Karte das Empire in

¹⁶ Barber (1997); Buisseret (1992).

den Köpfen zu schaffen.¹⁷ Auf der „Imperial Federation Map of the World“ (1886) wurden ebenfalls die britischen Kolonien rot eingefärbt, ferner wurde London in den Mittelpunkt der Weltkarte gesetzt, und schließlich hat man die Karte mit allerlei Emblemen des Empire versehen: Britannia mit Dreizack, würdevoll dargestellte Untertanen ihrer Majestät in den Kolonien, dazu die für die Kolonien typischen Tiere – die Suggestion eines friedlichen Zusammenlebens, während sich in den Kolonien die Konflikte verschärften. Mit der Lokalisierung des englischen Mutterlands in der Mitte der Welt bestimmt diese Darstellung der britischen Großmacht des 19. Jahrhunderts unsere Perspektive auf die Weltkarte übrigens bis heute.

Auch beim letzten Beispiel für die Verwendung der Farbe Rot in der Geschichte der Kartografie geht es um die suggestive Wirkung der Farbe. Die hier zu besprechende Weltkarte wurde 1919 von dem bedeutenden Kartografen und Geografen Sandór Radó gefertigt, den seine Biografie früh zum Antikommunisten machte. Auf der Karte ist die Sowjetunion in einem extrem ins Auge fallenden Rot eingefärbt, während alle anderen Länder und die Meere in einem dezenten grau oder hellblau gehalten sind. Außer der Farbgebung bedient sich Radó auch noch der Verzerrung des Gitternetzes der Längen- und Breitengrade: Der Norden der Sowjetunion erscheint dadurch viel größer als mit der sonst üblichen Projektion – und die Sowjetunion insgesamt so bedrohlich, wie Radó sie empfand. Hier liegt also ein Beispiel für eine propagandistische Nutzung von Farbe und Verzerrung zugleich vor; es leitet damit zum zweiten Abschnitt über.

2. Kartografische Visualisierung statistischer Daten durch Verzerrung: „Morphing Animation“

Auch die „Morphing Animation“ – zu übersetzen vielleicht als „gestaltgebende Darstellung“ – kommt ohne Farbe im Grunde nicht aus. Worum es bei Morphing Animation geht, sei an dem Beispiel der kartografischen Visualisierung der Ergebnisse der amerikanischen Präsidentenwahl im Jahre 2000 verdeutlicht; die folgende Schilderung beruht auf der Darstellung von Ute Schneider.¹⁸

Al Gore und George W. Bush lieferten sich, wie bekannt, ein Kopf-an-Kopf-Rennen. Aber nicht nur das, es ging auch um die *Wahlgeografie*. Die Fernsehsender bildeten die Wahlergebnisse kartografisch ab und prägten ein Bild, das David Brooks vom amerikanischen Journal „The Atlantic Monthly“ alarmierte: Er schrieb besorgt: „Breite rote Blöcke dehnten sich im Landesinnern aus, umklammert von blauen Blöcken an den Küsten – sind wir wirklich eine Nation?“ Seit der Wahl des Jahres 2000 hat sich in den USA die Rede vom „roten“ und „blauen“ Amerika durchgesetzt. Die Farben repräsentieren nämlich nicht nur das einmalige Wahlverhalten, sondern auch bestimmte Werte: Rot symbolisiert das ländliche Amerika mit großen Farmen und kleinen Städten, riesigen Supermärkten in der Landschaft, gut besuchten Kirchen, Menschen mit geringer Schulbildung und einem insgesamt niedrigen Anteil von Minderheiten. Blau steht für großstädtisch, urban, hohe Bildung, säkular und hohen Anteil von Minderheiten.

¹⁷ Dazu und zum Folgenden Laidlaw (2005).

¹⁸ Schneider (2004), S. 84-93, bes. S. 92 f.

Brooks machte sich bald nach der Wahl auf, um die Verhältnisse vor Ort zu prüfen. Er fand die meisten seiner Vorannahmen bestätigt, konnte aber beruhigt feststellen, dass es zwar Unterschiede, aber keine Konflikte zwischen dem „roten“ und dem „blauen“ Amerika gebe. Doch die roten und blauen Gebiete mit ihren klaren Grenzen visualisierten für viele „blaue“ Amerikaner seit langem beobachtete Wertedifferenzen innerhalb ihres Landes, die sich mit einer ohnehin seit den 1960er Jahren in ihren Köpfen vorhandenen Topografie deckte. Eine eindeutige Benennung der beiden Teile indessen lieferte erst die Karte mit ihren Farbblöcken.

Aber – und hier ist wieder von der „Macht der Karten“ zu sprechen – das Bild von roten und blauen Staaten in Amerika trifft keineswegs die politischen Auffassungen und das Wahlverhalten in diesen Staaten. Es gibt natürlich in den „roten“ Staaten auch „blaue“ Wähler und umgekehrt. Doch das amerikanische Wahlsystem, nach dem in den meisten Staaten dem Sieger alle Wahlmännerstimmen zukommen, legt eine Visualisierung in Flächenfarbe nahe. Andererseits täuschen solche Karten mit ihrer Flächenfarbe eine Homogenität vor – jedenfalls hinsichtlich des Wahlverhaltens, aber auch hinsichtlich der Wertevorstellungen –, die eben nicht vorzufinden ist.

Vor allem aber bringt die Flächenfarbe die Bevölkerungsdichte nicht zum Ausdruck, und damit die Stimmenzahl gemessen an der Gesamtbevölkerung. Differenziert man nun die Wahlergebnisse in den einzelnen Bundesstaaten und berücksichtigt noch die Zahl der Wählerstimmen, ergibt sich ein anderes Bild. Und hier kommt nun eine neue Form kartografischer Visualisierung ins Spiel: Der massive rote Block wird zu einem viel schmalen Streifen, während der blaue Rand nicht mehr wie eine Klammer, sondern wie aufgeblasen wirkt. Noch ein ganz anderes Bild ergibt sich, wenn die Staaten entsprechend ihrer Bevölkerungsdichte abgebildet werden. In diesem Falle dominiert ein riesiger blauer Osten einen winzigen roten Westen. Man gewinnt den Eindruck, dass die Anhänger von Al Gore auf diese Weise wenigstens kartografisch ihre Niederlage zu kompensieren trachteten; doch die von Schneider gebotene Erklärung ist eine andere: Diese Darstellung der USA mit dem durch Morphing Animation aufgeblasenen, riesigen blauen Osten entspricht demnach der Wahrnehmung der „roten“ Amerikaner, die die Werte der „blauen“ und damit den Osten als eine Bedrohung ihrer Werte betrachten.¹⁹

Die Folgen sind erheblich: Die Durchsetzung einer Unterscheidung zwischen dem „blauen“ und dem „roten“ Amerika ist nicht allein mit einer kognitiven Karte in den Köpfen der Amerikaner verbunden, vielmehr trägt die Verwendung dieser kognitiven Karte in der politischen Diskussion zur Verfestigung dieser Vorstellung bei. Eine Mental Map der Amerikaner über ihrer Staatenkarte ist in blaue und rote Farbblöcke geteilt, die für eine Vielzahl von Werten und Zuschreibungen stehen.²⁰

Einerseits, so lassen sich diese Befunde interpretieren, kann das Morphing eine Möglichkeit sein, um die problematische Suggestion der durch Flächenfarbe erzeugten Homogenität zu kompensieren. Andererseits aber: Welche suggestiven Kräfte, welche Macht üben wiederum die durch Morphing Animation verzerrten Karten aus? Dass

¹⁹ Schneider (2004), S. 92 f.

²⁰ Ebd.

auch hier dem propagandistischen Einsatz Tür und Tor geöffnet ist, bedarf kaum der Erwähnung. Auf jeden Fall vermag Morphing Animation ganz andere Relationen sichtbar zu machen und damit auch ganz andere Botschaften zu liefern als bisherige Karten.

Ganz andere Relationen und eine erhebliche Irritation unserer Sehgewohnheiten erzeugen auch die Morphing-Karten der englischen Kartografen Dorling und Newman, und zwar noch sehr viel grundsätzlicher: Sie machen auf anders kaum visualisierbare Disparitäten auf der Welt aufmerksam. Aus der großen Vielzahl der von diesen Autoren entwickelten Karten seien drei näher in den Blick genommen.

Da ist zunächst die kartografische Darstellung der Länder proportional zur Zahl der Neugeborenen (Farbtafel 1 – Abbildung A). Ein geradezu gigantischer indischer Subkontinent dominiert die Erde, daneben liegt ein ebenfalls übergroßes China und ein ebensolches Südostasien; auch die arabischen Länder erscheinen vergrößert, während Europa erheblich geschrumpft und der amerikanische Doppelkontinent nur noch ein Strich ist. Eine ganz andere Weltkarte ergibt sich, wenn man die Länder der Welt nach der Zahl der Flüchtlinge darstellt, die sie beherbergen (Farbtafel 1 – Abbildung B). Die Umrisse Afrikas sind derart verzerrt, dass der Kontinent kaum noch zu erkennen ist – Ausdruck offenbar der innerafrikanischen Flüchtlingsbewegungen. Europa ist stark aufgeblasen, ebenso Südamerika. Australien hingegen ist kaum vorhanden, während – und das ist dann doch unerwartet – die USA überhaupt nicht verzerrt dargestellt sind. Dominant aber sind die USA auf einer Weltkarte, die die Länder nach dem Anteil der Autoren wissenschaftlicher Veröffentlichungen darstellt (Farbtafel 1 – Abbildung C). Auch Europa ist überdimensional aufgeblasen, während Afrika gar nicht vorhanden erscheint und China, auch Indien – insbesondere in Relation zu ihrem gewaltigen Bevölkerungswachstum – hinsichtlich wissenschaftlicher Veröffentlichungen „klein“ bleiben.

Dass diese durch Morphing Animation entstandenen Karten Verhältnisse, Potentiale und vor allem eben Disparitäten sichtbar zu machen vermögen, die anders nicht visualisierbar wären, dürfte deutlich geworden sein. Ob sich diese Form kartografischer Visualisierung allerdings durchsetzen wird, muss man abwarten. Insbesondere gegenüber der in den Medien verbreiteten bloßen Einfärbung von Flächen hat das Morphing zweifellos große Vorzüge. Als Beispiel sei hier eine Karte angeführt (Farbtafel 1 – Abbildung D), die einen Artikel über die Verbreitung von Atomsprengköpfen auf der Erde ergänzt. Der Anspruch der Karte besteht zum einen darin zu verdeutlichen, dass es offizielle und inoffizielle Atommächte gibt, ferner Länder mit einem Atomprogramm sowie solche, die eines aufgegeben haben. Zum anderen soll die geografische Lage dieser Länder dargestellt werden, zum dritten die Anzahl der in den einzelnen Ländern stationierten Sprengköpfe. Die Botschaft, die diese Karte tatsächlich vermittelt, besteht aber in der Suggestion, dass in den jeweiligen Ländern überall Atomwaffen in Stellung stünden. Die Flächenfarbe erlaubt die Differenzierung hinsichtlich der Anzahl nicht mehr! Hier wäre eine durch Morphing Animation verzerrte Darstellung der betreffenden Länder vermutlich sehr instruktiv. Wenn eingangs davon die Rede war, dass Karten Botschaften zu vermitteln vermögen, dann ist von den Verfassern dieser Karte zu wenig darüber nachgedacht worden, ob diese Karte – oder überhaupt eine Karte – zur Vermittlung der Botschaft „welche Länder haben wie viele Atomsprengköpfe“ das richtige Medium ist.

Insgesamt zeigt sich also zum einen, dass die Kolorierung von Karten ein komplexes Phänomen ist. Beim Studium alter Karten kommt man nicht umhin, die Karten in ihren Kontext zu stellen. Das klingt banal, aber meint ganz und gar nicht Banales: Wenn man die zeitgenössische Bedeutung der Farben und ihres Gebrauchs nicht kennt und wenn man nicht weiß, dass diese Bedeutung in den einzelnen Kulturen und Zeiten differierte und lange nachwirkte, welche Überlieferungs- und Übersetzungswege die Bezeichnungen nach Farben gingen, wird man von einem Irrtum zum nächsten stolpern. Der Weg des Roten Meeres in die hebräische und dann christliche Heilsgeschichte harrt weiterhin der Klärung.

Eine der größten Herausforderungen moderner Kartografie scheint demgegenüber die Visualisierung statistischer Daten zu sein – und da begegnet man nicht nur all den Problemen, die sich bei der Bearbeitung statistischer Daten stellen, sondern man hat auf eine Spezifik von Karten zu achten: Sie sind Bilder, sie sind Momentaufnahmen, sie können also keine Prozesse abbilden. Die Morphing Animation mag immerhin eine spezifische Möglichkeit bieten, wie Prozesse auf Karten visualisiert werden können.

Literatur

1. Barber (1997): Peter Barber, Maps and Monarchs in Europe 1550-1800, in: Robert Oresko, Graham Gibbs, Hamish Scott (Hrsg.), Royal and Republican Sovereignty in Early Modern Europe. Essays in memory of Ragnhild Hatton, Cambridge 1997, pp. 75-124
2. Buisseret (1992): David Buisseret (Hrsg.), Monarchs, Ministers and Maps. The Emergence of Cartography as a Tool of Government in Early Modern Europe, Chicago, London 1992
3. Conrad (2002): Christoph Conrad, Vorbemerkung, in: Geschichte und Gesellschaft 28 (2002), 3, S. 339-342
4. GG (2002): Geschichte und Gesellschaft 28 (2002), 3
5. Illinger (2006): Patrick Illinger, Nordkoreas Atomtest. Das Gespür für die feinen Kurven, Süddeutsche Zeitung vom 10.10.2006
6. Laidlaw (2005): Zoë Laidlaw, Das Empire in Rot. Karten als Ausdruck des britischen Imperialismus, in: Christof Dipper, Ute Schneider (Hrsg.), Kartenwelten. Der Raum und seine Repräsentation in der Neuzeit, Darmstadt 2005, S. 146-159
7. Schmitt (1996): Rüdiger Schmitt, Considerations on the Name of the Black Sea: What Can the Historian Learn from it?, in: Wolfgang Leschhorn (Hrsg.), Hellas und der griechische Osten, Saarbrücken 1996, S. 219-224
8. Schneider (2004): Ute Schneider, Die Macht der Karten. Eine Geschichte der Kartographie vom Mittelalter bis heute, Darmstadt 2004
9. Sonnabend (2007): Holger Sonnabend, Die Grenzen der Welt. Geographische Vorstellungen der Antike, Darmstadt 2007

Abbildungen auf Farbtafel 1

Abbildung A: Kartografische Darstellung der Länder proportional zur Zahl der Neugeborenen, Quelle: www.worldmapper.org/display.php?selected=3

Abbildung B: Kartografische Darstellung der Länder der Welt nach der Zahl der Flüchtlinge, die sie beherbergen, Quelle: www.worldmapper.org/display.php?selected=13

Abbildung C: Kartografische Darstellung der Länder der Welt nach dem Anteil der Autoren wissenschaftlicher Veröffentlichungen, Quelle: www.worldmapper.org/display.php?selected=205

Abbildung D: Verbreitung von Atomsprengeköpfen, Quelle: Illinger (2006)

Farbtafel 1

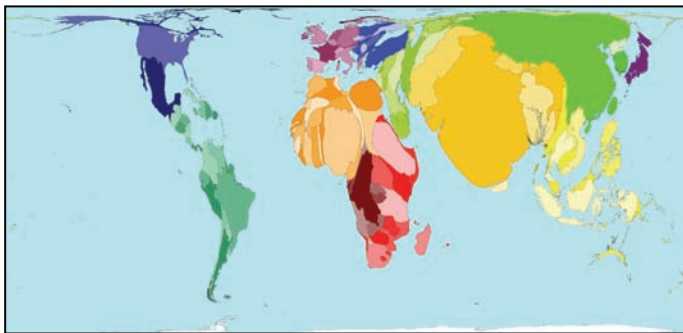


Abbildung A:
Kartografische Darstellung
der Länder proportional
zur Zahl der Neugeborenen
(nach Dorling/Newman)

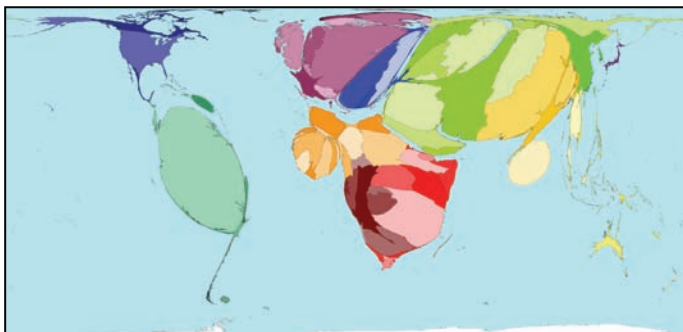


Abbildung B:
Kartografische Darstellung
der Länder der Welt nach
der Zahl der Flüchtlinge,
die sie beherbergen (nach
Dorling/Newman)

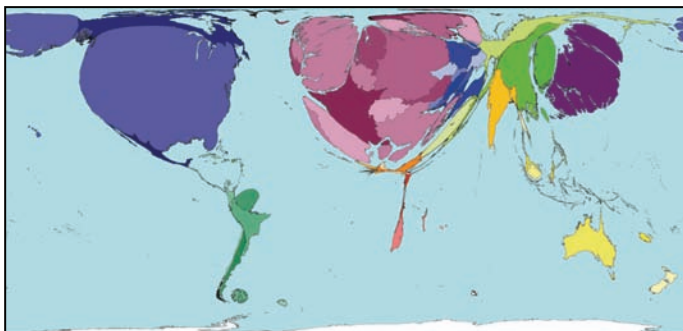


Abbildung C:
Kartografische Darstellung
der Länder der Welt nach
dem Anteil der Autoren
wissenschaftlicher Veröffent-
lichungen (nach Dorling/
Newman)



Abbildung D:
Verbreitung von Atom-
sprengköpfen
(Süddeutsche Zeitung,
10. Oktober 2006)

Von der ‚Grand Tour en miniature‘ zum avantgardistischen ‚Sonderfall‘ – das Reiff-Museum der Technischen Hochschule in Aachen

Martina Długaiczek

Es sieht „schlecht mit unseren gepriesenen Universitäten aus“ – so lamentierte jedenfalls ein Anonymus vor etwas mehr als zweihundert Jahren, wobei er insbesondere den Mangel an Gemälden und Kunstwerken an deutschen Universitäten im Blick hatte, verstand er diese doch als elementares Mittel der ästhetischen Erziehung, gar als unerlässlich, um „der Seele die Richtung [zu] geben, dass sie nur das Wahre, Gute und Edle schätze“.¹ Denn „gute Sammlungen“, die „die besten und vortrefflichsten Kunstwerke alter und neuer Zeit entweder im Original oder einer Kopie“ beinhalten, wären der „ausgebildeteren Erziehung“ dienlich. Nach seinem Dafürhalten sollten die „Erziehungsanstalten nicht bloß den Kopf mit nützlichen Kenntnissen füllen“, sondern auch die Bildung von Geschmack, moralischer Gesinnung („höhere Moralität“) und Urteilkraft fördern.² Dazu sei es notwendig, dass

„nicht ein Literator, sondern ein Kunstverständiger dem die Sammlung anvertraut wäre, wenigstens wöchentlich einmal Vorlesungen darüber halten, seinen Zuhörern richtige Begriffe von Schönheit durch Vorzeigung und Analysirung [sic] der Kunstprodukte beibringen, und auf die Weise einen Beitrag zur [...] Erziehung der studierenden Jugend liefern [würde].“³

Soll der Studierende

„aber die Kunstwerke mit Wohlgefallen ansehen, und sollen dieselben sanfte und über das Gemeine sich erhebende Gedanken in ihm erregen; so muß man ihm die Gelegenheit verschaffen, daß er in den Jahren, wenn er in Kenntnissen schnelle Schritte macht, und sein Geblüt mit Ungestüm in den Adern waltet, die besten und vortrefflichsten Kunstwerke alter und neuer Zeit [...] zu sehen bekommt.“⁴

Vordringliches Ziel müsse es sein, so notiert der Anonymus weiter, dass „der junge Mann [...] heut zu Tage vornehmlich durch Betrachtung der Natur und Kunst gegen Ausschweifungen gestählt, und für alle sanften Eindrücke des Guten und Edlen empfänglich gemacht werde[n]“ muss, zumal „Andachtsübungen, Betstunden, u. dergl.“ im Wert gesunken seien.⁵

„Wenn man nach diesen Grundsätzen, die so richtig sind, dass eine umständliche Ausführung überflüssig zu sein scheint, unsere Universitäten prüfet, so muss man bedauern, und sich zugleich verwundern, dass die Gelegenheit, richtige und

¹ Anonymus (1794), S. 188. Vgl. auch Verspohl (2002), S. 151-161.

² Anonymus (1794), S. 187-191.

³ Anonymus (1794), S. 187.

⁴ Anonymus (1794), S. 190.

⁵ Anonymus (1794), S. 189.

feine Einsichten in den Künsten zu erlangen, so äußerst selten und fast gar nicht zu haben sei.“⁶

Diesem „gerügte[n] Mangel an Kunstwerken“ respektive eindringlichem Plädoyer für die Einrichtung von kunsthistorischen Sammlungen an Universitäten schließt sich die nüchterne Erkenntnis an, dass gerade

„die berühmtesten und am stärksten frequentierten Universitäten in dem Protestantischen Deutschland⁷ [...] vielleicht nicht ein einziges erträgliches Gemälde innerhalb ihrer Ringmauern aufzuweisen [haben]; und doch wähen wohl Viele in und außerhalb der Musensitze, dass dieselben nicht weniger Pflegerinnen der Künste als der Wissenschaft sind.“⁸

1. Universität versus Museum versus Universitätsmuseum...

Ungleich radikaler formuliert findet sich hundert Jahre später gar die Forderung: „Die Professuren der Neueren Kunstgeschichte sollten an denjenigen Universitäten, denen größere Kunstsammlungen fehlen, aufgehoben werden.“⁹ Für diese Zeilen verantwortlich ist kein Geringerer als Herman Grimm, der seit 1873 dem Lehrstuhl für Neuere Kunstgeschichte an der Universität Berlin als Ordinarius vorstand, wenngleich es zu betonen gilt, dass er damit nicht seine eigene Meinung, sondern die Vermeintliche seines Antipoden Wilhelm von Bode, dem Direktor der Gemäldegalerie in Berlin, – „gewiß mit seiner Zustimmung“ – kolportierte.¹⁰ Neben der sich hier offenbarenden persönlichen wie fachlichen Rivalität der beiden Gelehrten¹¹ markiert ihr Disput die im späten 19. Jahrhundert offen ausgetragene Kontroverse über Sammlungs- und Vermittlungsstrategien, der Frage nach Authentizität, Aura und Inszenierung des Einzelwerkes, des Originals sowie über die Autorität(en) innerhalb von Museen und Universitäten.

Während Grimm überzeugter Anhänger und Verfechter der biografischen Kunstgeschichtsschreibung war und eine ‚gute‘ Kopie oder das fotografische Lichtbild dem ‚minderwertigen‘, also zweitrangigen Original vorzog, vertrat Bode den kennerschaftlichen Ansatz, und räumte dem Original, und sei es nur als Fragment erhalten, alleinige

⁶ Anonymus (1794), S. 187.

⁷ Damit rekurrierte er vor allem auf die Universitäten in Jena, Göttingen und Halle, vgl. ebd.

⁸ Anonymus (1794), S. 187-188.

⁹ Grimm (1891), S. 357. Vgl. dazu die Erwiderung von Bode (1891): S. 198-202.

¹⁰ Wilhelm von Bode (1845-1929) trat im Jahre 1872 in den königlichen Museen zu Berlin seine Stellung als Assistent in der Skulpturenabteilung an, deren Direktor er 1883 wurde. Seit 1890 leitete er auch die Gemäldegalerie; zum Generaldirektor der Berliner Museen wurde er 1905 ernannt. Herman Grimm (1828-1901) studierte Jura und Philologie; 1868 promovierte er in Leipzig, 1870 habilitierte er sich in Berlin; seit 1873 stand er ebendort dem neu geschaffenen Lehrstuhl für Kunstgeschichte als Ordinarius vor. Vgl. dazu Gaechtgens/Paul (1997) und Waetzoldt (1986), S. 214-239.

¹¹ Gaechtgens/Paul (1997), Bd. I, S. 250: „Herman Grimm, der mich nie geliebt und schon lange unter der Hand beim Ministerium und dem Protektor angeschwärzt hatte, schrieb jetzt offen gegen mich. Ihm schlossen sich in den Zeitungen missvergnügte Künstler und Kollegen unter den Kunsthistorikern an.“

Autorität ein.¹² Dementsprechend stand Bode den universitären Lehrveranstaltungen und -sammlungen Grimm'scher Prägung skeptisch gegenüber, zumal dieser konsequent die neue Technik der Diaprojektion einsetzte, wodurch „die vergleichende Betrachtung sofort in Wirksamkeit“ treten und die Bilder sich „tief ins Gedächtnis einnisten und [...] bei der Gleichmäßigkeit der Anschauungen festen organischen Zusammenhang gewinnen“ könnten.¹³ Diesem geforderten ‚organischen Zusammenhang‘ ist es geschuldet, dass Grimm sich – bezogen auf die universitäre Fachdisziplin Kunstgeschichte – der Zusammenarbeit mit öffentlichen Museen verweigerte, weil diese in ihren Beständen „dem Zufall überlassen bleiben, der Einiges erreichbar macht, das Meiste aber unerreichbar versagt“.¹⁴ Ferner spricht er den Museen den Bildungs- und Erziehungsauftrag ab: „die Massen, die sich jetzt durch unsere künstlerischen Kostbarkeiten drängen, gehören nicht unter sie, weil sie sie nicht verstehen und hier auch nur selten verstehen lernen“.¹⁵ So forderte er: „Wir bedürfen Museen für die Belehrung des Volkes. Besonders aber für Studienzwecke. [...] Ein Museum für Lehr- und Lernzwecke muß durchaus anders beschaffen sein, als eines, das der Aufbewahrung von Seltenheiten dient.“¹⁶ Der Diskreditierung der Museen im Allgemeinen sowie der dort arbeitenden Museumsbeamten im Speziellen nicht genug, führt er weiter aus, wem zukünftig die Leitung des ‚Museums für vaterländische Kunstgeschichte‘¹⁷ überantwortet werden sollte und warum:

„Sie müssen den Docenten der Universität unterstellt bleiben, welche das Wichtige von Ueberflüssigen zu unterscheiden wissen. Sobald das bloß Interessante Berücksichtigung findet, wird das Werk ersten Ranges, das neben dem eines zweiten Ranges steht, beeinträchtigt.“¹⁸

Während also Wilhelm von Bode die Auffassung vertrat, mit einer exquisiten, dem Kunstmarkt und Etat geschuldeten, zwar reduzierten, aber kunstkennerschaftlichen Auswahl von Originalen einen adäquaten Überblick vermitteln zu können, verstand

¹² Gaachtgens/Paul (1997), Bd. I., S. 128: „So notierte Bode ‚Ihm [Herman Grimm] läge nichts an der Erwerbung von Originalen – so ließ er sich unter vier Augen und öffentlich vernehmen; denn wirkliche Meisterwerke der Italiener könnten wir doch nicht bekommen, von der Kunst der Niederländer, von Werken der Kleinplastik halte er überhaupt sehr wenig. Nachbildungen aller Art zu schaffen, sei die einzige Aufgabe für unsere Museen. Ich pflege ihm dann zu erwidern, daß selbst ein bloßes Fragment von einem schönen Original für unsere Museen wichtiger sei als der Abguß des herrlichsten Denkmals oder die Kopie eines berühmten Gemäldes““. Vgl. auch die Passage bei Waetzoldt (1986), S. 219, in der berichtet wird, wie der Student Lichtwark Professor Grimm davon überzeugt, sich die meisterlichen Rembrandt-Radierungen im Original anzuschauen. Grimms Kommentar: „Sie haben recht, das müsste man eigentlich auch kennen“.

¹³ Grimm (1897), S. 282. Vgl. dazu auch Dilly (1975), S. 153-172 und Wenk (1999), S. 292-305.

¹⁴ Grimm (1891), S. 374.

¹⁵ Grimm (1891), S. 376 (Fußnotentext).

¹⁶ Grimm (1891), S. 374.

¹⁷ Er wählte diese Bezeichnung, um sich von den fürstlichen Sammlungen abzugrenzen, die seit der königlichen Kabinettsorder vom 16.08.1809 der Universität (Gründung 24.07.1809) zum ‚allgemeinen Zweck‘ überantwortet worden waren. Vgl. dazu Brüning (1999), S. 28.

¹⁸ Grimm (1891), S. 377.

Herman Grimm diese Herangehensweise als willkürlich und mangelhaft. Darauf erwidert Bode:

„Selbst wenn die Berliner Galerie nur die Hälfte oder ein Viertel von dem böte, was sie bietet, hätte Grimm doch nicht das Recht, den Bestand derselben in der von ihm beliebten Weise herunterzureißen. Gerade daran würde er seine Tüchtigkeit beweisen, wenn er aus Wenigen Viel zu machen verstünde, wenn er in Ermangelung großer Meister seine Hörer an geringeren Meistern auf das vorzubereiten wüsste, was sie in reicheren Galerien zu erwarten haben.“¹⁹

Damit gab sich Grimm nicht zufrieden. Seiner Auffassung gemäß galt es vielmehr, die lineare Abfolge von Geschichte visualisiert in Szene zu setzten, wozu es vortrefflicher Kopien, Repliken und Lichtbilder²⁰ bedürfe, damit „die Hauptwerke der großen [„nicht der ‚berühmten‘, sondern der ‚großen‘] Maler [...] so aneinandergereiht [gezeigt werden können], dass deren Entwicklungsgeschichte aus dem bloßen Anblicke schon hervortritt.“²¹

Das heißt, der Weigerung, die reformgeprägten Sammlungsstrategien der Museen zu akzeptieren und an der Universität kennerschaftlich orientierte Kunsthistoriker auszubilden, stand die Forderung gegenüber, Lehrstühle ohne eigene Sammlung oder Anbindung an ein Museum neuer Prägung bzw. die Berufungen inhaltlich und personell mindestens zu überdenken. Da die Kontroverse verstärkt von persönlichen Vorbehalten getragen wurde, schien eine sachliche Beilegung der Auseinandersetzung unmöglich.

Parallel zu dieser aufgeheizten Gemengelage in Berlin, die überaus lebhaft im Wilhelminischen Kaiserreich verfolgt und diskutiert wurde, entstand in Aachen eine Sammlung, in deren Bestand und Genese sich gleichermaßen die Zerrissenheit und

¹⁹ Bode (1891), S. 200. Bode notiert weiterhin, dass Grimm „eine äußerst beschränkte, weil rein persönliche, durch Eifersucht getrübe Auffassung der Dinge zu Grunde liegt. Dieser kleinliche, nörgelnde, zum Todtschweigen der Verdienste Anderer geneigte Hermann Grimm hat niemals den befreienden Eindruck eines großen Kunstwerkes erfahren, wäre er für solche Empfindungen zugänglich, würde ihm ein Dutzend Bilder aus der Berliner Galerie genügen, seinen Hörern die ganze italienische Kunstgeschichte zu entwickeln. Die intime Bekanntschaft mit dem Kunstwerk, die Liebe zum Kunstwerk, die sich durch immer erneute Betrachtung desselben kundthut, ohne die das gesprochene Wort im Winde verweht und ohne welche keine Kunstkenntenschaft möglich ist, die fehlt dem Berliner Dozenten gänzlich.“

²⁰ Kuhrau (2005), S. 167. Grimms Entwurf für eine Lehrsammlung, für die er als erstes „überflüssige[n] Raum und Licht“ forderte, band das Lichtbild aktiv in den Sammlungsbestand mit ein: Die „vierte freie Wand würde auch gestatten, die zu beschaffenden Copien, welche sehr sorgfältig herzustellen wären (eine Arbeit, die nicht leicht ist) nicht in übereilter Arbeit beendigen zu lassen, sondern sie, bis zu ihrem Besitze in guter Qualität, in Lichtbildern zu ersetzen.“ (Grimm [1891], S. 375 f.). Zum Wert von Kopien schreibt Kuhrau „Weber [Syndikus des Berliner Bankhauses Bleichröder] bezahlte 1883 für eine von Alfons Holländer erstellte Kopie nach Raffaels Heiliger Cäcilie samt Rahmen nicht weniger als 2600 Mark – ungefähr das Jahresgehalt eines mittleren Beamten.“

²¹ Grimm (1891), S. 375. „Für die Auswahl würden die Vorschläge sämtlicher Universitäten und Polytechniken einzufordern sein und es eher darauf ankommen, auszuscheiden, als allzuweit zu umfassen, denn nicht ein Museum mit dem Streben nach Vollständigkeit, sondern Lehrmaterial mit Berücksichtigung nur des am meisten Erprobten, Inhaltsreichsten käme hier in Frage.“

Aufbruchstimmung der Zeit spiegeln sollte. So entstand eine Privatsammlung, die in kürzester Zeit gezielt zur halböffentlichen Lehrsammlung der Technischen Hochschule erweitert wurde und nachfolgend zur öffentlichen sowie überaus renommierten Schau-sammlung samt Wechselausstellungen avancierte.

Die Ablehnung durch städtisch-museale Einrichtungen ließ nicht lange auf sich warten. So schrieb im Jahre 1900 der Direktor der Städtischen Sammlung, Dr. Anton Kisa, an den Oberbürgermeister der Stadt Aachen:

„Eine solche Lehrsammlung ist übrigens in einer Universitätsstadt, wo Kunstgeschichte als Wissenschaft um ihrer selbst willen betrieben wird, mehr angebracht, als an einer Technischen Hochschule, wo Architekten, Ingenieure und Elektrotechniker nebenher auch ein wenig Kunstgeschichte betreiben.“²²

Seine nicht unerheblich von Konkurrenz getragenen Bedenken sollten nicht unbegründet bleiben, da sich das Reiff-Museum, welches sich durch anschauliche sowie wissenschaftsorientierte Kunstvermittlung und nicht durch reine Inventarisierung auszeichnete, überaus regen Zulaufs erfreute.

2. Eine Gemäldesammlung für das Aachener Polytechnikum²³

Im Jahre 1909 weist das renommierte Burlington Magazine seine Leser darauf hin, dass in Aachen zwei neue Museen eröffnet wurden, deren facettenreiche Sammlungen eine ungeheure Bereicherung der dortigen Kunstlandschaft darstellen würden.²⁴ Zur Vor-

²² Turck (1992), S. 24 f. Kisa irrte insofern, als dass im Jahre 1876 das Institut für Kunstgeschichte zur Gründung gelangt war. Gast (1921), S. 178: „1876 [wurde] eine neue Staatsprüfungsordnung für Regierungsbauführer publiziert. [...] Nun konnte der Minister im Dezember 1878 die Konstituierung einer Fachschule für Architektur als einer von der Fachschule für Bauingenieurwesen gesonderten und selbständigen Abteilung genehmigen. [...] Endlich [konnte] auf eine mehr künstlerische Ausbildung der Studierenden hingearbeitet werden. [...] Bereits am 10. Februar 1876 hatte sie sich [Abt. Architektur] programmatisch dahin geäußert, daß Vorlesungen über Kunstgeschichte notwendig seien, denen sich solche über Literatur und Kulturgeschichte anzugliedern hätten. Es gelang wirklich, in Karl Lemcke einen Gelehrten zu finden, der in dem erwünschten Umfange die vier Fächer: Kunstgeschichte, Literaturgeschichte, Ästhetik und Kulturgeschichte vorzutragen imstande war und nach jeder dieser Richtung hin anzuregen wusste.“ Braunfels (1961), S. 104: „Kunst- und Baugeschichte gehören von Anfang an zu der Ausbildung von Architekten, wobei sie zunächst auch von den Inhabern der Entwurfslehrstühle gelesen wurden. [...] Ein besonderes Institut für Kunstgeschichte wurde 1876 eingerichtet“.

²³ Im Jahre 1870 wurde die ‚Königlich Rheinisch-Westfälische Polytechnische Schule zu Aachen‘ eröffnet. 1880 wurde aus der Polytechnischen Schule mit einem Direktor an der Spitze eine ‚Technische Hochschule‘ mit einer Rektoratsverfassung. 1899 erhielten die preußischen Technischen Hochschulen durch den preußischen König Wilhelm II. das bis dahin allein den Universitäten zustehende Promotionsrecht zur Verleihung eines eigenständigen ‚Dr.-Ing‘. Vgl. Nägelke (2000); Ricking (1995).

²⁴ Singer (1908/09), S. 319: “A new museum of historical antiquities has been founded at this place, and connected with the municipal, so called Suermondt Museum. Again, a small museum has been opened at the Polytechnical Institute of Aix-la-Chapelle, one of the most important of German technical schools. It contains the bequest of the deceased painter Franz Reiff, which consists of about 60 paintings of the modern Düsseldorf and Munich schools and nearly 200 copies of old masters. Arrangements have been made to add a collection of casts of antique, Renaissance and modern sculptures.”

stellung gelangte das nach seinem Stifter Barthold Suermondt (1818-1887) benannte städtische Museum, welches bereits seit 1883 existierte, jedoch 1901 in die repräsentative, von Eduard Linse erbaute Villa Cassalette (1884-1888) umgezogen war.²⁵ Nachdem der Industrielle und Kunstliebhaber Barthold Suermondt 1873-74 seine exquisite, ca. 150 Gemälde umfassende Sammlung Alter Meister der spanischen und vornehmlich niederländischen Schule, darunter van Eycks ‚Madonna in der Kirche‘, aufgrund finanzieller Schwierigkeiten an die Königlichen Museen zu Berlin hatte verkaufen müssen, legte er 1882 mit dem wieder frei gewordenen Kapital umgehend eine neue Gemäldesammlung an, die er nur wenige Jahre später dem Aachener Museumsverein stiftete.²⁶

Parallel dazu entstand in Aachen, wenngleich unter gänzlich anderen Bedingungen, eine weitere Privatsammlung, nämlich die des aus Aachen stammenden und bei Karl Theodor von Piloty an der Münchner Akademie ausgebildeten Bildnis- und Historienmalers Franz Reiff. Das Burlington Magazine berichtet ferner, dass das „kleine“, im November 1908 eröffnete ‚Reiff-Museum‘ (Abbildung 1) an der Königlichen Polytechnischen Hochschule, einer der wichtigsten ihrer Art in Deutschland, beheimatet sei, ca. 60 Gemälde der Düsseldorfer und Münchner Schule des 19. Jahrhunderts und nahezu 200 Kopien nach Alten Meistern umfasse, die mit Skulpturen und Möbeln unterschiedlichster Epochen ein spannungsreiches Arrangement eingehen. Auch wenn offen bleiben muss, ob der die Zeilen verfassende Hans Wolfgang Singer²⁷, seines Zeichens Leiter des Dresdener Kupferstichkabinetts, bei der feierlichen Eröffnung zugegen war, ist festzuhalten, dass das Reiff-Museum nicht nur überregional,²⁸ sondern als gesellschaftliche Institution gleichberechtigt neben dem Suermondt-Museum wahrgenommen wurde. Ein Status quo, der nur wenige Jahre Bestand behalten sollte und heute nahezu in Vergessenheit geraten ist.

Bereits das Jahr 1908 markiert in der Entwicklung des Reiff-Museums eine markante Schnittstelle, da die im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts angelegte Privatsammlung nun zur halböffentlichen Universitäts- und Lehrsammlung und nachfolgend zur öffentlichen Schausammlung samt Wechselausstellungen avancierte. Damit einhergehend modifizierten sich nicht nur die Aufgaben, Ziele und Rezipienten, sondern auch der Ort, die Präsentation sowie die Sammlung. Diese dynamische Entwicklung verdankt sich den konträr agierenden und an heterogenen Geschmackspräferenzen orientierten Persönlichkeiten Franz Reiff und dem ersten Direktor des Museums, Max Schmid-Burgk.

²⁵ Linse (1872); Dauber (1985), S. 34-39.

²⁶ Lepper (1988/89), S. 183-214.

²⁷ Betthausen (1999), S. 389-391.

²⁸ Auch die Kunstchronik, 1909/10, XXI. Jg., Nr. 3, 3. Dez., S. 125, berichtet über die Eröffnung des Reiff-Museums sowie über die erste Ausstellung moderner Druckerzeugnisse. Die erste von Max Schmid-Burgk verfasste Pressemitteilung samt Korrektur hat sich erhalten; Reiff-Archiv; Lehrstuhl und Institut für Kunstgeschichte der RWTH Aachen.



Abbildung 1: Das Reiff-Museum der Königlich Technischen Hochschule (1909)

Dass Franz Reiff (1835-1902), von dem sich leider kein Bildnis erhalten hat, eine Privatsammlung zusammentrug, welche gleichermaßen Kopien Alter Meister sowie Originale zeitgenössischer Künstler umfasste, ist mehreren Faktoren respektive Vorbildern geschuldet. Zu nennen sind hier Barthold Suermondt (1818-1887), Adolf Friedrich Graf von Schack (1815-1894) und die vor allem von Wilhelm von Bode (1845-1929) getragene Reformbewegung innerhalb der Berliner Museen.²⁹ Während also der Verkauf der Suermondtschen Sammlung Franz Reiff vermutlich überhaupt erst inspirierte, den bestehenden Bedarf an vorbildlichen Gemälden der ‚Großen‘ – also der Alter Meister – in und für Aachen durch eine eigene Sammlung bereitzustellen, darf die 1865 eröffnete Münchner Schack-Galerie, als eigentliche, normative Grundlage für die Reiff-Sammlung gewertet werden.³⁰

3. Alte Meister im neuen Gewand – Original und Kopie im 19. Jahrhundert

Graf von Schacks Begründung für sein Museumskonzept dürfte Reiffs persönlichen Interessen voll und ganz entsprochen haben. So notierte dieser rückblickend:

„Die sonst nirgends versuchte Gegenüberstellung alter und moderner Kunst war eine höchst gefährliche Probe für die letztere, denn zur gleichen Höhe wie Tizian oder Gian Bellin, Andrea [del Sarto] und Giorgione hat sich in unserem Jahrhundert keiner aufgeschwungen. Aber ein heutiger Künstler kann schon mit dem

²⁹ Vgl. Joachimides (2001).

³⁰ Vgl. Pophanken (1995).

Ruhme zufrieden sein, wenn seine Bilder durch die Werke jener Heroen nicht ganz erdrückt werden.“³¹

Eine Aussage, die aufschlussreicher nicht sein könnte, offenbart sich hier doch zum einen das für die Kunstgeschichte zentrale Prinzip des vergleichenden Sehens und zum anderen das Paradoxon des 19. Jahrhunderts, denn die Gruppe der „heutigen Künstler“ war mit der „der Heroen“ nahezu identisch. Das bedeutet, Schack versammelte nicht nur Werke zeitgenössischer Künstler in seinem Museum – wobei er versuchte, ein ausgewogenes Verhältnis zwischen bereits etablierten und noch gänzlich unbekannten Künstlern wie Arnold Böcklin, Hans von Marées³² und Franz von Lenbach herzustellen – sondern er ließ von eben diesen Kopien Alter Meister anfertigen, die er auf seinen zahlreichen Reisen gesehen und als Meisterwerke erfahren hatte bzw. die ganz subjektiv Empfindungen bei ihm ausgelöst hatten.³³ So notierte Schack in seiner Abhandlung ‚Meine Gemäldesammlung‘: Eine Kopie könne

„ein so vollständiges Bild des Originals [...] liefern, daß der Unterschied zwischen Beiden, wo nicht ganz aufhört, doch bis auf ein Minimum verschwindet; daß jedenfalls, wenn die genaue Betrachtung auch kleine Differenzen ergibt, dieser Unterschied mindestens für den Kunstgenuß völlig unerheblich ist.“³⁴

Seines Erachtens stellte eine Kopie eine vollkommene Wiedergabe des Originals dar, wenn ein hervorragender Maler sich in die Seele des Vorbildes versenken und diese so dann darstellen könne. Deshalb urteilte er nicht über Lenbach oder Marées, die sich bevorzugt bei ihm als Berufskopisten verdingten, sondern über Tizian, Giorgione oder Veronese.

Zudem griff Schack mit der von ihm favorisierten Zusammenstellung von Alten und Neuen Meistern den Renaissancegedanken des Paragone auf. Kunstwerke aus zeitlich weit von einander entfernten Epochen, aber der gleichen Gattung zugehörig, sollten in den Wettstreit treten. Auch wenn Schack sich nachweislich kunsthistorischer Quellen bediente und Kunsttheorien seiner Zeit wie zum Beispiel Friedrich Theodor Vischers ‚Ästhetik‘ rezipierte, vertraute er bei der Auswahl der Meisterwerke vor allem seinem Geschmack. Das heißt, Schack hatte in Ermangelung gültiger Wertekriterien ein neues ästhetisches System zur Beurteilung von Kunstwerken erfunden, wobei – wie bereits ausgeführt – die Kopien seines Erachtens im Vergleich mit der Gegenwarts-kunst voll für ihre Vorbilder einstanden, wodurch die Kunst des 16. und 17. Jahrhunderts zum neuen Maßstab für die Moderne erwuchs. Mit diesem ungewöhnlichen Ausstellungskonzept sollte zudem erwiesen und visualisiert werden, was übergeschichtlich bedeutend und zeitlos schön sei. Um den Fortbestand des Konzeptes auch nach seinem Tod verwirklicht zu wissen, verfügte er in seinem Testament vom 15.06.1874: „Die Ge-

³¹ Zitiert nach Turck (1992), S. 39.

³² Lenz (1987), S. 324–360.

³³ Er fand „[...] nur an solchen Gemälden Gefallen, die meinem Geist und meiner Empfindung etwas sagen.“ Sie sollten „Empfindungen in unserer Seele hervorrufen, die lange in ihr nachzittern“, zitiert nach Pophanken (1995), S. 34.

³⁴ Schack (1881), S. 237.

mälde, welche dieselben bilden, Originale sowohl als Copien sollen nicht getrennt und nicht zwischen andere Bilder gehängt werden.“³⁵

So legte Franz Reiff, der mit Schack freundschaftlich verbunden war, ebenso wie dieser seinen Schwerpunkt der zu kopierenden Werke auf die niederländischen Landschafts- und Genreszenen des 17. Jahrhunderts sowie auf religiöse Bilder einiger bevorzugter italienischer Meister der Früh- und Hochrenaissance. Seine besondere Vorliebe galt vor allem Tizian (Farbtafel 2 – Abbildung A) und Rembrandt, die mit bis zu je zwölf Gemälden vertreten waren, gefolgt von Raffael (Abbildung 2) und Rubens mit je sechs Kopien. Das heißt, ganz dem Kunsturteil und Geschmack eines bürgerlichen, gebildeten Publikums folgend, legte Franz Reiff seinen Fokus auf Vertreter der italienischen Renaissance und niederländischen Kunst, weil man hierin zum einen die Erfüllung eines kulturellen Ideals sah und zum anderen der aktuellen Neubewertung der als realistisch bezeichneten niederländischen Malerei entsprach.³⁶ Darüber hinaus versuchte er Vertreter aller Schulen zu integrieren, die er zu einem großen Teil in den von ihm favorisierten Galerien Alter Meister in München, Dresden und Kassel kopieren ließ.



Abbildung 2: Ludwig Sturm nach Raffaels ‚Sixtinischer Madonna‘ (1890)

³⁵ Pophanken (1995), S. XIII.

³⁶ Vgl. zur Neubewertung der niederländischen Kunst z. B. die gegensätzlichen Positionen von Grimm und Bode: Geismeyer (1990), S. 217-220.

Würde man es bei dieser Aufzählung bzw. reinen Inventarisierung des Bestandes belassen, würde man verkennen, dass die Sammlung ein zeithistorisches Abbild der vor allem in Berlin geführten Diskussionen über die Strategien des Sammelns und der Präsentations- bzw. Inszenierungsmöglichkeiten darstellt. Dem Kriterium der Vollständigkeit folgend, galt es enzyklopädisch zu sammeln, um nicht zuletzt ‚geschichtliche Vollständigkeit‘ zu erreichen, wie es noch Wilhelm von Humboldt für die Berliner Galerie 1830 formuliert hatte:

„Die hiesige Königliche Gallerie zeichnet sich [...] dadurch aus, daß sie sich systematisch über alle Perioden der Malerei ausdehnt, und die Geschichte der Kunst sich in ihr von ihren Anfängen an verfolgen lässt. Bei dieser ihrer Beschaffenheit werden nun natürlich die Punkte, in welchen sie noch unvollständig ist, doppelt sichtbar; ja man kann bei anders eingerichteten Gallerien kaum von Lücken reden, da die Anlagen derselben nicht auf geschichtliche Vollständigkeit gemacht ist.“³⁷

Dass Reiff, um diesem Anspruch entsprechen zu können, bei seiner Auswahl der zu kopierenden Meisterwerke auf den exquisiten Fundus der Münchner, Dresdner und Kasseler Sammlung rekurrierte, mag nicht verwundern, haben wir es hier doch mit fürstlichen Sammlungen zu tun, deren ‚Bestandsreihen‘ als in sich geschlossen galten und damit dem erstrebten Kanon der idealtypischen Vorbilder entsprachen.³⁸ Aber das quantitative Wachstum des musealisierbaren Materials im 19. Jahrhundert stellte das Museum und den Privatsammler gleichermaßen vor eine unlösbare Aufgabe. Während man dem Problem mit der Integration einer repräsentativen Auswahl von Kopien Herr zu werden versuchte, offenbarte sich die eigentliche Lösung in der Reduktion des Bestandes auf ästhetisch hochrangige Werke, zumal die ‚magazinierte Vermassung‘ den geneigten Besucher überforderte und somit dem Bildungs- und Erziehungsauftrag der Museen entgegen stand.³⁹ Das heißt, von nun an versuchte man, von den am meisten geschätzten Künstlern möglichst viele, charakteristische Meisterwerke zu erwerben, um deren Individualität und Differenz veranschaulichen zu können.

Diesem Kontext ist es erstens geschuldet, dass die Berliner Museumsfachleute größtmögliche Sorgfalt darauf verwandten, die aus Aachen stammende Sammlung Suermondt in Gänze erwerben zu können, weil diese neben zahlreichen Einzelstücken beispielsweise fünf Werke von Franz Hals und ebenso viele Werke von Ter Borch enthielt. Und zweitens, dass Franz Reiff jeweils zwölf Werke von Rembrandt und Tizian und jeweils sechs Arbeiten von Raffael und Rubens seiner Sammlung einverleibte. Eine für die damaligen Verhältnisse ungeheure Akkumulation von Kulturgut. Dabei standen – ebenso wie bei Schack – die Kopien den Originalen gleichwertig gegenüber. Während also Reiff mit der Ausrichtung der Sammlung auf charakteristische Werke eines Künstlers versuchte, den Reformbestrebungen Wilhelm von Bodes Rechnung zu tragen, muss der Einsatz von so genannten Originalkopien eher als konservativ und zugleich als Form der intelligenten künstlerischen Selbstbehauptung bezeichnet werden. Dazu

³⁷ Humboldt (1863), S. 316.

³⁸ Vgl. Joachimesdes (2001), S. 28 f.

³⁹ Vgl. dazu den eingangs ausgeführten Disput zwischen Bode und Grimm.

später mehr. Als Besonderheit darf ferner gelten, dass Reiff, im Gegensatz zu seinem großen Münchner Vorbild, nicht nur Gemälde, sondern auch Graphiken, Möbel, Kunsthandwerk, Skulpturen und Plastiken sammelte.⁴⁰

4. Nobilitierung des ‚Hand-Werks‘

Interessanterweise ergab die Sichtung des erhaltenen Sammlungsinventars, dass Reiff mit einigen wenigen Exponaten jedoch vom Kanon abwich oder anders formuliert, ihn um seine persönlich geprägte kunstkennerchaftliche Auswahl erweitert wissen wollte. Dazu gehört im besonderen Maße die Kopie nach Rembrandts berühmtem Gemälde ‚Die Anatomiestunde des Dr. Tulp‘⁴¹ (Abbildung 3).

Dabei steht – wie bei allen andern Exponaten auch – die übergeordnete Frage im Raum: Warum ließ Franz Reiff eine Kopie von eben diesem Bild anfertigen? Dass sich die Beantwortung der Frage in diesem Fall nicht auf Rembrandt als Künstler fokussieren kann, lässt sich daran festmachen, dass speziell für Aachen weitere Kopien seiner Gemälde angefertigt wurden. Diese entstammen ausnahmslos den Gemäldesammlungen Alter Meister in Kassel, Dresden und München. Für die Kopie der ‚Anatomiestunde des Dr. Tulp‘ wurde jedoch eigens ein Berufskopist beauftragt, der in Den Haag um Erlaubnis anfragen und vorstellig werden musste, womit ein erheblicher zeitlicher und finanzieller Aufwand verbunden war. Deshalb gilt es, die Inhalte des Bildes skizzierend in den Blick zu nehmen.

1632 gelang Rembrandt mit seinem ersten Gruppenbildnis ein fulminanter Auftritt, mit dem er sich durch die geschickte Verknüpfung von Erzählung und Bildnis beim Amsterdamer Bürgertum empfahl. So zeigt denn das Gemälde den berühmten Dr. Nicolaes Tulp, der im Kreise seiner gelehrten Freunde eine Obduktion am Leichnam eines zum Tode durch den Strick verurteilten Verbrechers vornimmt. Dass er sich dabei nicht wie üblich erst der Öffnung der Bauchhöhle, sondern der komplizierten Sektion der Arm- und Handmuskulatur widmet, verweist auf den berühmten niederländischen Anatom Andreas Vesalius, der die Trennung zwischen ‚praelector‘ und ausführendem Anatom zu überwinden verstand, also gleichzeitig obduzierte sowie dozierte, und der zudem die besondere Bedeutung der Hand betonte, die er als ‚primarium medicinae instrumentum‘ bezeichnete.

Rembrandt gelingt es durch ein dichtes Bezugssystem aus Blick- und Bewegungsrichtungen sowie durch Licht- und Schattenmodulationen, gleichermaßen den Mediziner, die von ihm vertretene Methode und vor allem seine Handfertigkeiten anschaulich in Szene zu setzten. Während die rechte Hand die Ausführende ist, ist die Linke nicht

⁴⁰ Über die plastischen Werke informiert das bei Turck (1992), S. 136 f. abgedruckte Inventar der Sammlung Reiff.

⁴¹ Über den Kopisten des Gemäldes liegen keine Informationen vor. Die Kopie hat die Maße 107,5 x 143,7 cm, das im Mauritshuis in Den Haag aufbewahrte Original aus dem Jahre 1632 weist eine Abmessung von 169,5 x 216,5 cm auf. Vgl. die Ausführungen über das Kopistenwesen in den Niederlanden am Beispiel des Künstlers und Kopisten Paul Tétar von Elven (1823-1896), der zudem am Polytechnikum in Delft als Zeichenlehrer tätig war. Ezendam/Reinders (1992/93), S. 5-14. Vgl. auch Monquil-Broersen (2007).

nur im Redegestus gehalten, sondern führt, analog zur Demonstration am Sehnen- und Bandapparat der freigelegten Hand, den Beugungsmechanismus der Finger vor. Damit haben Rembrandt und Dr. Tulp ein bildliches Lehrstück geschaffen, in dem sich Vesalius Ideal, nämlich den menschlichen Körper von innen und außen, in Ruhe und Bewegung zu betrachten sowie darzustellen, auf das Eindrücklichste vereint.

Reiffs Begehrlichkeit, eben dieses Bild sein Eigen nennen zu dürfen, zirkuliert indes nicht um die übergeordneten medizinisch-geschichtlichen Aspekte, sondern manifestiert sich vornehmlich in der besonderen Darstellung und Prominenz der Hand. Seit dem 15., verstärkt dann im 16. Jahrhundert, hatten die Künstler eine Nobilitierung der Hand sowie die Vergeistigung des ‚Hand‘-Werks gefordert, um die Hand als Werkzeug des Geistes respektive als Instrument, welches den geistigen Entwurf des Künstlers sichtbar macht, in den Fokus zu rücken.



*Abbildung 3: ‚Anatomiestunde des Dr. Tulp‘, anonyme Originalkopie nach Rembrandt
(letztes Viertel 19. Jh.)*

Wichtig erscheint mir zu betonen, dass Reiff sich dieser Tradition verpflichtet sah, verstärkt sehen musste, da er es als oberste Prämisse verstand, sich als Künstler in der Phase der technischen Reproduzierbarkeit von Kunst zu behaupten.⁴² So spielte das Anfertigen von Originalkopien, die von Künstlerhand hergestellt wurden und neben Komposition, Licht und Farbe auch den Duktus bzw. die Manier erkennbar werden ließen, für

⁴² Über die geschichtlichen, sozialen und ästhetischen Prozesse, die mit der technischen Reproduzierbarkeit von Kunstwerken einhergingen, berichtet Benjamin (1963).

Reiff als Maler und für die Ausrichtung seiner Sammlung eine zentrale Rolle.⁴³ Zudem sah Franz Reiff in dem Rembrandt-Gemälde vermutlich seine eigenen Ideale versinnbildlicht – nämlich die von ihm proklamierte Einheit von Theorie und Praxis in der Lehre.⁴⁴ ‚Sprechender‘ hätte bildliche Kommunikation nicht ausgeführt werden können.

5. Die Geschichte der Kunst als Künstlergeschichte – das Reiff-Museum

Neben zweihundert Originalkopien verzeichnet das Inventar von 1901 fünfundsiebzig Werke zeitgenössischer Meister, die gleich den Kopien weitgehend dem bürgerlichen Kunstverständnis der Zeit entsprachen und in weiten Teilen aus der Düsseldorfer und Münchner Malerschule stammen. Zu den dortigen Kunstakademien hatte er durch seinen künstlerischen Werdegang frühzeitig engste berufliche und private Kontakte knüpfen können, die er nun in seine ‚Ankaufspolitik‘ einfließen ließ. So erstand er zum Beispiel drei stimmungsvolle Landschaftsgemälde der in Düsseldorf beheimateten Brüder Achenbach (Abbildung 4), wobei der jüngere von ihnen, Oswald, ebenso wie Franz Reiff, dort die Professur für Landschaftsmalerei innehatte. Selbst Arbeiten des renommierten Künstlerkollegen Albert Flamm, der Achenbachs Professur während dessen Italienfahrten vertrat, finden sich in der Aachener Sammlung.⁴⁵ Neben Arbeiten von national und international bekannten Kollegen in prestigeträchtigen Ämtern kaufte Reiff auch von jungen Künstlern, deren Werk und Wirken aber in einigen Fällen nahezu spurlos verblichen sind.

⁴³ Dem Institut für Kunstgeschichte stand zudem für den Unterricht eine kleine fotografische Sammlung zur Verfügung, vgl. Gast (1921), S. 180.

⁴⁴ Als Besonderheit darf gelten, dass Reiff, der mit seinen Werken das Entree der Sammlung bespielte, seine Fertigkeiten in die vermeintliche Opposition von zeitgenössischer Kunst und Alten Meistern einzuflechten verstand – sozusagen als raumbezogenes Gruppenbild mit einer Persönlichkeit im Mittelpunkt, die Künstler, Sammler und Lehrer zugleich verkörperte.

⁴⁵ Möglicherweise fertigte Albert Flamm auch Kopien für Reiff an. Im Kopistenhandbuch der Gemäldegalerie Alter Meister zu Kassel ist er mehrfach, aber ohne Angabe des potentiellen Auftraggebers aufgeführt. Vgl. ‚Kopiebuch der Staatlichen Gemäldegalerie Kassel; begonnen am 4. Sept. 1866, beendet am 22. Dez. 1910‘.



Abbildung 4: Andreas Achenbach, ‚Antwerpen von der Schelde gesehen‘ (nach 1870)

In München fokussierte er sich u. a. auf den hervorragenden Maler und Berufskopisten Franz von Lenbach, von dem er interessanterweise nicht nur Kopien Alter Meister, sondern auch Repliken anfertigen ließ. Dazu gehört u. a. Lenbachs ‚Bildnis Otto Fürst von Bismarck‘ und das ‚Portrait des Prinzregenten Luitpold von Bayern‘ (Abbildung 5).⁴⁶ Für Originale oder gar derart prominente Auftragsarbeiten scheinen die finanziellen Mittel nicht ausgereicht zu haben. Neben den Portraits historischer Persönlichkeiten erwarb er – möglicherweise gezielt als Gegenpart – humoristische Genrebilder so genannter Münchner Volkstypen, wovon das kleine, kunstvoll arrangierte Werk ‚Stillvergnügt‘ von Edmund Harburger kündet. Vor welchem Hintergrund er hingegen den in Kohle ausgeführten neunteiligen Sintflut-Zyklus von Wilhelm von Kaulbach (Abbildung 6) kennenlernte und die Option darauf erwirkte, ist bislang ungeklärt.⁴⁷ Anzunehmen ist aber, da der Bereich der Graphik insgesamt in der Sammlung unterrepräsentiert ist, dass nicht die Zeichnung als Medium, sondern entweder der historisch-literarische Zugriff auf das biblische Thema oder der Entwurf einer raumgreifenden Komposition sein Interesse entfachte. So notierte ein Gutachter im Jahre 1900:

⁴⁶ Das Bild galt lange Zeit als Selbstbildnis Franz Reiffs, vgl. Turck (1992), S. 20. Das nach links gewandte Bruststück des Prinzregenten hat Lenbach vermutlich 1889 zum ersten Mal ausgeführt und in Form von zahlreichen Repliken und Varianten immer wieder aufgegriffen, um die stetige Nachfrage des wohlhabenden Bürgertums erfüllen zu können. „Alle Repliken und Varianten aufzuzählen, würde zu weit führen“, Mehl (1980), S. 192-194, hier Kat. Nr. 394. Den Auftrag für Aachen führte er im Jahre 1901 aus.

⁴⁷ Vgl. Dolfen (2006).

„An relativen Werth überragen diese Kartons die Mehrzahl der übrigen Originalwerke insofern, als sie den Künstler nicht in einer kleinen Gelegenheitsarbeit sondern in einem groß geplanten Werke zeigen.“⁴⁸

Als absolute Besonderheit der Sammlung darf hingegen gelten, dass Reiff der Abteilung ‚zeitgenössische Kunst‘ nahezu zwei Dutzend eigene Werke zur Seite stellte. Vergewärtigt man sich, dass im 19. Jahrhundert Kunstgeschichte eigentlich Künstlergeschichte bedeutete, die Sammlung zwölf Werke nach Tizian, weitere zwölf nach Rembrandt und nun zweiundzwanzig Arbeiten von Reiff enthielt, zeichnen sich hier überdeutlich seine Nobilitierungsbestrebungen ab. Dass er den unmittelbaren Vergleich mit den Alten Meistern keineswegs scheute, ihn vielmehr, sich seiner Qualitäten bewusst, regelrecht suchte, spiegelt sich u. a. darin wider, dass er für seine Galerie bereits veräußerte Werke eigens zurückkaufte. Mit diesem nicht ganz uneigennützigem Kunstgriff ließen sich sein eigenes Kunstschaffen sowie sein individuelles Geschmacksprofil auf das Vortrefflichste mit dem öffentlichen verzahnen.

So findet sich unter seinen Werken zum Beispiel das von den Zeitgenossen hoch geschätzte, da ausdrucksstarke Historienbild mit ausgeprägtem Nationalcharakter ‚Konradin erhält beim Schachspiel sein Todesurteil‘⁴⁹ oder das Gemälde ‚Opfer des Irrewahns‘ (Farbtafel 2 – Abbildung B). Ein Bildsujet, welches aufgrund seiner Beliebtheit zahlreiche Varianten nach sich zog. Inspiriert wurde Franz Reiff vermutlich durch Ernst von Wildenbruchs ‚Hexenlied‘, welches als Melodram seine Blütezeit in den Konzertsälen und Salons des späten 19. Jahrhunderts hatte. Die darin verhandelte Beichte des sterbenden, einst um ein Haar der sündigen Liebe zu einer Hexe verfallenen Bruders Medardus ließ keinen Hörer und Betrachter unberührt.⁵⁰ So wählte Reiff die Sze-

⁴⁸ Zitiert nach Turck (1992), S. 42.

⁴⁹ Gast (1921), S. 186: „Dieses, wie das letzte vollendete Historienbild des Meisters, Konradin der Hohenstauffer, dem im Kerker der Todesbefehl überbracht wird, sind im Besitz des Künstlers verblieben, obwohl ihm dafür sehr gute Angebote gemacht wurden.“ Zum Bildthema vgl. Frenzel (1976), S. 421 f.

⁵⁰ Darin heißt es in Auszügen: „[...] Ihr heißer Odem wie Sturmwind ging, ihr weißer Arm meinen Nacken umfing, ihr dunkles Haar, wie Fittich der Nacht, umfloss des Leibes herrliche Pracht in meinem Haupte, in meiner Brust war schwindelnde Wonne, tödliche Lust; ich beugte mich nieder, ich wollte sie küssen, da fühlt’ ich mich schauernd rückwärts gerissen: ‚Du küssest die Hexe, du segnest die Schuld, du hast keinen Teil mehr an göttlicher Huld!‘ Auf meinen Lippen starb das Wort, von meinem Herzen stieß ich sie fort, Entsetzen jagte mich aus der Kammer da schrie sie mir nach in Verzweiflung und Jammer; sie brach zur Erde, sie lag auf den Steinen, dumpf hinter mir hört ich sie Schluchzen und weinen [...] Die lodernde Fackel der Henker schwang, ihr lechzendes Aug’ in meine Augen sich trank; die Flamme griff in das dürre Geäst, ihr starrenden Augen hielten mich fest; die Funken flogen wie prasselnder Staub, ihr Lippen erbebtan wie sinkendes Laub, und plötzlich, und plötzlich vernahm ich ein Klingen, vom brennenden Holzstoß begann sie zu singen! Wie Frühlingsregen, durchrauschend die Nacht so ergriff mich des Liedes süßselige Macht; mir war’s, als trüge herüber die Luft fremdländischer Blumen bestrickenden Duft, als sprach’ eine Stimme zu meinen Ohren vom seligen Glück, das für ewig verloren. Die Flamme ergriff ihren nackten Fuss, sie neigte sich scheidend zum letzten Gruss; Der schwarze Rauch sie wirbelnd umschwoh. Ihr klagender Sang aus dem Rauche scholl, dumpf brausend die Flamme zum Himmel sprang, wie zitternde Glocken ertönt’ ihr Gesang, die Ohren bedeckte’ ich mit meinen Händen: ‚Das Singen, das Singen, wann wird es enden?‘ Ich wandte mich schauernd, ich floh von dem Ort, die klagende Stimme zog mit mir fort, wohin ich entfloh, wohin ich entwich, der Gesang, der Gesang, er begleitete mich.“ Auszug aus dem Hexenlied von Ernst von Wildenbruch.

ne, in der der junge Medardus mit schmachtemdem Blick, aber der Kirche und seiner Berufung dienend, den Scheiterhaufen entfachen lässt. Wildenbruch, der als einer der Hauptvertreter des großen gründerzeitlichen Historiendramas mit patriotischen Inhalten gilt, pflegte zudem engste Kontakte zur Familie Kaulbach. Möglicherweise findet sich in seinem Oeuvre auch die Quelle für den Sintflut-Zyklus. Neben diesen aufgeladenen melodramatischen Historienbildern gliederte Reiff Genreszene, Landschaften, mythologische Szenen und Portraits in seine Sammlung ein, um einen möglichst breit gefächerten Querschnitt seines Schaffens präsentieren zu können.

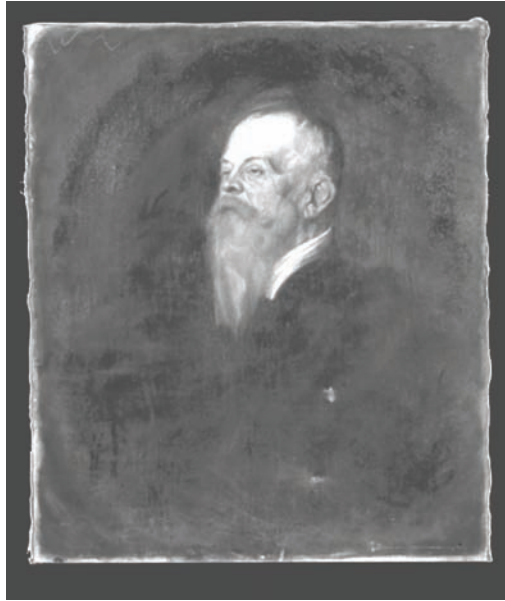


Abbildung 5: Franz von Lenbach, 'Prinzregent Luitpold von Bayern' (nach 1901)

Über Reiffs Habitus und Lebensstil schweigen die Quellen, wenngleich bekannt ist, dass er die im Entstehen befindliche Sammlung anfänglich in seinem an der Ludwigsallee liegenden Wohnhaus und etwas später in dem eigens dafür errichteten Gartenpavillon präsentierte. Das dafür nötige Kapital erlangte er durch gut dotierte und mit hohem Prestige verbundene Auftragsarbeiten, wobei als prominenteste Beispiele hier die Portraits der Regenten König Wilhelm I. und Kronprinz Friedrich Wilhelm III. zu nennen sind. Hinzu kamen seine allgemein erzielten Verkaufserlöse, nationale und internationale Auszeichnungen sowie sein Salär als Ordinarius für Figuren- und Landschaftsmalerei und Senator der Abteilung Architektur an der Königlichen Technischen Hochschule zu Aachen.

In dieser Funktion band Reiff frühzeitig eine Auswahl seiner Sammlung als Lehrmaterial in die Ausbildung angehender Architekten und Kunsthistoriker ein, da ihm die Alten Meister als Garanten für die Schulung des ästhetischen Empfindens galten. Dass hierfür Kopien herangezogen wurden, darf, wie bereits ausgeführt, als Besonderheit des

19. Jahrhunderts angesehen werden. Der Aspekt der Authentizität stand dabei weniger im Fokus, sondern vielmehr das Aufzeigen von malerischen Beschaffenheiten und Qualitäten, Kompositionen sowie das harmonische Zusammenspiel der Farben.



Abbildung 6: Wilhelm von Kaulbach, 'Die Arche' aus dem Sintflut-Zyklus (1863-74)

Bekanntlich gehört das Kopieren traditionell zur Ausbildung von Künstlern, da die Kopie eine Form der Nachahmung von Vorbildern und damit Teil und Voraussetzung aller denkbaren Lernprozesse darstellt. Dass ein Meister seinem Malerlehrling laut einem Ausbildungsvertrag aus dem Jahre 1635 die Kunst der Malerei und die Art und Weise, wie er sie gegenwärtig ausführt, wahrhaft zu vermitteln habe, bereitet Kunsthistorikern heute gewisses Kopfzerbrechen. Die Lehre der Schüler galt nämlich erst als beendet, als sich deren Werke nicht mehr von denen des Meisters unterschieden; sie zum Verwechseln ähnlich waren. Das heißt, die Modalität des Lernens innerhalb eines größeren Werkstattbetriebes im 17. Jahrhundert war der Vorgang des exemplarischen Nachahmens. Dem gegenüber, da anderen Prämissen folgend, steht die Arbeit eines Berufskopisten des 19. Jahrhunderts. Selbst freie, das heißt, Vorbilder imitierende, aber zum Beispiel in den Stilmitteln der Zeit ausgeführte Kopien verfolgten das Ziel der Auseinandersetzung. Eine dezidierte Unterscheidung der in ihren Anlagen heterogenen Kopientypen nahm Reiff, ebenso wie sein großes Vorbild Graf Schack, nicht vor bzw. war ihm aus seiner historischen Situation heraus nicht möglich.

Nicht nur an Kunstakademien, sondern auch an der Fakultät für Architektur wurde und wird praktische Kunstübung und theoretische Kunstvermittlung – also die systematische Erschließung eines Gegenstandes mittels Anschauung oder in künstlerischer Erprobung – angewandt. Als Veranschaulichung sei hier der in Gips nachgegossene

‚Muskelman‘ (Abbildung 7) angeführt. Anatomische Modelle wurden frühzeitig in den akademischen Lehrbetrieb integriert, weil an ihnen das Thema ‚Raum, Körper und Bewegung‘ bestens exemplifiziert werden konnte.⁵¹ Über die Wahrnehmung und Analyse der unter der Epidermis liegenden Muskeln und Sehnen versprach man sich über das Mittel der Kopie (Abguss, Zeichnung, Malerei) ein besseres Verständnis der den Raumkörper umgebenden Hülle. Oder wie Johann Wolfgang von Goethe schreibt:

„Ja, das Äußere soll der Künstler darstellen! Aber was ist das Äußere einer organischen Natur anderes als die ewig veränderte Erscheinung des Inneren? Dieses Äußere, diese Oberfläche ist einem mannigfaltigen, verwickelten, zarten, inneren Bau so angepasst, daß sie dadurch selbst ein Inneres wird, indem beide Bestimmungen, die äußere und die innere, im ruhigsten Dasein, sowie in der stärksten Bewegung stets im unmittelbarsten Verhältnisse stehen.“⁵²

Gleiches galt für die Gemäldesammlung, anhand derer das Gefühl für wohlfeile Proportionen und harmonische, dem guten Geschmack verpflichtete Kompositionen geschult werden sollte.



Abbildung 7: ‚Muskelman‘, Gipsabguss (2. Hälfte 19. Jahrhundert)

⁵¹ Mühlenberend (2007).

⁵² Goethe (1962), S. 119 f., zitiert nach Mühlenberend (2007), S. 71.

6. Eine Erziehungsreise im Kleinen

Hierin ist möglicherweise die Erklärung zu suchen, weshalb Reiff, obwohl der Zenit der Kopien-Sammlung nahezu überschritten war, sich unbeirrt der Verwirklichung seiner Idee widmete – nämlich eine Lehrsammlung entstehen zu lassen, die den Studierenden und damit der nachfolgenden Generation vor Augen führen sollte, was von zeitloser kultureller Bedeutung, wertvoll, und was seinen individuellen und damit vermeintlich kollektiven ästhetischen Geschmackspräferenzen folgend nicht zuletzt ‚schön‘ sei. Mit dem Bestand der Sammlung schien ihm der Anspruch einer ‚Grand Tour‘ gewährleistet zu sein, setzte diese sich doch u. a. zum Ziel, die als ‚Schlüsselwerke‘ deklarierten Exempel der Kunstgeschichte mit eigenen Augen zu betrachten, zu studieren, zu empfinden und überhaupt Kunstgeschichte und deren Kanon sinnlich wahrzunehmen.⁵³ Das heißt, ihm galt es als oberste Prämisse, in der hausinternen ‚Grand Tour en miniature‘ die Vermittlung bzw. die Ausbildung von Geschmack, also das Vermögen, das Schöne zu empfinden, zu fördern.

Bereits Johann Georg Sulzer (1720-1779) notierte über Produzenten und Rezipienten von Kunst:

„Der Verstand und das Genie des Künstlers geben seinem Werk alle wesentlichen Teile, die zur inneren Vollkommenheit gehören, der Geschmack [sic] aber macht es zu einem Werk der schönen Kunst. [...] Also zeigt sich der Geschmack nur dann in seiner höchsten Vollkommenheit, wenn er von scharfem Verstand, feinem Witz und von edlen Empfindungen begleitet wird.“⁵⁴

Damit erklärt sich, weshalb Reiffs didaktisches Konzept die Analyse von Bildinhalten nicht vordergründig vorsah, denn

„der Mann von Geschmack fasst zusammen, was der spekulative, untersuchende Kopf aus einander legt und zergliedert. Daher diejenigen, die sich auf höhere Wissenschaften legen, wo man notwendig alles zergliedert und einen Begriff nach dem anderen betrachten muss, selten viel Geschmack haben.“⁵⁵

Das heißt, solange die Ästhetik das Geschmacksurteil mit Empfindungen und Gefühlen in Verbindung brachte, das ästhetische Urteil also weiterhin eine moralische Dimension einschloss, behielt das Bildmotiv als Träger der Affekte und für die Annäherung an das Ideal des Schönen seine zentrale Stellung in der Wirkung des Kunstwerks.

„Aber alle diese Bemühungen der Künstler wären vergeblich“, so schreibt Sulzer weiter „wenn nicht der Saamen des guten Geschmacks bey denen vorhanden wäre, für welche sie arbeiten. Je mehr der Geschmack unter einer Nation ausgebreitet ist, je fähiger ist sie auch unterrichtet und gebessert zu werden, weil sie das Einnehmende in dem Wahren und Guten zu empfinden vermag.“⁵⁶

⁵³ Vgl. u. a. Babel/Paravincini (2005).

⁵⁴ Sulzer (1771), S. 461-464.

⁵⁵ Sulzer (1771), S. 463.

⁵⁶ Sulzer (1771), S. 464.

Etwa ab 1890 keimte bei Franz Reiff der Wunsch nach einem repräsentativeren Rahmen für seine Bildergalerie, zumal der Bestand seiner Kopien mittlerweile zu einem der größten in Deutschland herangewachsen war. Hieran lässt sich u. a. ablesen, dass er sich den Bestrebungen der nationalen Kunst- und Kulturpolitik im Wilhelminischen Kaiserreich verpflichtet sah, die kulturellen Leistungen der Nation durch ‚bedeutende‘ Sammlungen zu repräsentieren. Hinzu kam, dass ein Privatsammler, der sein Kulturgut der ‚Nation‘ zur Verfügung stellte, sich besonderer Anerkennung für sein staatspolitisches Engagement gewiss sein durfte. Kein Geringerer als der Kultusminister Konrad von Studt (1838-1921) hatte die Sammlung im September 1900 persönlich begutachtet und sie als besondere Leistung gewürdigt.⁵⁷ Daraufhin stiftete Franz Reiff kurz vor seinem Tod im Jahre 1902 sein Lebenswerk der TH Aachen, verbunden mit der Vorgabe, für die Errichtung eines die Sammlung aufnehmenden Gebäudes Sorge zu tragen.

7. ‚Natürlich alles System Schmid‘ – die Avantgarde hält Einzug

Als eigentlicher Multiplikator und Neuerer der Reiffschen Idee, Kunstwerke technischer und artifizierter Art in den Unterricht zu integrieren, gilt Max Schmid-Burgk, der von 1893 bis 1925 Ordinarius für Kunstgeschichte in Aachen war.⁵⁸ Unter seiner Regie erfolgte nicht nur die Grundsteinlegung (1906), die Ausführung sowie Einrichtung und Eröffnung (Nov. 1908) des Museums, sondern auch ein Paradigmenwechsel. Während die Reiff-Sammlung und deren Präsentation weitestgehend dem ‚Geschmack der Zeit‘ entsprach, da die von Berufskopisten ausgeführten Kopien dem klassischen Kanon und Kunsturteil des späten 19. Jahrhunderts genügten und die Erfüllung eines kulturellen Ideals versprachen, sollte sich das Museum unter Leitung von Schmid-Burgk, inhaltlich wie formal, mit zu einem der progressivsten Anfang des 20. Jahrhunderts entwickeln.

Über die ursprüngliche Ausstattung informiert uns ein anlässlich der Eröffnung am 5. November 1908 erschienener Zeitungsbericht. Nachdem das Gebäude und die einzelnen Räume – vom Hörsaal über die Professoren- und Assistentenzimmer – in ihrer Ausstattung ausführlich und aufgrund ihrer modernen Gestaltung zur Vorstellung gelangt und mit dem Zertifikat „natürlich alles System Schmid!“ versehen worden war, heißt es dort weiter:

„Und nun ins Reiff-Museum! Das Publikum gelangt durch einen besonderen Aufgang dorthin. Zwei Treppen hoch! [...] Den ersten Raum des Reiff-Museums, eine Art Vorraum, finden wir im Nebenzweck als Ehrenraum für den Stifter und andere ehemalige Hochschullehrer gedacht. Da sehen wir außer den besten Bildern des Stifters [...] Reiffs Bildnis. Gleich hier sticht der Hauptzweck des Museums in die Augen: die Technik der Künste zur Darstellung zu bringen, das Auge und den Geist des Besuchers vorzubereiten und zu schulen für das Schauen, die Aufnahme und die Bewertung von Kunstwerken überhaupt. Also eine Vorschule für den Museumsbesuch. Daran allein läßt sich der praktische Wert des Reiff-Museums ermessen. Professor Schmid hat eine ganze Masse von Studienmaterial zusammengetragen, das [...] Selbstunterricht durch die Anschauung

⁵⁷ Vgl. Turck (1992), S. 23.

⁵⁸ Einen kurzen biografischen Abriss liefert Turck (1992), S. 65 f.

ermöglichen soll. Wir finden die graphische Kunst, die Elfenbein- und Leder-technik, die japanische Lacktechnik, die Technik der Metallkunst [und] die Emailkunst mit ihren Materialien [...] leichtfaßlich dargestellt. [...] Alle diese Spezialsammlungen sind ebenso wie die Bilder Reiffs durch die verschiedenen Räume des Museums verteilt. Die ordnende Hand hat es wohlweislich vermieden, den belehrenden Zweck unnötig zu betonen, vielmehr überall auf eine harmonische Stimmung in den Räumen Bedacht genommen und das ist ihr durchweg gut gelungen. [...] Über die Anordnung der Säle ist folgendes mitzuteilen: an den Vorraum schließt sich ein Ausstellungsraum für Studierende und Hochschullehrer [an], es folgen der Saal für Plastik und Malerei, die Spezialräume für spanische, italienische und niederländische Kunst, und nicht zu vergessen ein Studienkabinett für Aachener Architektur [...].“⁵⁹

Spätestens an dieser Stelle versteht sich Schmid-Burgks rückblickende Aussage, dass er einen „neuen Museumstypus“⁶⁰ schaffen wollte, der den besonderen Bedürfnissen der Studierenden technischer Hochschulen entgegenkommen sollte. Das heißt, er verstand das Zusammenspiel von Lehre, Sammlung und Ausstellungen, in denen neben wahrnehmungsästhetischen Aspekten gleichermaßen die Herstellungsprozesse zur Anschauung gelangten, als zentrales, performatives Instrument der Wissensvermittlung und Forschung.

Dass Schmidt-Burgk bereits bei der Eröffnung des Museum zwei zentrale Vorgaben des Stifters modifizierte, in dem er den Fokus von einer klassischen Gemäldegalerie auf eine Kombination verschiedener Lehrsammlungen verlagert hatte und zumindest das Ziel verfolgte, diese sobald als möglich jedermann zugänglich zu machen, ist nicht zuletzt dem sich wandelnden Geschmack und möglicherweise den keimenden Tendenzen geschuldet, dem systematisierenden Ordnungssystem des 19. Jahrhunderts eine räumlich gefasste disparate und moderne Objektschau entgegenzustellen.⁶¹

Detaillierte Konzepte zur angestrebten musealen Präsentation liegen leider nicht vor, aber in einem von ihm 1906 verfassten Text zum Thema ‚Moderne Kunst, Künstler und Kunstpflege in Aachen‘ offenbaren sich seine Ansichten und Ziele in aller Deutlichkeit. Es sei

„das Endziel aller Heimatkunstpflege, den Geschmack des heutigen Geschlechts zu heben und zu verfeinern, aber auch zu eigenem Schaffen anzuregen durch liebevolles Sicheinfühlen [sic] in die Hinterlassenschaft der Väter. Ganz verfehlt wäre es jedoch, in gedankenloser Bewunderung allem Verrosteten und Zerfressenen zu verfallen, jedes formlose Henkeltöpfchen und jede geschmacklose Sitzgelegenheit als ‚Vaterländisches Kunstprodukt‘ zu verehren und nachzuahmen, es zu inventarisieren, in einem Museum zu deponieren und schließlich die Historiker oder Archäologen an Stelle des Ästhetikers zum Richter in Kunstdingen zu machen. Die Kunst der Heimat soll gepflegt, nicht aber unter dieser Flagge ein lächerlicher Kult mit historischem Trödel betrieben werden. Darum muss auch neben der Vergangenheit stets die lebendige Gegenwart, die moderne Kunst [...]“

⁵⁹ Kunstinstitut (1908), S. 1.

⁶⁰ Gast (1921), S. 208.

⁶¹ An anderer Stelle müsste einmal überlegt werden, ob es sich bei der so genannten ‚integrierten Ausstellung‘ um eine Kunst- und Wunderkammer des 19. Jahrhunderts handelt.

mit Interesse verfolgt und durch Ausstellungen und Ankäufe unterstützt werden [...]“.⁶²

So geschah es dann auch. Teile der ursprünglichen Sammlung wurden in die im Keller gelegenen ‚Magazine‘ verbannt, darunter zahlreiche Werke von Franz Reiff, weil seine Werke ihn als typischen Vertreter einer theatralischen Historienmalerei zeigen und – wie Schmid-Burgk ausführt – „viele Schwächen der Piloty Schule spiegeln, aber doch“, wie er einlenkend notierte „ein respektables Können und in vielem ein liebevolles Naturstudium verraten“.⁶³ Gleichwohl darf die Form der Magazinierung noch als glücklicher Umstand gewertet werden, fielen doch zahlreiche andere Exponate der ‚Entsorgung‘ anheim. Hiervon kündigt ein im Aachener Hochschularchiv befindliches Gutachten, welches über die im Inventar der Reiff-Sammlung unter der Nummer 237 aufgeführten ‚Vier weibliche Original-Marmorbüsten, florentiner Arbeit, modern. Incl. Postamenten in Serpentin, ca. 70 ctm jede‘ folgendes Urteil abgibt:

„Nach Besichtigung der [...] im Besitz des Reiffmuseums befindlichen Mädchenbüsten, erklärt der Unterzeichnete, dass derartige naturalistische Vorbilder süßlicher Massenherstellung für die Erziehung des guten Geschmacks eine direkte Gefahr bedeuten und für den Kunstunterricht am besten auszuschalten sind. Den augenblicklichen Wert der Figur [taxiere ich] auf 20000.- Mk. und den Sockel ebenso hoch. Berechnet ist dabei nur der Marmorwert und die Kosten der technischen Ausführung. Ein Kunstwert kommt ja nicht in Frage. Gez. Prof. Burger.“⁶⁴

Erstaunlicherweise hat genau diese, 1893 von Enrico Lapini (Abbildung 8) angefertigte Büste, die Diskreditierung unbeschadet überstanden, während die drei anderen – ausgeführt von C. Scheggi e Fratelli, Prof. A. Cambi und A. Fritti (alle in Florenz beheimatet) – nicht mehr nachzuweisen sind. Weshalb die Lapini-Büste dem vernichtenden Urteil entging, lässt sich aufgrund fehlender Quellen nicht mit Bestimmtheit sagen. Vermutet werden darf, dass sich ein hochschulinterner Kunstliebhaber des Werkes annahm und es sicher verwahrte.⁶⁵

Dass zudem ein Großteil der Kopien die neue Beurteilung – zumindest anfänglich – ebenfalls schadlos überstanden hat, lässt sich anschaulich einer Fotografie der Schausammlung entnehmen, die Einblick in den großen Museumssaal gewährt (Abbildung 9). Zur Ansicht gelangt die Abteilung der Flamen, die mit ‚Schlüsselwerken‘ der niederländischen Kunstgeschichte des 17. Jahrhunderts aufwartet, darunter Werke nach Rubens, van Dyck, Snyders, Breughel und Jordaens.⁶⁶ Rechter Hand schloss sich die Abteilung der Deutschen Künstler an; vertreten durch Dürer, Holbein, Schongauer, Cranach usw. Ferner offenbart das Foto, wie modern und konservativ zugleich die Sammlung präsen-

⁶² Schmid (1906) S. 41.

⁶³ Schmid (1906), S. 44.

⁶⁴ Aachen Hochschularchiv, Akte Reiff, Nr. 397a. Prof. Burger war Bildhauer und Professor an der Kunstgewerbeschule.

⁶⁵ Heute wird die Büste im Lehrstuhl Plastik der RWTH verwahrt.

⁶⁶ Die einzelnen Kabinett-Bilder konnten identifiziert werden; siehe dazu die Ausführungen von Martina Długaiczky unter www.reiff-museum.rwth-aachen.de, Menüpunkt ‚Sammlung historischer Einblick‘.

tiert wurde. So stand der den neuesten Ansprüchen gerecht werdenden Raumgestaltung die barocke Hängung entgegen. In drei horizontalen Reihen, dicht an dicht platziert, entsprach die Anordnung, die letztlich dem Raummangel geschuldet war, nicht der von Schmid-Burgk favorisierten Einzelhängung.



Abbildung 8:
Enrico Lapini, ‚Mädchenbüste‘ (1893)



Abbildung 9:
*Historischer Einblick in die Ausstellungsräume
des Reiff-Museums, Abt. Flamen (1910)*

Festzuhalten gilt, dass die Sammlung bereits in den ersten Jahren ihrer Präsentation ständigen Wandlungen und Bewegungen unterworfen war. Letzteres darf wörtlich genommen werden. Da sich die Museumsräume im zweiten Stockwerk (Abbildung 10) befanden, verband man sie mit dem im Erdgeschoss befindlichen Hörsaal kurzerhand durch einen Lastenaufzug. So konnten – je nach Bedarf – die Exponate in den Seminarbetrieb eingegliedert werden. Auch wenn die Lichtbildprojektion (Episkop und Diaskop), die die bis heute im Wissenschaftsbetrieb gepflegte vergleichende Kunstbetrachtung ermöglichte sowie das Arbeiten anhand von Reproduktionen als neueste technische Errungenschaft in Aachen bereits Einzug gehalten hatte,⁶⁷ legte auch Schmid-

⁶⁷ „Bevor wir den Leser in das Reiff-Museum selbst führen, möchten wir ihn einen Blick tun lassen in die Lehrstätte des Hochschullehrers, der als Kunsthistoriker von vornherein das größte Interesse an der Reiff'schen Sammlung nahm und ihr auch mit kundiger und geschickter Hand das stimmungsvolle Heim bereitete: des Professors Max Schmid. Wir finden ihn, wie bereits eingangs erwähnt, im Erdgeschoß. Ein hoher großer Raum links vom Ausgang dient ihm als Arbeitszimmer. Schon hier zeigen sich Geschmack, Bequemlichkeit und Zweckmäßigkeit in praktischer Vereinigung; fast zwei ganze Wand-

Burgk nach wie vor größten Wert auf die bis heute unabdingbare Übung vor Originalen bzw. Originalkopien. So entstand das ‚System Schmid‘, das alle verfügbaren Medien zum Einsatz brachte, um anschaulich und lebendig die Epochen und Stile im Allgemeinen und die sie vertretenden Künstler, Gruppierungen und Bewegungen im Speziellen, aber auch Techniken sowie Methoden der Kunstgeschichte visualisieren zu können. Damit stand er der eingangs skizzierten Idee von Herman Grimm überaus nahe, wenngleich er der Aura des Originals mehr Bedeutung beimaß als sein Berliner Kollege. Diesen hat er höchstwahrscheinlich während seines Volontariats am Berliner Kupferstichkabinett, wenn nicht persönlich, so doch als streitbaren Antipoden Wilhelm von Bodes kennen gelernt. Er war also bestens mit den Diskussionen über die Museumsreformen, den universitären Strukturen und nun auch mit dem Bestand, der Pflege und dem Ausbau einer Lehrsammlung vertraut.

So markierten die skizzierten konzeptuellen Änderungen des Museum auch nur den Auftakt seines Schaffens. Der Avantgarde verpflichtet und als engagierter Verfechter einer Reform der Museen in Deutschland, veranlasste Schmid-Burgk nicht nur Ankäufe zeitgenössischer Kunst, die den Ausstellungen ein hohes Maß an Renommee verliehen, sondern versuchte sich ebenso in der Einzelhängung von Bildern, in der Schaffung von Stimmungs-Räumen oder der Umsetzung von neuartigen wahrnehmungsästhetischen Aspekten. Dafür griff er zum Beispiel auf mehrere Gipsabgüsse eines Vorbildes zurück, die er farblich unterschiedlich gefasst, nebeneinander gestellt ihre jeweilige, ganz eigene Wirkung erzielen ließ.

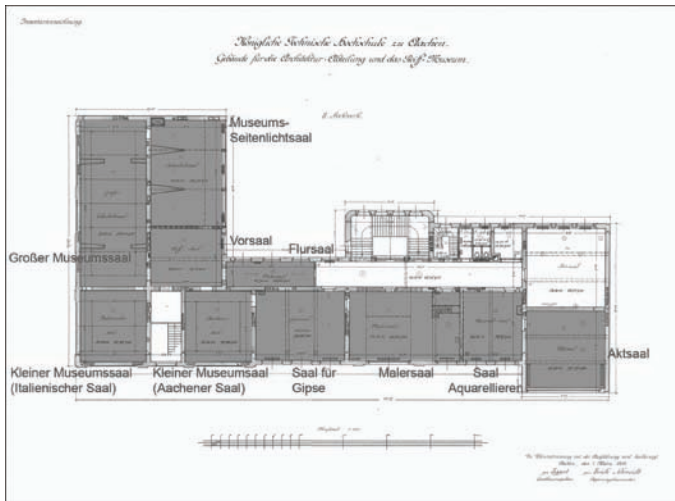


Abbildung 10: Zweites Obergeschoss der Fakultät für Architektur, Reiff-Museum (1909)

seiten werden eingenommen von Gestellen, in denen die Lichtbilder, das modernste Unterrichtsmittel für die Kunstgeschichte, untergebracht sind. An den anderen Wänden Skizzen und Kopien nach bekannten Meistern. Eine Tür führt ins Assistentenzimmer, zugleich Bibliotheksraum und Durchgang zum Studiensaal oder Lesezimmer, ein einfach-vornehm ausgestatteter, langgestreckter Saal, der den Studierenden als Aufenthalt vor und nach den Vorlesungen willkommen sein wird. In den Wandfächern ein reiches Studienmaterial von Photographien usw.“: Kunstinstitut (1908), S. 1.

8. ‚Frische Fortschrittlichkeit‘ – ein Kandinsky für Aachen

Umfangreiche Spenden sowie erzielte Erlöse, die Schmid-Burgk – wie er selbst äußerte – „die absolute Unabhängigkeit [...] gegenüber vielen staatlichen und städtischen“ Institutionen bescherte und „zu frischer Fortschrittlichkeit fähig“⁶⁸ machten, ermöglichten es ihm, die Sammlung um Werke zeitgenössischer Künstler zu erweitern.

So konnte unter seiner Leitung die vom Berliner Kunsthändler Herwarth Walden für dessen Galerie ‚Der Sturm‘ konzipierte Kandinsky Kollektiv-Ausstellung für das Reiff-Museum gewonnen werden. Unbeschadet heftiger und wortgewaltiger Vorwürfe, damit den guten Geschmack zu gefährden, erstand Schmid-Burgk noch vor dem Ersten Weltkrieg zwei Werke des führenden Vertreters der von München ausgehenden Moderne. So schrieb Kandinsky am 2. Januar 1914 hochofrend in einem Brief an Walden: „Dem Reiffmuseum habe ich 2 Bilder auf Anzahlung verkauft [...] ‚Improvisation 24‘ und ‚Blauer Berg‘ (der jetzt hier unter dem Zettel ‚Besitz Reiffm.‘ hängt). Museumskäufe sind wichtig.“⁶⁹ Einmal mehr tritt hier Schmid-Burgks feines Gespür für die Strömungen der Avantgarde zu Tage, wurden doch für die 1919 eröffnete Neue Abteilung der Nationalgalerie im Berliner Kronprinzen-Palais erst Ende der Zwanziger Jahre Werke von Kandinsky angekauft.

Dass in dem von Kandinsky eigenhändig geführten Hauskatalog III der Jahre 1909-16 nur unter der ‚Improvisation 24‘ (Abbildung 13) und nicht auch unter dem Gemälde ‚Blauer Berg‘ der neue Besitzer eingetragen wurde, darf als Indiz dafür gewertet werden, dass Schmid-Burgk für letzteres ‚nur‘ die Option auf das Werk erwirkt hatte, dieses aber aus unbekannten Gründen dann doch nicht ankaufen konnte.⁷⁰ Heute befindet es im Guggenheim Museum zu New York, während die ‚Improvisation 24‘ verschollen ist.⁷¹ Ungeachtet dessen gilt es zu betonen, dass das Aachener Reiff-Museum eines der ersten, wenn nicht sogar das erste Museum in Deutschland war, das mit einem Etat aus öffentlichen Geldern ein Kandinsky-Gemälde für seine Sammlung erstanden hat und zudem an einer technischen Hochschule beheimatet war. Im doppelten Sinn ein avantgardistischer Sonderfall. Kritik aus dem Bürgertum ließ nicht lange auf sich warten, wovon die Ausstellungskritik ‚Bezüglich der Futuristen‘ lebhaft kündigt:

„Um die Art der Futuristen-Malerei evtl. verstehen und bewerten zu lernen, besuchte ich die Ausstellung Kadinsky [sic] und Bolz im Reiffmuseum sowie auch Dienstag der vergangenen Woche den Vortrag dortselbst. Ein Verstehen ist mir jedoch nicht möglich geworden. Wenn es wirklich erreicht werden kann, durch Farben und Formen, unter Weglassung jeglichen Gegenstandes, seelische Vorgänge auf die Leinwand zu bannen und zwar dergestalt, daß diese seelischen

⁶⁸ Gast (1921), S. 210.

⁶⁹ Zitiert nach Turck (1992), S. 125, Anm. 126. Quelle: Staatsbibliothek Preußischer Kulturbesitz Berlin, Handschriftenabteilung: Sturm-Archiv, M. 5070, W. Kandinsky (Brief Kandinskys an Walden am 02.01.1914), Bl. 154,2.

⁷⁰ Die Eintragungen im Hauskatalog verzeichnen neben den Werken kleine Skizzen derselben. Zudem finden sich Angaben über Maße, Rahmen, Ausstellungen, Preise und bei Verkäufen der Name des neuen Besitzers. Vgl. dazu Roethel/Benjamin (1982), S. 19.

⁷¹ Vgl. Roethel/Benjamin (1982), S. 248, Blauer Berg, Nr. 260; S. 415, Improvisation 24, Nr. 427.

Emotionen auf den aufnahmefähigen Beschauer übergeleitet werden, dann wäre allerdings eine neue Kunst und zwar einer sehr hohen Schule geschaffen. Aber ist diese Kunst überhaupt schon da? Ist der Anfang dazu schon gemacht worden? Nur das Wollen dazu ist anscheinend vorhanden. Ich betone nochmals ausdrücklich, daß ich nicht von den Futuristenbildern rede, die immerhin noch gegenständliches zeigen, wenn auch der Wirklichkeit gegenüber verschoben und verzerrt; ich rede nur von den Bildern, die, losgelöst vom Sujet, nur Farben und Striche aufweisen. Die Eindrücke, [die] diese sogenannten Kompositionen auf den Beschauer ausüben, kann ja jeder am besten an sich selbst konstatieren, und es ist ein gesundes Zeichen, daß meistens der Eindruck ‚ein herzhaftes Lachen‘ ist. Da die ausgestellten Bilder nichts hergaben trotz eifrigen Suchens, ging ich in den Vortrag und wurde durch eine überaus geistreiche Rede eine Stunde lang anregend unterhalten. Ich vernahm nie Gehörtes und auch Unerhörtes; ich lernte Richard Wagners Fehler in seinen Werken kennen; ich hörte, daß Düsseldorf als Kunststadt bedeutend nachhinkt; ich sah das schönste (!) Bild welches in den letzten Jahren gemalt wurde; ich hörte die Spottbezeichnungen für historische Bilder erster anerkannter Maler; ich staunte darüber, daß, wenn man sich sehr bestimmt auszudrücken weiß, man die von Generationen gehegten und doch wohl auch berechtigten Kunstanschauungen über den Haufen werfen dürfte. Und vieles andere mehr brachte dieser Vortrag. Aber seinen Zweck erfüllen konnte er nicht. Eine [der] sogenannten Kompositionen zu verstehen, war unmöglich, weil eine diesbezügliche Erklärung nicht gegeben war; denn, wenn ich von 3 Farben und 2 Formen weiß, für welchen Gefühlsausdruck der Maler sie gebrauchen wird, dann habe ich immer noch keine Erläuterung zur Komposition und auch kein Bild. An den Vortrag schloß sich die Diskussion an: Es war nun zu erwarten, daß klare verständliche Antworten gegeben würden; aber die Fragenden erhielten, man könnte sagen ‚futuristische‘ Antworten.“⁷²

Zeitgleich wurde das Reiff-Museum durch sich kreuzende Interessenlagen als ernst zunehmender Konkurrent für die städtischen Museen angesehen. So regte der Direktor des Suermondt-Museums, Dr. Felix Kuetgens, beim Oberbürgermeister der Stadt Aachen 1922 an, zumindest eine Zeitlang wieder den Fokus auf Alte Meister, demnach auf die ursprüngliche Reiff-Sammlung zu legen, damit sich der Rege, im Reiff-Museum zu verzeichnende Strom der Besucher, die das ‚System Schmid‘ mit der Kombination von Ausstellung, Vortrag und Diskussion begierig aufnahmen, besser in der städtischen Kulturlandschaft verteilen könne.

Ohne an dieser Stelle auf die zahlreichen Sonderausstellungen und die sie begleitenden Vorträge, die dem Expressionismus, Dadaismus, den Künstlervereinigungen wie ‚Die Scholle‘ und ‚Die Woge‘, zahlreichen Einzelkünstlern und Architekten, der neuesten Bewegung in der Graphik, der angewandten Kunst, dem Aufzeigen von Produktionsabläufen usw. gewidmet waren, im Einzelnen eingehen zu können, erschließt sich der von Schmid-Burgk auf Kommunikation und konstruktive Konfrontation angelegte Bildungsauftrag, worunter er eine inhaltliche sowie formale Öffnung des Reiff-Museums verstand. Keine in sich geschlossene Sammlung oder ein Ort der Inventarisierung und Sicherung von Kunst, sondern ein Instrument lebendiger Kunstausbildung,

⁷² Isitnot (1913).

ein Ort der Auseinandersetzung war sein Ziel, weil er durch Kunst und Kultur, die er nicht nur als Wirkung gesellschaftlicher Grundverhältnisse verstand, fördernd auf gesellschaftliche Vorgänge wirken wollte – gemäß seiner Devise ‚Den Geschmack und das Urteil zu führen, nicht ihm zu folgen‘.



Abbildung 11: Wassily Kandinsky, ‚Improvisation 24‘ (verschollen)

Literatur

1. Anonymus (1794): Mangel an Gemälden und anderen Kunstwerken auf den Deutschen Universitäten, Berlinische Monatsschrift 24 (1794), August, S. 186-191
2. Babel/Paravincini (2005): Rainer Babel, Werner Paravincini, Grand Tour. Adeliges Reisen und europäische Kultur vom 14. bis zum 18. Jahrhundert. Akten der internationalen Kolloquien in der Villa Vigoni 1999 und im Deutschen Historischen Institut Paris 2000, Ostfildern 2005
3. Benjamin (1963): Walter Benjamin, Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit. Drei Studien zur Kunstsoziologie, Baden-Baden 1963
4. Betthausen (1999): Peter Betthausen, Singer, Hans Wolfgang (1867-1957), in: Peter Betthausen, Peter H. Feist (Hrsg), Kunsthistoriker Lexikon. Zweihundert Porträts deutschsprachiger Autoren aus vier Jahrhunderten, Stuttgart 1999, S. 389-391
5. Bode (1891): W. Koopmann (Pseudonym für Wilhelm von Bode), Prof. Grimm contra Galeriedirector Bode, Die Gegenwart 39 (1891), S. 198-202

6. Braunfels (1961): Wolfgang Braunfels, Institut für Kunstgeschichte, Aachen. Die RWTH. Stuttgart 1961
7. Brüning (1999): Jochen Brüning, Das Museum in der Universität, *Museumskunde* 64 (1999), 2, S. 27-38
8. Ezendam/Reinders (1992/93): Yolanda Ezendam, Marjan Reinders, Zoek goed gezelschap... ga naar de oude meesters! Kopieren van schilderijen in de negentiende eeuw, *Antiek. Tijdschrift voor oude kunst en kunstnijverheid* (1992/93), S. 5-14
9. Dauber (1985): Reinhard Dauber, Aachener Villenarchitektur. Die Villa als Bauaufgabe des 19. und frühen 20. Jahrhunderts, Recklinghausen 1985, S. 34-39
10. Dilly (1975): Heinrich Dilly, Lichtbildprojektionen – Prothesen der Kunstbetrachtung, in: Irene Below (Hrsg.), *Kunstwissenschaft und Kunstvermittlung*, Gießen 1975, S. 153-172
11. Dolfen (2006): Tim Dolfen, Bilderzyklus oder Kolossalgemälde? Über die vergessenen Entwurfszeichnungen des Wilhelm von Kaulbach zur Sintflut im Reiff-Museum der RWTH Aachen, Magisterarbeit MS, Aachen 2006
12. Frenzel (1976): Elisabeth Frenzel, Stoffe der Weltliteratur. Ein Lexikon dichtungsgeschichtlicher Längsschnitte, Stuttgart 1976
13. Gaetgens/Paul (1997): Thomas W. Gaetgens, Barbara Paul (Hrsg.): Wilhelm von Bode. Mein Leben, Berlin 1997
14. Gast (1921): Paul Gast, Die Technische Hochschule zu Aachen 1870-1920. Eine Gedenkschrift im Auftrage von Rektor und Senat, Aachen 1921
15. Geismeyer (1990): Irene Geismeyer, Rufmord an Rembrandt. Zu einem vergessenen Stück Rembrandt-Diskussion, *Forschung und Berichte, Staatliche Museen zu Berlin* 29/30 (1990), S. 217-220
16. Goethe (1962): Johann Wolfgang von Goethe, Schriften zur Kunst, Zweiter Teil, Gesamtausgabe, Bd. 33, München 1962
17. Grimm (1891): Herman Grimm, Das Universitätsstudium der neueren Kunstgeschichte, in: Julius Rodenberg (Hrsg.), *Halbjahreshefte der Deutschen Rundschau*, Bd. II (1890-91), S. 354-377
18. Grimm (1897): Herman Grimm, Über die Umgestaltung der Universitätsvorlesung durch die Einführung des Skioptikons, *Beiträge zur Deutschen Culturgeschichte*, Berlin 1897, S. 276-395
19. Humboldt (1863): Wilhelm von Humboldt, Bericht von W. v. Humboldt an Friedrich Wilhelm III. vom 21. August 1830, in: Alfred Freiherr von Wolzogen (Hrsg.), *Aus Schinkels Nachlaß. Reisetagebücher, Briefe und Aphorismen*, Bd. III, Berlin 1863, S. 298-317
20. Isitnot (1913): Isitnot, Bezüglich der Futuristen, in: *Echo der Gegenwart*, 1. Dezember 1913
21. Joachimides (2001): Alexis Joachimides, Die Museumsreformbewegung in Deutschland und die Entstehung des modernen Museums 1880-1940, Dresden 2001
22. Kuhrau (2005): Sven Kuhrau, Der Kunstsammler im Kaiserreich. Kunst und Repräsentation in der Berliner Privatsammlerkultur, Kiel 2005
23. Kunstinstitut (1908): Ein neues Kunstinstitut, in: *Echo der Gegenwart*, 5. November 1908, S. 1

24. Lenz (1987): Christian Lenz, Marées als Kopist und die Münchner Kopie des 19. Jahrhunderts, in: Christian Lenz (Hrsg.), Hans von Marées, München 1987, S. 324-360
25. Lepper (1988/89) Herbert Lepper, Kunsttransfer aus der Rheinprovinz in die Reichshauptstadt. Der Erwerb der Gemälde-Sammlung des Aachener Industriellen Barthold Suermondt durch die Königlichen Museen zu Berlin im Jahre 1874 – Ein Beitrag zur Museumspolitik Preußens nach der Reichsgründung, *Aachener Kunstblätter* 56/57 (1988/89), S. 183-214
26. Linse (1872): Eduard Linse, Aus meiner Praxis – Ein Wohnhaus in Aachen, Aachen 1872
27. Mehl (1980): Sonja Mehl, Franz von Lenbach in der Städtischen Galerie im Lenbachhaus München, München 1980
28. Monquil-Broersen (2007): Tiny Monquil-Broersen, Universitaire collecties in Nederland. Nieuw Licht op het academisch erfgoed, Zwolle 2007
29. Mühlenberend (2007): Sandra Mühlenberend, Surrogate der Natur. Die historische Anatomiesammlung der Kunstakademie Dresden, München 2007
30. Nägelke (2000): Hans-Dieter Nägelke, Hochschulbauten im Kaiserreich: historische Architektur im Prozess bürgerlicher Konsensbildung, Kiel 2000
31. Pophanken (1995): Andrea Pophanken, Graf Schack als Kunstsammler. Private Kunstförderung in München (1857-1874), München 1995
32. Ricking (1995): Klaus Ricking, Der Geist bewegt die Materie. Mens agit at moem. 125 Jahre Geschichte der RWTH, Aachen 1995
33. Roethel/Benjamin (1982): Hans K. Roethel, Jean K. Benjamin, Kandinsky. Werkverzeichnis der Ölgemälde, Bd. II, München 1982
34. Schack (1881): Adolf Friedrich von Schack, Meine Gemäldesammlung, Stuttgart 1881, S. 237
35. Schmid (1906): Max Schmid, Moderne Kunst, Künstler und Kunstpflege in Aachen, *Aachener Kunstblätter* (1906), 1, S. 41-63
36. Singer (1908/09): Hans Wolfgang Singer, Art in Germany, Austria and Switzerland, *The Burlington Magazine* 14 (1908/09), pp. 318-320
37. Sulzer (1771): Johann Georg Sulzer, s. v. ‚Geschmak‘, in: ders. (Hrsg.), *Allgemeine Theorie der Schönen Künste*, Bd. 1, Leipzig 1771, S. 461-465
38. Turck (1992): Martin Turck, Das Reiff-Museum der Technischen Hochschule Aachen. Akademisches Kunstmuseum und zeitgenössische Avantgarde in der Provinz, Alfter 1992
39. Verspohl (2002): Franz-Joachim Verspohl, Über den Mangel an Gemälden und anderen Kunstwerken auf deutschen Universitäten, *Jahrbuch für Universitätsgeschichte* 5 (2002), S. 151-161
40. Waetzoldt (1986): Wilhelm Waetzoldt, *Deutsche Kunsthistoriker*, Bd. 2, Berlin 1986, S. 214-239
41. Wenk (1999): Silke Wenk, Zeigen und Schweigen. Der kunsthistorische Diskurs und die Diaprojektion, in: Sigrid Schade, Georg Christoph Tholen (Hrsg.) *Konfigurationen zwischen Kunst und Medien*, München 1999, S. 292-305

Abbildungen

Abbildung 1: Das Reiff-Museum der Königlich Technischen Hochschule (1909), Archiv Reiff-Museum der RWTH Aachen

Abbildung 2: Ludwig Sturm nach Raffaels ‚Sixtinischer Madonna‘ (1890), Reiff-Museum der RWTH Aachen, Inv. Nr. 74 (1901)

Abbildung 3: ‚Anatomiestunde des Dr. Tulp‘, anonyme Originalkopie nach Rembrandt (letztes Viertel 19. Jh.), Reiff-Museum der RWTH Aachen, Inv. Nr. 78 (1901)

Abbildung 4: Andreas Achenbach, ‚Antwerpen von der Schelde gesehen‘ (nach 1870), Reiff-Museum der RWTH Aachen (verschollen)

Abbildung 5: Franz von Lenbach, ‚Prinzregent Luitpold von Bayern‘ (nach 1901), Reiff-Museum der RWTH Aachen, Inv. Nr. 62 (1901)

Abbildung 6: Wilhelm von Kaulbach, ‚Die Arche‘ aus dem Sintflut-Zyklus (1863-74), Reiff-Museum der RWTH Aachen, Inv. Nr. 3 (1901)

Abbildung 7: Muskelmann, Gipsabguss (2. Hälfte 19. Jahrhundert), Reiff-Museum der RWTH Aachen

Abbildung 8: Enrico Lapini, ‚Mädchenbüste‘ (1893), Reiff-Museum der RWTH Aachen

Abbildung 9: Historischer Einblick in die Ausstellungsräume des Reiff-Museums, Abt. Flamen (1910), Quelle: Zentralblatt der Bauverwaltung 30 (1910), 35, S. 239

Abbildung 10: Zweites Obergeschoss der Fakultät für Architektur, Reiff-Museum (1909), Quelle: Zentralblatt der Bauverwaltung 30 (1910), 35, S. 237-239

Abbildung 11: Wassily Kandinsky, ‚Improvisation 24‘, Reiff-Museum der RWTH Aachen (verschollen)

Abbildungen auf Farbtafel 2

Abbildung A: ‚Der Patrizier‘, Anonyme Originalkopie nach Tizian (letztes Viertel 19. Jh.), Reiff-Museum der RWTH Aachen, Inv. Nr. 121 (1901)

Abbildung B: Franz Reiff, ‚Opfer des Irrewahns‘ (um 1890), Reiff-Museum der RWTH Aachen, Inv. Nr. 176 (1901)

Farbtafel 2



Abbildung A:
*„Der Patrizier“, Anonyme Originalkopie nach
 Tizian (letztes Viertel 19. Jahrhundert)*



Abbildung B:
Franz Reiff, „Opfer des Irrewahns“ (um 1890)

Visualisierung in der astronomischen Digitalfotografie mit Hilfe von Falschfarben

Sabine Müller

1. Einleitung¹

Astronomische Fotos sind bekannt für ihre vielfältigen Farben, und zweifellos basiert nicht zuletzt darauf die weit verbreitete Überzeugung von der Schönheit des Kosmos. Zunächst sind astronomische Fotos aber Schwarz-Weiß-Aufnahmen, und ein komplexer Bearbeitungsprozess ist erforderlich, um aus der Überlagerung mehrerer Schwarz-Weiß-Fotos farbige Bilder zu machen. Der Einsatz von Farben dient dabei nicht ästhetischen Zwecken, sondern der besseren Erkenntnis astronomischer Objekte und Strukturen.

Sowohl für die erdgestützte als auch die satellitengestützte Astronomie wird heute Digitalfotografie eingesetzt, die auf *charged coupled devices* (CCDs) basiert.

Ein CCD besteht aus einer gitterförmigen Anordnung von Elektroden auf einem isolierenden Untergrund auf der Oberfläche eines dünnen Wafers von halbleitendem Silizium. Ein CCD ist also eine gitterförmige Anordnung lichtempfindlicher Elemente, die Licht in elektrische Ladungen umwandelt. Bei der Belichtung fällt eine von der Objekthelligkeit abhängige Menge an Photonen (Lichtteilchen) auf die Pixel und wird in Form von elektrischen Ladungen gespeichert. Beim Auslesen des CCD-Chips werden die Ladungen der einzelnen Pixel nacheinander in digitale Signale umgesetzt, diese werden dann in ein Speichermedium übertragen und dort in Form von Zahlen (Pixelwerten) registriert.² Astronomische CCD-Kameras liefern standardmäßig nur Graustufenbilder. Das bedeutet, dass die Pixel beim Belichten nur die Menge des Lichtes (= Photonenmenge) speichern, aber nicht dessen Wellenlänge.

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten, mit Hilfe von CCDs Farbaufnahmen zu erstellen:³

1. *Farbraster*: Die Pixel werden rasterartig mit winzigen Farbfiltern versehen. Dadurch wird erreicht, dass bestimmte Pixel nur für bestimmte Wellenlängenbereiche (also Farben) empfindlich sind. Mehrere Pixel mit unterschiedlichem Filter (z. B. Rot, Grün und Blau) können dann zu einem einzigen, farbigen Bildpunkt zusammengefasst werden. Auf diese Weise funktionieren alle farbigen Webcams, Amateurvideo-, Überwachungs- und Digitalkameras. Auch im Amateurastronomiebereich werden gelegent-

¹ Dieser Aufsatz basiert auf meinem Vortrag „Visualisierung von Daten in der Astronomie. Wissenschaftstheoretische Fragen zum Falschfarbeneinsatz in der astronomischen Digitalfotografie“, am 08.06.2006 an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, Berlin, im Rahmen des Workshops „Visualisierung, Simulation und Statistik als epistemische Praktiken der Erzeugung von Wissen und Nichtwissen“.

² Das Prinzip von CCDs ist in Abbildung 1 in meinem Aufsatz „Die Einführung der Digitalfotografie in die Astronomie – eine digitale Zäsur?“ in diesem Band dargestellt. – Zu CCDs für die Astronomie vgl. Janesick (2001); Berry (2001); Howell (1992); Boeble/Bönning (2004).

³ Vgl. HelpWizard von CCD Night 2005 Beta, www.ineltech.de.

lich Kameras mit solchen Chips verwendet, da sie kostengünstiger sind als spezielle Astrokameras.

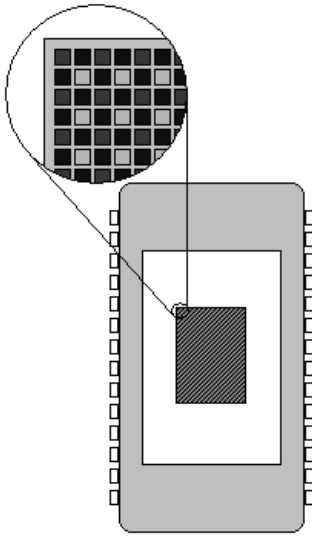


Abbildung 1:
CCD-Chip mit Farbraster

Diese Technik hat aber einige gravierende Nachteile: Für ein resultierendes Farbpixel werden mehrere (mindestens drei) physikalische Pixel benötigt. Dies verringert die effektive Auflösung entsprechend. Häufig werden daher Chips mit wesentlich kleineren Pixeln hergestellt, um die ursprüngliche Auflösung auf gleicher Fläche wieder zu erreichen. Damit ist aber ein weiterer Nachteil verbunden, nämlich eine wesentlich geringere Lichtempfindlichkeit der kleineren Pixel, die auf Grund ihrer geringen Fläche viel weniger Photonen registrieren können.

Ferner sind die winzigen Farbfilter der Pixel meist qualitativ schlechter als hochwertige Interferenzfilter. Dies spiegelt sich in einer geringen Lichtausbeute (Lichtempfindlichkeit) und kontrastschwächeren Farben wider.

Ein weiterer Nachteil der Verwendung von Farbrastern im astronomischen Bereich ist, dass punktförmige Lichtquellen wie Sterne nicht immer alle Farbpixel einer Pixelgruppe belichten, sondern eventuell nur einzelne Farben. Dies führt zu knallbunten, aber zufallsbedingten Sternabbildungen, die überhaupt nicht die natürliche Sternfarbe widerspiegeln. Photometrische Auswertungen sind daher kaum möglich.

2. Aufnahmen mit Farbfiltern: Dies ist eine Methode, die weitaus höherwertige Bilder erzeugt als die erst genannte. Dabei wird das Aufnahmeobjekt mit verschiedenen Farbfiltern mehrfach aufgenommen (z. B. je ein Bild mit Rot-, Grün- und Blaufilter). Die entstandenen Einzelbilder werden dann mittels Bildverarbeitungssoftware zu einem einzigen Farbbild zusammengefasst. Durch dieses Vorgehen kann die Auflösung des CCD-Chips voll genutzt werden. Photometrische Auswertungen der Bilder sind, ebenso wie mit Schwarz-Weiß-Bildern, problemlos möglich.

Ein auf dem Bildschirm angezeigtes Farbbild besteht grundsätzlich aus drei Farbanteilen: Rot, Grün und Blau. Dies sind die drei additiven (positiven) Grundfarben. Da-

her liegt es nahe, Farbfilter mit diesen drei Farben für die Aufnahme zu verwenden. Ein Farbbild, das aus diesen drei Teilaufnahmen zusammengesetzt wurde, wird als RGB-Komposit (Rot-Grün-Blau-Komposit) bezeichnet. Ein Nachteil von CCD-Chips ist die inhomogene Farbempfindlichkeit, d. h. je nach Bereich (Rot, Grün und Blau) sind CCD-Chips unterschiedlich empfindlich. Um trotzdem ein farblich ausgeglichenes Bild zu erhalten, muss dieser Effekt kompensiert werden. Dies geschieht z. B. dadurch, dass die Belichtungszeiten der entsprechenden Farbbilder unterschiedlich gewählt werden.

2. Falschfarbeneinsatz in der Astronomie

Falschfarbendarstellungen werden in der Astronomie und anderen Naturwissenschaften eingesetzt, erstens um Messdaten zu visualisieren, die kein sichtbares Korrelat haben, z. B. elektromagnetische Strahlung in nicht sichtbaren Frequenzbereichen, sowie zweitens zur Kontrastverstärkung von Bildern, die zunächst nur als Graustufenbilder vorliegen. Beides ist in der Astronomie von großer Bedeutung: Ersteres, da die meisten astronomischen Objekte nicht nur sichtbares Licht abstrahlen, sondern elektromagnetische Strahlung aus dem gesamten Spektrum von niedrigfrequenter Radio- und Infrarot-Strahlung bis zu hochfrequenter Röntgen- und Gammastrahlung. Die Kontrastverstärkung ist wichtig, da die Strahlung sehr weit entfernter Objekte sich kaum von der Hintergrundstrahlung abhebt, so dass sie ohne diese Methoden nicht darstellbar wäre.

Der Begriff „Falschfarbendarstellung“ könnte zu der Annahme verleiten, dass bei einer solchen Darstellung die echten Farben des dargestellten Objekts durch falsche Farben ersetzt werden. Der Begriff suggeriert bereits Täuschung oder Manipulation. Diese Annahme ist aber nicht zutreffend, da bei Falschfarbendarstellungen nicht ‚richtige‘ Farben durch ‚falsche‘ Farben ersetzt werden, sondern Farben als Codierung für bestimmte, nicht mit Farben zusammenhängende Eigenschaften verwendet werden. Unter Umständen werden dabei die ‚realen‘ Farben der Objekte durch Falschfarben ersetzt. Beispielsweise sehen bestimmte Sterne, mit bloßem Auge oder mit einem Teleskop betrachtet, rötlich oder bläulich aus. Auf einer Falschfarbendarstellung, auf der die Helligkeit der Sterne dargestellt wird, werden die ‚echten‘ Farben überschrieben. Ein sehr heller Stern wird beispielsweise auch dann in Rot dargestellt (wenn Rot der Farbcode für sehr hohe Leuchtkraft ist), wenn er Licht vorwiegend im Blau-Bereich abstrahlt und damit bläulich aussieht. Von Falschfarbendarstellungen spricht man auch dann, wenn von den darzustellenden Objekten keinerlei Farbinformationen, ja überhaupt keine visuellen Informationen verfügbar sind. Dies ist der Fall, wenn die Objekte entweder eine unbunte Farbe haben (also weiß, schwarz oder grau sind) oder unsichtbar sind. Da hier echte Farben nicht existieren, können sie auch nicht überschrieben werden. Beispiele für Objekte, die keinerlei visuelle Informationen liefern, sind Sterne, von denen wir kein sichtbares Licht empfangen können, wohl aber Radio-, Infrarot-, UV-, Röntgen- oder Gammastrahlung. Diese Sterne sind für menschliche Augen also unsichtbar. Trotzdem lassen sich ihre Positionen und ihre Leuchtkraft mit Hilfe von Falschfarbendarstellungen visualisieren.⁴

⁴ Vgl. Müller/Groß (2006).

Mit Hilfe von Falschfarbendarstellungen lässt sich das gesamte abgestrahlte Spektrum eines astronomischen Objekts in einem einzigen Foto visualisieren. Dabei werden die Frequenzen des gesamten Spektrums auf das für menschliche Augen sichtbare Spektrum (ca. 400 bis 780 nm) projiziert. Mit Hilfe einer Farbskala wird dazu eine eindeutige Zuordnung der Messwerte zu bestimmten Farbtönen festgelegt. Anschließend werden die farbcodierten Messdaten auf zweidimensionale Darstellungen des betreffenden Objekts (z. B. eines Planeten) oder des betreffenden Gebietes (z. B. einer Region des Weltalls) abgebildet.

Astronomische Farbbilder herzustellen, ist ein viel komplexerer Vorgang als Fotografieren mit einer Farbfilmkamera. Moderne Teleskope, die auf CCDs basieren, nehmen zunächst nur Graustufenbilder auf, die jeweils bei unterschiedlichen Wellenlängen aufgenommen wurden (vgl. Farbtafel 3 – Abbildung A). Die separate Messung bei jeweils einer Wellenlänge ist erforderlich, um die maximale Auflösung zu erhalten. Jedes Ausgangsbild ist zunächst also eine Graustufenaufnahme, in der die gemessene Lichtintensität bei einer bestimmten Wellenlänge durch die Helligkeit (also die Grauwerte) visualisiert wird. Das gilt sowohl für Bilder aus dem sichtbaren Frequenzbereich als auch für solche aus den höheren oder niedrigeren Frequenzbereichen.

Anschließend werden die bei den verschiedenen Wellenlängen aufgenommenen Fotos ein und desselben Objekts zu einem Kompositbild überlagert. Da es sich bei den astronomischen Objekten überwiegend um statische Objekte handelt, ist dieses Vorgehen unproblematisch. Damit sich bei der Überlagerung der Einzelbilder die verschiedenen Frequenzbereiche voneinander unterscheiden lassen, werden diese zunächst in jeweils unterschiedlichen Farbtönen dargestellt und anschließend überlagert. Das Resultat ist ein vielfarbiges Kompositbild.⁵ Die Farben entsprechen dabei in der Regel nicht den Farben, in denen uns die Objekte erscheinen würden, wenn wir sie mit einer Raumfähre aufsuchen könnten.⁶

Falschfarbendarstellungen werden zur Kontrastverstärkung eingesetzt, um Strukturen und lokale Maxima der darzustellenden Größe besser sichtbar zu machen.⁷ Graustufenbilder sind oft zu kontrastarm, um wesentliche Strukturen darin erkennen zu können. Werden sie in Falschfarbenbilder umgewandelt, werden dadurch geringe Helligkeitsunterschiede hervorgehoben, die sich dann besser erkennen lassen. Eine Grauwertdarstellung wird in eine Falschfarbendarstellung umgewandelt, indem die Grauwerte zwischen Schwarz und Weiß auf Farbwerte in einer Farbtabelle abgebildet werden.⁸ Die dargestellten Farben entsprechen dann nicht den Farben des Objekts, sondern codieren die Intensität der Strahlung des Objekts. Wird durch Falschfarben der Kontrast zu stark erhöht, kann dies allerdings zu einer Fehlinterpretation der Messdaten führen.

⁵ Vgl. CCD Night 2005 Beta, Help Wizard, www.ineltech.de.

⁶ http://hubblesite.org/sci.d.tech/behind_the_pictures/meaning_of_color/index.shtml.

⁷ Vgl. Bendicks (2004), S. 33 f.

⁸ Vgl. Universität zu Köln, Zentrum für Angewandte Informatik, www.uni-koeln.de/rrzk/software/grafik/imageprocessing/informationen/falschfarben.html.

Farben werden also als Werkzeug für drei unterschiedliche Zwecke eingesetzt (vgl. Farbtafel 3 – Abbildungen B a-c):

1. um darzustellen, wie ein Objekt für uns aussähe, wenn unsere Augen so scharf wären wie die eines Teleskops, oder wenn wir das Objekt mit einer Raumfähre aufsuchen und betrachten könnten (*natural color*)
 2. um Eigenschaften eines Objekts zu visualisieren, die für menschliche Augen grundsätzlich unsichtbar sind, z. B. das Aussehen eines Objekts in Infrarotlicht (*representative color*)
 3. um subtile Strukturdetails eines Objekts hervorzuheben (*enhanced color*).⁹
- Nur die Natural-Color-Bilder sind vergleichbar mit Fotos in ‚echten‘ Farben.

Gebräuchliche Farbskalen

Es gibt eine Reihe von Farbskalen, die in den Naturwissenschaften gebräuchlich sind:¹⁰

- *(Linearisierte) Grauwertskala*: Die Datenwerte werden durch Grauwerte repräsentiert. Die Grauwertskalen haben einen recht hohen konventionellen Status, da viele bildgebende Verfahren zunächst nur Grauwertdarstellungen unterstützten. Für eine lineare Zuordnung von Datenwerten ist allerdings eine Anpassung an das menschliche Helligkeitsempfinden notwendig, da dieses nicht linear ist, sondern einem Potenzgesetz genügt.¹¹
- *Regenbogenskala*: Diese Skala verwendet die Spektralfarben, die beispielsweise im Regenbogen sichtbar sind. Die Interpretation dieser Skala setzt jedoch Erfahrungen mit Spektralfarben voraus. Ein Nachteil ist, dass man Schwierigkeiten hat, die Farben an den Enden zu unterscheiden. Daher wird häufig die modifizierte Regenbogenskala verwendet, bei der die Helligkeiten von einem Ende des Spektrums zum anderen linear ansteigen.
- *Temperaturskala*: Auch diese Farbskala hat ein natürliches Vorbild, nämlich die Farbübergänge, die ein schwarzes Objekt beim Erhitzen annimmt.
- *Magentaskala*: Diese Skala basiert auf der Empfindlichkeit des Menschen gegenüber Magentatönen. Zusätzlich werden Helligkeiten redundant kodiert. Ähnliche Farbskalen gibt es auch auf der Basis anderer Farben.

Auswahl der Farbskala

Die Wahl der Farbskala lässt grundsätzlich Spielräume, da jede eine eindeutige Zuordnung von Messwerten und Farbtönen leisten kann. Eingeschränkt wird diese Wahlfreiheit durch die Anforderung, eine gut interpretierbare, also kontrastreiche und detailreiche Darstellung zu erzielen. Darüber hinaus gibt es in den meisten Wissenschaften bestimmte Konventionen für die Auswahl der Farbskalen, die sich im Erfahrungsaustausch innerhalb der wissenschaftlichen Disziplinen herauskristallisiert haben.

In der Astronomie haben sich schon kurz nach der Einführung der Digitalfotografie vor allem zwei Farbskalen durchgesetzt: Erstens die konventionelle Farbskala, die Schwarz oder Dunkelblau für den niederenergetischen Hintergrundhimmel verwendet

⁹ http://hubblesite.org/sci.d.tech/behind_the_pictures/meaning_of_color/tool.shtml.

¹⁰ Vgl. zur folgenden Beschreibung der Farbskalen Bendicks (2004), S. 34 f.

¹¹ Vgl. hierzu auch Rogowitz/Treinish (2005).

und Hellblau, Gelb, Rot und manchmal Weiß für die höheren Intensitäten. Gelegentlich werden noch Schattierungen von Grün, Orange oder Beige verwendet, um Hellblau von Gelb zu trennen. Diese konventionelle Farbskala der Astronomie wurde zu keiner Zeit explizit vereinbart; sie hat sich quasi von selbst etabliert, weil sie den Astronomen so natürlich erschien, dass man darüber nicht diskutieren musste. Zweitens ist die Regenbogen- bzw. Spektralskala in der Astronomie gängig. Diese – ebenfalls naturalistische – Farbskala arrangiert Farben nach ihrer Reihenfolge im elektromagnetischen Spektrum, also Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett für zunehmende numerische Werte. Diese Skala wird vor allem in zwei Bereichen verwendet: Erstens um Farbe als Index für Wellenlängen zu verwenden (Rot für langwellige, niederenergetische Radiostrahlung, Violett für kurzwellige, hochenergetische Gammastrahlung), zweitens zur Darstellung der Rotverschiebung.¹²

Trotz dieser Konventionen gibt es bei der Wahl der Farben in der Astronomie viele Gestaltungsspielräume – ganz im Gegensatz etwa zu den bildverarbeitenden Verfahren der Medizin, für die es bestimmte Farbkonventionen gibt, um eine schnelle, eindeutige Interpretation der Bilder zu gewährleisten.

3. Strategien zum sinnvollen Einsatz von Falschfarben¹³

In welcher Weise Daten visualisiert werden, hat einen großen Einfluss darauf, wie die Strukturen der dargestellten Daten wahrgenommen werden. Dabei spielt der Einsatz von Farben eine entscheidende Rolle.

Bernice Rogowitz und Lloyd Treinish aus der IBM-Forschungsabteilung zeigen in ihrem Aufsatz „How NOT to lie with visualization“ von 2005, wie die Verwendung von Farben in der Visualisierung die Interpretation von Daten beeinflusst, und stellen ein Programm vor, das die Auswahl einer geeigneten Farbskala unterstützt.

Moderne Softwaresysteme für die Visualisierung von Daten sind so weit entwickelt, dass damit auch Nichtexperten Datenvisualisierungen erstellen können. Trotzdem ist es oft schwierig, eine sinnvolle Visualisierung der Daten zu erreichen, wenn die wahrnehmungsphysiologischen und physikalischen Phänomene von Farben nicht genau verstanden werden. Es werden dann meist Ad-hoc-Visualisierungen erstellt, und es sind unzählige Iterationen notwendig, um die Farben so zu wählen, dass sie die Aufmerksamkeit auf bestimmte wichtige Strukturen der Daten lenken. Es können dabei auch Artefakte auftreten, die entweder physikalische Strukturen, die in den Daten enthalten sind, verwischen oder aber Scheineffekte hervorrufen, die von den Daten nicht gestützt werden.

Die Auswahl der Farbskala ist ein entscheidender Schritt, von dem die Visualisierung abhängt. Abbildung C auf Farbtafel 3 demonstriert, wie ein und derselbe Datensatz durch verschiedene Farbskalen jeweils ganz unterschiedlich wirkt und somit zu unterschiedlichen Interpretationen derselben Daten führen kann:

¹² Vgl. Lynch/Edgerton (1988), S. 200 f.

¹³ Vgl. zu diesem Kapitel Rogowitz/Treinish (2005).

1. In der Darstellung oben links wird die Regenbogenskala eingesetzt. Dies ist eine Standard-Farbskala, die in den meisten Softwareprogrammen enthalten ist. Die Daten werden dabei mit Hilfe der Farben des Regenbogens (von Violett bis Rot) codiert.
2. Die zweite Darstellung (oben rechts) basiert auf einer isomorphen Farbskala, die nur einen Farbton enthält, dessen Helligkeit über die Skala variiert. Bei isomorphen Farbskalen korrespondieren gleich große Schritte in den Daten mit gleich großen wahrnehmungsmäßigen Schritten auf der Farbskala. Dies soll eine getreue Abbildung der Datenstruktur gewährleisten.
3. Die segmentierte Farbskala (*segmented colormap*, links unten) ist entworfen worden, um Regionen visuell von einander abzugrenzen. Die Daten werden dazu in eine Reihe von Intervallen eingeteilt, denen jeweils unterschiedliche, klar von einander abgrenzbare Farben zugeteilt werden.
4. Die hervorhebende Farbskala (*highlighting colormap*, rechts unten) soll die Aufmerksamkeit des Betrachters auf Regionen des Bildes ziehen, die bestimmte charakteristische Merkmale haben, beispielsweise auf solche, die in einem bestimmten Datenintervall liegen.

Je nach gewählter Farbskala sieht die Darstellung der Daten also ganz unterschiedlich aus. Welche Farbskala geeignet ist, hängt vom Zweck der Darstellung ab. Vor der Auswahl einer Farbskala sollte also das Ziel der Visualisierung geklärt werden.

Seit mehreren Jahrzehnten wird bereits darüber diskutiert, wie man mit Visualisierungen (und mit Statistiken) lügen kann. Diese Diskussion geht auf das Buch „How to lie with Statistics“ von Darrell Huff (1954) zurück. Auf mehreren IEEE-Konferenzen wurde über die Möglichkeiten, durch Visualisierungen zu manipulieren, diskutiert. Für Naturwissenschaftler ist es wichtig, über Manipulationsmöglichkeiten informiert zu sein; dennoch ist es unabdingbar, Methoden zur Hand zu haben, mit denen Daten angemessen visualisiert werden können. Angemessen visualisieren soll heißen: Daten in einer solchen Weise darzustellen, dass die in den Daten vorhandenen Strukturen gut erkennbar werden. Die Visualisierung soll der getreuen Darstellung, der schnellen Erfassung und der adäquaten Interpretation der Daten dienen. Sie soll dabei helfen, bestimmte Fragestellungen an die Daten zu beantworten. Zum Beispiel: Wo sind die Gebiete höchster Aktivität? Wie sieht die räumliche Verteilung einer bestimmten Größe aus? Gibt es scharfe Übergänge und ggf. wo? Je nach Fragestellung können unterschiedliche Farbskalen für ein und denselben Datensatz optimal sein.

Für eine angemessene Visualisierung von Daten ist nach Rogowitz und Treinish dreierlei zu berücksichtigen:

1. die Struktur der darzustellenden Daten
 2. die Wahrnehmung der verwendeten visuellen Dimensionen (Farbe, Kontrast)
 3. die Aufgabe, die durch die Analyse der darzustellenden Daten gelöst werden soll.
- Moderne interaktive Softwareprogramme bieten dem Anwender eine Vielzahl an Möglichkeiten, mehrdimensionale Daten zu visualisieren. Zur Verfügung stehen nicht nur die drei räumlichen Dimensionen, sondern außerdem Farben, Transparenz, Tiefe, Konturen, Animationen u. a. Die schier unbegrenzte Menge an Möglichkeiten kann aber eine Büchse der Pandora an Problemen freisetzen, wenn der Anwender nicht weiß, welche der zahllosen Möglichkeiten für sein spezielles Anwendungsproblem geeignet sind.

Das gilt insbesondere für den Einsatz von Farben. Um Farben sinnvoll einzusetzen, ist physikalisches und psychophysiologisches Wissen erforderlich; darüber verfügen aber die wenigsten Anwender in ausreichendem Maße, und die meisten streben auch nicht an, Experten für menschliche Wahrnehmung zu werden, bevor sie Daten visualisieren. Um diesem Problem abzuhelpfen, stellen die Software-Anbieter meist eine Standard-Farbskala bereit, i. d. R. die sog. Regenbogenfarbskala (vgl. linker oberer Quadrant in Abbildung C auf Farbtafel 3). Diese häufig verwendete Farbskala kann aber einige wohlbekannte Artefakte durch wahrnehmungsphysiologisch bedingte Fehlinterpretationen hervorrufen. So wird dabei die Aufmerksamkeit besonders auf die gelben Gebiete gezogen – weil sie die hellsten sind, nicht weil sie die wichtigsten wären. Tatsächlich sind die rot, nicht die gelb dargestellten Gebiete diejenigen mit der höchsten Ausprägung der Messdaten. Außerdem werden bei dieser Farbskala Bereiche scharf voneinander abgegrenzt, obwohl die zugrunde liegenden Daten kontinuierlich sind; das erzeugt einen falschen Eindruck von Kontrasten. Der Grund für diese Fehlinterpretation ist, dass bei dieser Skala nicht nur die Farbtöne, sondern auch die Helligkeit der Farben variieren. So überlagern sich die Wahrnehmung des Farbtons und die Wahrnehmung der Helligkeit. Gelb wird als hellste Farbe unwillkürlich mit den höchsten Werten assoziiert, obwohl diese in Wirklichkeit durch Rot codiert werden. Somit kann diese Farbskala durch einen wahrnehmungsphysiologischen Effekt zu einer falschen Dateninterpretation führen.

Getreue Abbildung der Datenstrukturen

Um die Struktur von Daten genau abzubilden, ist es wichtig, die Beziehung zwischen der Datenstruktur und der visuellen Repräsentation zu verstehen. Für nominale Daten sollten die Objekte, durch die sie repräsentiert werden, gut unterscheidbar sein, aber sie sollten keine wahrnehmbare Rangordnung haben, da die Daten selbst keine solche enthalten. Für ordinale Daten sollten die Objekte, durch die sie repräsentiert werden, ebenfalls gut unterscheidbar sein, aber ihre Rangfolge sollte auch in der Repräsentation erkennbar sein. Bei Intervalldaten sollten gleich große Schritte in den Datenwerten als gleich große Schritte der wahrgenommenen Größe in der Repräsentation erscheinen. In Daten, die Verhältnisse angeben, sollten die Werte monoton zu- bzw. abnehmen (beginnd bei Null oder einem anderen Grenzwert).

Um Intervalldaten korrekt zu visualisieren, muss die gewählte visuelle Dimension dem Betrachter kontinuierlich erscheinen. Es muss also eine monotone Beziehung zwischen Datenwerten und wahrgenommener Größe bestehen. Farbskalen, die dies leisten, wurden in psychophysischen Skalierungsexperimenten ermittelt. Stevens (1966) identifizierte eine Menge von sensorischen Dimensionen, für die das monotone Anwachsen der Reizintensität einen monotonen Anstieg in der wahrgenommenen Intensität hervorruft. Diese Beziehung ist nicht linear; vielmehr beschreibt ein Potenzgesetz den Zusammenhang von wahrgenommener Intensität und physikalischer Helligkeit. Für die medizinische Bildgebung werden i. d. R. Grauskalen verwendet, die auf diesem Potenzgesetz basieren. Dasselbe Potenzgesetz gilt auch für die Farbsättigung (Progression einer bestimmten Farbe von einem intensiven Farbton zum Pastellton).

In der oberen Reihe der Abbildung C auf Farbtafel 3 lässt sich der Unterschied der Standardfarbskala (Regenbogenskala) und einer Farbskala, die eine isomorphe Repräsentation von Intervalldaten leisten soll, gut erkennen. Dabei zeigt sich insbesondere, dass die Farbskala der Regenbogenskala aus einem Band von einzelnen Farben besteht, nicht aus graduellen Abstufungen der Farben. Das hat beispielsweise zur Folge, dass fast der ganze Bereich der magnetischen Resonanz von 50 bis 100 gleichmäßig cyanblau aussieht. Obwohl die Daten sich in diesem Bereich fast verdoppeln, sehen alle Werte in diesem Bereich identisch aus. Diese Farbskala produziert also den Eindruck einer konturierten Struktur, und subtile Variationen werden dabei überdeckt. Dagegen stellt die isomorphe Repräsentation (oben rechts) viel genauer die Datenstrukturen dar, auch wenn diese Darstellung viel weniger eindrucksvoll wirkt. In dieser Farbskala wachsen sowohl die Helligkeit (Luminiszenz) als auch die Farbsättigung monoton mit den Daten. Dies erzeugt einen monotonen Anstieg der wahrgenommenen Intensität über den ganzen Datenbereich, so dass auch Strukturen, die bei der Regenbogenskala unsichtbar sind, leicht erkennbar werden. Angesichts der Artefakte der Regenbogenskala (Kontraste statt kontinuierlicher Abstufungen; Nichterkennbarkeit subtiler Variationen; Überinterpretation der gelben Bereiche auf Grund ihrer Helligkeit) ist es nicht verwunderlich, dass sowohl die astronomische als auch die medizinische Community lange Zeit gezögert haben, Farbe zu ihren visuellen Darstellungen hinzuzufügen.

Die Bedeutung der räumlichen Verteilung der Daten

Nicht alle isomorphen Farbskalen sind für alle Daten geeignet. Das liegt daran, dass unterschiedliche Komponenten des Farbsignals in unterschiedlicher Weise wahrgenommen werden.

Jedes Farbsignal hat eine Helligkeitskomponente (*luminance component*) und eine Sättigungs- bzw. Farbtonkomponente (*saturation and hue components in color*). Diese beiden Komponenten haben eine unterschiedliche räumliche Empfindlichkeit: Die Helligkeitskomponente ist entscheidend für die Informationsübermittlung von Daten mit großer räumlicher Auflösung. Dagegen ist die Sättigungskomponente maßgeblich für die Informationsübermittlung von Daten mit geringer räumlicher Auflösung.

Die Balance von Helligkeits- und Sättigungsvariation in einer isomorphen Farbskala hängt also von der räumlichen Struktur der Daten ab. Intervalldaten mit einer hohen räumlichen Auflösung erfordern eine monotone Skala mit einer starken Helligkeitskomponente, also eine Graustufenskala oder eine monochrome Skala. Dagegen ist für Intervalldaten mit geringer räumlicher Auflösung eine monotone Skala mit einer starken Sättigungs- bzw. Farbtonkomponente notwendig.

<i>Datenstruktur</i>	<i>geeignete Skala</i>
räumlich hoch aufgelöste Daten	helligkeitsbasierte Skala (Skala mit großer Helligkeitsabstufung, also Graustufenskala oder monochrome Skala)
räumlich gering aufgelöste Daten	sättigungsbasierte Skala (Skala mit großer Sättigungsabstufung, d. h. Skala mit verschiedenen Farbtönen)

In Abbildung A auf Farbtafel 4 wird dies demonstriert: In der linken Spalte ist jeweils eine helligkeitsbasierte Farbskala, in der rechten eine sättigungsbasierte Farbskala ver-

wendet worden. Diese sind zum einen auf gering aufgelöste Daten (obere Reihe) und zum anderen auf hoch aufgelöste Daten (untere Reihe) angewandt worden.

Die Daten der oberen Reihe stammen aus einem Wettermodell, mit dessen Hilfe die Variation der relativen Luftfeuchtigkeit einer bestimmten geografischen Region abgebildet wird. Diese Daten haben eine geringe räumliche Auflösung. Ihre Struktur geht praktisch verloren, wenn die Daten mit einer helligkeitsbasierten Farbskala (oben links) dargestellt werden. Dagegen bietet die Darstellung mit der sättigkeitsbasierten Farbskala (oben rechts) mehr Information, vor allem für solche Gebiete, in denen die relative Luftfeuchtigkeit sich langsam verändert, besonders in der Nähe des mittleren Bereiches unterhalb von 65 %.

Die Bilder in der unteren Reihe zeigen einen radialen Durchlauf eines Wetterradarsensors, der die Variation von reflektierter Lichtintensität, z. B. von dicken Wolken, misst. Diese Daten sind räumlich hoch aufgelöst. Die helligkeitsbasierte Farbskala (unten links) gibt hier eine gute Repräsentation der fein detaillierten Strukturen der Daten. Dagegen verwischt die Darstellung mit der sättigungs-basierten Farbskala (unten rechts) die feinen Details und überbetont die Werte oberhalb des Mittelwertes, weil diese in einer anderen Farbe dargestellt werden, nämlich in Gelb, wodurch sie mit einer übertriebenen Emphase abgebildet werden.

Farbskalen für die Segmentierung von Daten

Die Regeln für isomorphe Farbskalen für Verhältnis- und Intervalldaten sind auch gültig für Darstellungen mit segmentierten Daten. Bei der Erstellung einer segmentierten Farbskala muss man darauf achten, dass die Segmente klar von einander unterscheidbar sind; dies limitiert die Anzahl der darstellbaren Schritte. Es hat sich herausgestellt, dass eine größere Anzahl von Schritten bei gering aufgelösten Daten effektiver unterschieden werden kann als bei hoch aufgelösten Daten.

Dies wird in Abbildung B auf Farbtafel 4 demonstriert: Auf der linken Seite ist jeweils eine Farbskala mit fünf Niveaus, auf der rechten eine mit zehn Niveaus verwendet worden. Beide werden jeweils auf gering aufgelöste Daten (Magnetfeld der südlichen Erdhemisphäre, obere Reihe) und auf hoch aufgelöste Daten (Anteil von Wolken, untere Reihe) angewandt. Es zeigt sich, dass für die gering aufgelösten Daten (oben) mehr Farbniveaus mehr Information bieten. Beispielsweise zeigt sich auf der rechten Seite der Gradient über dem Südpol klarer. Dagegen enthüllen bei hoch aufgelösten Daten (unten) die zusätzlichen Farbniveaus keine zusätzlichen Informationen, sondern verwischen nur die Segmentierung.

PRAVDA

Das Programm PRAVDA von Rogowitz, Treinish und Bergman wurde entwickelt, um Anwender bei der Visualisierung von Daten zu unterstützen.¹⁴ PRAVDA steht für *Perceptual Rule-based Architecture for Visualizing Data Accurately*. PRAVDA ist ein regelbasiertes Tool zur Auswahl von Farbskalen, das in einen IBM-Visualisierungsdatenexplorer eingebettet ist. In diesem Programm ist wahrnehmungsphysiologisches und physikali-

¹⁴ Vgl. Rogowitz/Treinish (2005).

sches Knowhow über Farben implementiert, um damit den Prozess der Datenvisualisierung beim Anwender sinnvoll zu leiten. Das Programm enthält Regeln, die die Möglichkeiten, die dem Anwender angeboten werden, sinnvoll beschränken. Diese Regeln basieren auf den Prinzipien der menschlichen Wahrnehmung und Aufmerksamkeit sowie auf der Farbtheorie. In diese Regeln gehen als Parameter bestimmte Metadaten ein, die teilweise aus den zu visualisierenden Daten gezogen werden, teilweise vom Anwender bereitgestellt werden müssen:

1. Datentyp
2. räumliche Verteilung der Daten
3. Ziel der Visualisierung
4. Designentscheidungen des Anwenders

Mit dem Programm PRAVDA werden die darzustellenden Daten in den Data Explorer importiert und an ein Modul namens PRAVDAColor weitergeleitet (vgl. Farbtafel 4 – Abbildung C). Dieses errechnet Metadaten über die räumliche Auflösung der Daten und über deren Datentyp (z. B. Ordinal-, Interval- oder Verhältnisdaten). Der Anwender muss außerdem das Ziel der visuellen Darstellung der Daten auswählen (z. B. isomorphe Darstellung, Segmentierung, Highlighting von Daten). Mit Hilfe der allgemeinen Regeln und der Metadaten errechnet PRAVDA eine kleine Auswahl von geeigneten Farbskalen, die es dem Anwender zur Auswahl anbietet. Der Anwender kann dann aus den angebotenen Farbskalen auswählen und seine Daten mit jeder dieser Farbskalen darstellen lassen. Da der Designprozess iterativ ist, behält der Anwender die Kontrolle über die Visualisierung.

4. Digitale Bildbearbeitung für die Astrofotografie

Für die Bearbeitung astronomischer Digitalfotos stehen spezielle Softwareprogramme zur Verfügung, z. B. das Windows-Bildbearbeitungsprogramm *CCD Night*,¹⁵ das u. a. vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und vom Max-Planck-Institut eingesetzt wird.

Die heute weit verbreiteten Softwareprogramme für die digitale Bildbearbeitung wie *Adobe Photoshop* sind abgespeckte Versionen der für die Astronomie entwickelten Programme.¹⁶ Wer mit diesen Programmen arbeitet, weiß, wie sehr Digitalfotos nachträglich manipuliert werden können. Die Bildbearbeitungsprogramme für die Bearbeitung astronomischer Digitalfotos enthalten noch weit mehr Möglichkeiten. *CCD Night 2005* beinhaltet u. a. folgende Funktionen:

- Basiskorrekturen an den Rohbildern, die spezifisch für das Aufnahmeobjekt (Mond, Sonne, Deep-sky-Objekt) erfolgen
- Funktion *Komposit*: Erstellung von Summenbildern aus mehreren Aufnahmen (darin enthalten: Anpassung der Bildlage bei Einzelaufnahmen mit unterschiedlicher Orientierung und ggf. Entzerrung der Aufnahmen)
- Überlagern von Aufnahmen mit einer Sternenkarte (mit Hilfe der Funktion *Komposit*)

¹⁵ Vgl. Bressler (2005).

¹⁶ Vgl. Schröter (2004), S. 344.

- Dunkelstromkorrektur¹⁷
- Flatfieldkorrektur¹⁸
- automatisches Entfernen so genannter Pixelartefakte (von Spuren von Satelliten oder Flugzeugen sowie von sog. Cosmics, d. h. von Störeffekten durch geladene Teilchen der Kosmischen Strahlung)
- Reparatur von Zeilen- und Spaltenfehlern (die Pixel der markierten Zeile bzw. Spalte werden dabei durch den Mittelwert der benachbarten Pixel ersetzt.)
- Bildoptimierung: Schärfen und Glätten des Bildes (durch Hochpassfilterung und durch die sog. Unscharfe Maskierung) sowie Rauschminimierung durch spezielle Rauschfilter
- Lucy-Richardson-Deconvolution-Verfahren zum Korrigieren und Scharfrechnen der Bilder (dieses Verfahren ist ein iterativer Prozess. Die Anzahl der Iterationsschritte kann vom Anwender bestimmt werden. Mit zunehmender Anzahl von Iterationsschritten nimmt die Bildschärfe zu, aber auch das Rauschen)
- Zoomnavigator
- Histogramm
- Photometrie (insbes. zur Ermittlung der Helligkeit von Sternen oder anderen Himmelsobjekten)
- automatische Optimierung für verschiedene Optionen (Deep-sky, Deep-sky hell, Planet/Landschaft, Mond dunkel, Mond hell, Sonne)

¹⁷ *Dunkelstrom*: Bei CCD-Chips tritt ein Dunkelstrom auf, d. h. eine zusätzliche, thermische Belichtung, denn die Pixel sammeln nicht nur das Licht, das vom Aufnahmeobjekt kommt, sondern auch den so genannten Dunkelstrom. Dieser entsteht durch die thermischen Aktivitäten auf dem Chip (Molekularbewegung). Der Dunkelstrom steigt proportional zur Belichtungszeit und ist umso größer, je höher die Außentemperatur ist. Unterhalb von -60°C tritt dieser Effekt kaum noch auf. Daher werden reine Astrokameras gekühlt. Da der Dunkelstrom relativ konstant ist, lässt er sich durch eine weitere Aufnahme mit abgedecktem Chip ausgleichen; diese sollte zeitnah zur eigentlichen Aufnahme und mit gleicher Belichtungszeit erfolgen. Die Pixelwerte des Dunkelstrombildes werden anschließend von den Pixelwerten der Originalbilder subtrahiert. Der Dunkelstrom ist im Wesentlichen von der Belichtungszeit und der Chiptemperatur abhängig. Deswegen sind die meisten CCD-Kameras mit einer Peltier-Kühlung versehen. Diese erreicht Chiptemperaturen von bis zu 40 K unter der Außentemperatur. Dabei halbiert sich der Dunkelstrom bei einer Abkühlung um 7 K. – Vgl. CCD Night Beta 2005 Help Wizard und Boeble/Böning (2004).

¹⁸ *Flatfield*: Nicht alle Pixel auf einem CCD-Chip haben dieselbe Empfindlichkeit. Manche Pixel haben eine so geringe Empfindlichkeit, dass sie als tote Pixel bezeichnet werden. Außerdem ist auf Grund von optischen Einflüssen die Belichtung des Chips nicht immer gleichmäßig. Dafür ist hauptsächlich die sog. Vignettierung verantwortlich: Am Rand des Bildes ist die Lichtausbeute häufig auf Grund von Streulichtblenden, Adaptern oder eines (zu) kleinen Fangspiegels kleiner als in der Mitte. Ein weiterer Effekt, der die Belichtung beeinflussen kann, sind Staubkörner auf optischen Flächen. Diese Effekte kann man durch eine so genannte Flatfield-Aufnahme kompensieren. Dabei wird eine gleichmäßig beleuchtete, weiße Fläche aufgenommen. Das gewonnene Bild gibt Aufschluss über die Empfindlichkeiten und die Belichtung der verschiedenen Pixel. Die Originalaufnahme muss durch dieses Bild dividiert werden. Zur Flatfield-Korrektur ergibt sich also folgende Rechnung, die für jeden Pixel einzeln von der Bildverarbeitungs- oder bereits von der Aufnahmesoftware durchgeführt werden muss:

(Aufnahmebild – Dunkelbild) / Flatfield · Durchschnitt Flatfield

Vgl. CCD Night Beta 2005 Help Wizard und Boeble/Böning (2004).

- Skalierung: CCD-Kameras liefern Bilder mit typischerweise 4.096 (= 12-bit-Dynamik) oder bis zu 65.536 (= 16-bit-Dynamik) Graustufen. Ein normaler PC-Monitor kann aber nur maximal 256 Graustufen darstellen. Daher können die vielen Graustufen dazu genutzt werden, den interessantesten Teil eines Bildes auch nach der Aufnahme auszuwählen. Dies ist bei vielen Deep-Sky-Objekten besonders wichtig, da dadurch sehr dunkle und sehr helle Bereiche problemlos mit einer Aufnahme erfasst werden können. Man benötigt nicht unbedingt wie in der Analogfotografie eine kurz belichtete Aufnahme für die hellen und eine lang belichtete Aufnahme für die dunklen Teile des Aufnahmeobjekts. Um diese vorteilhafte Vorgehensweise zu ermöglichen, ist ein astronomisches Bildverarbeitungsprogramm erforderlich, denn herkömmliche Programme können nur mit Bildern umgehen, die 256 Helligkeitsstufen haben.

M42 - dunkel skaliert...



...und das gleiche Bild hell skaliert

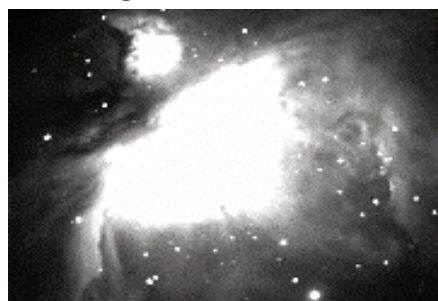


Abbildung 2: Einfluss der Skalierung auf die Darstellung

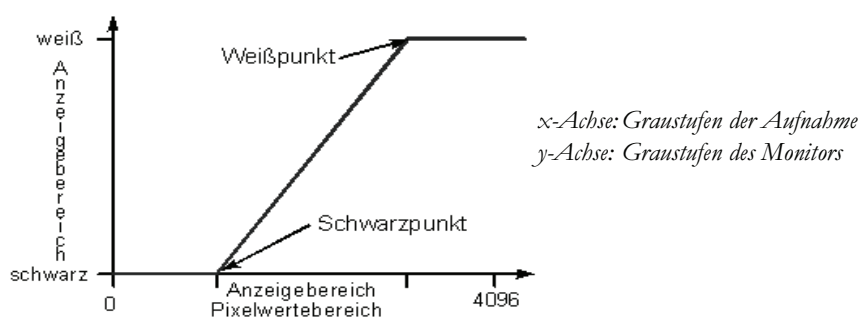


Abbildung 3: Prinzip des Skalierens durch die Setzung von Schwarz- und Weißpunkt

5. Die Schönheit astronomischer Fotografien

Physiker verwenden den Begriff ‚Schönheit‘ häufig in platonischer Weise: Das Wahre, das Gute und das Schöne sind demnach identisch. In diesem Sinne sprechen Physiker von der ‚Schönheit‘ mathematischer Formeln oder physikalischer Gesetze, aber auch von der ‚Schönheit‘ von Diagrammen, Abbildungen, Computersimulationen oder Fotografien. Unter einer schönen Darstellung wird eine Darstellung verstanden, die Zusam-

menhänge in angemessener, d. h. korrekter und übersichtlicher Weise veranschaulicht. In diesem Sinne schreibt z. B. der Astrophysiker Arnold Benz:

„In Abbildung 6 ist die Bilddarstellung gezeigt, in der die Muster optimal erkannt werden können. Diese Farbtabelle ist sowohl kontrastreich wie auch unmittelbar ansprechend. Die Erfahrung zeigt, dass sie am besten geeignet ist, die gesuchten Muster zu erkennen. Astronomen würden von Abbildung 6 durchaus von einem ‚schönen‘ Bild sprechen. Dies ist zunächst nur im Sinne von ‚besonders aussagekräftig‘ gemeint. Dies bedeutet, dass die Muster gut erkannt werden können. [...] Schöne Bilder sind gute Bilder und umgekehrt.“¹⁹

Mit der Ästhetik von (moderner) Kunst hat dies nichts zu tun, ebenso wenig wie mit Ästhetik im Sinne von Gefälligkeit. Naturwissenschaftler distanzieren sich daher im Allgemeinen von der Ansicht, dass Ästhetik eine Rolle in ihrer Bildproduktion spiele. Diese Haltung ist vor allem insofern gerechtfertigt, als in naturwissenschaftlichen Abbildungen und Fotos grundsätzlich die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge Vorrang vor jeder Art von ästhetischen Veränderungen haben.

Anders sieht es bei Fotos oder Darstellungen aus, die für die populärwissenschaftliche oder die Laienpresse gedacht sind. Hierfür werden die Bilder zum einen stark vereinfacht, zum anderen häufig plakativ übertrieben, vor allem durch den exzessiven Einsatz von Farben. Astronomen stellen in diesem Sinne „schöne“ Bilder für die Öffentlichkeit her, nicht zuletzt, um die Faszination für die Astronomie in der Bevölkerung aufrecht zu erhalten, um langfristig die Finanzierung der extrem teuren, aber wirtschaftlich kaum nutzbaren Forschung sicherzustellen.

Auf der Website des Hubble Space Telescope findet sich beispielsweise die folgende Aussage:

“Creating color images out of the original black-and-white exposures is equal parts art and science.”²⁰

In der Astronomie wird allerdings explizit zwischen wissenschaftlichen Bildern und „schönen“ Bildern, die für die Öffentlichkeit hergestellt werden, unterschieden.²¹

Lynch/Edgerton (1988) haben aber in Interviews mit Astronomen herausgefunden, dass auch die wissenschaftlichen Bilder bestimmten ästhetischen Kriterien genügen. Wie sie zeigen konnten, sind diese ästhetischen Kriterien aber eher im Sinne eines antiken Verständnisses von Ästhetik zu verstehen: nämlich in dem Sinne, dass die Natur durch das Handwerk (bzw. durch die Technik) perfektioniert werde.

Insbesondere die Verwendung von Falschfarben bei der Herstellung astronomischer Fotos dient nicht einer vordergründigen Ästhetik, sondern dazu, die realen Eigenschaften der Objekte zur Darstellung zu bringen. Das Ziel, das Astronomen ebenso wie andere Naturwissenschaftler mit der Bearbeitung von Fotos verfolgen, besteht darin, die Objekte mit naturalistischer Adäquatheit darzustellen, nicht darin, ästhetisch ansprechende Bilder herzustellen.

¹⁹ Benz (2001), S. 76.

²⁰ http://hubblesite.org/sci.d.tech/behind_the_pictures/meaning_of_color/tool.shtml.

²¹ Vgl. Lynch/Edgerton (1988).

Ästhetik im Verständnis der Naturwissenschaften hat nichts mit Subjektivität zu tun. Vielmehr geht es dabei um die objektive Darstellung von Sachverhalten, die nicht durch passives Aufzeichnen, sondern durch aktives, technisches Handeln erst aus den Dingen hervorzuholen ist.²²

Bildverarbeitung ist in diesem Sinne konstitutiv für die Erkenntnis; sie ist nicht als Manipulation mit der Absicht von Täuschung zu sehen.

Literatur

1. Bendicks (2004): Christian Bendicks, Visualisierungstechniken zur Exploration dynamischer Bilddaten. Diplomarbeit an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Simulation und Graphik der Fakultät für Informatik 2004
2. Benz (2001): Arnold Benz, Das Bild als Bühne der Mustererkennung: Ein Beispiel aus der Astrophysik, in: Bettina Heintz, Jörg Huber (Hrsg.), Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten, Zürich 2001, S. 65-78
3. Berry (2001): Richard Berry, The handbook of astronomical image processing, Richmond 2001
4. Boeble/Bönning (2004): Artur Boeble, Carl Bönning, Grundlagen der CCD Fotografie mit digitalen Spiegelreflexkameras, 2004, www.ineltech.de/download/dokumentation/Grundlagen%20der%20DSRK%20Fotographie.pdf [07.04.2006]
5. Bressler (2005): Peter Bressler, CCD Night 2005. Ein Programm für die Verarbeitung digitaler Astroatufnahmen, Sterne und Weltraum 12 (2005), S. 86 f.
6. CCD Night 2005 Beta, Help Wizard, www.ineltech.de [25.04.2006]
7. Galison (2004): Peter Galison, Abbild und Logik. Zur apparativen Kultur der Teilchenphysik, in: Jens Schröter, Alexander Böhnke (Hrsg.), Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum? Bielefeld 2004, S. 355-372
8. Howell (1992): Steve B. Howell, Astronomical CCD observing and reduction techniques, San Francisco 1992
9. Huff (1954): Darrell Huff, How to Lie with Statistics, New York 1954
10. Janesick (2001): James R. Janesick, Scientific Charge Coupled Devices, Washington 2001
11. Lynch/Edgerton (1988): Michael Lynch, Samuel Y. Jr. Edgerton, Aesthetics and digital image processing: representational craft in contemporary astronomy, in: Gordon Fyfe, John Law (eds.), Picturing Power. Visual Depiction and Social Relations, London, New York 1988, pp. 184-220
12. Müller/Groß (2006): Sabine Müller, Dominik Groß, Farben als Werkzeug der Erkenntnis. Falschfarbendarstellungen in der Gehirnforschung und in der Astronomie, in: Dominik Groß, Tobias Heinrich Duncker (Hrsg.), Farbe – Erkenntnis – Wissenschaft, Münster 2006, S. 93-116

²² Vgl. Lynch/Edgerton (1988), S. 214 f.

13. Rogowitz/Treinisch (2005): Bernice E. Rogowitz, Lloyd A. Treinisch, How NOT to Lie with Visualization, Copyright: IBM Foundation, <http://opendx.npaci.edu/cds/proceedings96/pravda/truevis.html> [23.07.2007]
14. Schröter (2004): Jens Schröter, Das Ende der Welt. Analoge vs. digitale Bilder – mehr oder weniger ‚Realität‘?, in: Jens Schröter, Alexander Böhnke (Hrsg.), Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum? Bielefeld 2004, S. 335-354
15. Stevens (1966): S[] S[] Stevens, Matching Functions Between Loudness and Ten Other Continua, Perception and Psychophysics 1 (1966), pp. 5-8

Internet

1. <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap050205.html> (NASA Web Site) [23.07.2007]
2. http://hubblesite.org/sci.d.tech/behind_the_pictures/meaning_of_color (Hubble Site) [23.07.2007]
3. www.uni-koeln.de/rrzk/software/grafik/imageprocessing/informationen/falschfarben.html (Universität zu Köln, Zentrum für Angewandte Informatik) [23.07.2007]

Abbildungen

Abbildung 1: CCD-Chip mit Farbraster, Quelle: CCD Night 2005 Beta, Help Wizard, www.ineltech.de

Abbildung 2: Einfluss der Skalierung auf die Darstellung, Quelle: CCD Night 2005 Beta, Help Wizard, www.ineltech.de

Abbildung 3: Prinzip des Skalierens durch die Setzung von Schwarz- und Weißpunkt, Quelle: CCD Night 2005 Beta, Help Wizard, www.ineltech.de

Abbildungen auf Farbtafel 3

Abbildung A: Die sieben Darstellungen zeigen die Galaxie NGC 1512 jeweils bei verschiedenen Wellenlängen aufgenommen, Quelle: http://hubblesite.org/gallery/behind_the_pictures/meaning_of_color/filters.php

Abbildung B: a) Natural color (Galaxie ESO 510-G13), b) Representative color (Saturn), c) Enhanced color (Cat's Eye Nebular), Quelle: http://hubblesite.org/sci.d.tech/behind_the_pictures/meaning_of_color/toolbox.shtml

Abbildung C: fMRT-Bilder, Quelle: Rogowitz/Treinisch (2005), Figure 1

Abbildungen auf Farbtafel 4

Abbildung A: Isomorphe Farbskalen, Quelle: Rogowitz/Treinisch (2005), Figure 2

Abbildung B: Isomorphe Farbskalen, Quelle: Rogowitz/Treinisch (2005), Figure 3

Abbildung C: Das Data Explorer Programm mit PRAVDAColor, Quelle: Rogowitz/Treinisch (2005), Figure 6

Farbtafel 3

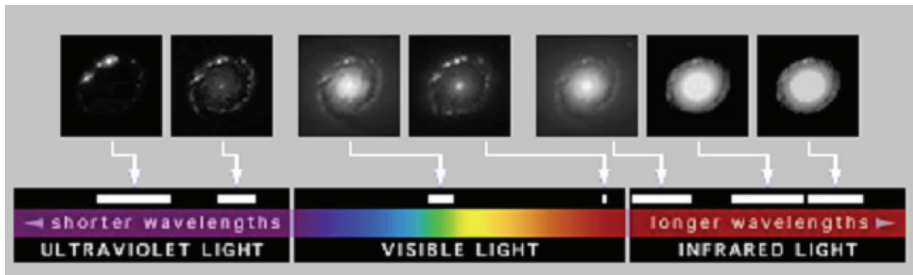


Abbildung A: Die sieben Darstellungen zeigen die Galaxie NGC 1512 jeweils bei verschiedenen Wellenlängen aufgenommen

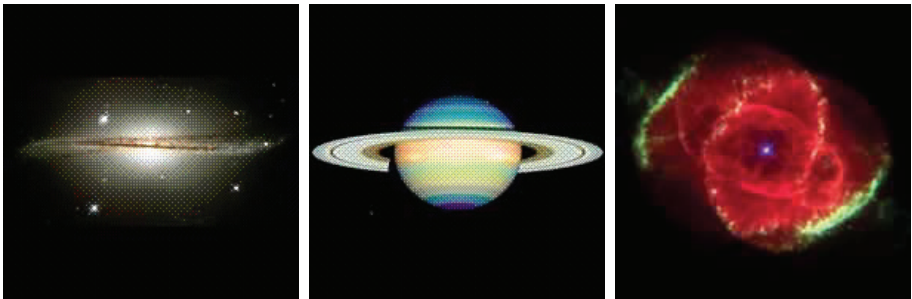


Abbildung B:

a) Natural color
(Galaxie ESO 510-G13)

b) Representative color
(Saturn)

c) Enhanced color
(Cat's Eye Nebula)

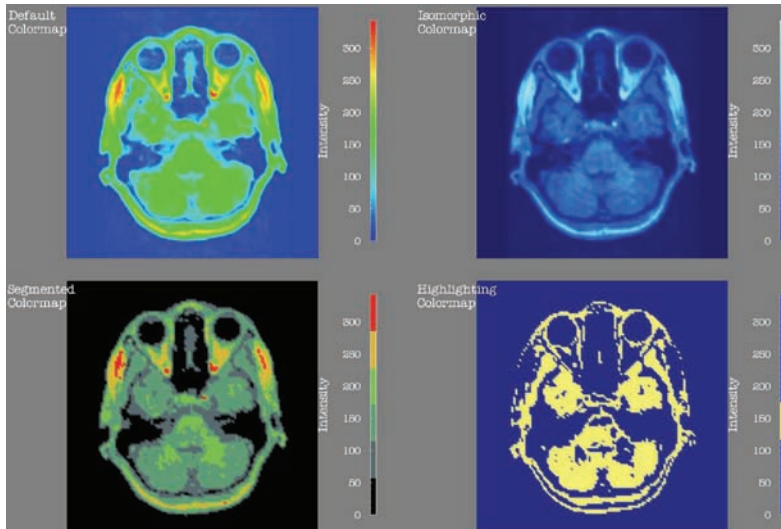


Abbildung C: fMRT-Bilder (Dieselben Daten werden mit vier verschiedenen Farbskalen dargestellt)

Farbtafel 4

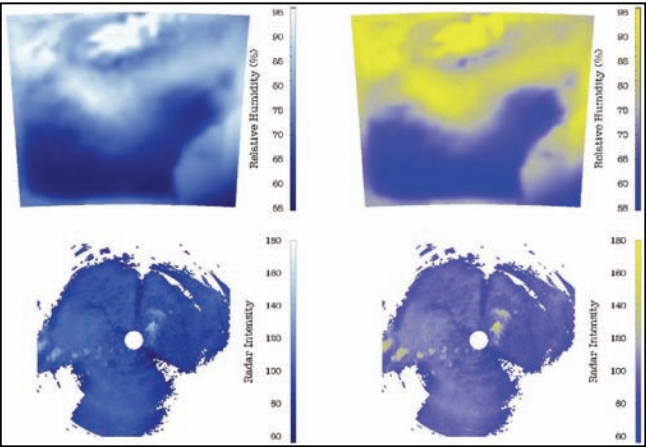


Abbildung A:
Isomorphe Farbskalen
obere Reihe:
räumlich gering aufgelöste
Daten eines Wettermodells
untere Reihe:
räumlich hoch aufgelöste Da-
ten von einem Radarscan
linke Spalte:
helligkeitsbasierte Farbskala
rechte Spalte:
sättigungs-basierte Farbskala

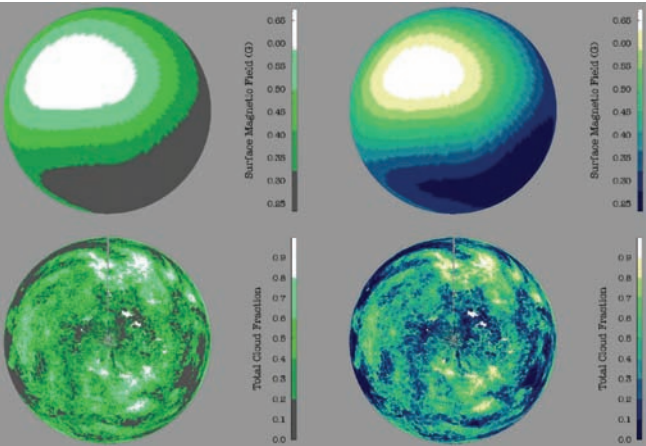


Abbildung B:
Isomorphe Farbskalen
linke Spalte:
Farbskala mit fünf Niveaus
rechte Spalte:
Farbskala mit zehn Niveaus
obere Reihe:
gering aufgelöste Daten (Mag-
netfeld der südlichen Erdhe-
misphäre)
untere Reihe:
hoch aufgelöste Daten (Anteil
von Wolken)

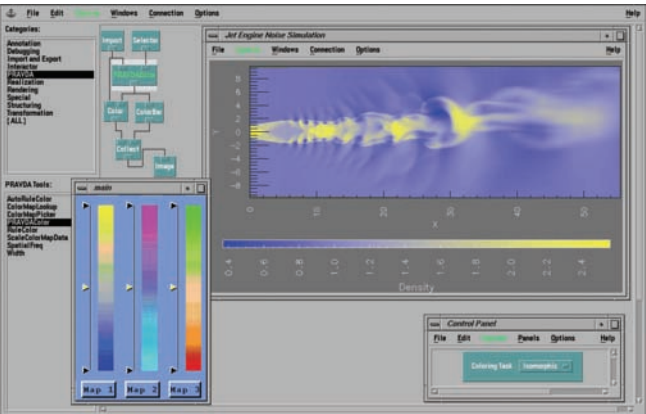


Abbildung C:
Das Data Explorer Programm
mit PRAVDAColor

C. Bild und Erkenntnis

Geometrie und Philosophie – Zur Visualisierung metaphysischer Konzepte durch räumliche Darstellungen in der pythagoreischen Philosophie

David Engels

1. Einleitung

Ein repräsentativer Überblick über das komplexe Thema der Visualisierung intellektueller Konzepte durch optisch erfassbare Darstellungen¹ kann, jedenfalls im Rahmen der europäischen Geistesgeschichte, kaum je zufrieden stellend erarbeitet werden, ohne die Wurzeln eben jener intellektuellen Entwicklung des Abendlandes in der klassischen Antike zu berücksichtigen. Tatsächlich stellt diese keineswegs nur etwa als „Vormoderne“ einen vielleicht antiquarisch interessanten, verständnisgeschichtlich aber zu vernachlässigenden „Vorlauf“ dar;² sie bildet vielmehr den unverzichtbaren Grundstein der späteren geistigen Entwicklung unseres Kontinents, präfiguriert sie doch einen Großteil des im Mittelalter Verlorenen und erst in der Neuzeit mühsam Neuerarbeiteten und muss daher imperativ ihre Berücksichtigung bei der Untersuchung eines jeden geschichtlichen Themas fordern.³

Dies trifft umso mehr auf das Thema der Visualisierung zu, welches eine ganz besonders innige Beziehung zur Lebenswelt der klassischen Antike besitzt, die wohl mehr als jede andere menschliche Kultur in hohem Maße eine Kultur des Körperlichen, unmittelbar optisch und plastisch Erfassbaren war, in welcher Sehen und Tasten zu den wichtigsten und anspruchsvollsten Sinnen auch des geistigen Verständnisses gehörten, ließ doch die gleißende Sonne der klassischen Landschaften Griechenlands und Italiens keine bloße Skizze, keine versuchsweise Annäherung, kein nebelhaftes Erahnen zu, sondern verlangte von allen Objekten materielle wie ästhetische Perfektion. Durchaus zu Recht formulierte Spengler einmal, dass die *„Seele der antiken Kultur [...] den sinnlich-gegenwärtigen Einzelkörper zum Idealtypus des Ausgedehnten wählte“*;⁴ im Gegensatz zur abendländischen, deren Ursymbol vielmehr die in den grenzenlosen Raum gerichtete Dynamik, der „faustische Drang“ sei. Diese Besonderheit antiker Körperlichkeit musste auch die Ausarbeitung geistiger Konzepte prägen, und es ist kein Wunder, wenn die Bestimmung des philosophischen Urgrunds, welcher Essenz alles Seienden sei, der ἀρχή, meist ausschließlich im Körperlichen unternommen wurde⁵ und nacheinander Thales

¹ Vgl. als einführende Literatur zum Thema „Visualisierung“ – freilich ohne Berücksichtigung metaphysischer Konzepte – Card/Mackinley/Shneiderman (1999); Bederson/Shneiderman (2003); Chen (2004).

² Zum mehr als zweifelhaften Begriff der „Vormoderne“, dessen pauschale Subsumierung all dessen, was jenseits des jeweils vergegenwärtigten zeitlichen Horizonts der „Moderne“ und „Postmoderne“ liegt, letztlich einen unerklärlichen Rückschritt gegenüber der v. a. im 19. Jh. gelungenen Ausdifferenzierung und inneren Würdigung einzelner Kulturepochen darstellt, vgl. jetzt auch Latour (1993).

³ Zur Vermittlung antiker mathematischer Wissenschaften an das Abendland vgl. Juschkevitch (1964); Folkerts (1992) und ders. (2001).

⁴ Spengler (1923/1997), S. 234. Vgl. zur Problematik antiker Körperlichkeit jetzt Sennett (1995); Davidson (1997); Groppe (2000).

⁵ Zur Theorie der ἀρχή vgl. Gigon (1968); Schadewaldt (1978).

(624-546 v. Chr.) das Wasser (ὕδωρ)⁶, Anaximander (610-545 v. Chr.) das körperhaft verstandene Unbestimmte (das ἄπειρον)⁷ und Anaximenes (585/4-528/4 v. Chr.) die Luft (πνεῦμα)⁸ jeweils als Ursachen des weltlich Präsenten interpretierten und diese Deutung auch naturwissenschaftlich zu untermauern suchten. Im Folgenden soll nun ein kurzer Überblick über die innige Verbindung von Metaphysik und Geometrie in der Philosophie des Pythagoras und der Pythagoreer gegeben werden, wobei der Schwerpunkt des Beitrags eher auf dem wechselseitigen Bezug metaphysischer Spekulation und den entsprechenden geometrischen, also visuellen Umsetzungen liegen soll als auf einer mathematikhistorischen Kritik einzelner Theoreme und deren Entstehung.

2. Zum methodischen Ansatz frühen griechischen Philosophierens

Pythagoras eignet sich in diesem Kontext ganz besonders als Thema, da – mit Ausnahme Platons – wohl kein anderer Philosoph der Antike in solchem Maß logische Konstruktion mit philosophischer Spekulation verbunden hat. Tatsächlich zählte es zu den Grundkonstanten frühen griechischen Spekulierens, die in späteren Zeiten entstandene und besonders im Hellenismus hoch entwickelte Scheidelinie zwischen den einzelnen Disziplinen des Denkens⁹ bewusst zu überschreiten und den Akt des Denkens als nicht fachlich begrenzt, sondern vielmehr allumfassend zu imaginieren. Allein der – später fälschlicherweise Pythagoras zugeschriebene¹⁰ – Begriff der φιλοσοφία,¹¹ des Freundseins mit dem Wissen, zeigt sowohl die Bescheidenheit des Denkers, der das Epithet eines echten σοφός nur der Gottheit vorbehält,¹² als auch die Einheit frühzeitlichen Denkens, in welcher die heute leider oft hervorgehobene, scheinbar fundamentale Trennung zwischen so genannten „exakten“ und so genannten „geisteswissenschaftlichen“ Disziplinen transzendiert wurde und die metaphysische Spekulation Hand in Hand ging mit der empirisch-exakten Analyse des greifbar Seienden.¹³ Philosophie ist daher von Anfang an das Streben nach Wissen um das „Ganze“ und hat somit als Tätigkeit des Geistes ihren Zweck in sich selbst.¹⁴ So ist es denn auch kein Wunder, wenn die großen Denker der Frühzeit gleichzeitig Naturwissenschaftler und Mathematiker waren – ein Zustand, der ja bis zu Kant auch die mittelalterliche und neuzeitliche Philosophie bestimmen sollte – und so etwa Thales die Höhe der Pyramiden durch die

⁶ Arist. Metaph. 1,3,983 b 22 (DK 11 A 12); Diog. Laert. 1,27 (DK 11 A 1). Zu Thales vgl. Colli (1992). Allg. zur Schule von Milet Lahaye (1966).

⁷ Simplic. Phys. 24,18 (DK 12 B 1); vgl. auch Diog. Laert. 2,1 (DK 12 A 1). Zum ἄπειρον vgl. Seligman (1974); Kahn (1994); Couprie/Hahn/Naddaf (2003).

⁸ Aet. 1,3,4 (DK 13 B 2); vgl. auch Diog. Laert. 2,3 (DK 13 A 1).

⁹ Zur Spezialisierung von Wissen in der Antike vgl. Hadot (1979).

¹⁰ Diog. Laert. 1,12 (= Herakleides Fr. 87 Wehrh.). Laut Cic. Tusc. 5,3,4 soll Pythagoras zudem als erster Denker φιλοσοφία und σοφία explizit miteinander kontrastiert haben. Zum Ursprung des Begriffs, der zuerst bei Heraklit (DK 22 B 35) belegt ist, vgl. Burkert (1960).

¹¹ Zur Definition der φιλοσοφία vgl. etwa Jaeger (1928); Chroust (1947); Malingrey (1961); Burkert (1962); Krämer (1964); de Vogel (1970); Bien (1982); Mansfeld (1985); Hadot (1991).

¹² So Plat. Phaidr. 278d; Aristot. Metaph. 982b 17 ff.

¹³ Hierzu Koyré (1968); Knorr (1981); Zhmud (1994).

¹⁴ Aristot. Protrepticus fr. 6; Plot. 3,8.

Messung ihrer Schattenhöhe, die Vorbestimmung der Sonnenfinsternis vom 28.5.585 v. Chr. durch das Studium der babylonischen Sarosperiode und die Konstruktion eines ozeanischen Distanzmessers gelungen sein soll,¹⁵ während etwa die Lehre vom Freischweben der Erde und der Bahn der Planeten erstmals von Anaximander gefasst wurde, der auch eine Sonnenuhr, einen Himmelsglobus und eine Erdkarte entwarf,¹⁶ und schließlich Anaximenes bewies, dass der Mond sein Licht nur von der Sonne habe, und damit auch Sonnen- und Mondfinsternisse zu erklären vermochte, wobei er neben der Erde auch Sonne und Mond erstmals als planetenartige Körper erfasste.¹⁷

Es ist also nicht erstaunlich, dass sich in einem solchen geistigen Klima auch die Geometrie breit entfalten¹⁸ und hierbei von den regen Kontakten der kleinasiatischen Griechenstädte zur hoch entwickelten Kultur der vorderasiatischen Reiche profitieren konnte.¹⁹ Die Geometrie ist, wie der Begriff selbst nahelegt, direkt aus der Feldvermessung entstanden²⁰ und wurde später als Bestandteil der Mathematik aufgefasst, zusammen mit der Arithmetik als einer theoretischen und der Mechanik, Astronomie, Optik und Geodäsie als praktischen Nachbardisziplinen.²¹ Schon Aristoteles verstand die Geometrie im 4. vorchristlichen Jahrhundert als präzise, axiomatisch aufgebaute Wissenschaft,²² so dass wir davon ausgehen können, dass sie sich schon sehr früh von spekulativen Versuchen in die Richtung einer exakten Disziplin entwickelt hat. Geometrische Erkenntnisse fanden dann auch in allen anderen exakten Wissenschaften Anwendung und wurden zur visuellen Untermauerung logischer Argumentation²³ und zum Beweis algebraischer Problemata verwendet, so dass Spengler nicht zu Unrecht formulierte: „*Alle antike Mathematik ist im letzten Grunde Stereometrie.*“²⁴ Erkenntnisse wie etwa die von der Rechtwinkligkeit eines Dreiecks, welches solcherart in einen Kreis eingeschrieben ist, dass eine Seite gleichzeitig auch den Kreisdurchmesser darstellt und jede Ecke den Kreisumfang berührt, sind daher einem frühen Denker wie Thales von Milet sicherlich nicht akzidentell zugeschrieben worden,²⁵ wenn der Satz auch – und dies ist kaum ein Zufall – später einerseits dem Pythagoras angedichtet wurde,²⁶ andererseits behauptet werden konnte, Thales habe seine geometrischen Erkenntnisse bei seinen

¹⁵ Diog. Laert. 1,23 und 27 (DK 11 A 1); Hdt 1,74 (DK 11 A 5).

¹⁶ Abstand, Größe und Bahn der Gestirne: Hippol. Ref. 1,6,1-7; Aet. 2,13,7; Simpl. de caelo 471,1 (DK 12 A 11, 18, 19); Zylinder bzw. Kugelgestalt: Aet. 5,19,4 (DK 12 A 30); Sonnenuhr: Diog. Laert. 2,1 f. (DK A 1); Erdkarte und Himmelsglobus: Diog. Laert. 2,1 f.; Suid. s.v. Anaximandros; Agathemer 1,1 (DK 12 A 1, 2 und 6).

¹⁷ Diog. Laert. 2,3 (DK 13 A 1).

¹⁸ Zum Beginn der antiken Geometrie vgl. Allman (1889); Heath (1921); van der Waerden (1956); Becker (1957a); Neugebauer (1957) und (1964); van der Waerden (1978).

¹⁹ Lloyd (1991).

²⁰ Vgl. etwa Aristoph. Nub. 202.

²¹ Proklos in Eucl. El. 1 p. 38,4-12 Fr.

²² Aristot. Metaph. B 2,997 b 26.

²³ Proklos in Eucl. El. 1 p. 211,18 ff. Fr.; hierzu auch Bochenski (1956), S. 330.

²⁴ Spengler (1923/1997), S. 87.

²⁵ Zum Thalesatz vgl. Diog. Laert. 1,24 (DK 11 A 1). Hierzu ausführlich Krafft (1971), S. 90 f.

²⁶ Diog. Laert. 1,25 (DK 11 A 1).

Reisen aus der ägyptischen Geodäsie übernommen,²⁷ die ja bereits lange vorher ähnliche geometrische Sätze entwickelt hatte, so dass der Automatismus, mit dem die Griechen ihren großen Denkern (wie ja etwa auch Solon und Pythagoras)²⁸ zuschrieben, ihr Wissen aus ägyptischen Quellen geschöpft zu haben, nicht erstaunt.

3. Pythagoras von Samos

Pythagoras von Samos (um 570 - um 480 v. Chr.)²⁹ und seine Schüler spielen im Rahmen der griechischen Philosophie bei der Entstehung der engen Wechselwirkung zwischen Metaphysik und Geometrie und damit zwischen philosophischer Abstraktion und geometrischer Visualität eine zentrale Rolle. So sagt etwa Aristoteles explizit, dass sie die ersten waren, die sich systematisch mit der Mathematik beschäftigten und diese bedeutend weiterentwickelten, da sie der Überzeugung waren, dass die mathematischen Grundsätze auch alle anderen Bereiche des Lebens regeln.³⁰ Nur wenig ist über Leben und Werk des Pythagoras bekannt, so dass Zeller zu Recht schreibt, „daß wir nur einen gigantischen Schatten seiner Person durch die Geschichte schreiten sehen.“³¹ Pythagoras hat im Gegensatz zu den meisten anderen Vorsokratikern offenbar keine Schriften hinterlassen, jedoch eine Schule gegründet, welche sein Andenken in höchsten Ehren hielt und auf die Verbindlichkeit seiner oft nur den Eingeweihten zugänglichen Lehrsätze achtete. Letztere verlangten, mit dem Attribut αὐτὸς ἔφα versehen, absolute Unterordnung³² und waren eben deshalb aber auch späteren Fälschungen gegenüber besonders anfällig. Dementsprechend kursierten schnell zahlreiche Pseudopythagoreica,³³ und wir wissen meist nicht, welche philosophischen Erkenntnisse bereits von Pythagoras gelehrt wurden und für uns nur noch bei seinen Schülern fassbar sind, oder was ihm umgekehrt nur um seiner Autorität willen zugeschrieben wurde. Wenn auch Aristoteles³⁴ den Pythagoreern eine eigene, heute verlorene Schrift widmete, stammen unsere Hauptquellen erst aus der Zeit des Neupythagoreismus,³⁵ also zwischen dem 1. Jahrhundert v. Chr. und dem 3. Jahrhundert n. Chr., und sind mit den Lehren zahlreicher anderer Philosophenschulen vermischt, wie etwa die Zeugnisse Ciceros zeigen.³⁶ Zwar fasste Diogenes Laertios alles ihm Bekannte in seinen Philosophenbiografien zusammen,

²⁷ Diog. Laert. 1,24 (DK 11 A 1).

²⁸ Solon: Plat. Tim. 24a; Krit. 113b; Plut. Sol. 31; Diog. Laert. 1,50; Pythagoras: Diog. Laert. 8,3 Allg. vgl. Griffiths (1952); Froidefond (1971).

²⁹ Zu Pythagoras vgl. Delatte (1922); Lévy (1927); Morrison (1956); von Fritz (1963); Cuccioli Melloni (1969); Demand (1973); Gorman (1979).

³⁰ Arist. Metaph. 986 a 12.

³¹ Zeller/Nestle (1928), S. 36.

³² Cic. nat. deor. 1,10; Diog. Laert. 8,46.

³³ Burkert (1961); Thom (1995).

³⁴ Arist. Metaph. 1,5,986a 29 (Fr. 191 Rose) (DK 14 A 7). Hierzu Gilbert (1909); Philip (1959) und ders. (1963).

³⁵ O'Meara (1989).

³⁶ Zum römischen Neupythagoreismus und der Gestalt des Nigidius Figulus vgl. etwa Legrand (1930); Della Casa (1962); Engels (2007), S. 126 f. Zu Ciceros Glaubwürdigkeit als Quelle zur pythagoreischen Philosophie vgl. Gigon (1973).

während die Neoplatoniker Porphyrios³⁷ und Jamblich³⁸ jeweils eine Biografie des Pythagoras kompilierten, doch ist letztlich kaum Glaubwürdiges über den historischen Pythagoras oder dessen Lehre überliefert, deren Umfassendheit jedenfalls sprichwörtlich gewesen sein muss, richtete doch etwa Heraklit gegen ihn den Vorwurf der Vielwissenheit.³⁹

Von seinem Leben wissen wir nur, dass er eines Tages vor der Tyrannis des Polykrates aus dem heimatlichen Samos nach dem unteritalischen Kroton flüchtete und hier einen sowohl philosophisch als auch politisch ausgerichteten Bund gründete, bevor er schließlich auf der Flucht vor politischen Anfeindungen nach Metapont umsiedeln musste, wo er um 480 v. Chr. starb.⁴⁰ Dieser Pythagoreerbund⁴¹ war durch eine besondere Art der Lebensführung gekennzeichnet⁴² und strebte danach, die Reinigung des Geistes und des Körpers (κάθαρσις) zu erreichen, indem er strenge Lebenshaltungsvorschriften (ἀκούσματα) berücksichtigte. Zu diesen zählten neben einer Novizenzeit mit Schweigegebot⁴³ auch die Verpflichtung zu geistiger Arbeit, Gymnastik und Musik⁴⁴ sowie strenge Speisevorschriften.⁴⁵ Dies sollte ermöglichen, aus dem Kreis der Wiedergeburt auszubrechen⁴⁶ – ein ursprünglich un griechisches Konzept, welches für die Ethik des Pythagoras von höchster Bedeutung war und das der Philosoph einer falschen Legendentradition gemäß wie so vieles andere aus Ägypten übernommen haben soll,⁴⁷ höchstwahrscheinlich aber eher der orientalisches geprägten Orphik zu verdanken hatte.⁴⁸ Der Pythagoreerbund war streng hierarchisch gegliedert, da die Pythagoreer, wie später Platon, eine arithmetische Gleichheit der Menschen zugunsten einer geometrischen, also proportionalen ablehnten.⁴⁹ Dies führte dann zum Versuch des Bundes, in die Politik Großgriechenlands einzugreifen, wobei es ihm zeitweise gelang, von Kroton aus auch Metapont, Lokri, Rhegion und Zankle zu kontrollieren und hier eine Art

³⁷ Jäger (1919).

³⁸ Zu Jamblichs Pythagoras-Vita vgl. Rohde (1901); Festugière (1938); Boyancé (1939).

³⁹ Diog. Laert. 9,1 (DK 22 B 40). Herodot 4,95 nennt ihn allerdings anerkennend „nicht den schwächsten Sophisten der Hellenen“.

⁴⁰ Iust. 20,4,17.

⁴¹ Zum Pythagoreismus vgl. Delatte (1915); Cornford (1922/1923); Maddalena (1954); Thesleff (1961); Burkert (1962); De Vogel (1966); Philip (1966); Burkert (1972); Kahn (1974); van der Waerden (1979); Mattéi (1993).

⁴² Plat. Pol. 10, 600b.

⁴³ Plat. Phaid. 64a ff.

⁴⁴ Zum Tagesablauf der Pythagoreer vgl. Iambl. Vita Pyth. 96-100.

⁴⁵ Vgl. etwa Hdt. 2,81 (Verbot wollener Kleidung); Plat. Nom. 8,840a (geschlechtliche Enthaltsamkeit); Diog. Laert. 8,20 (Enthaltung von Fleisch und Bohnen). Hierzu allg. Scarborough (1982).

⁴⁶ Diog. Laert. 8,36 (DK 21 B 7). Empedokles (bei Porph. Vita Pyth. 30; DK B 129) zufolge soll Pythagoras sein außergewöhnliches Wissen der Tatsache verdanken, dass er sich an all das erinnerte, was er in seinen letzten 10 oder 20 Einkörperungen gelernt habe. Pythagoras galt seinen Anhängern dementsprechend wohl auch als eine Art Halbgott; vgl. Arist. de Pyth. fr. 2 Ross; Iambl. vit. Pyth. 143 f. Vgl. allg. Rougier (1933); Long (1948).

⁴⁷ Hdt. 2,123. Dies ist natürlich Unsinn, da die Ägypter nicht an die Seelenwanderung glaubten. Zu Pythagoras und Ägypten vgl. Kingsley (1994).

⁴⁸ Hierzu etwa Kerényi (1950); Casadio (1991); Parker (1995).

⁴⁹ Plat. Pol. 8,558c; Gorg. 507e und 508a; vgl. auch Plat. Nom. 6,757b.

Geistesaristokratie einzusetzen, die dann Ende des 5. Jahrhunderts von ihren politischen Feinden blutig niedergeschlagen wurde.⁵⁰

4. Zur Philosophie des Pythagoras und der frühen Pythagoreer

Zentral für die pythagoreische Metaphysik war der Satz, dass das Wesen aller Dinge die Zahl (ἀριθμός) sei,⁵¹ wenn auch umstritten ist, inwieweit jene Erkenntnis in solcher Deziertheit bereits bei Pythagoras zu vermuten ist oder vielmehr erst sekundär in seiner Schule entwickelt wurde.⁵² Hierbei mag die ausgiebige Beschäftigung mit der Musiktheorie⁵³ Auslöser für diese fundamentale Annahme gewesen sein, erkannten die Pythagoreer doch, dass die Tonhöhe von der Länge der Seite des Monochords⁵⁴ abhängig war und somit der musikalischen, sinnlich fassbaren Harmonie strenge mathematische, also nicht-sinnliche Prinzipien zugrunde liegen. Diese Erkenntnis vereinte sich nahtlos mit dem vielleicht auf persische Einflüsse zurückgehenden,⁵⁵ aus der Orphik übernommenen strengen Dualismus von Leib und Seele und der hierauf basierenden Seelenwanderungslehre und wurde als Gegensatz zwischen Stoff und Form bzw. in der pythagoreischen Terminologie zwischen Unbegrenztem (ἄπειρον) und Begrenztem (πέρας) zum kosmischen Gesetz erhoben, wobei beide Prinzipien zwar als gleichermaßen ursprünglich galten, das Begrenzende aber offensichtlich als das gute Prinzip verstanden wurde.⁵⁶ Die Zahl als Inbegriff mathematischer Abstraktion wurde demnach nicht etwa zur einzigen ἀρχή des Seienden gemacht, sondern als gestaltendes Prinzip betrachtet, das erst die Existenz der Welt, welche Pythagoras wohl als einer der ersten als κόσμος,⁵⁷ also Schmuck bezeichnete, als Synthese des sinnlich wie intellektuell Fassbaren ermöglichte. Hieraus ergab sich eine besondere Bedeutung der mathematischen Wissenschaften,⁵⁸ deren Ausarbeitung einem Gottesdienst gleichkam, da jede einzelne Zahl spekulativ einem Weltprinzip zugeordnet wurde.⁵⁹ Vor allem die ersten zehn Zahlen, welche (im dekadischen Zahlensystem) die Bausteine aller weiteren bilden, wurden besonders verehrt. So stellte die Eins die Einheit dar,⁶⁰ die Zwei das Prin-

⁵⁰ Pol. 2,39,1 f.; Iust. 20,4,17; Iambl. vita Pyth. 248 f.; Porph. 54; Diog. Laert. 8,1,3. Vgl. Corssen (1912); von Fritz (1940); Minar (1942) und (1944); Musti (1989) und (1990).

⁵¹ Etwa bei Arist. Metaph. 987 b 27-29: καὶ ἔτι ὁ μὲν τοὺς ἀριθμοὺς παρὰ τὰ αἰσθητά, οἱ δ' ἀριθμοὺς εἶναι φασιν αὐτὰ τὰ πράγματα, καὶ τὰ μαθηματικά μεταξὺ τούτων οὐ τιθέασιν.

⁵² So die Quintessenz bei Zhmud (1997).

⁵³ Porph. Comm. ad Harm. Ptol. p. 31,1 Düring. Hierzu Becker (1957b); Schumacher (1958); Levin (1975); Barbera (1982); Bowen (1982); Izzo (1987).

⁵⁴ Wantzloebe (1911).

⁵⁵ Vgl. Hippol. Ref. 1,2,12; Clem. Alex. Strom. 1,69; Apol. flor. 15; hierzu ausführlich Guthrie (1962), S. 253 ff.

⁵⁶ Arist. Eth. 1106 b 29.

⁵⁷ Arist. Metaph. 987 a 13; 1080 b 16. Zu Pythagoras' Verwendung des Begriffs Kosmos für das Weltganze vgl. Aet. 2,1,1; Diog. Laert. 8,48.

⁵⁸ Heidel (1940).

⁵⁹ Van der Waerden (1947–1949); Michel (1958); Zhmud (1989).

⁶⁰ Eine Behandlung der komplexen Frage, inwieweit die Eins selbst bereits aus zwei noch ursprünglicheren Prinzipien (στοιχεῖα), nämlich „Gerade“ und „Ungerade“ zusammengesetzt sei, kann hier nicht geliefert werden (Arist. Metaph. 1091 a 15–35 mit Phys. 203 a 7 f.; de Pyth. fr. 13 Ross).

zip der Dualität, die Drei die erste ungerade Zahl und gleichzeitig das reduktive Symbol für Anfang, Mitte und Ende,⁶¹ die Vier die erste exponentielle Größe und damit das Symbol der Gerechtigkeit, da durch die doppelte Zweiheit das Prinzip gleichberechtigter Gegenseitigkeit verkörpert wurde, und die Fünf das Symbol der Schöpfung und der Hochzeit, da hier sowohl die Zwei als Symbol des Paares wie die Drei als Symbol der Familie vereint seien, usw. Diese Zahlenmystik ermöglichte auch die Definition komplexer sittlicher und sozialer Begriffe mittels scheinbar mathematischer Terminologie.⁶² Vor allem die ersten vier Zahlen galten als heilig, da ihre Addition zugleich die Zahl zehn bildete;⁶³ eine spekulative Zahlenmystik, die sich auch kultisch niederschlug, wurden doch die pyramidal untereinander angeordneten Gruppen $1 + 2 + 3 + 4$ unter der Bezeichnung Tetraktys (τετρακτύς) ikonografisch dargestellt und terminologisch in einer Schwurformel als Äquivalent zum Weltprinzip ausgedrückt.⁶⁴

Diese Art optischer Visualisierung von Zahlen führte dann zur systematischen Umsetzung philosophischer Probleme in geometrische,⁶⁵ konnten aus zwei Punkten doch eine Linie, aus drei eine Fläche und aus vier bereits ein pyramidalen Körper mit vier Flächen und sechs Kanten gebildet werden,⁶⁶ während aus dem schrittweisen Aufbau von 1, 2, 4 und 8 quadratische Körper entstanden.⁶⁷ So fand die fundamentale Frage der Vorsokratik und letztlich einer jeden Philosophie, wie aus dem Einen das Viele, aus einem monistischen metaphysischen Prinzip die offenbare Vielheit der Dinge der Welt werden konnte,⁶⁸ scheinbar eine Antwort, die zudem visuell ebenso elegant wie eingängig dargestellt werden konnte. In dieser Hinsicht trat der Pythagoreismus auch durch eine zunehmend problembewusste Suche nach korrekten Definitionen geometrischer Körper hervor, referiert doch etwa Aristoteles, sie hätten abgelehnt, Kreis oder Dreieck durch die Anordnung der diese Formen umgebenden Linien zu definieren,⁶⁹ und bevorzugt, diese geometrischen Figuren durch Reduktion auf zentrale Punkte und damit auf Zahlenverhältnisse zu beschreiben.⁷⁰ Betrachtet man die Möglichkeit zur Konstruktion komplexer Körper im Pythagoreismus, wird auch die besondere Verehrung der Kugelgestalt verständlich, welche in Anbetracht der Frage nach der Quadratur des Kreises gleichzeitig höchste Komplexität mit ursprünglicher Einheit zu verbinden schien und daher auch von Pythagoras spekulativ der körperlichen Form der Erde zugrunde gelegt wurde.

⁶¹ Arist. Cael. 268 a 10.

⁶² Vgl. etwa Arist. Metaph. 985 b 29; 987 a 19 ff.; 1078 b 21; MM 1182 a 11.

⁶³ Arist. Metaph. 986 a 8.

⁶⁴ Ps. Iambl. Theol. Arithm. 18, p. 22 de Falco; Aet. 1,3,8; Porph. Vit. Pyth. 20; Iambl. Vit. Pyth. 150. Zur Tetraktys vgl. etwa Delatte, La tétractys pythagoricienne, in: ders. (1915), S. 249-268; zur Unterscheidung bzw. Parallele mit der Tetrade vgl. Kucharski (1952).

⁶⁵ Vogt (1909).

⁶⁶ Ps.-Iambl. Theol. Arith. pp. 84 f. de Falco.

⁶⁷ Sext. Emp. adv. Math. 10,282.

⁶⁸ Stokes (1971).

⁶⁹ Arist. Metaph. 1036 b 8.

⁷⁰ Alex. in Met. 512. 20 Hayduck.

Es ist nicht erstaunlich, dass die Aufzeichnung eines Dreiecks mit dem Seitenverhältnis $3/4/5$ zur Entwicklung des pythagoreischen Lehrsatzes führte,⁷¹ dass in allen ebenen rechtwinkligen Dreiecken die Summe der Flächeninhalte der Kathetenquadrate gleich dem Flächeninhalt des Hypotenusenquadrates ist. Dieser Satz kann zwar in dieser Form durchaus Pythagoras selbst zugeschrieben werden, geht aber letztlich bereits auf ähnliche Formeln der babylonischen Mathematik zurück,⁷² welche Pythagoras durch seine Reisen kennen gelernt haben soll.⁷³ Ähnlich führte seine Beschäftigung mit der Musik zur Aufdeckung mathematischer Proportionen,⁷⁴ bewies das Experimentieren an Saiteninstrumenten doch, dass ein Verhältnis von $1/2$ bei der Saitenlänge ein Intervall von einer Oktave ergab, $3/2$ eine reine Quinte und $4/3$ eine reine Quarte, so dass das durch Intervallschichtung hieraus ableitbare restliche musikalische Universum letztlich ebenfalls auf den Zahlen der Tetraktys aufbaut.⁷⁵ Dies erklärt auch die Theorie des pythagoreischen Kommas, welches daraus entsteht, dass nach Schichtung von 12 reinen Quinten wider Erwarten nicht etwa derselbe Ton entsteht wie der, der sich durch Schichtung von 7 reinen Oktaven vom Ausgangston ergibt, sondern ein eben um das pythagoreische Komma leicht in die Höhe differierender Ton (die Intervallbeziehung nach Quintschichtung ist $4096/531441$ [also $1/129,74337890625$], nach Oktavschichtung aber $1/128$; die Frequenzabweichung beider Töne entspricht ungefähr dem Verhältnis $1/1,01364$).

Ob Pythagoras selbst bewusst war, dass neben den ganzen Zahlen und den Brüchen ganzer Zahlen auch mathematische Größen bestehen, die sich zwar in ganz einfachen Körpern finden und visualisieren lassen, aber inkommensurabel sind,⁷⁶ oder diese Entdeckung erst Hipposos zugeschrieben werden muss, ist unsicher,⁷⁷ mag diese Erkenntnis doch ganz organisch aus den Untersuchungen zum Pythagorassatz entstanden sein. Jedenfalls stellte die genauere Definition dieses Phänomens, welches etwa geometrisch anhand der Bestimmung der Seite eines Quadrats mit Flächeninhalt 2⁷⁸ oder anhand eines regelmäßigen Fünfecks exemplifiziert wurde, ein beliebtes Problem griechischer Mathematik dar, wobei die Untersuchung der Inkommensurabilität mittels geometrischer Formen zeigt, dass man die optische Visualisierbarkeit und damit auch

⁷¹ Das erste griechische Zeugnis für den Satz, dass im rechtwinkligen Dreieck der Flächeninhalt des Quadrats über der Hypotenuse genauso groß wie die Summe der Flächeninhalte der beiden Kathetenquadrate ist, findet sich bei Arist. Anal. Pr. 41 a 26. Weiter vgl. Plut. mor. 1094 b; Diog. Laert. 8,12. Zum Pythagorassatz vgl. Naber (1908).

⁷² Zur Rückführung des pythagoreischen Dreiecks auf babylonische Lehren, welche auf keilschriftlichen Tafeln der Zeit Hammurabis gefunden wurden, vgl. Neugebauer (1935-1937), Bd. 1, S. 180; Bd. II, S. 53; Bd. III, S. 22.

⁷³ Str. 14,683; Iambl. Theol. Arithm. p. 53 de Falco.

⁷⁴ Theo Smyrn. Math. p. 57 Hiller; Diog. Laert. 8,12.

⁷⁵ Hierzu Barbera (1977), S. 294 f.

⁷⁶ Stamatis (1977).

⁷⁷ Es besteht die fromme Legende, der Entdecker der Inkommensurabilität sei von den Göttern für diesen Frevel gestraft worden und im Meer umgekommen; Schol. Eucl. 5, p.417 ed. Heiberg.

⁷⁸ Vgl. die Eingangssituation bei Plat. Theait.

geometrische Lösbarkeit des Problems rein algebraischer Abstraktion vorzog;⁷⁹ ein weiterer Beweis dafür, dass die Zahl für die Antike im Prinzip „*nicht ein Denken räumlicher Beziehungen, sondern für das leibliche Auge abgegrenzter, greifbarer Einheiten [ist]*“.⁸⁰

Harmonielehre und Zahlenmystik gingen dann in der pythagoreischen Astronomie eine seltsame Verbindung ein. So vertrat vielleicht schon Pythagoras parallel zur Tetraktys-Verehrung die Existenz von zehn Planetensphären, deren Zahl er durch Addition (von außen nach innen) des Fixsternhimmels, der fünf klassischen Planeten (Saturn, Jupiter, Mars, Venus und Merkur), von Sonne, Mond, Erde und schließlich einer „Gegen-erde“ zusammenbrachte,⁸¹ und deren Kreisbahnen um ein universelles Zentralfeuer er seiner mystischen Zahlenlehre entsprechend zu formulieren suchte. Da Pythagoras zudem beobachtet hatte, dass schwere Körper beim Fallen ein Geräusch erzeugten, resultierte für ihn daraus, dass auch die Planeten bei ihrer Umdrehung eine Art Sphärenharmonie bewirken,⁸² die der Mensch allerdings aufgrund seiner Gewöhnung an diesen Ton nicht wahrnehmen kann.⁸³

Diese philosophischen Überzeugungen, welche lange als Geheimlehren behandelt wurden (ἁπόρρητοι λόγοι),⁸⁴ konnten dann von seinen Schülern wie Alkmaion, Hippiasos und Philolaos⁸⁵ weiterentwickelt werden, welche das Doppelideal asketischer Lebensführung und wissenschaftlicher Forschung streng beibehielten. Spätestens im jüngeren Pythagoreismus trat allerdings eine Spaltung der Schule dergestalt ein, dass die so genannten Ἀκουσματικοί oder Pythagoristen v. a. an den alten Lebensregeln festhielten, die philosophische Tiefe der Lehre aber zunehmend verkommen ließen und zu einem flachen, pseudowissenschaftlichen System verformten, während der innere Gehalt des Pythagoreismus von den Μαθηματικοί weiterentwickelt wurde.⁸⁶ Als deren Haupt gilt Archytas von Tarent, der auch den zerschlagenen Pythagoreerbund erneuerte und v. a. als Mathematiker hervortrat; ihm kann die Entwicklung der Stereometrie und die Entdeckung des Infinitesimalen und Irrationalen zugeschrieben werden.⁸⁷ Xenophilos von Chalkis systematisierte vor allem die pythagoreische physikalische Zahlenlehre,⁸⁸ während Eurytos, ein Schüler des Philolaos, so weit ging, die Umrisse einzelner Weltkörper geometrisch zu visualisieren und zu berechnen und jedem Welt Ding somit

⁷⁹ Dies widerspricht nicht dem von Reidemeister (1942) festgestellten Übergang vom bloß Anschaulichen zum Begrifflichen im 5. und 4. Jahrhundert, sondern entspringt dem Bedürfnis nach der Lösung des Problems.

⁸⁰ Spengler (1923/1997), S. 87. Zur Analyse der Einschätzung irrationaler Zahlen in der Antike vgl. auch S. 87 f.

⁸¹ Arist. Phys. 293 a 20; Metaph. 986 a 6-13; de Pyth. fr. 16 Ross. Zur Frage, inwieweit diese Lehre nicht eher Philolaos zuzuschreiben ist, vgl. van der Waerden (1951); Pérez Sedeño (1986).

⁸² Arist. Cael. 290 b 12-29; Arist. de Pyth. fr. 13 Ross.

⁸³ Nur Pythagoras selbst vermochte der späteren pythagoreischen Hagiografie zufolge die Sphärenharmonie aufgrund seiner eigenen Halbgöttlichkeit zu vernehmen (Porph. vit. Pyth. 30 f.; Iambl. vit. Pyth. 65 f.). Hierzu allg. Junge (1947).

⁸⁴ Plat. Phaid. 62b.

⁸⁵ Huffman (1988); ders. (1993).

⁸⁶ Iambl. Vita Pyth. 81,87; Porph. Vita Pyth. 37; von Fritz (1960).

⁸⁷ Zeller/Nestle (1928), S. 91.

⁸⁸ Diog. Laert. 8,24 ff.

eine Zahl zuzuweisen.⁸⁹ Es sollte dann in der Folge aber vor allem Platon sein, der in Tarent Philolaos und Archytas kennen gelernt hatte,⁹⁰ der zahlreiche Lehren des Pythagoreismus in sein eigenes philosophisches System eingliederte.⁹¹ Platons Wertschätzung der mathematischen Disziplinen, welche in der Politeia zum Curriculum der Philosophenherrscher gehören, ist wohl bekannt⁹² und geht wahrscheinlich direkt auf pythagoreische Einflüsse zurück. Auch lehrte Platon im Timaios, dessen Hauptpart nicht ohne Grund einem Fremden aus dem süditalischen Lokri in den Mund gelegt ist (in welchem man unschwer einen Pythagoreer erkennen kann), dass die sichtbare Welt mittels Formen und Zahlen (εἶδεσί τε καὶ ἀριθμοῖς) konstruiert sei, da die vier Elemente jeweils einem geometrischen Körper entsprächen, so die Erde dem Würfel, das Feuer der Pyramide, die Luft dem Oktaeder, das Wasser dem Ikosaeder, während das Weltganze die Form eines Dodekaeders aufweise.⁹³

5. Schlussbemerkungen

Die Geschichte der mathematischen Wissenschaften ist mit der der philosophischen Spekulation seit jeher aufs innigste verbunden gewesen. Wenn auch in der Mathematik ein systematisches Aufbauen jüngerer Generationen auf dem Wissen der vorherigen möglich ist, so ist doch die Frage nach dem tieferen Verständnis dessen, was nun Zahl, Körper und Raum ihrer Essenz nach tatsächlich sind und wie sie sich kategoriell zum empirisch fassbaren Weltganzen verhalten, nur durch die Anwendung philosophischer Vermutungen möglich, wie auf der anderen Seite die Ausformulierung philosophischer Postulate mit einem gewissen Wahrheitsanspruch ohne Berufung auf die Grundsätze elementarer Logik und damit auf den aktuellen mathematischen Forschungsstand unmöglich ist. Geistes- wie Naturwissenschaften erweisen hier, in der Transzendierung scheinbarer Disziplinengrenzen, ihre Untrennbarkeit bzw. ihre Reziprozität. Spengler hat einmal formuliert, dass es „*keine Mathematik, [sondern] nur Mathematiken*“⁹⁴ gibt, und hat richtig erkannt, dass der jeweilige mathematische wie philosophische Wissensstand keineswegs nur als eine Art Momentaufnahme bei der Nachvollziehung eines scheinbar linearen Fortschritts zu deuten ist, sondern vielmehr Grundaussagen über Wesen und Gehalt einer jeden Kultur ermöglicht und von zeitgleichen politischen und kunstgeschichtlichen Entwicklungen kaum zu trennen ist. Diese Erkenntnis gilt auch und in besonderem Maße für die pythagoreische Philosophie, deren Grundlinien in ihrer Weitläufigkeit und sprichwörtlichen Allumfassung hier nur oberflächlich angedeutet werden konnten.

⁸⁹ Arist. Metaph. 1092 b 8.

⁹⁰ Plat. 7. Brief 338c ff.

⁹¹ Zur Beziehung zwischen Platon und dem Pythagoreismus vgl. Frank (1923); Boyancé (1966); van der Waerden (1969).

⁹² Plat. Pol. 525d; 527b; 529d. Hierzu Barbera (1981).

⁹³ Plat. Tim. 53b ff. Proklos in Eucl. o. 65,11 Friedlein schreibt diese fünf Körper Pythagoras selbst zu; dies ist aber laut Heidel (1940), S. 17 wenig glaubhaft. Zu diesen fünf Formen vgl. Sachs (1917); Stenzel (1924); Roman (1987); Adam/Wyss (1994).

⁹⁴ Spengler (1923/1997), S. 82.

Pythagoras hat weder als erster komplexe mathematische Theoreme formuliert, sind doch die Parallelen zu babylonischen Vorläufern zu offensichtlich, noch war er der einzige oder wichtigste Grieche, der im 6. Jahrhundert mathematisch tätig war, lag doch das Zentrum der griechischen Mathematik auch nach der Zeit der milesischen Naturphilosophen immer noch in Ionien,⁹⁵ dem der aus Samos gebürtige Pythagoras ja auch selbst entstammte. Doch ist es das Verdienst des Pythagoras gewesen, sich weder auf die vor allem handlungsorientierte Beschäftigung mit der Mathematik zu begrenzen, wie dies viele seiner Zeitgenossen taten, noch, wie die babylonischen Forscher, das Zahlendenken rein als Sammlung von Aufgaben und Lösungen zu betreiben, sondern hieraus ein System von aufeinander aufgebauten Lehrsätzen und Beweisen erstellt zu haben, welches die Grenzen reinen Rechnens zu überschreiten versuchte und erstmals systematisch auf Metaphysik, Harmonielehre, Astronomie und Ethik angewandt werden konnte. Die Erkenntnis der Zahl als Wesen aller Dinge bedeutete letztlich die Öffnung des später nicht ohne Grund gerade von Platon vermessenem Ideenkosmos durch die systematische Zugrundelegung abstrakter, zwar weltimmanenter, aber gleichzeitig übersinnlicher Prinzipien, also den Durchbruch von der reinen Körperhaftigkeit der noch im Theogonischen verhafteten milesischen Naturphilosophie hin zur nur noch geometrisch visualisierbaren Abstraktion mathematischen Denkens. Hierbei unterstreicht die geometrische Umsetzung der abstrakten Zahlenmystik die originelle Position des Pythagoras und seiner Zeitgenossen, wurde doch der algebraische Ansatz der babylonischen Mathematik systematisch zu einem geometrischen umgewandelt,⁹⁶ dies aber nicht nur zum Zwecke der Visualisierung, sondern aus der Notwendigkeit des philosophisch gewonnenen Postulats einer nicht aufzubrechenden Abhängigkeit von Metaphysik und Raumstruktur heraus, wie sie nach Pythagoras wohl erst wieder Platon, Plotin und Cusanus in solcher Intensität empfunden haben mochten.⁹⁷

Literatur

1. Adam/Wyss (1994): Paul Adam, Arnold Wyss, Platonische und Archimedische Körper, ihre Sternformen und polaren Gebilde, Stuttgart 1994
2. Allman (1889): George Johnston Allman, Greek Geometry from Thales to Euclid, Dublin 1889
3. Barbera (1977): Andre Barbera, Arithmetic and Geometric Divisions of the Tetrachord, *Journal of Music Theory* 21 (1977), pp. 294 f.
4. Barbera (1981): Andre Barbera, Republic 530C-531C: Another Look at Plato and the Pythagoreans, *American Journal of Public Health* 102 (1981), pp. 395-410

⁹⁵ So die Quintessenz bei Heidel (1940).

⁹⁶ Vgl. van der Waerden (1963), S. 287.

⁹⁷ Daher ist auch das bekannte Diktum Giordano Brunos keineswegs unberechtigt: „Wo findet sich ein Mann vergleichbar jenem Cusaner, der je größer um so weniger zugänglich ist? Hätte nicht das Priesterkleid sein Genie da und dort verhüllt, ich würde zugestehen, daß er dem Pythagoras nicht gleicht, sondern bei weitem größer ist als dieser.“ Zum Versuch, die philosophiezyklische Notwendigkeit dieser offensichtlichen Parallelen zu demonstrieren, vgl. Höhle (1984).

5. Barbera (1982): Charles Andre Barbera, *The Persistence of Pythagorean Mathematics in Ancient Musical Thought*, Chapel Hill 1982
6. Becker (1957a): Oscar Becker, *Das mathematische Denken der Antike*, Göttingen 1957
7. Becker (1957b): Oscar Becker, *Frühgriechische Mathematik und Musiklehre*, *Archiv für Musikwissenschaft* 14 (1957), S. 156-164
8. Becker (1964): Oscar Becker, *Grundlagen der Mathematik*, Freiburg 1964
9. Bederson/Shneiderman (2003): Benjamin B. Bederson, Ben Shneiderman, *The Craft of Information Visualization. Readings and Reflections*, San Francisco 2003
10. Bien (1982): Günther Bien, *Himmelsbetrachter und Glücksforscher. Zwei Ausprägungen des antiken Philosophiebegriffs*, *Archiv für Begriffsgeschichte* 26 (1982), S. 171-178
11. Bochenski (1956): Joseph Maria Bochenski, *Formale Logik*, Freiburg 1956.
12. Bowen (1982): Alan C. Bowen, *The Foundations of Early Pythagorean Harmonic Science: Archytas, Fragment 1*, *Ancient Philosophy* 2 (1982), pp. 79-104
13. Boyancé (1939): Pierre Boyancé, *Sur la „Vie pythagoricienne“ de Jamblich*, *Revue des études grecques* 52 (1939), pp. 36-50
14. Boyancé (1966): Pierre Boyancé, *L'influence pythagoricienne sur Platon*, in: *Filosofia e scienze in Magna Grecia. Atti del quinto convegno di studi sulla Magna Grecia (Taranto, 10-14 ottobre 1965) (ACSMG 5)*, Napoli 1966, pp. 73-113
15. Burkert (1960): Walter Burkert, *Platon oder Pythagoras? Zum Ursprung des Wortes „Philosophie“*, *Hermes* 88 (1960), S. 159-177
16. Burkert (1961): Walter Burkert, *Hellenistische Pseudopythagorica*, *Philologus* 105 (1961), S. 16-43 und 226-246
17. Burkert (1962): Walter Burkert, *Weisheit und Wissenschaft. Studien zu Pythagoras, Philolaos und Platon*, Nürnberg 1962
18. Burkert (1972): Walter Burkert, *Lore and Science in Ancient Pythagoreanism*, Cambridge 1972
19. Card/Mackinley/Shneiderman (1999): Stuart K. Card, Jock D. Mackinley, Ben Shneiderman (Hrsg.), *Readings in Information Visualization. Using Vision to Think*, San Francisco 1999
20. Casadio (1991): Giovanni Casadio, *La Metempsicosi tra Orfeo e Pitagora*, in: *Philippe Borgeaud (ed.), Orphisme et Orphée*, Genf 1991, pp. 119-155
21. Chen (2004): Chaomei Chen, *Information Visualization. Beyond the Horizon*, London 2004
22. Chroust (1947): Anton-Herrmann Chroust, *Philosophy. Its Essence and Meaning in the Ancient World*, *Philosophical Review* 56 (1947), pp. 19-58
23. Colli (1992): Giorgio Colli, *Sagesse grecque*, Bd. II, *Épiménide, Phérécyde, Thalès, Anaximandre*, Paris 1992
24. Cornford (1922/1923): Francis M. Cornford, *Mysticism and Science in the Pythagorean Tradition*, *Classical Quarterly* 16 (1922), pp. 137-150 und 17 (1923), pp. 1-12
25. Corssen (1912): Peter Corssen, *Die Sprengung des pythagoreischen Bundes*, *Philologus* 71 (1912), S. 332 ff.
26. Couprie/Hahn/Naddaf (2003): Dirk L. Couprie, Robert Hahn, Gerard Naddaf, *Anaximander in Context*, Albany 2003

27. Cuccioli Melloni (1969): Rita Cuccioli Melloni, *Ricerche sul Pitagorismo*, Bd. 1, *Biografia di Pitagora*, Bologna 1969
28. Davidson (1997): James N. Davidson, *Courtisans and Fishcakes. The Consuming Passions of Classical Athens*, London 1997
29. Delatte (1915): Armand Delatte, *Études sur la littérature pythagoricienne*, Paris 1915
30. Delatte (1922): Armand Delatte, *La Vie de Pythagore de Diogène Laërce*, Brüssel 1922
31. Della Casa (1962): Adriana Della Casa, *Nigidio Figulo*, Rom 1962
32. Demand (1973): N[] Demand, *Pythagoras, Son of Mnesarchos*, *Phronesis* 18 (1973), p. 91-96
33. De Vogel (1966): Cornelia Johanna De Vogel, *Pythagoras and Early Pythagoreanism*, Assen 1966
34. De Vogel (1970): Cornelia Johanna De Vogel, *Philosophia. Studies in Greek Philosophy*, Bd. I, Assen 1970, p. 78-91
35. Engels (2007): David Engels, *Das römische Vorzeichenwesen (753–27 v. Chr.). Quellen, Terminologie, Kommentar, historische Entwicklung*, Stuttgart 2007
36. Festugière (1938): André-Jean Festugière, *Sur la „Vita Pythagorica“ de Jamblique*, Paris 1937
37. Folkerts (1992): Menso Folkerts, *Zur Überlieferungsgeschichte mathematisch-naturwissenschaftlicher Texte im Westen*, in: Eva Horváth (Hrsg.), *Testimonia mathematica et geographica*, Egelsbach 1992, S. 1-32
38. Folkerts (2001): Menso Folkerts, s. v. *Mathematik*, *Encyclopedic Dictionary of Polymers* 15 (2001), 1, pp. 314-321
39. Frank (1923): Erich Frank, *Plato und die so genannten Pythagoreer*, Halle 1923
40. von Fritz (1940): Kurt von Fritz, *Pythagorean Politics in Southern Italy*, New York 1940
41. von Fritz (1960): Kurt von Fritz, *Mathematiker und Akusmatiker bei den alten Pythagoreern*, München 1960
42. von Fritz (1963): Kurt von Fritz, s. v. *Pythagoras*, in: August F. Pauly (Begr.), *Paulys Realencyclopädie der Classischen Altertumswissenschaft*, Bd. 24,1, Stuttgart 1963, Sp. 171-203
43. Froidefond (1971): Christian Froidefond, *Le mirage égyptien dans la littérature grecque d'Homère à Aristote*, Paris 1971
44. Gigon (1968): Olof Gigon, *Der Ursprung der griechischen Philosophie. Von Hesiod bis Parmenides*, Basel, Stuttgart 1968
45. Gigon (1973): Olof Gigon, *Cicero und die griechische Philosophie*, in: Wolfgang Haase et al. (Hrsg.), *Aufstieg und Niedergang der römischen Welt (ANRW)*, I, 4, Berlin 1973, S. 226-261
46. Gilbert (1909): O[] Gilbert, *Aristoteles' Urteile über die pythagoreische Lehre*, *Archiv für Geschichte der Philosophie* 22 (1909), S. 22-48 und 145-165
47. Gorman (1979): Peter Gorman, *Pythagoras: A Life*, London 1979
48. Griffiths (1952): John Gwyn Griffiths, *Herodotus and Aristotle on Egyptian Geometry*, *Classical Review* 2 (1952), pp. 10 f.
49. Groppe (2000): Carola Groppe, s. v. *Körperkultur*, in: Manfred Landfester (Hrsg.), *Der Neue Pauly*, Bd. 14, Stuttgart, Weimar 2000, Sp. 1042-1054

50. Guthrie (1962): William Keith James Guthrie, *The earlier Presocratics and the Pythagoreans*, Cambridge 1962
51. Hadot (1979): Pierre Hadot, *Les divisions des parties de la philosophie dans l'Antiquité*, in: *Museum Helveticum* 36 (1979), S. 202-223
52. Hadot (1993): Pierre Hadot, *Philosophie als Lebensform*, Berlin 1991
53. Heath (1921): Thomas Heath, *A History of Greek Mathematics*, Oxford 1921
54. Heidel (1940): William Arthur Heidel, *The Pythagoreans and Greek Mathematics*, *American Journal of Philology* 61 (1940), pp. 1-33
55. Höhle (1984): Vittorio. Höhle, *Wahrheit und Geschichte. Studien zur Struktur der Philosophiegeschichte unter paradigmatischer Analyse der Entwicklung von Parmenides bis Platon*, Stuttgart 1984
56. Huffman (1988): Carl A. Huffman, *The Role of Number in Philolaus' Philosophy*, *Phronesis* 33 (1988), pp. 1-30
57. Huffman (1993): Carl A. Huffman, *Philolaus of Croton. Pythagorean and Presocratic*, Cambridge 1993
58. Izzo (1987): A[] Izzo, *Musica e numero da Ippaso ad Archita*, in: A[] Capizzi, G[] Casertano (eds.), *Forme del sapere nei presocrati*, Rom 1987, pp. 137-168
59. Jäger (1919): Hans Jäger, *Die Quellen des Porphyrius in seiner Pythagoras-Biographie*, Zürich 1919 (Diss.)
60. Jaeger (1928): Werner Jaeger, *Über Ursprung und Kreislauf des philosophischen Lebensideals*, Sitz.-Ber. Berlin, philosophisch-historische Klasse (1928), S. 390-421
61. Junge (1947): G[] Junge, *Die Sphären-Harmonie und die pythagoreisch-platonische Zahlenlehre*, *Classica et Mediaevalia* 9 (1947), S. 183-194
62. Juschkevitch (1964): A[] P[] Juschkevitch, *Geschichte der Mathematik im Mittelalter*, Leipzig 1964
63. Kahn (1974): Charles H. Kahn, *Pythagorean Philosophy before Plato*, in: Alexander Mourelatos (ed.), *The Presocratics*, New York 1974, pp. 177-184
64. Kahn (1994): Charles H. Kahn, *Anaximander and the Origins of Greek Cosmology*, London 1994
65. Kerényi (1950): Karl Kerényi, *Pythagoras und Orpheus*, Zürich 1950
66. Kingsley (1994): Peter Kingsley, *From Pythagoras to the „Turba Philosophorum“*, *Egypt and Pythagorean Tradition*, *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes* 57 (1994), pp. 1-5
67. Kucharski (1952): Paul Kucharski, *Étude sur la doctrine pythagoricienne de la tétrade*, Paris 1952
68. Koyré (1968): Alexandre Koyré, *Metaphysics and Measurement. Essays in Scientific Revolution*, Cambridge 1968
69. Knorr (1981): Wilbur Richard Knorr, *On the Early History of Axiomatics. The Interaction of Mathematics and Philosophy in Greek Antiquity*, in: Jaakko Hintikka (ed.), *Theory Change*, Bd. V, Dordrecht 1981, pp. 146-186
70. Krämer (1964): Hans J. Krämer, *Der Ursprung der Geistesmetaphysik*, Amsterdam 1964
71. Krafft (1971): Fritz Krafft, *Geschichte der Naturwissenschaften*, Bd. I, Freiburg i. Br. 1971

72. Lahaye (1966): Robert Lahaye, *La philosophie ionienne*. L'École de Milet, Paris 1966
73. Latour (1993): Bruno Latour, *We Have Never Been Modern*, Cambridge 1993
74. Legrand (1930): Louis Legrand, P. Nigidius Figulus, philosophe pythagoricien orphique, Paris 1930
75. Levin (1975): Flora Levin, *The Harmonics of Nicomachus and the Pythagorean Tradition*, University Park 1975
76. Lévy (1927): Isidore Lévy, *Recherches sur les sources de la légende de Pythagore*, Paris 1927
77. Lloyd (1991): Geoffrey Ernest Richard Lloyd, *The Debt of Greek Philosophy and Science to the Near East*, in: ders. (ed.), *Methods and Problems in Greek Science*, Cambridge 1991, pp. 278-298
78. Long (1948): Herbert A. Long, *A Study of the Doctrine of Metempsychosis in Greece from Pythagoras to Plato*, Princeton 1948
79. Maddalena (1954): Antonio Maddalena, *I Pitagorici*, Bari 1954
80. Malingrey (1961): Anne-Marie Malingrey, „Philosophia“. Étude d'un groupe de mots dans la littérature grecque, Paris 1961
81. Mansfeld (1985): Jaap Mansfeld, *Myth, Science, Philosophy: A Question of Origin*, in: William M. Calder III et al. (eds.), *Hypatia. Essays presented to H. C. Barnes*, Boulder 1985, pp. 45-64
82. Mattéi (1993): Jean-Francois Mattéi, *Pythagore et les Pythagoriciens*, Paris 1993
83. Michel (1958): Paul-Henri Michel, *Les nombres figurés dans l'arithmétique pythagoricienne*, Paris 1958
84. Minar (1942): Edwin Minar, *Early Pythagorean Politics in Practice and Theory*, Baltimore 1942
85. Minar (1944): Edwin Minar, *Pythagorean Communism*, *Transactions of the American Philological Association* 75 (1944), pp. 34-46
86. Morrison (1956): J[] S[] Morrison, *Pythagoras of Samos*, *Classical Quarterly* 50 (1956), pp. 135-156
87. Musti (1989): Domenico Musti, *Pitagorismo, storiografia e politica tra Magna Grecia e Sicilia*, *Aion* 11 (1989), pp. 34-39
88. Musti (1990): Domenico Musti, *Le rivolte antipitagoriche e la concezione pitagorica del tempo*, *Quaderni Urbinati* 65 (1990), pp. 62-65
89. Naber (1908): Henri Adrien Naber, *Das Theorem des Pythagoras*, Haarlem 1908
90. Neugebauer (1935-1937): Otto Neugebauer, *Mathematische Keilschrifttexte*, Bd. I-III, Berlin 1935-1937
91. Neugebauer (1957): Otto Neugebauer, *The Exact Sciences in Antiquity*, Providence 1957
92. O'Meara (1989): Dominic J. O'Meara, *Pythagoras Revived. Mathematics and Philosophy in Late Antiquity*, Oxford 1989
93. Parker (1995): Robert Parker, *Early Orphism*, in: Anton Powell (ed.), *The Greek World*, London, New York 1995, pp. 500-504
94. Pérez Sedeño (1986): Eulalia Pérez Sedeño, *El rumor de las estrellas. Teoría y experiencia en la astronomía griega*, Madrid 1986

95. Philip (1959): James A. Philip, Aristotle's Monograph on the Pythagoreans, Transactions of the American Philological Association 90 (1959), pp. 185-194
96. Philip (1963): James A. Philip, Aristotle's Sources for Pythagorean Doctrine, Phoenix 17 (1963), pp. 251-265
97. Philip (1966): James A. Philip, Pythagoras and Early Pythagoreanism, Toronto 1966
98. Reidemeister (1942): Kurt Reidemeister, Mathematik und Logik bei Plato, Leipzig, Berlin 1942
99. Rohde (1901): Erwin Rohde, Die Quellen des Iamblichus in seiner Biografie des Pythagoras, in: ders. (Hrsg.), Kleine Schriften, Bd. II, Tübingen 1901, S. 102-172
100. Roman (1987): Tiberiu Roman, Reguläre und halbreuläre Polyeder, Berlin 1987
101. Rougier (1933): Louis Rougier, L'Origine astronomique de la croyance pythagoricienne en l'immortalité céleste des âmes, Kairo 1933
102. Sachs (1917): Eva Sachs, Die fünf platonischen Körper, Berlin 1917
103. Scarborough (1982): John Scarborough, Beans, Pythagoras, Taboos, and Ancient Dietetics, Classical Weekly 75 (1982), pp. 355-358
104. Schadewaldt (1978): Wolfgang Schadewaldt, Die Anfänge der Philosophie bei den Griechen. Die Vorsokratiker und ihre Voraussetzungen, Frankfurt a. M. 1978
105. Schumacher (1958): Joseph Schumacher, Musik als Heilfaktor bei den Pythagoreern, in: Hildebrandt Richard Teirich (Hrsg.), Musik in der Medizin, Stuttgart 1958, S. 1-17
106. Seligman (1974): Paul Seligman, The apeiron of Anaximander, A Study in the Origin and Function of Metaphysical Ideas, London 1974
107. Sennet (1993): Richard Sennett, Fleisch und Stein. Der Körper und die Stadt in der westlichen Zivilisation, Berlin 1995
108. Spengler (1923/1997): Oswald Spengler, Der Untergang des Abendlandes, Umriss einer Morphologie der Weltgeschichte, München ¹³1997 (als überarbeitete Gesamtausgabe zuerst erschienen München 1923; vorher Bd. I, Wien 1918; Bd. II, München 1922)
109. Stamatis (1977): E[] S[] Stamatis, Die Entdeckung der Inkommensurabilität durch Pythagoras, Platon 29 (1977), S. 187-190
110. Stenzel (1924): Julius Stenzel, Zahl und Gestalt bei Platon und Aristoteles, Leipzig 1924
111. Stokes (1971): Michael C. Stokes, One and Many in Presocratic Philosophy, Cambridge 1971
112. Thesleff (1961): Holgar Thesleff, An Introduction to the Pythagorean Writings of the Hellenistic Period, Åbo 1961
113. Thom (1995): Johan C. Thom, The Pythagorean Golden Verses, Leiden, New York, Köln 1995
114. van der Waerden (1947-1949): Bartel Leendert van der Waerden, Die Arithmetik des Pythagoras, Mathematische Annalen 120 (1947-1949), S. 680 ff.
115. van der Waerden (1951): Bartel Leendert van der Waerden, Die Astronomie der Pythagoreer, Amsterdam 1951
116. van der Waerden (1956): Bartel Leendert van der Waerden, Erwachende Wissenschaft, Basel 1956

117. van der Waerden (1963): Bartel Leendert van der Waerden, s. v. Pythagoreer, in: August F. Pauly (Begr.), *Paulys Realencyclopädie der Classischen Altertumswissenschaft*, Bd. 24,1, Stuttgart 1963, Sp. 209-300
118. van der Waerden (1969): Bartel Leendert van der Waerden, *Platon et les sciences exactes des Pythagoriciens*, *Bulletin de la Société Mathématique de Belgique* 21 (1969), pp. 120-122
119. van der Waerden (1978): Bartel Leendert van der Waerden, *Die Postulate und Konstruktionen in der frühgriechischen Geometrie*, *Archive for history of exact sciences* 18 (1978), pp. 343-357
120. van der Waerden (1979): Bartel Leendert van der Waerden, *Die Pythagoreer. Religiöse Bruderschaft und Schule der Wissenschaft*, Zürich 1979
121. Vogt (1909): Heinrich Vogt, *Die Geometrie des Pythagoras*, *Bibliotheca mathematica* 19 (1909), S. 15-54
122. Wantzloeben (1911): Sigfried Wantzloeben, *Das Monochord als Instrument und als System*, Halle 1911.
123. Zeller/Nestle (1928): Eduard Gottlob Zeller, *Grundriß der Geschichte der Griechischen Philosophie*, Leipzig ¹³1928 (zuerst 1883; Neubearbeitet durch Wilhelm Nestle)
124. Zhmud (1989): Leonid Zhmud, „All is Number?“ „Basic Doctrine“ of Pythagoreanism Reconsidered, *Phronesis* 34 (1989), pp. 270-292
125. Zhmud (1994): Leonid Zhmud, *Die Beziehungen zwischen Philosophie und Wissenschaft in der Antike*, *Sudhoffs Archiv* 78 (1994), S. 1-13
126. Zhmud (1997): Leonid Zhmud, *Wissenschaft, Philosophie und Religion im frühen Pythagoreismus*, Berlin 1997

Das „Siegel der Ewigkeit“ als Universalsymbol. Diagrammatik bei Heymericus de Campo (1395-1460)

Lioba Geis

In seiner Schrift *Tractatus de sigillo eternitatis* von 1433 stellt Heymericus de Campo, der bedeutende Kölner und Löwener Theologie- und Philosophieprofessor des ausgehenden Mittelalters, ein Diagramm vor, das er als *sigillum eternitatis*, als „Siegel“ oder „Abdruck der Ewigkeit“ bezeichnet (vgl. Farbtafel 5 – Abbildung A). Diese diagrammatische Figur besteht aus einem Kreis mit einem eingeschriebenen gleichseitigen Dreieck, von dessen Ecken aus Radien in den Kreismittelpunkt gezogen sind.¹ Ausgehend von diesem Diagramm nimmt Heymericus in seiner Schrift zu verschiedenen Themen der Philosophie und Theologie, zur Metaphysik, zum Trivium der *artes liberales*, zu Moral und Ethik, zur Ekklesiologie und nicht zuletzt zur Theologie des Thomas von Aquin Stellung; dabei sind Bild und Text, visuelle und diskursive Herangehensweise an die diskutierten Themen der Zeit wechselseitig aufeinander bezogen.²

Ausgehend von einigen kurzen Vorbemerkungen zur Entwicklung der Diagrammatik im Mittelalter und zum Leben und Werk des Heymericus werden Traktat und Diagramm im Folgenden in den Blick genommen. Dabei wird nach dem Entstehungskontext sowie nach Inhalt, Wirkweise und Bedeutung dieses Diagramms für die Gedankenwelt des Heymericus, aber auch für die Diagrammatik des Spätmittelalters zu fragen sein. Exemplarisch vertieft werden diese Fragestellungen einerseits anhand der Trinitätsauffassung des Heymericus (d. h. seinen im *Tractatus de sigillo eternitatis* formulierten theologischen Überlegungen zur Dreieinigkeit und ihrer Visualisierung mit Hilfe des Diagramms *sigillum eternitatis*) sowie andererseits anhand von drei im Umfeld des Heymericus entstandenen Diagrammen, die sich der zeitgenössischen Ekklesiologieaufassung widmen und versuchen, die aktuellen kirchenpolitischen Diskussionen – etwa um das Verhältnis von Papst und Konzil innerhalb der Kirche – bildlich darzustellen.

1. Diagramme als Erkenntnismedien des Mittelalters

„Da uns zu den göttlichen Dingen nur der Zugang durch Symbole als Weg offensteht, so ist es recht passend, wenn wir uns wegen ihrer unverrückbaren Sicherheit mathematischer Symbole bedienen.“³

In diesem Satz des Nikolaus von Kues aus dessen bedeutendem, 1440 vollendeten Werk *De docta ignorantia* ist die mittelalterliche Vorstellung von Funktion und Bedeutung diagrammatischer Darstellungen prägnant zusammengefasst. Für Nikolaus – wie auch

¹ Heymericus de Campo (2001).

² Vgl. Meier (2004), S. 759. Als neueste Studie zum Traktat *De sigillo eternitatis* des Heymericus de Campo vgl. die Dissertation von Hamann (2006).

³ Nikolaus von Kues (2002), S. 44 f.: „cum ad divina non nisi per symbola accedendi nobis via pateat, quod tunc mathematicalibus signis propter ipsorum incorruptibilem certitudinem convenientius uti poterimus.“

für mittelalterliche Autoren zuvor – stellt sich alle Erkenntnis zeichenhaft dar, wodurch sie an eine gewisse Vermittlung durch Symbole gebunden ist. Anders gesagt sind alle geistigen Dinge für ihn nicht unmittelbar erkennbar, da sie den menschlichen Intellekt übersteigen, und können deshalb nur in Abbildern (eben jenen Symbolen) erschlossen werden.⁴

Unter diesen Symbolen, die Nikolaus in seiner Schrift anspricht, versteht die Mediävistik eine Vielzahl von Diagrammen, die in unterschiedlichem Umfang geometrische Figuren zur Erläuterung bestimmter Sachverhalte beinhalten. Nach Christel Meier können dabei vier verschiedene Formen von mittelalterlichen Diagrammen unterschieden werden:⁵

1. geometrisch und mathematisch bestimmte Figuren wie Kreis, Viereck, Dreieck
2. natürliche oder stilisierte Figuren wie Baum, Leiter, Rad
3. graphische Formen, die Begriffe in Relation zueinander bringen
4. graphische Figuren zur Verdeutlichung logischer Zusammenhänge

Von ihrem Ursprung her knüpfen sowohl die mittelalterlichen Diagrammformen als auch die dahinter stehende Suche nach Erkenntnisgewinn in doppelter Hinsicht an die Antike an:⁶ einerseits durch die Rezeption von mathematischen und geometrischen Schriften, in denen bereits Diagramme als „geometrische Beweisfigur[en]“⁷ genutzt wurden; andererseits durch die Rezeption der Platonischen Ideenlehre seit dem 11. Jahrhundert im Zuge der Scholastik. Platon hatte zwischen der natürlich-sichtbaren und der ideal-mathematischen Welt unterschieden und dies konnte genutzt werden, um geometrische Figuren aufgrund der Unveränderlichkeit ihrer Gesetzmäßigkeiten als Hilfe für Erkenntnis- und Denkprozesse heranzuziehen.⁸

Kennzeichnend für die mittelalterlichen Diagrammformen ist, dass sie in unterschiedlichem Maß textliche Erläuterungen in bzw. neben die bildlichen Darstellungen stellten.⁹ Durch diese Synthese von Text und Bild wurde ein Medium der Abstraktion, der Zusammenschau und Zusammenstellung von Begriffen und logischen Oppositionen geschaffen. Es ging dabei – wie es in dem erwähnten Zitat des Nikolaus von Kues deutlich wird – „um eine eindringliche, von allen äußeren Nebensächlichkeiten abstrahierende Darstellung theoretischer Prinzipien, Gesetze und Funktionszusammenhänge, also letztlich um das Wesenhafte einer Sache, das allein aus der sinnlichen Wahrnehmung des Phänomens nicht erkennbar ist.“¹⁰ Kurz gesagt ging es um einen „visuellen Komprimierungsversuch von Wissen.“¹¹

⁴ Vgl. neben seiner *Docta ignorantia* auch das Werk *Compendium* von 1464, in dem Cusanus eine „fundamentale Zeichenlehre“ entfaltet. Dazu ausführlicher Thiel (1994), S. 107-125 (hier findet sich auf S. 108 das angeführte Zitat) sowie Mahnke (1966), S. 77-86.

⁵ Vgl. Meier (2003), S. 26.

⁶ Vgl. zu verschiedenen Bedeutungen des Begriffs Diagramm in der Antike Bonhoff (1993), S. 7 f.

⁷ Bogen/Thürlemann (2003), S. 10.

⁸ Vgl. Bonhoff (1993), S. 8-17.

⁹ Vgl. zu dieser Verbindung von Text und Bild die folgenden Kolloquiumsbände: Meier/Ruberg (1980) und Harms (1990).

¹⁰ Gormans (2000), S. 53.

¹¹ Gormans (2000), S. 52.

2. Heymericus de Campo – Leben und Werk

Heymericus de Campo wurde 1395 in Son (Herzogtum Brabant) geboren. Seit etwa 1410 studierte er bei Johannes de Nova Domo in Paris die *artes liberales*. Johannes de Nova Domo galt in dieser Zeit als einer der wichtigsten Vertreter der albertistischen philosophischen Richtung, die sich gegen den zeitgenössischen Nominalismus sowie gegen die traditionelle Thomistenschule wandte.¹² Nach dem Erwerb seines Magistertitels studierte Heymericus Theologie, ohne allerdings einen Abschluss zu erlangen. Erst 1422 nahm er sein Studium in Köln wieder auf, nachdem er einige Zeit an der Kapitelschule in Diest bei Löwen die *artes liberales* gelehrt hatte.¹³ Aus dieser Zeit stammt das erste bedeutende Werk des Heymericus, das *Compendium divinorum*, das eine neuplatonische Darstellung der gesamten Philosophie beinhaltet.¹⁴ In Köln absolvierte Heymericus in den folgenden Jahren weitere Abschlüsse, bis er schließlich, 1429 zum Doktor promoviert, den Lehrstuhl seines Lehrers Rutger Overhach übernahm.¹⁵ Bestimmend für diese Zeit wurde die Verschärfung des Universitätsstreits zwischen Albertisten und Thomisten, die Heymericus zu einer harten Auseinandersetzung mit dem Thomisten Gerhard ter Steghen führte. In seinem 1428 herausgegebenen *Tractatus problematicus* nahm Heymericus in 18 Quaestionen zu den Lehrmeinungen des Thomas von Aquin und des Albertus Magnus Stellung und sprach sich eindeutig für die Richtigkeit der albertinischen Lehre aus. Noch 1456 in seiner als *Invectiva* bekannt gewordenen Streitschrift griff Heymericus diese Stellungnahme kämpferisch wieder auf.¹⁶

1432 wurde Heymericus de Campo als Gesandter der Kölner Universität zum Konzil von Basel geschickt, das ein Jahr zuvor durch Papst Martin V. einberufen und unter Eugen IV. trotz dessen Auflösungsversuche fortgeführt worden war. In dieser Zeit entstand auch 1433 seine Schrift *De sigillo eternitatis*.¹⁷ Nach seiner Rückkehr nach Köln erhielt Heymericus einen Ruf an die Universität Löwen, dem er 1435 folgte. Hier war er als neuer Rektor der Universität wesentlich am Aufbau der zuvor neu gegründeten theologischen Fakultät beteiligt.¹⁸ Bis zu seinem Tod 1460 beschäftigte sich Heymericus weiterhin mit theologischen und philosophischen Fragen seiner Zeit – so etwa mit der Frage des Konziliarismus, zu der er 1440 auf der Kölner Provinzialsynode als Berater des Lütticher Bischofs ein Gutachten verfasste, das die Verlegung des Basler Konzils nach Ferrara durch Eugen IV. rechtfertigte.¹⁹

¹² Vgl. Haubst (1952), S. 420: „Schon in Paris war bald die Stoßkraft des Albertismus derart, dass der Nominalismus dort für die Zeit von 1407-1437 verdrängt wurde.“ Zu der Streitdebatte, die hier nicht ausführlich behandelt werden kann, vgl. Wöhler (1994), hier v. a. das Nachwort, S. 263-315.

¹³ Vgl. Meuthen (1988), S. 187.

¹⁴ In dieser Schrift wird Gott als der Urquell allen Seins, von dem alle Dinge herkommen und zu dem alles zurückkehrt, dargestellt. Vgl. dazu Colomer (1961), S. 11.

¹⁵ Vgl. Meuthen (1988), S. 187.

¹⁶ Vgl. dazu Colomer (1961), S. 9 f. sowie Meersseman (1935).

¹⁷ Vgl. Ladner (1985), S. 8 sowie zum Aufenthalt des Heymericus in Basel insgesamt Hamann (2006), S. 24-42.

¹⁸ Vgl. Meuthen (1988), S. 187 und Hamann (2006), S. 43-47.

¹⁹ Deutsche Reichstagsakten unter Kaiser Friedrich III. (1957), Nr. 256, S. 468-470. Vgl. auch Ladner (1985), S. 16. Vgl. dazu auch Hamann (2006), S. 48-50.

Der universitäre Streit zwischen Albertisten und Thomisten, seine Kontakte zu bedeutenden Philosophen und Theologen seiner Zeit wie Johannes de Nova Domo oder Nikolaus von Kues, der bei Heymericus studierte und dessen Denken zunehmend beeinflusste,²⁰ sowie die drängenden Fragen des Konzils von Basel mit den Auseinandersetzungen um Konziliarismus und päpstlichen Hoheitsanspruch haben das Leben und das Denken des Heymericus de Campo nachhaltig geprägt.

3. Das Heymeric'sche Diagramm *sigillum eternitatis*

3.1 Der *Tractatus de sigillo eternitatis* (1433) als Ausgangspunkt

Wie bereits erwähnt, hat Heymericus de Campo seinem Diagramm *sigillum eternitatis* einen ganzen Traktat gewidmet, in dem er zunächst seine Idee, die er mit der Schaffung dieses Diagramms verfolgt, theoretisch begründet: In Anlehnung an Paulus²¹ spricht Heymericus von einem Wissen, das dem Menschen in Form eines Spiegelbilds (*ymago specularis*), einer spiegelhaften Figur des göttlichen Wissens (*speculum vestigium*) aufgrund der göttlichen Gnade sichtbar werden kann. Der Spiegel symbolisiert hierbei das Abbild des urbildlichen Wissens, das Medium der Imagination, durch das erst eine höhere Erkenntnis abstrakter und nicht sichtbar zu fassender Dinge möglich wird.²² Durch ihn wird abbildhaft das urbildliche, höchste Wissen vermittelt, es scheint geradezu durch den Spiegel von Gott auf den Menschen herab. Diesen Vorgang bzw. diese Funktion des Spiegels will Heymericus in seinem Traktat durch sein Diagramm „Siegel der Ewigkeit“ erreichen, indem er durch dessen Funktion nicht nur eine höhere Wissensvermittlung zu erzielen sucht, sondern auch schwer begreifliches Wissen verständlich machen will.

Im ersten Teil der Schrift (c. 1-23) widmet sich Heymericus zunächst der Beschreibung und Erklärung seines Diagramms; dann benennt er verschiedene Themen (Metaphysik, Trivium der *artes liberales*, Moral und Ethik, Ekklesiologie), die er mit Hilfe des Diagramms explizieren und erläutern will. Im zweiten Teil seiner Schrift (c. 24-67) wendet Heymericus seine Figur auf das erste Buch der *Summa contra gentiles* des Thomas

²⁰ Vgl. dazu Colomer (1964), S. 198-213.

²¹ Vgl. 1 Kor 13,12: „Jetzt schauen wir in einen Spiegel und sehen nur rätselhafte Umrisse, dann aber schauen wir von Angesicht zu Angesicht. Jetzt erkenne ich unvollkommen, dann aber werde ich durch und durch erkennen, so wie ich auch durch und durch erkannt worden bin.“

²² Heymericus de Campo (2001), c. 2, S. 99 f.: „Ne ergo nobis ex huiusmodi divine artis precognitione ad scienciam cognoscibilem per ea pervenire studentibus illa reprobata Platonis obviat falsigraphia, sed per omnia deserviat doctrina Aristotelis demonstrative, necesse est, ut ad arte exemplar prehabente veritates separatas scibilibus creatis incommiscibiles per medium fidei subfigurantis eius ymaginem specularem in porcione nostril intellectus divina et immobili descendamus ad porcione intellectus inferiorum, de noto ad ignoti noticiam discursive volubilem, que dicitur ratio, quam Ysaac definit esse vim de causa in causam discursivam, depingendo in ea illius exemplaris architipi quoddam proporcionatum intellectui humano ad ymaginationem et sensum reflexo speculari vestigium, in quo velud in deiformi discipline humane principio preexistit omnis sciencie humanitus investigabilis rationalis origo, ex quo videmus nunc per speculum in enigmate nichil intelligenties modo humano sine fantasmate, dicente Dionysio, quod impossibilis est nobis supersplendere thearchicum radium nisi varietate sacrorum velaminum circumvelatum.“ Vgl. dazu auch Colomer (1961), S. 18 und 24.

von Aquin an.²³ Thomas von Aquin hatte in diesem bedeutenden Werk von 1259 versucht, mit Hilfe von Vernunftargumenten die Inhalte des Islams, des Judentums und der griechischen Orthodoxie zu widerlegen und den Vorrang des Christentums herauszustellen. Heymericus hinterfragt diese Aussagen mit *sic* und *non* und vollzieht sie an dem Diagramm bzw. an dem jeweils passenden Teil nach.²⁴ An dieser thematischen Vielfalt wird bereits deutlich, welche Funktion das Diagramm *sigillum eternitatis* für Heymericus einnimmt: Es dient als Art Universalsymbol, mit dem sämtliche Themen, scheinen sie auch noch so unterschiedlich und unverständlich zu sein, erklärt werden können.²⁵

Man hat von Seiten der Forschung immer wieder gefragt, warum Heymericus de Campo seinen Traktat und die Konzeption seines Siegeldiagramms ausgerechnet auf dem Konzil von Basel 1433 formuliert hat. Denn hatte er nicht dringendere Fragen in Bezug auf die innerkirchlichen Auseinandersetzungen, die Hussitenfrage und den Streit um die Reformbedürftigkeit der Kirche zu beantworten?

In der Einleitung zu seiner Schrift bezieht sich Heymericus selbst auf den Entstehungskontext: Er verweist auf eine *falsigraphia*, eine falsche Zeichnung, die nicht mit der richtigen, wahren Darstellungsform (*vera demonstratio*) zu vereinbaren sei.²⁶ Nicht dezidiert benannt, aber gemeint ist damit eine diagrammatische Figur, die auf dem Konzil von Konstanz 1415 verurteilt wurde, die aber über ihre Verurteilung hinaus weiter zu Diskussionen an den Universitäten geführt hat: das *scutum fidei* des Hieronymus von Prag (Farbtafel 5 – Abbildung B).

Hieronymus, der 1370 in Prag geboren wurde, als Laie an den wichtigsten Universitäten der Zeit – Prag, Paris, Heidelberg und Köln – lehrte und am 30. Mai 1416 auf dem Konzil von Konstanz als Häretiker verbrannt wurde, hatte seine Trinitätsauffassung in einer Dreieckskonstruktion, dem *scutum fidei*, „Schild des Glaubens“, zusammengefasst.²⁷ Deren Ecken waren mit Kreisen ausgestattet, von denen aus Radien in die Mitte führten, die ebenfalls ein Kreis umfasste. Mit Hilfe dieser Kreise und ihrer Verbindungen sollte versucht werden, die trinitarischen Personen in Beziehung zueinander zu setzen und damit die Dreieinigkeit zu erklären.²⁸ Bereits zwischen 1404 und 1406, später noch einmal 1410 geriet das Diagramm des Hieronymus an den Universitäten in die Kritik. Dabei – wie später auf dem Konzil von Konstanz (1414-1418) – ging es weniger um die Darstellungsweise, die älteren *scutum-fidei*-Diagrammen grund-

²³ Vgl. zu dieser Einteilung des Werks Imbach/Ladner (2001), S. 96 f.

²⁴ Damit wird die *sigillum*-Figur eine „Trägerin und legitime Form der synoptischen Vermittlung von scholastischen Lehrinhalten.“ Meier (2003), S. 30. Vgl. dazu auch Hamann (2006), S. 100 f.

²⁵ Der Begriff des Universalsymbols findet sich bei Imbach (1983), S. 476.

²⁶ Heymericus de Campo (2001), c. 1, S. 99: „Quem modum sciendi infidelis Plato temptavit, sed non potuit invenire, cum scriptum sit: nisi credideritis, non intelligetis, Ysaïas VII, et Sapiencia I, apparet autem hiis, qui fidem habent in illum, id est sapiencie fontem; et ideo sua ydealis doctrina est iuste ad Aristotele reprobata tamquam scilicet falsigraphia, id est a vere demonstrationis principii aberrans et devia.“

²⁷ Der Begriff *scutum fidei* bezieht sich auf Eph 6,16: „Vor allem greift zum Schild des Glaubens! Mit ihm könnt ihr alle feurigen Geschosse des Bösen auslöschen.“ Zu Hieronymus vgl. Herold (1989), S. 255-273; Miethke (1998), S. 147-167 und Smahel (1966), S. 81-111.

²⁸ Zum Diagramm des Hieronymus und seinen möglichen Vorlagen vgl. Smahel (2003), S. 183-210.

sätzlich entsprach, sondern vielmehr um deren Deutung. Einerseits wurde Hieronymus angelastet, Triaden aus der geschaffenen Welt mit trinitarischen zu vermischen und damit die göttliche und die irdische Ebene unrechtmäßig miteinander verbunden zu haben,²⁹ andererseits wurde ihm – vor allem auf dem Konzil von Konstanz – eine häretische Trinitätslehre unterstellt, die eine *quaternitas rerum* einbeziehen würde.³⁰ Anders als die Tradition zuvor verband Hieronymus tatsächlich verschiedene Triaden, die vorher getrennt gewesen waren. Obwohl sich Hieronymus verteidigte, dass sein Diagramm für den üblichen Schulgebrauch geeignet sei und sich auf die Anschaulichkeit des Trinitätsdogmas beschränke, lautete das Urteil des Konzils auf „theologische Ketzerei“ (Vilém Herold)³¹ – nicht zuletzt, weil Hieronymus in engem Kontakt zu den auf dem Konzil von Konstanz verurteilten John Wyclif und Johann Hus stand.³²

Folgt man der Forschung, so ist anzunehmen, dass Heymericus mit seinem Diagramm *sigillum eternitatis* eine Gegenfigur zu der des Hieronymus schaffen wollte und aus diesem Grund in seiner Einleitung von der „falschen Zeichnung“ spricht, der er die wahre Darstellung gegenüberstellt.³³ Dass Heymericus erst auf dem Konzil von Basel seinen Traktat verfasste, widerspricht dieser These nicht, da die Auseinandersetzung um Hieronymus – wie erwähnt – auch nach dem Konstanzer Konzil weiter ging; vielleicht hat auch die Idee, seine konziliaristische Position bildhaft zu verdeutlichen, Heymericus gerade während des Konzils von Basel zur Abfassung des Traktats bewogen.³⁴

3.2 Die Explikation des Diagramms am Beispiel der Trinität

Heymericus' Trinitätsvorstellungen stehen in einer Tradition von abstrakt-geometrischen Trinitätsdarstellungen.³⁵ Sie sind daneben auch durch die philosophische Trinitätsauffassung des Mittelalters geprägt. Diese ging – unabhängig von christlich-dogmatischen Trinitätsüberlegungen – davon aus, dass das Denken und die Welt triadisch geprägt sind, dass das Universum und alle dort enthaltenen Dinge in einer Dreiheit bestehen. Die Grundlage hierfür bildete Aristoteles mit seinem Werk *De caelo et mundo* sowie

²⁹ Vgl. Meier (2004), S. 761 sowie Smahel (2003), S. 196 f.

³⁰ Vgl. *Articuli dati in causa fidei contra Hieronymum de Praga* (21961), Sp. 847: „Item, quod dictus Hieronymus saepe et saepius in diversis locis, et praesertim Parisiis, Coloniae, Heydelbergae, has infrascriptas conclusiones dogmatizavit, legit, tenuit, et pertinaciter defendit, eas esse veras, et catholicas asseruit: (1) In Deo, sive in divina existentia, non solum est trinitas personarum, sed etiam quaternitas rerum et quaternitas [...]“

³¹ Herold (1989), S. 270.

³² Vgl. Smahel (2003), S. 196 f.: „Wenn dem Diagramm [des Hieronymus] kein Ausfall gegen Wyclifs Irrlehren vorangehen würde und wenn – wie ich annehme – geschwärzte Zeilen nicht auf die Autorschaft des Ketzers Hieronymus von Prag hinweisen würden, so würde nichts dafür sprechen, daß es sich um ein Ketzerwerk handelt.“ Ähnlich auch Brandmüller (1997), S. 137. Zu John Wyclif und Jan Hus als Vorbilder des Hieronymus vgl. auch Herold (1998), S. 133-146.

³³ Vgl. Meier (2004), S. 761 f.

³⁴ Vgl. zur konziliaristischen Position des Heymericus c. 13 und c. 19-23 seines *sigillum*-Traktats sowie Kapitel 3.3 dieses Beitrags.

³⁵ Als hochmittelalterliche Beispiele seien angeführt das Trinitätsbild der Hildegard von Bingen (Scivias II 2, Wiesbaden, Hess. Landesbibl. Hs. 1, fol. 47r) sowie das Drei-Kreise-Diagramm des Joachim von Fiore (*Liber Figurarum*, Oxford, CCC MS 255A, fol. 7v). Vgl. dazu Meier (2003), S. 45 und Patschovsky (2003), S. 55-114.

dem 12. Buch seiner Metaphysik, in dem er darauf verweist, dass die göttliche Vernunft als höchste Form des Denkens dreifach strukturiert und in Ursprung des Denkens (*intellectus*), Gegenstand des Denkens (*intellectum*) und Verbindung beider Elemente (*intelligere*) einzuteilen sei.³⁶

Das Grundmodell des *sigillum eternitatis*, das Heymericus de Campo in seiner Schrift ausführlich beschreibt und anschließend auf verschiedene Themen anwendet, lässt sich in Bezug auf die Trinität folgendermaßen erklären (vgl. Farbtafel 5 – Abbildung A): Der Kreis steht seit Platon für die dreifache Einheit Gottes, für die Identität der göttlichen Vollkommenheiten und die ursprungslose Existenz Gottes; das Dreieck symbolisiert seit dem 12. Jahrhundert die drei göttlichen Personen.³⁷ Ihnen werden im Traktat verschiedene Ternare zugeschrieben, die ihre Eigenschaften verdeutlichen sollen: Der Kreis wird beispielsweise mit den Ternaren *essencia*, *vita*, *intellectus*, das Dreieck mit Ternaren wie *memoria*, *intelligentia*, *voluntas* oder *natura*, *gratia*, *gloria* verbunden.³⁸ Dabei können nach Heymericus unendliche Ternare auf seine Universalfigur angewendet werden, da das Dreieck innerhalb des in sich ruhenden Kreises auf unendlich viele Positionen gedreht werden kann.³⁹ Entscheidend für die Verbindung von Kreis und Dreieck sind aber die Radien, die beide geometrischen Gebilde zusammenbringen und so eine doppelte Interpretation des Diagramms anbieten: einerseits weisen die Radien von außen nach innen und erklären so ausgehend von der Einheit die Beziehung der trinitarischen Personen untereinander, andererseits verdeutlichen die Radien eine Verbindung des Kreismittelpunktes mit der Peripherie des Kreises, d. h. eine Explikation der Trinität nach außen in die Schöpfung und in die Welt.⁴⁰

Unterstützt wird die doppelte Anwendung der Trinität auf das *sigillum eternitatis* durch die Farbgebung der Kreissegmente: einerseits stehen blau, grün und rot für die göttlichen Attribute, den Ternar *essencia* bzw. *substantia*, *vita* und *intellectus*, andererseits symbolisieren sie die sichtbare Welt, indem blau den Himmel, grün die Vegetation und rot das Feuer, die irdische Materie versinnbildlicht.⁴¹ Da besonders dieser Ternar für die göttlichen Eigenschaften steht, erfüllen auch die Farben eine ganz bestimmte Bedeutung: Durch sie können die göttlichen Vollkommenheiten enigmatisch ausgesagt werden;⁴² damit übersteigt das Diagramm seine bloße geometrische Funktion.

³⁶ Vgl. dazu Hoenen (1998), S. 207.

³⁷ Vgl. Meier (2004), S. 762 und Patschovsky (2003), S. 77-85.

³⁸ Vgl. Heymericus de Campo (2001), c. 3, S. 100: „Hoc principium est, quod deus omnium artifex est in unitate, veritate et bonitate essenice, vite, et intellectus purus actus, ad intra per terminos opposicionis relative personaliter [...]“. Vgl. hierzu auch Hamann (2006), S. 81-84.

³⁹ Heymericus de Campo (2001), c. 66, S. 127: „figure angulares sub es ad participacionem capacitatis circularis aspirantes sunt in infinitum circa capacitatem eiusdem circuli multiplicabiles.“ Vgl. dazu auch Colomer (1961), S. 22.

⁴⁰ Vgl. Meier (2004), S. 764 sowie Hamann (2001), S. 16.

⁴¹ Heymericus de Campo (2001), c. 4, S. 101: „Color autem blaveus representat faciem diaphani materialis celestis substance, color viridis representat germen sensibilis vite et color rubeus effectum igniformen flame ardentis in terrestri materia.“

⁴² Heymericus de Campo (2001), c. 4, S. 101: „Et ideo, quia imnes transferentes secundum aliquam similitudinem transferunt, prout habet Aristoteles VI Topicorum, necesse est, quod ad hoc, quod invisibilia dei per ea que facta sunt, intellecta capiantur, in illis coloribus intelligi aliquid mysticum perfectio-

Eine bemerkenswerte Vertiefung hat diese geometrische Theologie des Heymericus im autornahen Diagramm der Tongerloer Handschrift erhalten (vgl. Farbtafel 5 – Abbildung C).⁴³ In vier ineinander verschachtelten Kreis-Dreieck-Systemen wird die Trinität nochmals vertieft, indem erklärende Tituli die entsprechenden Beziehungen zwischen den trinitarischen Personen aufweisen und hilfreich erklären. Das erste Kreis-Dreieck-System verdeutlicht die göttliche Ebene im Sinne der Trinität. Es ist, wie alle weiteren Kreis-Dreieck-Systeme, aufgeteilt in drei Segmente, die in den bekannten Farben koloriert sind: blau steht für den Vater, grün für den Sohn, rot für den Hl. Geist. Der Kreis ist mit knappen Aussagen über die göttliche Person als Ganzes versehen,⁴⁴ die, obwohl sie die Einheit der Trinität symbolisieren, bereits die Eigenarten der drei Wesen andeuten. So ist die Bezeichnung *veritas vite et gracie* dem grünen Bereich, d.h. dem des Sohnes zugeordnet.⁴⁵ Das Dreieck ist als Trinitätsbild zu verstehen: in seinen Ecken finden sich die Begriffe Anfang (*principium*), Mitte (*medium*) und Ende (*finis*), denen die Radien mit den Bezeichnungen der trinitarischen Personen – Vater, Sohn und Hl. Geist – entsprechen. Die Seiten des Dreiecks beschreiben die Abhängigkeiten der Personen untereinander: der Sohn geht aus dem Vater hervor, der Hl. Geist aus dem Sohn und dem Vater.⁴⁶ Die jeweiligen Kreissegmente spezifizieren noch einmal die Eigenschaften der trinitarischen Personen – dem Vater wird Macht, dem Sohn Wissen und dem Hl. Geist Wille zugeordnet.⁴⁷ In den Halbkreisen, die sich zwischen jeder Dreiecksseite und jedem Kreissegment befinden, werden diese Eigenschaften nochmals variiert genannt und durch einen Satz zusammengefasst.⁴⁸ Mit diesen kurzen Sätzen, dass die Macht des Vaters von oben herab strömt und die Wirksamkeit betrifft, dass das Wissen des Sohnes hineinfließt und die Gestalt betrifft, dass der Wille des Hl. Geistes zurückfließt und den Zweck betrifft, wird eine Bewegung beschrieben, die aus Hervorgehen und Rückgang – wie es die Verben *effluere*, *influere* und *refluere* andeuten – besteht.⁴⁹ Die Leserichtung des Diagramms wird damit vorgegeben und verläuft im Uhrzeigersinn vom blauen über den grünen in den roten Bereich, wie es auch durch die Zuordnungen Anfang, Mitte und Ende angedeutet wird.

nibus divinis appropriatum, utputa per colorem, qui est obiectum visus sensibilis, quodlibet intelligibile visu spiritali interioris hominis, et per colores extremos, scilicet albedinem et nigredinem, extremitates intelligibiles lucis eterne manifestantis suas veritates ineffabiles et incomprehensibiles nobis intelligentibus per speculum in enigmatem, per colores vero medios veritates enigmatice intelligibiles, utputa per blavidinem prescisa ratio intelligibilis essencie, per viredinem ratio intelligibilis vite et per rubidinem ratio intelligibilis ipsius intelligencie [...].“ Vgl. dazu auch Hamann (2001), S. 16.

⁴³ Vgl. Tongerlo, Abdijarchief, Ms. 264, fol. 1r.

⁴⁴ „Unitas essencie et nature; veritas vite et gracie; bonitas intelligencie et glorie“. Eine Transkription der Tituli des Tongerloer Diagramms findet sich bei Meier (2004), S. 768 f.

⁴⁵ Vgl. Joh 14,6: „Ich bin der Weg, die Wahrheit und das Leben.“

⁴⁶ Vgl. Meier (2004), S. 768 f. „Linea processionis filii a patre; linea processionis spiritus sancti a filio; linea processionis spiritus sancti a patre.“

⁴⁷ Vgl. Meier (2004), S. 768 f. „Potencia absoluta; scientia simplicis notice; voluntas beneplaciti.“

⁴⁸ Meier (2004), S. 768 f. Die Eigenschaften lauten: „Potencia ordinata; scientia visionis; voluntas signi.“ Die Zusammenfassungen heißen: „Hec effluit desuper per radium blavium efficencie; hec influit desuper per radium viridem formaliter; hec refluit desuper per radium rubeum finaliter.“

⁴⁹ Vgl. Meier (2004), S. 770.

Die drei weiteren Kreis-Dreieck-Systeme sind mit weniger ausführlichen Tituli versehen, nicht zuletzt aufgrund des zum Kreismittelpunkt hin abnehmenden Platzes. Das zweite System stellt die geistige Welt der Engel dar, das dritte den Bereich des Himmels, das vierte die Welt in ihrer Entstehung und Vergänglichkeit.⁵⁰ Damit wird noch eine weitere Leserichtung ermöglicht, die von der Peripherie, d. h. dem äußersten Kreis, ins Zentrum führt. Diese hierarchisierte Leserichtung verdeutlicht nach Christel Meier die Seinsstufung des Kosmos, indem Heymericus das Diagramm inhaltlich von Gott ausgehend über die Engel und den Himmel bis zur irdischen Welt aufbaut.⁵¹ Bemerkenswert ist, dass er dabei die einzelnen Kreis-Dreieck-Systeme gewichtet – einerseits durch eine Abnahme der Größe sowie der Ausführlichkeit der Beschriftung zum Kreismittelpunkt hin, andererseits durch die Begrifflichkeit, welche die Bildqualität ausgehend von *essencia* über *simulacrum* und *ymago* zu *vestigium* abstuft. Ob dies impliziert, dass eine Erkenntnis der irdischen Welt gegenüber der Himmels- oder Engelsebene einfacher ist und daher auch mit einfacheren und weniger qualitätsvollen Begriffen belegt werden sollte, kann nicht beantwortet werden. Entscheidend ist jedoch, dass das Tongerloer Diagramm als „Mischform von symbolischer und diskursiver Präsentation“ (Christel Meier)⁵² die im *Tractatus de sigillo eternitatis* formulierten Überlegungen zur Trinität übernimmt und differenziert umsetzt: einerseits in Bezug auf die Trinität und die Beziehungen der einzelnen göttlichen Personen zueinander, andererseits in Form einer Explikation in die Schöpfung, die aber ihrerseits von der Trinität, der Engels- und der Himmelsebene umfasst wird.⁵³

3.3 Die Explikation des Diagramms am Beispiel der Ekklesiologie

Als ein weiteres Beispiel für die hohe Flexibilität und universale Funktionsweise des *sigillum eternitatis* sei abschließend auf drei weitere Diagramme eingegangen, die vermutlich nicht von Heymericus selbst stammen, aber auf seinem Ausgangsdiagramm basieren und dieses in besonderer Weise verändern.⁵⁴ Thematisch geht es dabei um die zeitgenössischen Auseinandersetzungen über das Verhältnis von Konzil und Papst sowie über die Zukunft der zu reformierenden Kirche. Für das Verständnis dieser Diagramme sei kurz vorausgeschickt, dass sich bei diesem Konflikt, der unter dem Begriff Konziliarismus in die Forschung eingegangen ist, zwei Gruppierungen mit entgegengesetzten Positionen gegenüber standen. Auf der einen Seite befanden sich die Papalisten, die von einer durch Gott geschaffenen monarchischen Struktur der Kirche ausgingen und den Papst an der Spitze der Kirche als *vicarius Christi* ansahen, der diese repräsentierte. Einem Konzil, wie es in Basel abgehalten wurde, kam nach dieser Auffassung nur eine dienende Funktion zu, die die Superiorität des Papstes über dem Konzil nicht in Frage

⁵⁰ Die entsprechenden Tituli lauten für das zweite Kreis-Dreieck-System: „Celum empireum seu mundus intellectualis angelorum“ (Kreis); „simulacrum similitudinis divine“ (Dreieck); für das dritte System: „Celum vitale sperarum mobilium“ (Kreis); „ymago“ (Dreieck); für das vierte System: „Spera generabilis nature“ (Kreis); „vestigium“ (Dreieck).

⁵¹ Meier (2004), S. 770 f.

⁵² Meier (2004), S. 768.

⁵³ Vgl. Colomer (1961), S. 20. Durch die Kreissymbolik des Diagramms sei Gott als urbildlicher Mittelpunkt der Schöpfung und als diese umgreifende Peripherie ausgedrückt.

stellen konnte.⁵⁵ Auf der anderen Seite standen die Konziliaristen, die sich für eine horizontal aufgebaute Kirche aussprachen, bei der der monarchische Status nicht aufgehoben, jedoch nicht durch den Papst, sondern durch Christus selbst vertreten werden sollte. Dieser habe die Schlüsselgewalt nicht ausschließlich Petrus, sondern der gesamten Kirche als der Gemeinschaft aller Gläubigen, als dem mystischen Leib Christi übertragen. Auf das Konzil bezogen bedeutet dies, dass der Papst als leitendes Haupt der Kirche zwar dem Konzil vorsteht, die Jurisdiktionsgewalt aber Christus zukommt.⁵⁶

Das erste Diagramm (vgl. Abbildung 1), das genauso aufgebaut ist wie das Tongerloer Schema, stellt die archetypische Kirche dar. Während das erste Kreis-Dreieck-System mit Ternaren beschriftet ist, die Auskunft über das Wesen der Kirche geben, verdeutlichen die drei nach innen weisenden Systeme die Hierarchien der Kirche, angefangen von der *ecclesia apostolica patriarchalis yerarchica* über die *ecclesia archiepiscopalis* bis hin zur *ecclesia episcopalis*.⁵⁷



Abbildung 1: Das Urbild der Kirche, Bernkastel-Kues, Codex Cusanus 106, fol. 187r.

Das zweite Diagramm (vgl. Abbildung 2) verdeutlicht die Konzilskirche bzw. das Kirchenkonzil. Der Grundaufbau entspricht dem des *sigillum eternitatis*, das in Kapitel 3 des Siegeltrakts eingezeichnet ist; der einzige Unterschied besteht in jeweils neun konzentrischen Kreisen, die um den Kreismittelpunkt gelagert sind bzw. sich in Halbkreisen in jedem Kreissegment befinden. Entsprechend der konziliaren Vorstellung, dass Christus

⁵⁴ Vgl. Codex Cusanus 106, fol. 187r-188r.

⁵⁵ Vgl. Ladner (1985), S. 13 sowie Krämer (1971), S. 208-213.

⁵⁶ Vgl. Krämer (1971), S. 224.

⁵⁷ Vgl. Meier (2004), S. 771 sowie Hamann (2006), S. 337 mit einer Transkription des Diagramms.

selbst das Konzil repräsentiert, sind der Kreismittelpunkt mit Christus und die Ecken des Dreiecks mit *pater spirator*, *filius spirator* und *spiritus Sancti* bezeichnet. Die Seiten des Dreiecks sind mit den *Tituli unum baptisma, una fides, unus spiritus* versehen; die neun Bögen im Zentrum verweisen auf die kirchliche Hierarchie, die Halbkreise in den Kreis-segmenten spezifizieren die trinitarischen Personen. Wie bei der ersten Figur verweist auch eine Inschrift auf den Inhalt des Diagramms.⁵⁸

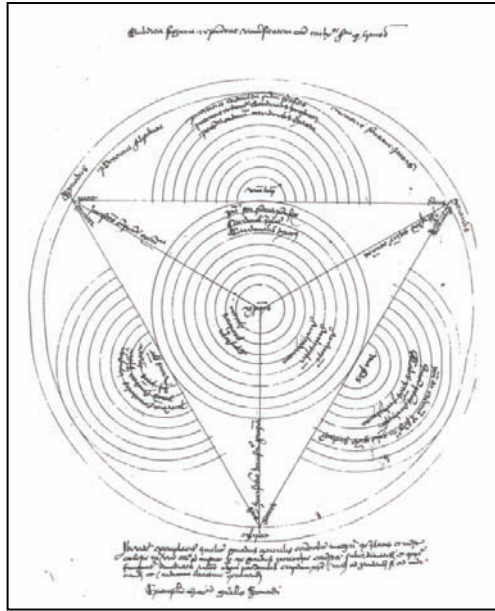


Abbildung 2: Die Konzilskirche, Bernkastel-Kues, Codex Cusanus 106, fol. 187v.

Das dritte Diagramm (vgl. Abbildung 3), das aus drei Kreis-Dreieck-Systemen, die übereinander angeordnet sind, besteht, stellt die römisch-kirchliche Verfassung dar. Den Systemen, die nach unten abnehmen, sind durch Tituli die *ecclesia romana* (oben), die *ecclesia metropolitana* (Mitte) sowie die *ecclesia episcopalis* (unten) zugeordnet. Seitlich angegebene, hierarchische Bezeichnungen stimmen mit dieser Aufteilung überein.⁵⁹ Durch zwei Bildunterschriften wird das Diagramm zusätzlich erläutert. Nach Christel Meier formuliert diese Bildfigur „mit ihren genuinen Mitteln [...] die Kritik an der römischen Kirche in der konziliaren Situation.“⁶⁰

Diese drei Diagramme, die im Zusammenhang mit der Auseinandersetzung des Basler Konzils um die konziliare Frage entstanden sein dürften, sind in ihrer diskursiven Leserichtung freier als das Ausgangsdiagramm des Heymericus. Sie zeigen nicht nur eine diagrammatische Entwicklung, indem ausgehend von der Basisfigur des *sigillum-*

⁵⁸ Vgl. zum zweiten Diagramm Meier (2004), S. 772 f. sowie die Transkription bei Hamann (2006), S. 338.

⁵⁹ Die seitlichen Bezeichnungen lauten von oben nach unten: „patriarchalis et prima“, „archiepiscopalis et media“ und „episcopalis et infirma“. Vgl. dazu die Transkription bei Hamann (2006), S. 339.

⁶⁰ Meier (2004), S. 773.

Traktats textliche und geometrische Elemente wesentlich komplexer miteinander verbunden werden, sondern auch eine inhaltliche Veränderung. Weniger der Erkenntnisgewinn als zunehmend die Verbildlichung von entgegengesetzten kirchenpolitischen Positionen steht im Zentrum der diagrammatischen Figuren. Aus diesem Grund sind die drei Diagramme auch der Schrift *Disputatio de potestate ecclesiastica* des Heymericus de Campo und nicht seinem *Tractatus de sigillo eternitatis* zugeordnet worden.⁶¹

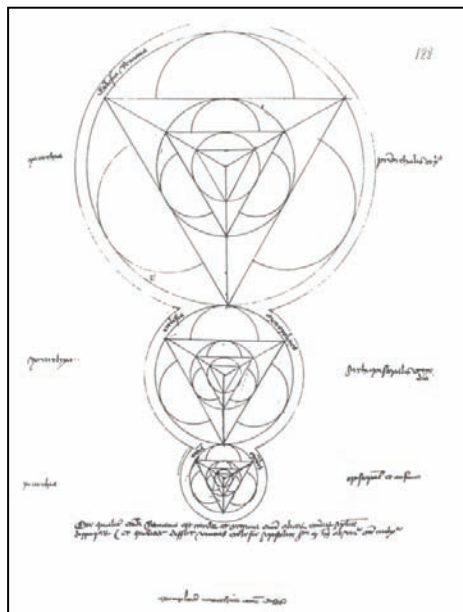


Abbildung 3: Die Verfassung der römischen Kirche, Bernkastel-Kues, Codex Cusanus 106, fol. 188r.

4. Zusammenfassung

Heymericus de Campos *sigillum eternitatis* stellt den bemerkenswerten Versuch dar, eine diagrammatische Figur zu schaffen, die einen Anspruch auf Allgemeingültigkeit und universale Anwendung auf disparate Themen erheben kann. Ausgehend von der Auseinandersetzung um die Verurteilung des *scutum fidei* des Hieronymus von Prag formuliert er in seinem *Tractatus de sigillo eternitatis* die Notwendigkeit einer wahren Darstellungsform, die es ermöglicht, das menschliche Wissen enigmasch darzustellen,⁶² und so ein Medium für den Erkenntnisgewinn zu schaffen. Trinitarische Spekulationen, wissenschaftstheoretische Einteilungen, moralische und ethische Überlegungen, ekklesiologische Vorstellungen und nicht zuletzt eine Auseinandersetzung mit Thomas von Aquin können mit Hilfe des Diagramms expliziert werden. Damit ähnelt Heymericus'

⁶¹ Vgl. Meier (2004), S. 771. Eine Edition der Schrift *Disputatio de potestate ecclesiastica* findet sich bei Hamann (2006), S. 265-335.

⁶² Vgl. dazu noch einmal Imbach (1983), S. 476.

Diagramm einem „holographischen Bild“ (Christel Meier),⁶³ in dem bei unterschiedlicher Betrachtung ein jeweils anderer Inhalt und Sinnkomplex erscheinen kann. Aus diesem Grund bezeichnet Heymericus seine Diagrammform auch selbst als *mundi architipi paradigma*.⁶⁴ Entscheidend ist dabei die Verbindung von Symbolik und Diskursivität, die zwar schon von seinen Vorgängern, etwa Joachim von Fiore, angedacht und praktiziert wurde, aber in diesem Siegel-Traktat erstmals in einer zunächst theoretischen Weise beschrieben wird, um dann praktisch anhand des Diagramms angewendet zu werden.

Auch die autonomen Erweiterungen des Ausgangsdiagramms, die sich im Codex Cusanus 106 sowie in der Tongerloer Handschrift befinden, weisen eine solche Verbindung auf. Ohne lange textliche Erklärungen sind sie allein durch die Anordnung der Begriffe, durch die mathematischen Formen und Farben sowie die vorgegebene Lese-richtung aussagekräftig und selbsterklärend. Diese Anwendung der Diskursivität, die direkt durch entsprechende Tituli und Unterschriften in das Diagramm eingefügt ist, stellt eine Weiterentwicklung der Heymericischen Vorgehensweise dar, denn das *sigillum eternitatis* wird im Traktat ohne diskursive Bestandteile präsentiert. Die Vervielfachung des Ausgangsschemas von Kreis und Dreieck, die die Erweiterungsdiagramme kennzeichnet, deutet darauf hin, dass die Basisfigur des Traktats nicht nur inhaltlich auf verschiedene Themen anwendbar, sondern auch diagrammatisch „ins Unendliche multiplizierbar“ (*in infinitum multiplicabiles*) ist.⁶⁵ Auffallend ist, dass Heymericus nicht nur trinitarische Spekulationen oder wissenschaftstheoretische Überlegungen auf seine Figur überträgt und mit ihrer Hilfe beweisen möchte, sondern dass er die situationsgebundenen Fragen seiner Zeit, die auf dem Konzil von Basel über das Verhältnis von Papst und Konzil sowie über die Reform der Kirche erörtert wurden, mit Hilfe seines Diagramms darstellt. Über die Funktion einer abstrakt-geometrischen Illustration der heymericischen Ideen hinaus geht es dabei um regelrechte Beweise, die auf der Basis logischer Argumentation den Standpunkt des Heymericus begründen. Diese Vorgehensweise, das Diagramm nicht nur zur Verbildlichung bestimmter Themen zu verwenden, durch die der Zugang zur intelligiblen Welt, zur Erkenntnis der eigentlich unbegreiflichen Wahrheiten erleichtert werden sollte, sondern als Argumentationshilfe und -bestandteil in die Konkretisierung der Kirchenreformüberlegungen einzubinden, ist hervorhebenswert. Inhalt und Ausdrucksform, Text und Bild, Diskursivität und Symbolik wirken bei Heymericus de Campo auf eine neuartige Weise zusammen.

⁶³ Meier (2004), S. 774.

⁶⁴ Heymericus de Campo (2001), c. 4, S. 101: „Illud mundi architipi paradigma sigillum eternitatis recte dicitur, ex quo per ipsum veritas eterna suam in rationem humanam traducit ymaginem, in quam quelibet eiusdem rationis indago discursive resolvitur [...]“

⁶⁵ Dieser Hinweis ist Bestandteil des Diagramms über das Urbild von Wissenschaft und Kunst, Codex Cusanus 106, fol. 186v. Vgl. dazu Meier (2003), S. 31.

Literatur

1. *Articuli dati in causa fidei contra Hieronymum de Praga* (1961): *Articuli dati in causa fidei contra Hieronymum de Praga*, in: Johannes Dominicus Mansi (Hrsg.), *Sacrorum conciliorum nota et amplissima collectio*, Bd. 27, Graz ²1961, Sp. 842-860
2. Bogen/Thürlemann (2003): Steffen Bogen, Felix Thürlemann, *Jenseits der Opposition von Text und Bild. Überlegungen zu einer Theorie des Diagramms und des Diagrammatischen*, in: Alexander Patschovsky (Hrsg.), *Die Bildwelt der Diagramme Joachims von Fiore. Zur Medialität religiös-politischer Programme im Mittelalter*, Ostfildern 2003, S. 1-22
3. Bonhoff (1993): Ulrike Bonhoff, *Das Diagramm. Kunsthistorische Betrachtungen über seine vielfältige Anwendung von der Antike bis zur Neuzeit*, Diss. Münster 1993
4. Brandmüller (1997): Walter Brandmüller, *Das Konzil von Konstanz 1414-1418*, Bd. 2: *Bis zum Konzilsende*, Paderborn 1997
5. Colomer (1961): Eusebio Colomer, Nikolaus von Kues und Raimund Llull. Aus Handschriften der Kueser Bibliothek, Berlin 1961
6. Colomer (1964): Eusebio Colomer, Nikolaus von Kues und Heimeric van de Velde, *Mitteilungen und Forschungsbeiträge der Cusanus Gesellschaft* 4 (1964), S. 198-213
7. *Deutsche Reichstagsakten unter Kaiser Friedrich III.* (1957): *Deutsche Reichstagsakten unter Kaiser Friedrich III. Erste Abteilung 1440-1441*, hrsg. von Hermann Herre, Göttingen ²1957 (= *Deutsche Reichstagsakten*, 15)
8. Gormans (2000): Andreas Gormans, *Imagination des Unsichtbaren. Zur Gattungstheorie des wissenschaftlichen Diagramms*, in: Hans Holländer (Hrsg.), *Erkenntnis, Erfindung, Konstruktion. Studien zur Bildgeschichte von Naturwissenschaften und Technik vom 16. bis zum 19. Jahrhundert*, Berlin 2000, S. 51-71
9. Hamann (2001): Florian Hamann, *Das Siegel der Ewigkeit. Die konziliaristische Philosophie des Heymericus de Campo*. Maschinenschriftliche Magisterarbeit der FU Berlin, Berlin 2001
10. Hamann (2006): Florian Hamann, *Das Siegel der Ewigkeit. Universalwissenschaft und Konziliarismus bei Heymericus de Campo*, Münster 2006 (= *Buchreihe der Cusanus-Gesellschaft*, 16)
11. Harms (1990): Wolfgang Harms (Hrsg.), *Text und Bild. Bild und Text. DFG-Symposium 1988*, Stuttgart 1990 (= *Germanistische Symposien. Berichtsbände*, 11)
12. Haubst (1952): Rudolf Haubst, *Zum Fortleben Alberts des Großen bei Heymerich von Kamp*, in: Heinrich Ostlender (Hrsg.), *Studia Albertina. Festschrift für Bernhard Geyer zum 70. Geburtstag*, Münster 1952 (= *Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters*, 4), S. 420-447
13. Herold (1989): Vilém Herold, *Magister Hieronymus von Prag und die Universität Köln. Ein Beitrag zur Geschichte der Differenzierung in der spätmittelalterlichen Philosophie*, in: Albert Zimmermann (Hrsg.), *Die Kölner Universität im Mittelalter. Geistige Wurzeln und soziale Wirklichkeit*, Berlin 1989 (= *Miscellanea Mediaevalia*, 20), S. 255-273

14. Herold (1998): Vilém Herold, Zum Prager philosophischen Wyclifismus, in: František Smahel (Hrsg.), Häresie und vorzeitige Reformation im Spätmittelalter, München 1998 (= Schriften des Historischen Kollegs, 39), S. 133-146
15. Heymericus de Campo (2001): Heymericus de Campo, De sigillo eternitatis, in: Ruedi Imbach, Pascal Ladner (Hrsg.), Heymericus de Campo. Opera selecta, Bd. 1, Freiburg 2001 (= Spicilegium Friburgense. Texte zur Geschichte des kirchlichen Lebens, 39), S. 99-128
16. Hoenen (1998): Maarten J. F. M. Hoenen, Trinität und Sein. Der Traktat De signis notionalibus trinitatis et unitatis supernae und seine Bedeutung für das trinitarische Weltbild des Heymericus de Campo, Freiburger Zeitschrift für Philosophie und Theologie 45 (1998), S. 206-263
17. Imbach (1983): Ruedi Imbach, Das ‚Centheologicon‘ des Heymericus de Campo und die darin enthaltenen Cusanus-Reminiszenzen: Hinweise und Materialien, Traditio 39 (1983), S. 466-477
18. Imbach/Ladner (2001): Ruedi Imbach, Pascal Ladner, Einleitung zur Edition von De sigillo eternitatis, in: dies. (Hrsg.), Heymericus de Campo. Opera selecta, Bd. 1, Freiburg (Schweiz) 2001 (= Spicilegium Friburgense. Texte zur Geschichte des kirchlichen Lebens, 39), S. 95-98
19. Krämer (1971): Werner Krämer, Die ekklesiologische Auseinandersetzung um die wahre Repräsentation auf dem Basler Konzil, in: Albert Zimmermann (Hrsg.), Der Begriff der repraesentatio im Mittelalter. Stellvertretung, Symbol, Zeichen, Bild, Berlin 1971 (= Miscellanea Mediaevalia, 8), S. 203-237
20. Ladner (1985): Pascal Ladner, Revolutionäre Kirchenkritik am Basler Konzil? Zum Konziliarismus des Heymericus de Campo, Basel 1985 (= Vorträge der Aeneas-Silvius-Stiftung an der Universität Basel, 19)
21. Mahnke (1937): Dietrich Mahnke, Unendliche Sphäre und Allmittelpunkt. Beiträge zur Genealogie der mathematischen Mystik, Halle 1937 (Nachdruck: Stuttgart 1966)
22. Meersseman (1935): Gilles Gérard Meersseman, Geschichte des Albertismus, Bd. 2: Die ersten Kölner Kontroversen, Rom 1935 (= Dissertationes historicae, 5)
23. Meier/Ruberg (1980): Christel Meier, Uwe Ruberg (Hrsg.), Text und Bild. Aspekte des Zusammenwirkens zweier Künste in Mittelalter und Früher Neuzeit, Wiesbaden 1980
24. Meier (2003): Christel Meier, Die Quadratur des Kreises. Die Diagrammatik des 12. Jahrhunderts als symbolische Denk- und Darstellungsform, in: Alexander Patschovsky (Hrsg.), Die Bildwelt der Diagramme Joachims von Fiore. Zur Medialität religiös-politischer Programme im Mittelalter, Ostfildern 2003, S. 23-53, S. 221-237 (Abbildungen)
25. Meier (2004): Christel Meier, Figura ad oculum demonstrativa. Visuelle Symbolik und verbale Diskursivität nach Heymericus de Campo, in: Nine Miedema, Rudolf Suntrup (Hrsg.), Literatur – Geschichte – Literaturgeschichte. Beiträge zur mediävistischen Literaturwissenschaft. Festschrift für Volker Honemann zum 60. Geburtstag, Frankfurt a. M. 2004, S. 755-781
26. Meuthen (1988): Erich Meuthen, Kölner Universitätsgeschichte, Bd. 1: Die alte Universität, Köln 1988

27. Miethke (1998): Jürgen Miethke, Die Prozesse in Konstanz gegen Jan Hus und Hieronymus von Prag – ein Konflikt unter Kirchenreformern?, in: František Smahel (Hrsg.), Häresie und vorzeitige Reformation im Spätmittelalter, München 1998 (= Schriften des Historischen Kollegs, 39), S. 147-167
28. Nikolaus von Kues (2002): Nikolaus von Kues, De docta ignorantia. Die belehrte Unwissenheit, in: Paul Wilpert, Hans Gerhard Senger (Hrsg.), Philosophisch-theologische Werke, Bd. 1, Darmstadt 2002
29. Patschovsky (2003): Alexander Patschovsky, Die Trinitätsdiagramme Joachims von Fiore (†1202). Ihre Herkunft und semantische Struktur im Rahmen der Trinitätsikonographie von den Anfängen bis ca. 1200, in: ders. (Hrsg.), Die Bildwelt der Diagramme Joachims von Fiore. Zur Medialität religiös-politischer Programme im Mittelalter, Ostfildern 2003, S. 55-114, S. 238-261 (Abbildungen)
30. Smahel (1966): František Smahel, Leben und Werk des Magisters Hieronymus von Prag, Forschung ohne Probleme und Perspektiven, Historia 13 (1966), S. 81-111
31. Smahel (2003): František Smahel, Das „Scutum fidei christianae magistri Hieronymi Pragensis“ in der Entwicklung der mittelalterlichen trinitarischen Diagramme, in: Alexander Patschovsky (Hrsg.), Die Bildwelt der Diagramme Joachims von Fiore. Zur Medialität religiös-politischer Programme im Mittelalter, Ostfildern 2003, S. 185-210, S. 263-277 (Abbildungen)
32. Thiel (1994): Detlef Thiel, Scientia signorum und Ars scribendi. Zur Zeichentheorie des Nikolaus von Kues, in: Ingrid Craemer-Ruegenberg, Andreas Speer (Hrsg.), Scientia und ars im Hoch- und Spätmittelalter, Bd. 1, Berlin 1994 (= Miscellanea Mediaevalia, 22, 1), S. 107-125
33. Wöhler (1994): Hans-Ulrich Wöhler, Texte zum Universalienstreit, Bd. 2: Hoch- und spätmittelalterliche Scholastik. Lateinische Texte des 13.-15. Jahrhunderts, Berlin 1994

Abbildungen

- Abbildung 1: Das Urbild der Kirche, Bernkastel-Kues, Codex Cusanus 106, fol. 187r, Quelle: Meier (2004), S. 779
- Abbildung 2: Die Konzilskirche, Bernkastel-Kues, Codex Cusanus 106, fol. 187v, Quelle: Meier (2004), S. 780
- Abbildung 3: Die Verfassung der römischen Kirche, Bernkastel-Kues, Codex Cusanus 106, fol. 188r, Quelle: Meier (2004), S. 781

Abbildungen auf Farbtafel 5

- Abbildung A: Heymericus de Campo, Sigillum eternitatis, Bernkastel-Kues, Codex Cusanus 106, fol. 77r, Quelle: Meier (2003), S. 222
- Abbildung B: Hieronymus von Prag, Scutum fidei, Prag, Nat. Bibl. V E 28, fol. 130rv, Quelle: Smahel (2003), S. 271
- Abbildung C: Heymericus de Campo, Sigillum eternitatis, Tongerlo, Abdijarchief, MS V Nr. 325, Quelle: Meier (2003), S. 222

Farbtafel 5



Abbildung A:
Heymericus de Campo, *Sigillum eternitatis*, Bern-
kastel-Kues, *Codex Cusanus* 106, fol. 77r

Abbildung B:
Hieronymus von Prag, *Scutum fidei*, Prag, Nat.
Bibl. V E 28, fol. 130rv

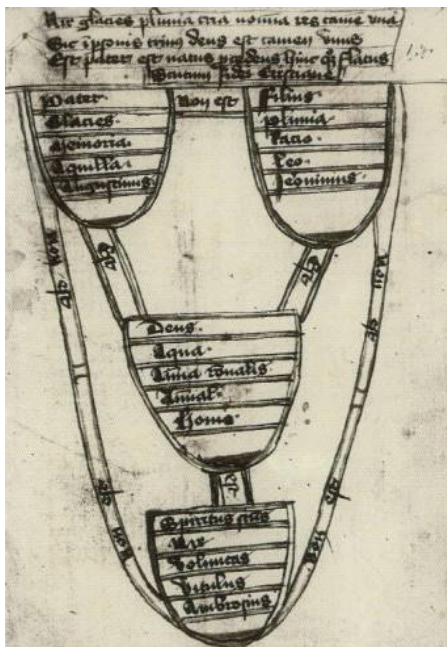


Abbildung C:
Heymericus de Campo, *Sigillum eternitatis*, Ton-
gerlo, *Abdijarchief*, MS V Nr. 325

In Bildern denken¹

Alexander Marksches

„Dem Leser überlasse ich grundsätzlich nichts“

Wolf Haas, Das Wetter vor 15 Jahren

1. Einleitung

Wir leben in einer Welt der Bilder, nutzen das Internet als Bildmaschine, und die Naturwissenschaften bedienen sich bildgebender Verfahren, um ihre Ergebnisse zu visualisieren bzw. sie zu verändern.² Die Philosophie denkt seit mehreren 1000 Jahren über das Thema nach, aktuell beispielsweise Colin McGinn, der unter dem Einfluss der Kognitionswissenschaft „mindsight“ als tatsächlich visuelle Tätigkeit versteht.³ Die Aufzählung ließe sich erweitern, als „Iconic Turn“ ist dieses Phänomen zu einem Mega-Thema der Kunstgeschichte bzw. aller mit Bildern befassten Wissenschaften geworden:⁴ Denn zumindest in unserer Kultur waren Bilder nie zuvor so präsent und prägend wie heute, spielen Bilder die entscheidende Rolle bei der Konstruktion unserer Wirklichkeit. Und in jedem Fall sind die drängenden Probleme, die sich damit verbinden, eine der größten Herausforderungen überhaupt. Die überwältigenden, nach Bazon Brock sehr riskanten Evidenzerlebnisse,⁵ die Bilder generieren – so gilt das Auge bereits manchem Gelehrten des 15. Jahrhunderts als zugleich edelstes wie auch am leichtesten zu täuschendes Organ –,⁶ diese Evidenzerlebnisse machen einen rationalen Umgang notwendig, eine Bildkritik.

Als nur ein, gleichwohl zentraler Aspekt dieses Themas wird im Folgenden das Bildverständnis ausgewählter Künstler in den Blick genommen und nach der Eigengesetzlichkeit der Kunst gefragt. Ob und wie in Bildern gedacht wird, ob Bilder mithin eine epistemische Kraft haben, soll an Kunstwerken untersucht werden. Ich frage, inwieweit Bilder eine eigene, nur ihnen zugehörige Logik besitzen, Sinn erzeugen aus genuin bildnerischen Mitteln. Dass für einen Kunsthistoriker in der Regel die Sprache als Erkenntnisinstrument dient, ist nur eines der methodischen Probleme, die sich mit dieser Frage verbinden: Die Logik der Kunst ist in der Regel nicht nach dem Muster von Sprachformen gebildet, Kunst wird nicht gesprochen, sondern wahrnehmend realisiert. Und wenn man etwa ein Bild beschreibt, dann reflektiert man den Akt der Bild-

¹ Der Aufsatz folgt weitgehend der Vortragsfassung; für anregende Gespräche und Hinweise danke ich Edgar Bierende, Katja Blomberg, Martina Długażyk, Andrea Esser, Andreas Gormans, Joachim Jäger, Antje-Fee Köllermann und Reinhard Spieler. Der Titel scheint nebst seinen Varianten „Bilderdenken“ und „Denken in Bildern“ im Augenblick sehr in Mode, vgl. etwa eine Tagung des Alfred Krupp Kollegs Greifswald im September 2007.

² Vgl. nur Kemp (2003); Beyer/Lohoff (2005) und Elkins (2007).

³ McGinn (2007).

⁴ Boehm (1994) und zuletzt Boehm (2007). Vgl. auch die Forschungen der interdisziplinären Arbeitsgruppe „Die Welt als Bild“ der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, etwa Reichle (2007).

⁵ Brock in Maar/Burda (2004), S. 323-332.

⁶ Reiches Material bei Schleusener-Eichholz (1985).

betrachtung, macht sich Gedanken über das Gesehenhaben.⁷ Vornehmlich als Problemstellung wird es demnach möglich sein, das Thema unter den Bedingtheiten des reflektierten Gegenstandes zu diskutieren.

2. Joel Schumacher

Im Jahr 1993 kommt ein Film in die Kinos – „Falling Down“ des Regisseurs Joel Schumacher (Drehbuch: Ebbe Roe Smith) –, der nach den ersten Sätzen der die DVD umhengenenden Verpackung folgende Geschichte erzählt:

„In glühender Hitze im endlosen Stau von L.A. dreht „D-Fens“ durch und entschließt sich, zu Fuß zum Heim seiner Ex-Frau zu gelangen. Dieser lange Marsch wird zu einem Rachefeldzug im Dschungel der Großstadt. Ein nervenzerreißender Wettlauf auf dem Weg in den Wahnsinn beginnt...“

Nun wird man gewiss zu Recht sagen dürfen, dass das Erzählen von Geschichten nicht das entscheidende Charakteristikum und die herausragende Qualität der Gegenwartskunst sind – selbst im Film. Tatsächlich ist das in Rede stehende Meisterwerk auch weit mehr als lediglich eine Parallelgeschichte des letzten Arbeitstages des Polizisten Martin Prendergast (Robert Duval) und des letzten Lebenstages des ehemaligen Rüstungstechnikers Wiliam „D-Fens“ Foster (Michael Douglas).⁸ Ungleich spannender ist etwa – um nur diese Passage hier in den Blick zu nehmen –, wie in Kapitel 5 das Thema des Sehens fokussiert wird: Michael Douglas blickt durch das riesige Loch in der Leder- und Brandsohle seines Schuhs auf die Stadt (Abbildung 1a/1b). Der Schuh fungiert als ein Wahrnehmungsapparat, der allerdings in der Folge durch das Einlegen von Schrift, hier Zeitungsstreifen, unbrauchbar gemacht wird und damit zugleich seinen eigentlichen Nutzungsaspekt zurückerhält (Abbildung 1c). Zwei Puertoricaner umrunden anschließend den Steinblock, und was folgt, ist nichts weniger als eine der besten Szenen der Filmgeschichte überhaupt:

„Was wollen Sie hier?“ „Nichts, gar nichts.“ „Doch, Sie befinden sich hier auf Privatbesitz.“ „Privatbesitz?“ „Hier wird nicht rumgelungert!“ „So was nennt man unbefugtes Betreten.“ „Ich habe keine Schilder gesehen.“ „Und wie nennst Du das?“ „Graffiti?“ „Nee Mann, das iss kein Graffiti, das iss’n Verbotsschild (that’s not fucking graffiti that’s a sign).“ „Der kann nicht lesen.“ „Ich les’ es Dir vor.“ „Da steht deutlich, dass es ’n Privatgrundstück iss. Betreten für Gesichtsärsche verboten. Damit meinen wir ausdrücklich solche Vögel wie Dich.“ „Das steht alles da drauf?“ „Ja!“ „Wenn Ihr’s in meiner Sprache geschrieben hättet, könnte ich’s vielleicht lesen (maybe you wrote it in fucking english, I can fuckin understand it).“ „Der Typ hält sich für witzig, ich kann darüber gar nicht lachen.“ „Ich auch nicht.“

⁷ Vgl. Boehm in Maar/Burda (2004), S. 28-43.

⁸ Vgl. bereits die – wie stets – meisterliche Analyse von Martin/Porter (2000), hier S. 358: „Falling Down has been misinterpreted as endorsing violence, but director Joel Schumacher and screenwriter Ebbe Roe Smith have, above all, created a thoughtful and believable character study.“

Ganz knapp zusammengefasst wird in der Szene demnach die Verbindlichkeit der Lesart von Zeichen thematisiert und in Frage gestellt (Abbildung 1d). Der Film besinnt sich seiner eigenen künstlerischen Mittel, operiert mithin gattungsreflexiv. Und die kommunikativen, interkulturellen Probleme mit den entsprechenden, katastrophalen Konsequenzen entstehen nicht nur aus Sprachdifferenzen, sondern letztlich vor allem durch mangelnde Bildkompetenz.

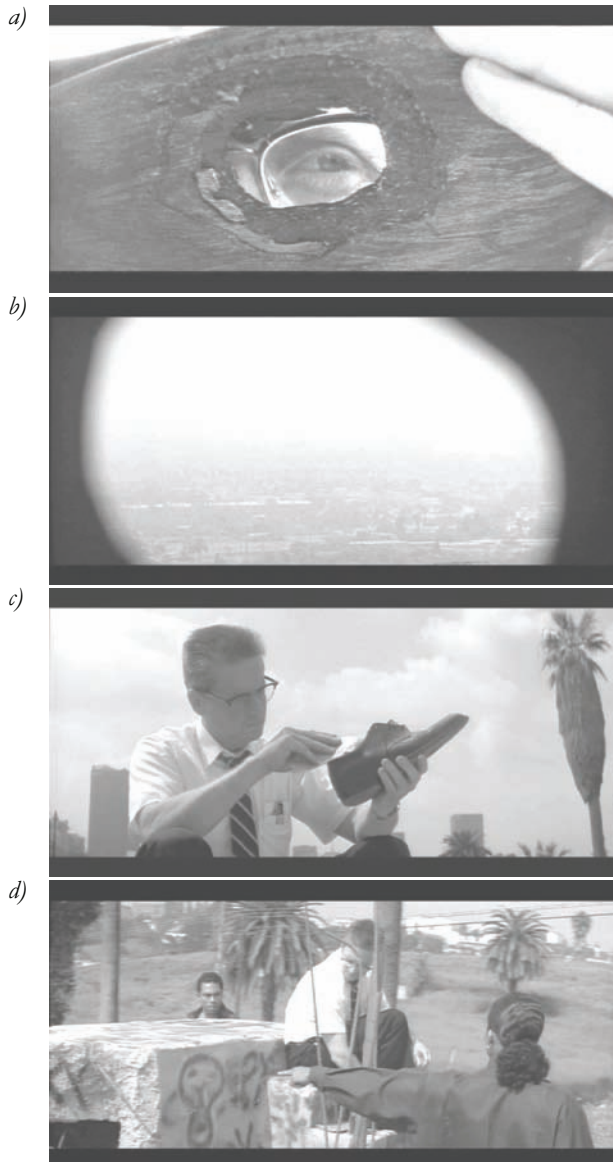


Abbildung 1a-d: Filmstills aus „Falling Down“

3. Thomas Demand

Wenn schon ein Film sich jenseits der Sprache begeben kann, ja sie letztlich in Frage stellt, wie sehr muss dies für nonverbale Kunst gelten; zumal für Fotografie, die nach wie vor ästhetisch brisant ist, weil sie nur scheinbar abbildenden Charakter hat.

Betrachten wir die Reproduktion eines 183,5 x 349,5 cm messenden C-Prints, mit- hin einer Fotografie ziemlich großen Formats (Abbildung 2). Das Papier ist im Diasc-Verfahren zwischen Plexiglas geklebt und auf eine Holzkonstruktion montiert, das Kunstwerk wird somit dreidimensional. Ein Objekt, wenn man so will, und damit not- wendiger Weise nur eingeschränkt reproduzierbar. Gezeigt wird eine unscheinbare Situ- ation: ein längs gestreckter, aufgesockelter Tisch, an dem vier Stühle stehen, denen vier Namensschilder sowie Becher, Papiere und Stifte zugeordnet sind. Der Betrachter sieht diese Anordnung von einem leicht nach rechts verschobenen Standpunkt. Hinter dem Mobiliar das optisch Auffälligste, eine Wand aus einer schmalen, senkrechten Streifen- folge in irisierender, nahezu spektraler Farbigkeit.

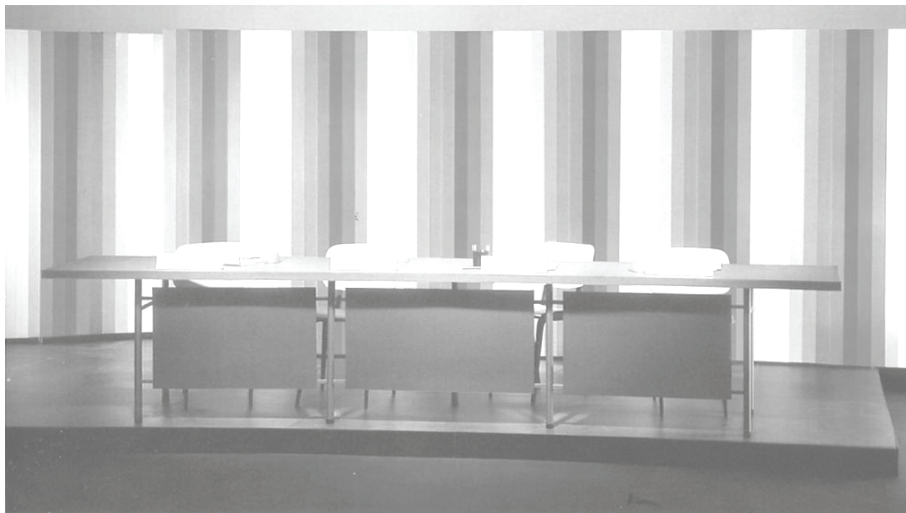


Abbildung 2: Thomas Demand, 'Studio' (1997)

Autor des Werks ist der 1964 geborene Thomas Demand.⁹ In der Nähe des Hamburger Bahnhofs in Berlin produziert dieser in einem großen Atelier und mit großem Erfolg überaus kunstvolle Papier- und Papparbeiten, die er dann fotografiert, dem Modell im Format gleich reproduzieren lässt und anschließend zumeist vernichtet – und dies übr- igens seit seiner Studienzeit, also eine Produktion ohne Änderung der künstlerischen Strategie. Die Situationen sind stets menschenleer, setzen aber menschliches Eingreifen voraus, mit den Fotos entstehen irritierende Abbilder einer Simulation von Realität – es sei zunächst darauf verzichtet, dieses Spannungsfeld weiter auszuloten.

⁹ Vgl. zum Begriff des Autors Jannidis et al. (2000).

Wie bei vielen anderen Arbeiten ist auch in Demands „Studio“ – so der Titel dieses Werks aus dem Jahre 1997 – die Welt definitiv nicht in Ordnung. Dafür braucht man noch nicht einmal zu wissen, dass hier ein Modell fotografiert wurde, es reicht, die Eigentümlichkeit der Situation zu spüren. Denn obwohl alles nach einer Podiumsdiskussion ausschaut, fehlen die Namen auf den Schildern, und auch der artifizielle Hintergrund weist eine Störung auf: Über dem linken Stuhl gibt es einen Vorsprung, zudem ist auch die Farbfolge des links anschließenden Wandelements invertiert. Ganz offenbar werden solche bewusst kalkulierten Irritationen als ein zentrales Gestaltungselement eingesetzt.

Aufgeblätterte Papiere, Gläser mit verschiedenem Füllungsstand, die ungleichmäßig positionierten Stühle und andererseits die leeren Namensschilder sowie der unbesetzt gebliebene, verwaist scheinende zweite Platz von links deuten darauf hin, dass Demand ein zeitliches Vor und Danach verewigt, und nicht lediglich eine Momentaufnahme. Mit dieser Paradoxie bedient er sich eines der klassischen Mittel der Kunst, in Bildern zu erzählen.¹⁰ Wenn der Betrachter will, kann er assoziieren: die Farbfolge könnte ihn an das Logo des Computerherstellers Apple oder des Fernsehsenders SAT1, von Greenpeace oder der Glücksspirale erinnern, an die simple Anordnung eines handelsüblichen Sets von Buntstiften oder gar – besonders schick – an Spectrum I von Elsworth Kelly aus dem Jahre 1956.¹¹ Eindeutig wird der Bildsinn dadurch aber nicht, immerhin liegt mit dem Farbspektrum ein offenbar sehr zahlreich auftretendes koloristisches Ordnungssystem unseres Alltags vor. Das Kunstwerk gibt dem Betrachter die Möglichkeit, sein Bildgedächtnis aufzurufen, einen Kunsthistoriker zwingt sie unmittelbar zu diesem fachimmanenten „Pawlow’schen Reflex“,¹² allerdings – weitet man den Blick wieder auf die gesamte Szenerie – mit einem insgesamt überraschenden Ausgang.

Denn genau so wie andere Bilder des Thomas Demand, die in analogem Verfahren entstanden sind, geht „Studio“ – wie bereits erwähnt – auf ein konkretes Foto zurück. Dafür einige Beispiele aus dem Œuvre des Künstlers: „Raum“ von 1994 zeigt die Wolfsschanze nach dem Attentat vom 20. Juli 1944, „Archiv“ von 1995 einen Blick in das Filmarchiv der Leni Riefenstahl und „Badezimmer“ aus dem Jahr 1997 die Badewanne, in der Uwe Barschel sein Leben gelassen hat.¹³ Auf Gegenüberstellungen von Werk und Vorlage nach dem klassischen und für die Kunstgeschichte lange Zeit essentiellen Verfahren des Vergleichs sei – als Diskursexperiment – verzichtet: In der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit dem überaus erfolgreichen Künstler werden die Bildvorlagen mit einer einzigen mir bekannten Ausnahme ebenfalls nicht gezeigt,¹⁴ vielleicht noch nicht einmal recherchiert. Auch Ausstellungen nebst ihren Katalogen fokussieren diesen Aspekt der Demand’schen Bildstrategie nicht – vermutlich gerieten sie dann zu langweilig.

¹⁰ Vgl. zum Thema nur Kemp (1996).

¹¹ Die Beispiele nach Morrissey (1998).

¹² Der Gedanke nach Köstler (2003), S. 27.

¹³ Für Abbildungen siehe Förster (2001), S. 121 und Gronert (1999), S. 65, 82; vgl. für weitere Beispiele Diers (2006), S. 93-97.

¹⁴ Diers (2006), S. 93-97.

In Texten wird die Distinktion zur Vorlage dagegen häufig betont. So schreibt etwa Friederike Wappler mit Bezug auf „Raum“ (Abbildung 3):

„Thomas Demand hat den gebauten und aufgenommenen Raum nicht selbst erfunden. Er bezieht sich mit einem Bild auf eine Fotografie, die den misslungenen Bombenanschlag auf Adolf Hitler am 20. Juli 1944 dokumentiert und die zerstörte „Lagebaracke“ des Führerhauptquartiers Wolfsschanze bei Rastenburg in Ostpreußen zeigt. Er wirft die Frage nach einem noch möglichen Historienbild im Zeitalter massenmedialer Bilder auf. Anders als Gerhard Richter [...] verfremdet Demand die massenmediale Ansicht durch eine doppelte, sowohl skulpturale als auch fotografische Re-Konstruktion. Das von ihm sehr bewusst geschaffene Bild ent-automatisiert die durch Massenmedien längst geprägte Wahrnehmung und macht die im kollektiven Bewusstsein verankerten medialen Geschichtsbilder als eine „erfundene Wirklichkeit“ anschaulich.“¹⁵

Ganz offenbar wird hier mit klugen Worten – so ist das Denkbild „erfundene Wirklichkeit“ gewiss geschickt gewählt – sprachlich der künstlerischen Strategie Thomas Demands gefolgt, sie gleichsam abgebildet.



Abbildung 3: Thomas Demand, „Raum“ (1994)

Dem sei zunächst mit einer weiteren Lesart nachgegangen, um dann aber eine Alternative zu erproben. Mit Blick auf die Originale erweist sich immer wieder deren stupende handwerkliche Finesse. Dass mit den Fotos Modellen aus dem fragilen Material Papier Dauer verliehen wird, ist mehr als raffiniert. Zugleich sind die Fotos „wahre Lü-

¹⁵ Wappler in Förster (2001), S. 144 f.

gen“,¹⁶ denn sie bilden ja nicht ab, sondern konstruieren Wirklichkeit, Höhepunkt des Œuvres wird damit „Hecke“ bzw. „Laub“ aus dem Jahr 1996.¹⁷ In dieser Sicht deutet das Fehlen der Namensschilder in „Studio“ nicht nur auf Zeitlichkeit, sondern vielmehr auf eine plurale Grundhaltung: Das gesamte Arrangement wandelt sich zu einer Podiumsdiskussion oder Pressekonferenz, zu einer Öffentlichkeitszuwendung, wo potentiell wir alle uns nach vorne auf die leeren Stühle und vor die Fernsehkamera begeben könnten. Thomas Demands „Studio“ ist demnach ein Beitrag zum aktuellen Bildlichkeitsdiskurs.

Wenn man sich allerdings der klassischen kunsthistorischen Methodik des Bildvergleichs bedient, dann scheint sich eine andere Möglichkeit der Interpretation zu eröffnen. Von Heinrich Wölfflin – nach entscheidenden Voraussetzungen im 18. Jahrhundert – im akademischen Lehrbetrieb als Dia-Doppelprojektion kanonisiert und noch heute in der „PowerPoint-Präsentation“ angewandt, ja multipliziert, geht sie von der Prämisse aus, dass Denken stets im Vergleich funktioniere. Sie entdeckt beispielsweise Einflüsse, Übernahmen, Fortschritte oder auch Renaissanceen.¹⁸ Thomas Demands Arbeiten vergleichend zu analysieren, heißt, seine Bildvorlagen aufzuspüren, ein Stück weit die Forschung über ihn zu ignorieren, und bedeutet zugleich auch, dass man vom Künstler selbst keine Hilfe erwarten darf: Der Nachfrage zum Thema seiner Bildvorlagen verweigert er sich konsequent, ja er verschweigt sie, in dem die Titel der Arbeiten durchweg allgemein gehalten sind: „Archiv“, „Badezimmer“, „Raum“, „Studio“ etc.

Tatsächlich aber geht „Studio“ auf ein Foto des Bayerischen Rundfunks zurück, und zwar der über 34 Jahre währenden Ratesendung „Was bin ich?“ (Abbildung 4). Als Distinktion gegenüber der Vorlage wurden lediglich die Personen entfernt und der Hintergrund in seiner Gradation graublauer Farben verändert: hier findet sich auch, allerdings seitenverkehrt, der Vorsprung – in der Geschichte der Kunst ein klassisches Indiz für die Verwendung einer Vorlage als gleichsam ein „Abklatsch“. Durch den Vergleich verliert das Werk ein wenig seinen Reiz – einschränkend sei wiederholt: vor allem in der Reproduktion. Es gewinnt aber andererseits durch das Bilderdenken des Künstlers einen weiteren Aspekt: Denn es schreibt sich in die Tradition des „Fake“ ein, wird Teil der Appropriation Art. Mit dieser Strategie der „Aneignung fremder Bildlichkeit“ (so würde eine Definition lauten) konnten Gerhard Richter und Konrad Lueg 1963 ein ganzes Möbelhaus einschließlich eigener Arbeiten zu einer Kunstausstellung umfunktionieren, Guillaume Bijl 1986 den Kölnischen Kunstverein in ein Geschäft für Herrenbekleidung verwandeln (Abbildung 5). In der Pressemitteilung ließ Bijl mit Bezug auf die Kürzungen im Kulturretat verlauten: „Da es am Interesse für Kunst und Kultur mangelt, muss der Kölnische Kunstverein schließen und vermietet seine Räume. Das Personal wird berufsorientiert.“¹⁹

¹⁶ Der Begriff in Anlehnung an Scotti (1996).

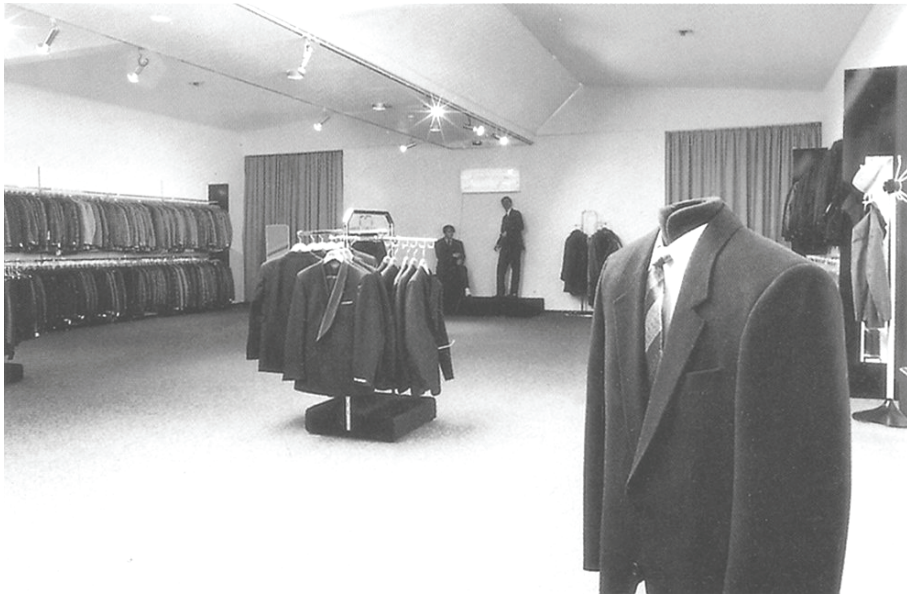
¹⁷ Abbildung in Gronert (1999), S. 34.

¹⁸ Vgl. zum Thema nur Ratzeburg (2002) mit Verweisen auf ältere Literatur, etwa die herausragenden Beiträge von Heinrich Dilly, sowie Reichle (2007).

¹⁹ Zit. nach Römer (2001), S. 229.



Abbildung 4: Präsentationsbild „Was bin ich?“



*Abbildung 5: Guillaume Bijl, 'Herrenbekleidung' (1986)
Installation im Kölnischen Kunstverein*

Fünf Jahre zuvor eröffnete Sherrie Levine in New York eine Ausstellung, die komplett aus Fotografien von Walker-Evans-Fotografien bestand. Mit dem Titel „Sherrie Levine after Walker Evans“ markierte sie eine extreme und viel diskutierte Position, da sie die

Kategorie der künstlerischen Originalität ad absurdum zu führen schien. Denn die Fotoarbeiten weisen auf den ersten Blick keine feststellbaren Unterschiede zu Evans' bekannten Dokumentar fotografien auf.²⁰ Im Jahr 1988 schließlich zeigte Peter Weibel eine Installation im Wiener Museum für Angewandte Kunst, die ausdrücklich auf Arbeiten von Pollock, Judd und Warhol verweist: Der Titel ist „Jackson Pollock konvergiert mit Donald Judd und Andy Warhol“. Die Kunstgeschichte dieser Aneignungsformen ist schon längst geschrieben, und die Auseinandersetzungen mit Peter Weibel haben bereits mehrfach stattgefunden, so in den Texten zur Kunst oder durch Stefan Römer.²¹ Hier findet sich dann auch die entsprechende Kritik, auf die ich lediglich verweise. Aber die Appropriation Art sei erwähnt, um zu demonstrieren, wie sich Thomas Demand ihrer künstlerischen Strategien bedient, um andererseits über sie hinauszugehen. Wenn schon seine Werke nur eingeschränkt eine originäre Bildfindung darstellen, dann wird mit ihnen zumindest Kreativität und eine stupende handwerkliche Finesse, mithin der Künstler als Schöpfer des Kunstwerks wieder aktuell. Und letzteres hat die Appropriation Art geradezu auslöschten wollen, es war auch ein zentrales Thema der Diskussion um die Theorie der Autorschaft.

Durch den Vergleich kann man auch als Kunsthistoriker in Bildern denken: Kerstings Friedrich-Bild von ca. 1812 zeigt durch die Rückansicht der Leinwand, dass der Schaffensprozess des Malers letztendlich ein Geheimnis bleibt; und die vergleichsweise Kahlheit des Raumes folgt stimmig der Aussage Kügelgens, Friedrich sei der Meinung, „dass alle äußeren Gegenstände die Bilderwelt im Inneren stören“;²² der Maler selbst schrieb, „dass die Kunst aus dem Inneren des Menschen hervorgehen muss.“²³ Auch ein Holzstich von 1865 thematisiert die „Tabula rasa“ als Denkbild (Abbildung 6): Scheinbar fragt ja hier die Leinwand, was aus ihr werden soll. Die Lösung reitet von rechts heran.²⁴ Kerstings Bild des Ateliers von Gerhard von Kügelgen zeigt hingegen einen dermaßen vollen, in den Worten seines Sohnes „hageldicht bedeckten“ Arbeitsraum,²⁵ dass man an Francis Bacons Atelier erinnert wird.²⁶

Darüber hinaus verwendet das Fach Kunstgeschichte wie jede andere Geisteswissenschaft das uralte wissenschaftstheoretische Modell, dass man auf den „Schultern von Riesen“ stehe.²⁷ Wenn man sich auf vorgängige Texte bezieht, vermag man idealiter weiter zu blicken. All' dies im Kopf, soll noch ein weiteres Kunstwerk etwas ausführlicher analysiert und das eigentliche Thema fokussiert werden. Es soll als eine Art „Nagelprobe“ fungieren.

²⁰ Isabelle Graw (in Kaiser [2004], S. 67, Anm. 19), weist indes auf eine Distinktion durch die „spezifische Rahmung“ hin.

²¹ Römer (2001).

²² Zit. nach Krämer (2006), S. 21; vgl. auch Ullrich (2005), S. 24-26.

²³ Zit. nach Vogel (1986), S. 53.

²⁴ Wagner (2004), S. 67 f.

²⁵ Zit. nach Krämer (2006), S. 22.

²⁶ Das Thema verdiente eine ausführlichere Analyse, vgl. etwa Vogel (1986).

²⁷ Merton (1983).

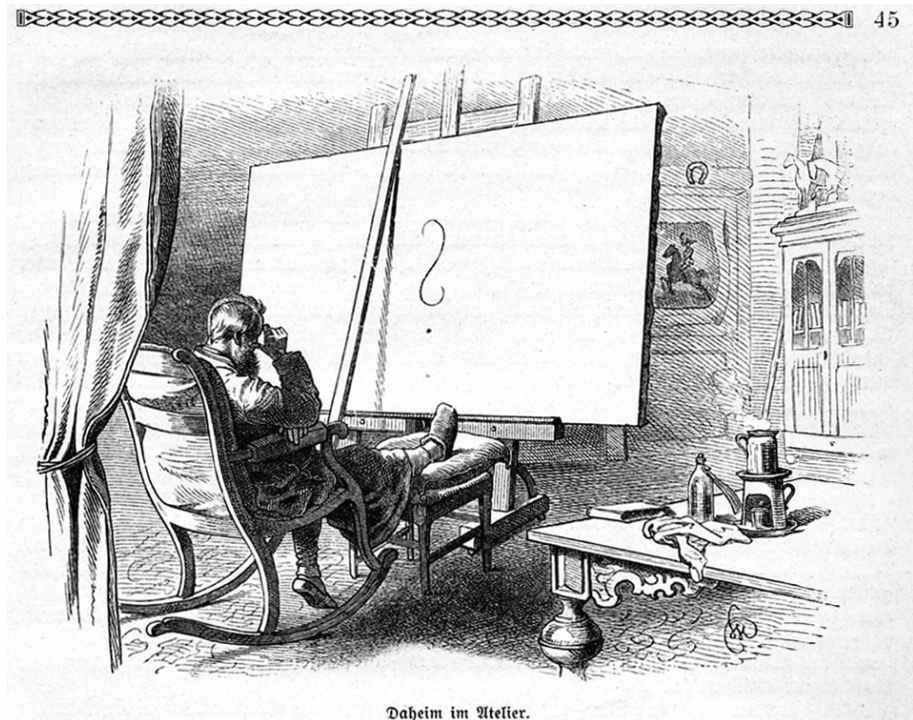


Abbildung 6: Wilhelm von Camphausen, 'Ein Maler auf dem Kriegsfelde' (1865)

4. Louise Lawler

Ich beziehe mich wiederum auf eine Fotografie, und zwar ein 100,3 x 71,1 cm messendes Cibachrome aus dem Jahr 1984 (Abbildung 7). Autorin ist die inzwischen knapp 60 Jahre alte New Yorkerin Louise Lawler, die erst in den letzten Jahren in Europa bekannter wird.²⁸ Der Titel des Werkes lautet „Monogramm“, er bezieht sich offenbar auf die im Bettlaken eingestickten Buchstaben ETH.

Das Bild mag unscheinbar, sogar langweilig, andererseits vielleicht aber pathetisch wirken, ich lasse dies zunächst unbestimmt. Der Ausschnitt ist passend, die Komposition ausgewogen, links und rechts flankieren zwei Lampen die Szenerie. Das quersformatige Bild über dem Bett, auf das die Wäsche farblich und im Dekor abgestimmt ist, kommt überschneidungsfrei zur Geltung. Allenfalls könnte man sich verwundert zeigen, dass ein Meilenstein der Kunstgeschichte, eines der Flaggenbilder von Jasper Johns, einen scheinbar so unpräzisen Aufbewahrungsort gefunden hat. Es ist zum Schlafzimmerbild geworden.²⁹ Die Sammler können hier mit dem Werk in äußerster Privatheit Zwiesprache halten. Wenn man denn nicht ein „lever“ annehmen will, hat in

²⁸ Ein Markstein ist Graw (1994/1995).

²⁹ Vgl. Grasskamp (2000).

jedem Falle Louise Lawler diese Privatheit öffentlich gemacht. Der Reiz ihres Kunstwerks begründete sich dann darin, dass ein Jasper Johns mit einem aktuellen Marktwert zwischen acht und zwölf Millionen Dollar in fotografischer Sicht einen ambivalenten Adressatenkreis bekommt. In dieser Sicht darf man dem Bild durchaus heroische Züge zumessen. Darüber hinaus ermöglicht wie bei „Studio“ der Titel einen Zugang zum Werk. Denn das Monogramm, also in klassischer Lesweise die Signatur des Künstlers, verweist ja hier auf den Sammler.

Aber steckt mehr in dem Foto? Ein vergleichender Blick auf das Œuvre der Louise Lawler scheint zunächst nicht weiterzuhelfen: Ein Bild aus derselben Fotokampagne wie Monogramm kombiniert eine Suppenterrine mit einem Jackson Pollock, gewiss ein ebenfalls überraschender Blick in eine Privatsammlung (Abbildung 8). Recherche fördert zu Tage, dass sich Louise Lawler im Sommer 1984 mehrere Wochen im Privathaus der Tremaines in Connecticut aufgehalten, und deren Arrangement ihrer Kunstsammlung dokumentiert hat. Dadurch lässt sich auch das Monogramm namhaft machen und in Emily Hall Tremaine auflösen, eine der berühmtesten Kunstsammlerinnen Amerikas. Davon ausgehend könnte man die Autoreferentialität von Louise Lawler in den Blick nehmen, ihr stetiges Fragen, wie Kunst heute kontextualisiert wird, und vor allem, welche Rolle Frauen hier spielen. Ich will jedoch einen anderen Weg gehen, der die scheinbare Entsubjektivierung, die Ausschaltung der Fotografin von Monogramm, thematisieren soll.



Abbildung 7:
Louise Lawler, „Monogramm“
(1984)



Abbildung 8:
Louise Lawler, „Pollock and Tureen, Arranged by Mr. and Mrs.
Burton Tremaine, Connecticut“ (1984)

Dabei sei eine Schriftquelle zu Hilfe genommen, und zwar ein einziges, aber überaus bezeichnendes Wort aus einem Interview von Andrea Fraser aus dem Jahr 2003. Hierin sagt die Konzeptkünstlerin, dass sie „Monogramm“ von Louise Lawler „witzig“ fände, erklärt aber nicht warum – und ihr Gesprächspartner George Baker fragt auch nicht weiter nach:³⁰ Offenbar liegt hier ein interner Diskurs vor, der dem Außenstehenden

³⁰ Kaiser (2004), S. 127.

hermetisch verschlossen bleibt. Wahrscheinlich kaum ein europäischer Betrachter findet Monogramm wirklich witzig. Forscht man aber nach, dann konstruiert der Titel der Fotografie ein Referenzsystem weit über seinen vordergründigen Verweischarakter hinaus. Denn „Monogramm“ ist auch der Titel eines der bekanntesten „Combines“ von Robert Rauschenberg.³¹ Als eine psychologisierende Deutung würde man hervorheben, wie hier mit Tier und Reifen „Penetration“ zum Thema gemacht wird, und damit die anekdotische Information verbinden, dass Rauschenberg in „Monogramm“ sein „coming-out“ in ein Kunstwerk übersetzt. Wie dem auch sei: In jedem Fall schuf Rauschenberg sein „Combine“ im selben Jahr wie Johns die „white flag“, die Louise Lawler ins Bild setzt. Ja mehr noch: in den Jahren um 1955 standen sich Rauschenberg und Johns, wie man dezent umschreiben darf, sehr nahe. Intime Detailskenntnis lässt also das Bild nicht nur zum Dokument einer Künstlerfreundschaft sondern tatsächlich witzig werden, auch das Bett mag nun eine sinnfällige Wirkung entfalten. Durch Andrea Frasers Aussage angestoßen, erhalten wir also mit Louise Lawler einen sehr weit gehenden Einblick in private Sphären, werden diese sogar öffentlich gemacht. Zudem wird in der Fotografie, ihren Titel eingeschlossen, darüber nachgedacht, wer sich eigentlich in Bilder einschreibt.

Alles scheint sich demnach in „Monogramm“ stimmig zusammenfügen. Nach dieser Vertextlichung des Bildes zur Fokussierung seiner Aussage darf man sich allerdings die hermeneutische Grundfrage stellen, ob bei Louise Lawler diese Intentionen bereits Teil der Konzeption sind: Gadamer macht die Frage in Wahrheit und Methode mit Rückgriff auf Schleiermacher zum Ausgangspunkt, es gelte, „einen Schriftsteller besser zu verstehen als er sich selbst verstanden habe“.³² Und nach Merleau-Ponty hat bekanntlich „das, was man tut, mehr Sinn, als man weiß.“³³

Dass Louise Lawler mehrere Wochen in der Sammlung verbracht hat, dass sie aber ihre Fotos ohne raffinierte Ausleuchtung und nur mit der Kleinbildkamera aufnimmt, scheint mir ein Spannungsfeld zu konstruieren. Man kann sich eben nicht sicher sein, wie stark die Inszenierung durch Perspektive und Fokussierung ist. Und der Bildtitel mag auch im Nachhinein gefunden worden sein. In diesem Spannungsfeld versucht der tiefgründige Snapshot vielleicht gar ein Porträt, von Johns, Rauschenberg und den Tremaines. Damit würde einmal mehr im eigenen Bildmedium, hier der Fotografie, nachgedacht, so beispielsweise über das im 19. Jahrhundert postulierte Ende des Porträts durch die Fotografie. Auch dabei wird man allerdings eine Einschränkung machen müssen: Das „Bilder-Denken“ der Louise Lawler funktioniert zunächst und vor allem für einen ganz bestimmten Adressatenkreis, etwa im New York der achtziger Jahre des ausgehenden 20. Jahrhunderts für Künstler, die an den Hochschulen einen beträchtlichen Anteil ihres Studiums mit klassischer Kunstgeschichte zugebracht haben. Die ambivalente Referenzialität macht es letztlich unmöglich, die Strategie des Bildes auf eine Verfahrensweise zu reduzieren, die auf einem eindeutigen Bezugssystem basierte.

³¹ Abbildung in Rauschenberg (1998), S. 137.

³² Gadamer (1999), vor allem S. 61-66, 195-201; vgl. auch Bollnow (1940).

³³ Vgl. etwa Merleau-Ponty (1966), S. 250 et passim.

5. Schluss

Ob sich das Bilderdenken nach den gezeigten Kunstwerken auf eine schlüssige Formel bringen lässt, scheint mir zweifelhaft. Eine Definition wäre abhängig von der Zeit und vom Kontext, ob etwa Künstler, Kunsthistoriker oder Naturwissenschaftler sich dieses Erkenntnisinstrumentes bedienen. Im Hinblick auf die Künstlerperspektive könnte man das Denken in Bildern als produktiven, nichtlinearen Prozess begreifen, bei dem Bilder und Artefakte nicht aus Begriffen, Sprache oder Texten, sondern gattungsimmanent primär aus Bildern und Artefakten generiert werden. Das Referenzsystem verweist auf die Visualisierung äußerer und innerer Bilder nach einem Bildbegriff, der Vorstellung, Erinnerung und Gefühle umfasst. Nach Colin McGinn ist es „buchstäblich wahr, dass wir mit dem Geist sehen.“³⁴ Der Konstruktionsprozess und die durchaus später erfolgende Materialisierung vollziehen sich stets individuell und sind kaum an einen Kanon allgemeinverbindlicher Regeln gebunden. Das Bilderdenken ist mithin eine wesentliche Qualität des Kunstwerks – und natürlich auch des Zugangs zur Kunst.

Dem Fach Kunstgeschichte war dies immer bewusst. Den entsprechenden Umgang hat etwa Aby Warburg zur Methode erhoben, der seine letzten Lebensjahre seit 1924 dem „Mnemosyne-Atlas“ gewidmet hat, einer „Bilderreihe zur kulturwissenschaftlichen Betrachtung antikisierender Ausdrucksprägung bei der Darstellung kosmischer und humaner Bewegungsvorgänge im Europa der Renaissance“. Unter diesem umständlichen Titel versammelte Warburg collageartig Bildertafeln und Bildbeispiele aus dem Repertoire der abendländischen Kunst- und Kulturgeschichte, und zwar jeweils zu bestimmten Bewegungsmotiven oder gestischen und physiognomischen Formeln, die sich über lange Zeiträume und unterschiedliche Regionen hinweg ausgebildet und erhalten haben. Kurt W. Forster hat betont, dass Warburgs Verfahren – als ein Assoziieren in Bildern – die graphische Montage, das ästhetische Erlebnis aus dem Bereich des Formalen in den der Konstitution von Bedeutung überführt.³⁵ Er tat das, weitgehend ohne Worte und Beschriftung, durch reines Zeigen, das auf die Selbstevidenz des Anschaulichen vertraute. Warburgs Tätigkeit beschränkte sich auf die Auswahl und Disposition, die seine Autorschaft ebenso transparent wie entschieden machte. Leider werden die Editionen des Mnemosyne-Atlases bis in die jüngste aus dem Jahr 2000 diesem Meisterwerk nicht wirklich gerecht. Denn Aby Warburg wünschte sich selbst eine stetige Variation der Fotografien, auf deren Rückseiten einige Grundinformationen notiert sind. In einem weiteren Schritt sollten die Erkenntnisse dann versprachlicht werden.

Die Nachfolge Aby Warburgs umfasst etwa das „Musée Imaginaire“ des André Malraux von 1948. Hier wurde im Medium des Buches das Museum ersetzt, und – wie Hans Belting schrieb, der übrigens laut eigener Aussage als Student vor dem Titel gewarnt worden war – „eine unbegrenzte Gesamtvision der Kunst aller Zeiten und Völker entfesselt“ (Abbildung 9).³⁶ Auch Ausstellungskataloge könnte man vor so einem

³⁴ McGinn (2007), S. 5.

³⁵ Forster (1991).

³⁶ Belting (1995), S. 160.

Hintergrund analysieren, und natürlich das Museum selbst, das performativ Stellung nimmt durch Erwerb und Verkauf, Hängung und die Ausstellung.



*Abbildung 9: André Malraux mit den Abbildungsvorlagen für das „Musée Imaginaire“
(Fotografie um 1947)*

Die eingangs beschriebene zunehmende Verbildlichung der wissenschaftlichen Diskurse – ich denke hier übrigens ausdrücklich auch an die Naturwissenschaften – lässt demgegenüber allerdings nochmals die Sprachkompetenz der Kunstgeschichte hervorheben. Sie beschäftigt sich zunächst und vor allem mit der beschreibenden Analyse von Kunstwerken. Leider gelingt diese nur äußerst selten, man erinnere sich an die Worte von Thomas Bernhard aus seinen „Alten Meistern“: „Wenn wir einem Kunsthistoriker zuhören, wird uns übel. Indem wir einem Kunsthistoriker zuhören, sehen wir, wie die Kunst, die er beschwätzt, vernichtet wird. Die Kunsthistoriker sind die eigentlichen Kunstvernichter. Die Kunsthistoriker schwätzen so lange über die Kunst, bis sie sie zu Tode geschwätzt haben.“³⁷

Zu schweigen und stattdessen etwa darauf zu verweisen, dass nur in der visuellen Begegnung mit Kunst ein ästhetisches Erlebnis stattfindet, hilft nicht wirklich weiter. Als „Unsagbarkeitstopos“ ist diese Haltung, die sich der Bemächtigung des Gegenstandes zu entziehen versucht, bezeichnet worden. Angesichts des Medusenkopfes im Palazzo Rondanini äußerte Goethe am 29. Juli 1787: „Wie gern sag’ ich etwas darüber, wenn nicht alles, was man über so ein Werk sagen kann, leerer Windhauch wäre. Die Kunst ist deshalb da, dass man sie sehe, nicht davon spreche.“³⁸

³⁷ Vgl. dazu Sauerländer (1986).

³⁸ Zit. nach Beyer (1997), S. 6.

Literatur

1. Belting (1995): Hans Belting, *Das Ende der Kunstgeschichte. Eine Revision nach zehn Jahren*, München 1995
2. Beyer (1997): Andreas Beyer, „Die Kunst ist deshalb da, dass man sie sehe, nicht davon spreche.“ In welcher Sprache sollen wir sprechen? Zur wissenschaftlichen Koine der Kunstgeschichte, *Wirtschaft & Wissenschaft* 5 (1997), 3, S. 2-9
3. Beyer/Lohoff (2005): Andreas Beyer, Markus Lohoff (Hrsg.), *Bild und Erkenntnis. Formen und Funktion des Bildes in Wissenschaft und Technik*, München, Berlin 2005
4. Boehm (1994): Gottfried Boehm, *Die Wiederkehr der Bilder*, in: Gottfried Boehm (Hrsg.), *Was ist ein Bild?*, München 1994, S. 11-38 (= *Bild und Text*)
5. Boehm (2007): Gottfried Boehm, *Iconic Turn: ein Brief*, in: Hans Belting (Hrsg.), *Bilderfragen. Die Bildwissenschaften im Aufbruch*, München 2007, S. 27-36 (= *Bild und Text*)
6. Bollnow (1940): Otto Friedrich Bollnow, *Was heißt einen Schriftsteller besser verstehen, als er sich selber verstanden hat?*, *Deutsche Vierteljahresschrift für Literaturwissenschaft und Geistesgeschichte* 18 (1940), S. 117-139
7. Diers (2006): Michael Diers, *FotografieFilmVideo. Beiträge zu einer kritischen Theorie des Bildes*, Hamburg 2006 (= *Fundus+*, 162)
8. Elkins (2007): James Elkins (Hrsg.), *Visual Practices across the University*, München 2007
9. Förster (2001): Simone Förster (Hrsg.) „Wenn Berlin Biarritz wäre...“ *Architektur in Bildern der Fotografischen Sammlung im Museum Folkwang, Ausstellungskatalog*, Göttingen 2001
10. Forster (1991): Kurt W. Forster, *Die Hamburg-Amerika-Linie, oder: Warburgs Kulturwissenschaft zwischen den Kontinenten*, in: Horst Bredekamp (Hrsg.), *Aby Warburg. Akten des internationalen Symposiums Hamburg (1990)*, Weinheim 1991, S. 1-37
11. Gadamer (1999): Hans-Georg Gadamer, *Wahrheit und Methode*, in: Hans-Georg Gadamer (Hrsg.), *Gesammelte Werke*, Bd. 1, Tübingen 1999
12. Grasskamp (2000): Walter Grasskamp, *Verteidigung des Sofabildes. Kunst im privaten Raum*, in: Walter Grasskamp (Hrsg.), *Konsumglück. Die Ware Erlösung*, München 2000, S. 132-142
13. Graw (1994/95): Isabelle Graw, *Warum hat die es geschafft? Anerkennungsprozesse bei Künstlerinnen V: Salon Lawler, Artis 46 (1994/95)*, S. 26-31
14. Gronert (1999): Stefan Gronert (Hrsg.), *Große Illusionen: Demand, Gursky, Ruscha, Ausstellungskatalog*, Kunstmuseum Bonn 1999
15. Jäger (1999): Joachim Jäger, *Das zivilisierte Bild: Robert Rauschenberg und seine Combine-Paintings der Jahre 1960-1962*, phil. Diss. Karlsruhe 1997, Klagenfurt 1999
16. Jannidis et al. (2000): Fotis Jannidis, Gerhard Lauer, Matias Martinez et al., *Texte zur Theorie der Autorschaft*, Stuttgart 2000
17. Kaiser (2004): Philipp Kaiser (Hrsg.), *Louise Lawler and others, Ausstellungskatalog Kunstmuseum Basel, Museum für Gegenwartskunst, Ostfildern-Ruit 2004*

18. Kemp (2003): Martin Kemp, Bilderwissen. Die Anschaulichkeit naturwissenschaftlicher Phänomene, Köln 2003
19. Kemp (1996): Wolfgang Kemp, Die Räume der Maler: zur Bilderzählung seit Giotto, München 1996
20. Köstler (2003): Andreas Köstler, Place Royale: Metamorphosen einer kritischen Form des Absolutismus, München 2003
21. Krämer (2006): Felix Krämer, Georg Friedrich Kersting, Caspar David Friedrich in seinem Atelier, 1811, in: Bildnisse in der Hamburger Kunsthalle. Für Uwe M. Schneede, Hamburg 2006, S. 20-23
22. Maar/Burda (2004): Christa Maar, Hubert Burda (Hrsg.), Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder, Köln 2004
23. Martin/Porter (2000): Mick Martin, Marsha Porter, Video Movie Guide, New York 2000
24. McGinn (2007): Colin McGinn, Das geistige Auge. Von der Macht der Vorstellungskraft, Darmstadt 2007
25. Merleau-Ponty (1966): Maurice Merleau-Ponty, Phänomenologie der Wahrnehmung, Berlin 1966
26. Merton (1983): Robert K. Merton, Auf den Schultern von Riesen. Ein Leitfaden durch das Labyrinth der Gelehrsamkeit, Frankfurt a. M. 1983
27. Morrissey (1998): Simon Morrissey, Studio, in: Stephan Berg (Hrsg.), Thomas Demand, anlässlich der Ausstellung Thomas Demand, im Kunstverein Freiburg vom 18. September bis zum 25. Oktober 1998, Ausstellungskatalog, Freiburg 1998, S. 33-37
28. Ratzeburg (2002): Wiebke Ratzeburg, Mediendiskussion im 19. Jahrhundert: wie die Kunstgeschichte ihre wissenschaftliche Grundlage in der Fotografie fand, Kritische Berichte 30 (2001), 1, S. 22-39
29. Rauschenberg (1998): Robert Rauschenberg, Retrospektive, in: Walter Hopps, Susan Davidson (Hrsg.), Ausstellungskatalog, Museum Ludwig Köln 27.06.-11.10.1998, Ostfildern-Ruit 1998
30. Reichle (2007): Ingeborg Reichle, Kunst-Bild-Wissenschaft. Überlegungen zu einer visuellen Epistemologie der Kunstgeschichte, in: Ingeborg Reichle, Steffen Siegel, Achim Spelten (Hrsg.), Verwandte Bilder. Die Fragen der Bildwissenschaft, Berlin 2007, S. 169-189
31. Römer (2001): Stefan Römer, Künstlerische Strategien des Fake. Kritik von Original und Fälschung, phil. Diss. Berlin 1998, Köln 2001
32. Sauerländer (1986): Willibald Sauerländer, „Alte Meister“ oder die Kunsthistoriker in den Romanen, Kunstchronik 39 (1986), S. 81-86
33. Schleusener-Eichholz (1985): Gudrun Schleusener-Eichholz, Das Auge im Mittelalter, 2 Bde., München 1985
34. Scotti (1996): Roland Scotti, „Denn sie sind nicht wahr, obwohl sie den Schein der Wahrheit tragen“, in: Bodo von Dewitz (Hrsg.), Alles Wahrheit! Alles Lüge! Photographie und Wirklichkeit im 19. Jahrhundert. Die Sammlung Robert Lebeck., Ausstellungskatalog Agfa Foto-Historama im Wallraf-Richartz-Museum Köln, Köln 1996, S. 15-23

35. Sloterdijk (2007): Peter Sloterdijk, Der ästhetische Imperativ. Schriften zur Kunst, Hamburg 2007
36. Ullrich (2005): Wolfgang Ullrich, Was war Kunst? Biographien eines Begriffs, Frankfurt a. M. 2005
37. Vogel (1986): Gerd-Helge Vogel, Georg Friedrich Kersting und das Dresdner Atelierbild um 1800, in: Georg Friedrich Kersting: zwischen Romantik und Biedermeier. 5. Greifswalder Romantik-Konferenz Güstrow 14.-18.05.1985. Wissenschaftliche Zeitschrift der Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Gesellschaftswissenschaftliche Reihe 35 (1986), 3-4, S. 50-54
38. Wagner (2004): Monika Wagner, Die „tabula rasa“ als Denkbild. Zur Vorgeschichte bildloser Bilder, in: Barbara Naumann, Edgar Pankow (Hrsg.), Bilder-Denken. Bildlichkeit und Argumentation, München 2004, S. 67-86

Abbildungen

Abbildung 1a-d: Filmstills aus „Falling Down“

Abbildung 2: Thomas Demand, ‚Studio‘ (1997), Quelle: Gronert (1999), S. 69

Abbildung 3: Thomas Demand, ‚Raum‘ (1994), Quelle: Förster (2001), S. 121

Abbildung 4: Präsentationsbild „Was bin ich?“, Quelle: Bayerischer Rundfunk, München

Abbildung 5: Guillaume Bijl, ‚Herrenbekleidung‘ (1986), Installation im Kölnischen Kunstverein, Quelle: Römer (2001), Abbildung 45

Abbildung 6: Wilhelm von Camphausen, ‚Ein Maler auf dem Kriegsfelde‘ (1865), Quelle: Wagner (2004), S. 68

Abbildung 7: Louise Lawler, ‚Monogram‘ (1984), Quelle: Kaiser (2004), S. 126

Abbildung 8: Louise Lawler, ‚Pollock and Tureen, Arranged by Mr. and Mrs. Burton Tremain, Connecticut‘ (1984), Quelle: Kaiser (2004), S. 8

Abbildung 9: André Malraux mit den Abbildungsvorlagen für das „Musée Imaginaire“ (Fotografie um 1947), Quelle: Belting (1995), Abbildung 44

D. Visualisierung und Technik

The Beauty of Antennas and Machines – Visualization in Computational Electromagnetics

Walter Kaiser

1. Interplay of Physics and Technology

The marriage of physics and technology around 1830-1850 gave birth to a vital new branch in technology, namely electrical technology, which at first was telegraphy. Surprisingly, the scientific basis was very small, namely stationary electrodynamics. Very often it was less, that is trial and error. This was even truer for the next phase since 1880, namely a self-contained power generation based on Werner Siemens's dynamo. Clearly on the agenda was minimizing field leakage in electrical machines, i. e. striving for an effective use of the magnetic field. This is very obvious for the DC-generator of Garbe & Lahmeyer from 1886.

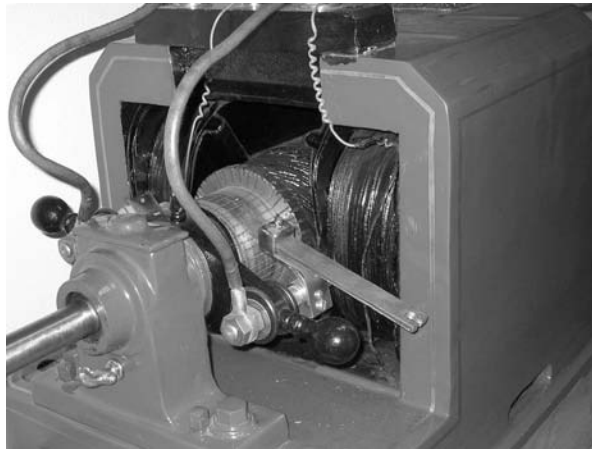


Figure 1: DC generator, Garbe & Lahmeyer Aachen (1886); Institute of Electrical Machines, RWTH Aachen¹

As early as 1860 the forefront in physics could clearly be defined as Maxwell's field theory, including the notorious displacement current. The early systems, which consisted of generators, transformers, power stations, transmission lines, local power supply, electrical light, and of electric drives developed far from the forefront of basic knowledge in electrodynamics.² The knowledge base for construction and optimization of generators and electric motors was confined to the fundamental interaction laws for currents and magnets and for electromagnetic induction. Oliver Heaviside, one of the early proponents of Maxwell's Electrodynamics went so far to state that in England the acceptance of Maxwell's theory was slowed down by a marked concentration on the dynamo.

¹ Photo: Walter Kaiser (2006).

² Schubert (1984).

Among others, Henry Rowland, the brothers John and Edward Hopkinson³, George Frederick Charles Searle, Frederick W. Carter and Charles Proteus Steinmetz⁴ started with tentative calculations of electric machines with help of simple magnetic circuits. A magnetic circuit is represented by a system containing a magnetic flux, which includes for example permanent magnets, ferromagnetic materials and electromagnets. But it may also embrace air gaps and other materials. The magnetic flux forms a closed loop, as described by Maxwell's equations, but the path of the loop depends on the reluctance of the adjacent materials. It is concentrated around the path of least reluctance. An example for early calculations of magnetic circuits in electrical machines is the Carter coefficient. It multiplies the geometrical airgap to give an effective magnetic airgap when the iron surfaces are slotted. Carter applied the method of conformal mapping. Both the complicated geometries of the magnetic fluxes in real electric machines and the complexity of materials involved were clear limitations for numerical calculations in the first decades of the twentieth century.

2. The Advent of Finite Element Method (FEM)

Only the advent of FEM and of fast digital computers allowed for the development of efficient computational methods. With regard to the prehistory of FEM very often Richard Courant is cited with his 1943 paper on variational methods. With this work he already applied triangular elements to the calculation of electric or other potential fields. To unfold somewhat the history of Finite Element Method we have to concentrate on the early 1960s. At that time Ray W. Clough and his graduate students at the UC Berkeley tried to approximately calculate shifts and stresses in large concrete structures, for example in gravity dams. Real progress came soon, for example with the construction of cooling towers of newly developed nuclear power plants, as extensively built in the time period between 1965 and 1975. Subject to Computer Aided Design and Finite Element Calculations were the concrete shells of the towers as well as their complicated wind loads. Close to civil engineering problems were CAD and FEM applications in the aerospace industry. Difficult was, however, the establishment of meshes with increasing numbers of nodes. Another obstacle was the obvious lack of postprocessing, which led to scaring printouts of the number crunching – and number spewing – mainframes at that time.

During the 1980s Finite Element Analysis became a standard tool in serious R&D. It was based on triangular meshes, which now were created with preprocessing tools based on Computer Aided Design. The major asset of Finite Element Analysis was the ability to master complex geometries. At the same time it could trace the interaction of a great number of physical parameters, like temperatures, heat transfers, shifts, mechanical stresses, fluid flow parameters, and eventually electric and magnetic forces.

³ Hopkinson/Hopkinson (1886).

⁴ Kline (1987); Kline (1992).

3. Computation of Magnets and Machines

Driven by the rise of FEM in structural mechanics in the 1960s, Olgierd Cecil (Olec) Zienkiewicz and Y. K. Cheung as early as 1965 ventured to solve practical field problems as well. Zienkiewicz and Cheung were the first to realize the applicability of FEM outside the area of solid mechanics, namely in the case of steady-state heat flow.⁵ A breakthrough with regard to the solution of electromagnetic field problems is due to Alan M. Winslow's work at Lawrence Livermore Laboratory in 1967.⁶ Especially a small series of papers, entitled for example "Numerical solution of the quasilinear poisson equation in a nonuniform triangle mesh", is regarded as a milestone in the field of Computational Electromagnetics (CEM).⁷ A driving wheel was precision magnet design for particle-beam guidance in accelerators in high energy physics, starting with Alan Winslow's calculations in 1967 and ending up with recent simulations from CERN's Large Hadron Collider in Geneva. A specific problem was tracking the already mentioned interplay of diverse parameters, namely computing fields and the related mechanical stresses in high field superconducting coils.⁸

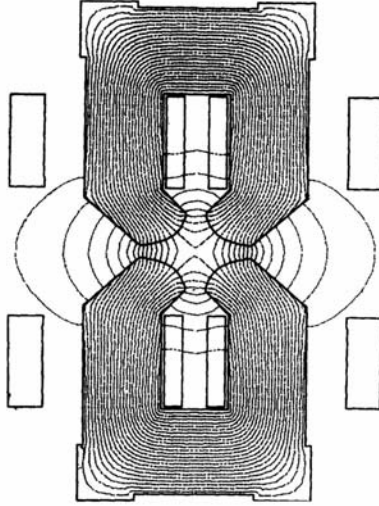


Figure 2: Computation of a quadrupole magnet, from Alan M. Winslow, Numerical solution of the quasilinear poisson equation in a nonuniform triangle mesh (1967)⁹

Another challenge for early CEM was the demanding calculation of the magnetic confinement in fusion experiments. Particularly demanding was the computation in the case of stellarator configurations.

⁵ Zienkiewicz/Cheung (1965).

⁶ Trowbridge/Sykulski (2005).

⁷ Winslow (1967).

⁸ Weiland (1986).

⁹ Winslow (1967), plot on p. 164.

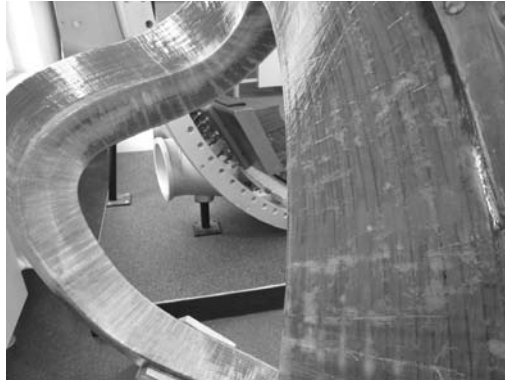


Figure 3: Stellarator coil, Wendelstein -7 AS, operational since 1988, IPP Garching; Deutsches Museum München¹⁰

The first specific application to rotational electric machines came with Peter P. Silvester (with the former Estonian name of Peet) and his second graduate student M. V. Chari. In 1971, they wrote papers on finite element analysis of magnetically saturated DC machines and of turbo alternator magnetic fields and daringly published plots in considerable detail.¹¹

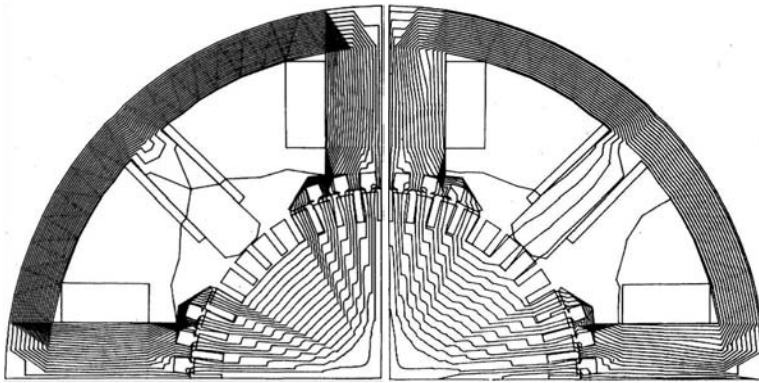


Figure 4: Flux distribution of DC machine on no-load (left), on full load (right); M. V. K. Chari; Peter Silvester (1971)¹²

In the early 1970s the field of Computational Electromagnetics became mature. A clear indication is the foundation of the now firmly established series of Compumag Conferences. It started with a meeting of the international steering committee in 1974. The first conference was held in 1976 in Oxford.¹³ Typically the aim of the early confer-

¹⁰ Photo: Walter Kaiser, 2007.

¹¹ Chari/Silvester (1971a); Chari/Silvester (1971b).

¹² Chari/Silvester (1971a), plots p. 2366.

¹³ Trowbridge (2001).

ences was the analysis of new algorithms for solving field equations. Primarily investigators in the earlier times tackled the problem of static magnetic fields and slowly varying fields. The predominant aim was to achieve two and three-dimensional solutions of static field equations using the Finite Difference and Finite Element Methods, the latter being better suited for complex geometries. Though instrumental in shaping the field, for a considerable period of time high frequency applications did not represent mainstream Computational Electromagnetics. Over a decade the Compumag Conferences did not cross the invisible barrier into the field of displacement current phenomena. As late as 1985 the Compumag conference in Fort Collins 1985 featured the opening of new areas, namely semiconductors, antennas and other high frequency devices.

Memorably in the focus of this paper – namely representation and visualization – is the prehistory of the first French Compumag Conference held in Grenoble in 1978. To the preparatory work belongs a small preliminary conference supported by the publisher John Wiley. It was organized in 1976 by Arrigo L. Frisiani, who directed the Genoa International Center for Computer-Aided Design. Participants from the realm of Computational Electromagnetics (CEM) were among others Peter Silvester and M. V. Chari and from the realm of FEM the British pioneer Olgierd Cecil (Olec) Zienkiewicz and Richard H. Gallagher, then moving from Cornell's Department of Structural Engineering to the department of Engineering at the University of Arizona. The direct outcome was a most influential volume entitled "Finite Elements in Electrical and Magnetic Field Problems", edited by Peter Silvester and M. V. Chari and published in 1980 by John Wiley & Sons. Moreover, it was an indication for the inevitable merger of FEM and CAD. Actually CAD proved to be the prerequisite for the establishment of appropriate meshes for FEM in complex geometries and materials.

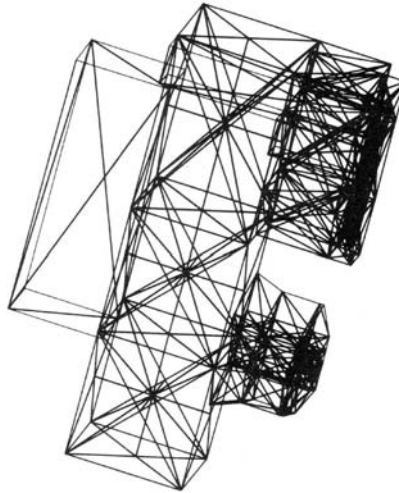


Figure 5: Merger of FEM and CAD, tetrahedral mesh used in the PEM magnet computation, C. W. Trowbridge (1980)¹⁴

¹⁴ Chari/Silvester (1980), p. 197.

4. Computational Electromagnetics and Industry

Whereas Computational Electromagnetics was deeply rooted in mathematics and in the physical sciences, its growth was driven both by undirected basic science and commercial application. But its great impact today is clearly in industry.¹⁵ In various ways: A great number of researchers promoting the field constantly crossed the somewhat blurry boundaries between undirected and applied science, industrial R&D, and eventually engineering of marketable products, and vice versa: With regard to the growing interplay of basic research and application in industry, CEM-pioneer Alan Winslow's TRIM program was seminal. It represented the first Finite Element software package for non-linear electromagnetics computation. Alan Winslow was with the Lawrence Radiation Laboratory, Livermore (California). Industry and universities were active as well. Simon Polak directed a CEM-group aiming at industrial applications at the Philips Company at Eindhoven. Konrad Reichert, another CEM pioneer, worked with the Swiss Brown, Boverie & Cie. In 1979, he went to ETH Zurich. In 1970, Gerhard Henneberger at RWTH Aachen gave a 2-D calculation of turbo generators on-load, using Finite-Difference Methods at that time.¹⁶

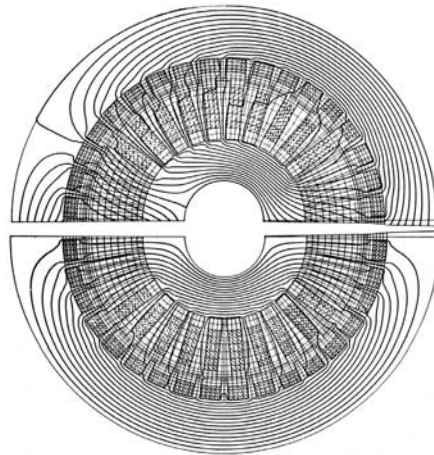


Figure 6: Gerhard Henneberger: 2-D calculation of turbo generators on-load, RWTH Aachen (1970); above: magnetic flux density on-load, below: no-load¹⁷

When he had left his subsequent employment at Robert Bosch GmbH and returned to RWTH Aachen in 1988 as a professor, he advised a number of dissertation theses dealing with 3-D FEM analyses of claw-pole alternators for automotive applications. Like in many industrial surroundings – e.g. in the electrical machine department of the Bosch Company – Infolytica's CEM-software “MagNet” was applied as a solver.¹⁸

¹⁵ Bevensee (circa 1994).

¹⁶ Henneberger (1970).

¹⁷ Ibid., pp. 97, 114.

¹⁸ Cf. for example Block (1992), pp. 26-39; Küppers (1996), pp. 31-45.

Eventually, the analyses of the complex geometries of claw-pole alternators included magnetic fluxes, forces, mechanical stresses and acoustic properties.¹⁹

Around 1970, Wilhelm Müller and coworkers at AEG started Computational Electromagnetics at Kraftwerk Union AG in Mülheim/Ruhr with 3-D calculations of large turbo generators.²⁰ They responded to the urgent needs of the Kraftwerk Union (KWU) to design a small number of new 1.500 MW generators, especially for advanced nuclear power plants. The small numbers and, therefore, high risks made the task a very delicate one. Later Wilhelm Müller continued his research in cooperation with Egon Andresen at TU Darmstadt (Germany). Together with his graduate Student Udo Hamm, Wilhelm Müller established the spin-off company PROFI engineering in 1984.²¹ PROFI engineering supplied another CAE-tool for electrical machines, which again was used in the Robert Bosch GmbH in Stuttgart. PROFI added among others to software packages like Infolytica's MagNet, Flux3d from the French Cedrat and Carmen from the British Vector Fields.

Vector Fields Ltd. was established in 1984 near Oxford. Instrumental was William C. (Bill) Trowbridge, who acted as a co-founder and chairman. From 1957 to 1961 Bill Trowbridge was at the Atomic Energy Research Establishment (AERE) at Harwell. Affiliated to the General Physics Division, he worked on accelerator physics problems. In 1961, he joined Rutherford Laboratory and in 1971, he became group leader of the Computing Applications Group of Applied Physics Division. The position involved areas of both numerical algorithms and interactive graphics of CAD software. When the Compumag conferences started in Oxford in 1976, he was the first chairman.

Most notably Peter P. Silvester, teaching at McGill University (Montreal) and co-authoring the long standing sole textbook in the field,²² co-founded the above-mentioned Infolytica Corporation in 1978. Running then on a PDP-11 computer, a predecessor of today's workstations, Infolytica's MagNet software became the first affordable solution for Computational Electromagnetics. Furthermore, Infolytica's developers were able to constantly improve the aesthetic appearance of MagNet. As a mirror of Peter Silvester's comprehensive work in CEM, Infolytica also added a high frequency analysis system with the name of FullWave. It covered devices of microwave, communications and semiconductor industries.

Peter Silvester's third graduate student was Zoltan Cendes (with the former Hungarian name of Csendes). Upon graduating from McGill University, Zoltan Cendes served with the General Electric Corporation, where he was responsible for developing finite element computer codes. In 1980, he was appointed associate professor of electrical engineering at McGill University. During that time he was also involved with the work of Infolytica Corporation. He abandoned that association when he moved to Carnegie Mellon University. 1982 to 1996, he was a professor at the faculty of electrical and computer engineering at Carnegie Mellon University. Concentrating on microwave

¹⁹ Cf. for example Schulte (2006); see figure A on colour plate 6 (magnetic flux density distribution in Tesla) at the end of this article.

²⁰ Fritz (1972), pp. 394-399.

²¹ Cf. Müller (1982), pp. 299-307.

²² Silvester/Ferrari (1983).

engineering, he established Ansoft Corporation in 1984, where he is Chief Technology Officer and Chairman of the Board today (2007).

5. Time Dependent Maxwellian Equations and High Frequencies

More of a problem – as compared to electrical machines – was actually the radiation from antennas and the propagation of electromagnetic waves. The first results in the field of dipole radiation were published by Heinrich Hertz in 1888. They are available in his fundamental work on “The forces of electric oscillations”, which also contain the well known images of the lines of force of the vibrating dipole.²³ Hertz started from an electric dipole that is harmonically oscillating in time. In vacuum, this produces fields, which in the far field case approach the limiting form of a radiating spherical wave.²⁴

Twenty years later the task proved a formidable one, when technically meaningful boundary conditions were considered, among others by Max Abraham, Jonathan Zenneck and Arnold Sommerfeld.²⁵ In his first paper, which was published in 1909, Sommerfeld started from Hertz’s calculation of the field of an oscillating dipole located in homogeneous space. Similar to Max Abraham²⁶, Sommerfeld considered Hertz’s potential for the special case of the two-half-space model of the earth with an oscillating vertical electric dipole on the boundary. In the final analysis Sommerfeld arrived at an expression containing three additive terms. One of these terms Sommerfeld interpreted as surface-wave term. Upon Sommerfeld’s pioneer work, calculation of propagation of electromagnetic waves remained difficult, even in the apparently simple case of a dipole radiating over plane earth. It led to endless controversies about the existence of surface waves, in addition to free space waves. Chronologically, the debate even overlapped with the early CEM applications in the field.

The first CEM application to high frequency problems was, however, clearly down to earth. It was Peter Silvester’s work on finite element solutions of homogeneous waveguide problems, presented at the 1968 URSI (Union Radio-Scientifique Internationale) Symposium on Electromagnetic Waves. First-order triangular elements were also applied to those wave-guide problems by S. Ahmed and P. Daly. And propagation of electromagnetic fields in waveguides remained a major topic in the development of Computational Electromagnetics.

The most influential candidate for directly solving Maxwell’s equation for electromagnetic wave propagation is now Finite Difference Time-Domain (FDTD). Vector Fields’s “Concerto” for example is a state of the art three-dimensional Finite Difference Time Domain (FDTD) simulator for radio frequency and microwave analyses. The method was introduced as early as 1966 by Kane S. Yee.²⁷ He ventured to calculate the scattering of an electromagnetic pulse by a perfectly conducting cylinder. Therefore, he proposed to replace the time-dependent Maxwell’s equations by a set of Finite Differ-

²³ Hertz (1988), pp. 156 f.

²⁴ See figure B on colour plate 6 (Dipole radiation in free space) at the end of this article.

²⁵ Kaiser/Eckert (2002).

²⁶ Zenneck (1952), especially p. 417.

²⁷ Yee (1966), pp. 302-307.

ence equations. Upon definition of initial conditions, the Finite-Difference Time-Domain approach employs the differences between adjacent points in space and time to approximate both spatial and temporal derivatives. At the nodes of the grid, the solutions are determined iteratively. In this way, Maxwell's equations are solved directly. In 1980, Allen Taflové – who apparently dealt with electromagnetic compatibility of so diverse items like microwave ovens and missiles – coined the term Finite-Difference Time-Domain (FDTD).²⁸

The computer simulation of radio propagation can in principle be based on direct solutions of Maxwell's equations with help of finite differences or finite elements. This approach is, however, rather time consuming from the point of view of numerical calculation, especially in the case of far fields. Therefore, modeling on the basis of ray-tracing, which is an analogy of ray optics, seems a preferred method in electrical engineering at the moment.

6. Aesthetic Aspects, the Beauty of Machines and Antennas

The very beginning of electric machines and antennas is design, i. e. design both in the sense of an aesthetic conception, and in the sense of plain engineering. The highly symmetrical rotational machines, which include teeth, slots and windings, as well as dipole radiation, antennas and wave guide structures, show an obvious aesthetic aspect, if not the result of an aesthetically driven design process.

The Frankfurt International Exhibition on Electricity in 1891 was already a huge show case of industrial design.²⁹ Very revealing is the powerful aesthetic appearance of the famous claw pole generator built by Maschinenfabrik Oerlikon. First of all it marked the centerpiece of the three phase current transmission from Lauffen to Frankfurt. Obviously the comparatively huge generator designed by Charles Brown and Walter Boveri convinced electrical engineers with an allegedly minimum field leakage. Fifteen years later, Michael Dolivo-Dobrowolsky still had the notion that the generator was “extraordinary beautiful with regard to its overall mechanical appearance” („außerordentlich schön in rein mechanischer Hinsicht“).³⁰ The newly designed rotor clearly took advantage of the impressive shape and the filigree structures of rotational electric machines. And early industrial photography soon played with the intrinsic aesthetic content of electrical machines as well.³¹

²⁸ Taflové (1980), pp. 191-202.

²⁹ Historisches Museum (1991).

³⁰ Dolivo-Dobrowolsky (1917), especially pp. 368 f.

³¹ Kugler (2000), p. 73.

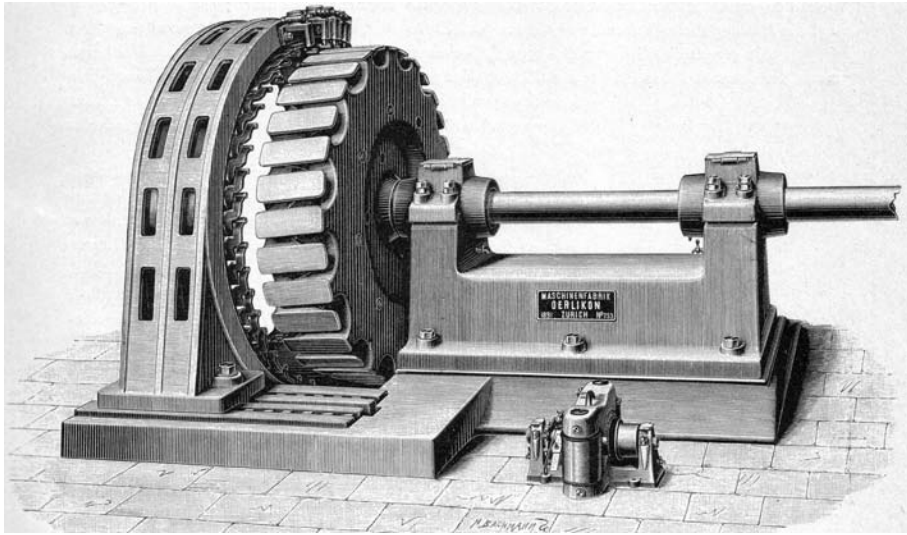


Figure 7: Three-phase claw-pole alternator, Maschinenfabrik Oerlikon, 1891³²

Moreover, power plants became virtually art and architecture: The pioneer hydro-electric power plant at Heimbach near Aachen, which was built in 1905, was fitted with impressive three-phase-current generators and embedded in a building completely designed according to Art Nouveau (German Jugendstil). Today Heimbach power plant is home to the chamber music festival „Spannungen: Musik im Kraftwerk Heimbach“.

Kraftwerk Klingenberg was Germany's most important new power plant structure of the 1920s. A technological highlight planned by the leading engineer of modern power plant construction, Georg Klingenberg, it became the paradigm of a new generation of large-scale power generation. In 1927, the generators with an output of 270.000 kW were connected to the high-voltage grid. At the same time the architects Walter Klingenberg and Werner Issel created a design of extraordinary quality. Not only reminds the power station of Kraftwerk Klingenberg of the expressionist architecture of Peter Behrens. Moreover, the powerhouse was consciously designed according to aesthetic criteria, including housing, feeding of fresh water, huge vessels and turbo generators.³³

³² Elektrotechnische Ausstellung (1894), S. 321; Scan: Lehrstuhl für Geschichte der Technik, RWTH Aachen.

³³ BEWAG (circa 1927); BEWAG (1928).



Figure 8: Former power plant “Großkraftwerk (Georg) Klingenberg”, built 1925-1926, Architects Walter Klingenberg and Werner Issel, historical landmark, City of Berlin³⁴



Figure 9: Peter Behrens (1868-1940); table fan WB 2, AEG 1909³⁵

As early as 1909, AEG director Paul Jordan had declared “Motors must look like birthday presents”³⁶, which were so designed by Peter Behrens. Furthermore, Peter Behrens’s design included the entire appearance of the company, stretching from buildings and artifacts to logotype and brochures.

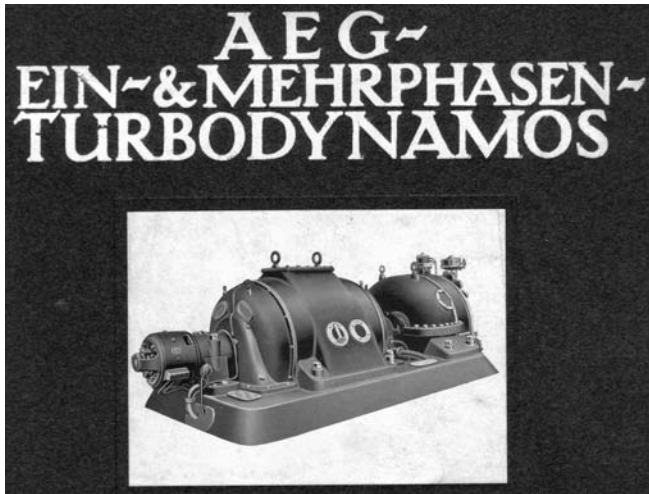


Figure 10: Peter Behrens, corporate design of AEG, brochure circa 1925³⁷

³⁴ Photo: Catarina Caetano da Rosa, 2007.

³⁵ Peter Behrens, Tischventilator Modell „WB 2“, 1909; Metall, Messing, AEG Berlin, Die Neue Sammlung München, Pinakothek der Moderne; Photo: Walter Kaiser, 2007.

³⁶ Cf. Rogge (1914), S. 91-126, citation on p. 104.

³⁷ AEG (circa 1925), Cover.

Motors, generators and turbines were designed and presented as highly aesthetic artifacts. Different from radial aero engines they did not enter the collections of museums of modern art only due to size and weight. Until today industry and utilities take pride in communicating the quality of the architecture, the high rank of engineering, and the beauty of their machine designs.



Figure 11: Hydroelectric plant Itaipu, Brazil, 1978; inserting the huge rotor into the stator; Siemens Corporate Archives

With regard to the computation of rotational machines, the aesthetic aspect of Computational Electromagnetics can barely be overlooked. A great number of papers in the field exploit the appealing graphics of the results of Computational Electromagnetics. Let alone the advertising of the software companies, which packed their showcases with colourful images of forces and fields.³⁸ This is also visible in the graphical representation of refined calculations of clawpole generators with very densely designed meshes by the Institute of Electrical Machines of RWTH Aachen University.³⁹

Upon some years of discussion, since the most innovative conference in Fort Collins 1985, Compumag took advantage of the aesthetic content of Computational Electromagnetics as well. A choice of six conference posters was professionally designed by the Art Director of the University Communications of the Colorado State University. The steering committee chose exactly the one perfectly merging the scientific aims of the conference and the aesthetic pleasure coming from the overall topic, namely the prevailing beauty of lines forces.⁴⁰

³⁸ Cf. Infolytica Gallery, e.g. www.infolytica.com/en/coolstuff/ex0070/RotorStatorMeshThumbnail.png.

³⁹ See figure C on colour plate 6 (Claw-Pole Alternator with Translucent Air Regions) at the end of this article.

⁴⁰ Trowbridge (2001), pp. 46-47.

COMPUMAG

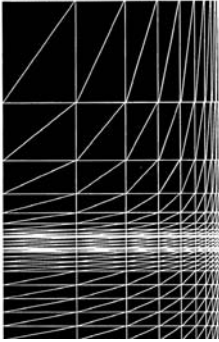


Figure 12: Poster of the Compumag Conference in 1985



Figure 13:

Raisting satellite earth station, antenna I (radom) (1964), historical landmark (1999); Siemens Corporate Archives

As mentioned before, the beginning of antennas is design as well. Hertz's calculation of dipole radiation in 1888 was clearly a kind of applied art, and until today it is represented as an object of art. Antennas were – and they are still today – one of the most aesthetic technical artifacts.

Again in the case of waveguides and antennas the aesthetic aspect of modern Computational Electromagnetics is very obvious, at least in the sense of a perfect representation of the results. Moreover, Zoltan Csendes's and Peter Silvester's 1970 field plots for waveguides were clearly arranged according to ornamental design considerations.

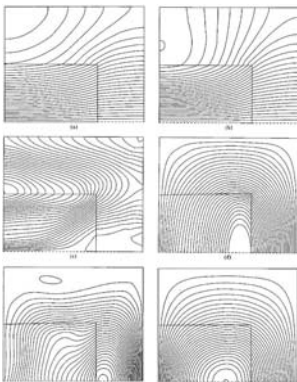


Figure 14: Zoltan Csendes and Peter Silvester, field plots for waveguides (1970)⁴¹

With its own NOAH software for the calculation of waveguides, former ANT near Stuttgart created pieces of fine art in the 1990s.⁴²

⁴¹ Csendes/Silvester (1970), plots p. 1128.

Applying modern CAD a corrugated horn antenna turned into a precious design object:

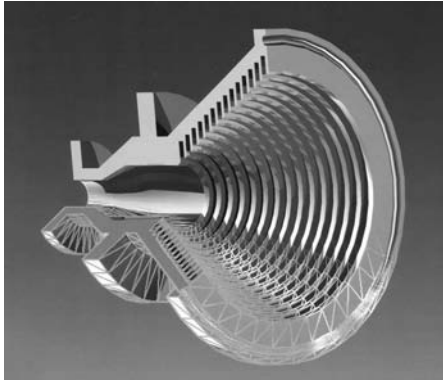


Figure 15: Corrugated horn, microwave antenna feed system, computer-aided analysis, ANT Bosch Telecom (1994)⁴³

Actually the Finite Element Method had become mature together with CAD – and vice versa. First, CAD and its related preprocessing tools were crucial in building up the triangular meshes with ever increasing numbers of nodes. Second, it provided visualization. As a reaction to initially tedious Finite Element calculations and endless printouts resulting from the notorious number crunching performed by early computers, it became a decisive part of research and scientific communication. Addressing science and engineering communities obviously required a thoroughly arranged graphical output of a numerical calculation, e.g. of a Finite Element Analysis.

Based on CAD, pre-processing as well as post-processing were on the agenda since 1980. But hardware development was important as well. Decisive for the iconic turn in Computational Electromagnetics was the advent of powerful workstations and computer graphics. Consequently, around 1990 visualization became a major part of the CEM business.⁴⁴ However, the graphic output of pre-processing and post-processing meant more than plain visualization. It revealed the rich epistemic aspects of CEM because it allowed for a holistic view on the artifact under consideration as well as virtual manipulation on screen. Furthermore it was engineering at its best: It guaranteed for fast evaluation of results, for rapid feedback and for speedy optimization of products. Finally, due to the aesthetic appearance of the results it made engineering a pleasant professional experience.

Most likely the aesthetic content of Computational Electromagnetics is threefold. First: due to marked symmetries of machines and antennas there is an intrinsic aesthetic component in the artifacts. Second: Computational Electromagnetics reveals, supports, unfolds and enhances this aesthetic content with help of computer aided design and its graphical representation tools. Third: Deep inside – in a layer well underneath practical engineering and far from any causal explanation – there is a mathematically based aesthetics in the underlying Maxwellian theory. As early as 1893, Ludwig Boltzmann's

⁴² See figure D on colour plate 6 (Radiation from two Waveguides) at the end of this article.

⁴³ ANT (1994), cover.

⁴⁴ Software Package MAGNET-2D, circa 1990; cited in Henneberger (1990).

in his lectures on Maxwell's theory asked the appreciative question "was it a god who wrote these signs?"⁴⁵ Until today Maxwell's Equations are constantly cited for their invariance properties, their symmetry and beauty.

Acknowledgements

I wish to thank my colleague Kay Hameyer for his kind invitation to give a first version of the paper on the 16th Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2007), June 24th - 28th, 2007, in Aachen. Zoltan Cendes provided valuable information with regard to the founding of Infolytica and Ansoft. Jan Sykulski was supportive in correcting the first version.

Literature

1. AEG (circa 1925): Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, AEG-Ein- & Mehrphasen-Turbodynamos, undated (circa 1925)
2. ANT (1993): ANT Nachrichtentechnik GmbH, Backnang (ed.), Funktechnik: Weiterführende theoretische Arbeiten, Nachrichtentechnische Berichte 10 (1993)
3. ANT (1994): ANT Nachrichtentechnik GmbH, Backnang (ed.), Richtfunk. Planungsgrundlagen, Geräte- und Systemtechnik. Nachrichtentechnische Berichte 11 (1994)
4. Bevensee (circa 1994): Robert M. Bevensee (ACES Historian), The History of the Applied Computational Electromagnetics Society (ACES) 1985-1994, <http://aces.ee.olemiss.edu/history/history.pdf> [07.09.2007]
5. BEWAG (circa 1927): BEWAG (ed.), Großkraftwerk Rummelsburg, Berlin circa 1927
6. BEWAG (1928): BEWAG (ed.), Das Großkraftwerk Klingenberg, Charlottenburg 1928
7. Block (1992): Robert Block, 3-dimensionale numerische Feldberechnung und Simulation eines Klauenpolgenerators, Doctoral Dissertation, Department of Electrical Engineering, RWTH Aachen 1992
8. Boltzmann (1982): Ludwig Boltzmann, Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität und des Lichtes, II. Theil, Reprint Graz 1982
9. Chari/Silvester (1971a): M[] V[] K[] Chari, Peter P. Silvester, Finite-element analysis of magnetically saturated DC machines. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems 90 (1971), pp. 2362-2372
10. Chari/Silvester (1971b): M[] V[] K[] Chari, Peter P. Silvester, Analysis of turboalternator magnetic fields by finite elements. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems 90 (1971), pp. 454-464
11. Chari/Silvester (1980): M[] V[] K[] Chari, Peter P. Silvester (eds.) Finite Elements in Electrical and Magnetic Field Problems, Chichester et. al. 1980
12. Csendes/Silvester (1970): Zoltan J. Csendes, Peter P. Silvester, Numerical Solution of Dielectric Loaded Waveguides: I-Finite-Element Analysis, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 18 (1970), 12, pp. 1124-1131

⁴⁵ Boltzmann (1982), preface p. 1.

13. Dolivo-Dobrowolsky (1917): Michael Dolivo-Dobrowolsky, Aus der Geschichte des Drehstromes, *Elektrotechnische Zeitschrift* 28 (1917), pp. 366-369
14. Elektrotechnische Ausstellung (1894): Offizieller Bericht über die Internationale Elektrotechnische Ausstellung in Frankfurt am Main, Bd. 2, Bericht über die Arbeiten der Prüfungs-Kommission, Frankfurt a. M. 1894
15. Fritz et. al. (1972): Werner Fritz, Wilhelm Müller, Wilhelm Wolff, Neue numerische Berechnungsverfahren für große Turbogeneratoren, *Elektrotechnische Zeitschrift A* 93 (1972), 7, pp. 394-399
16. Henneberger (1970): Gerhard Henneberger, Numerische Berechnung des magnetischen Feldes in Turbogeneratoren bei beliebigen Lastfällen. Doctoral Theses, Department of Electrical Engineering at RWTH Aachen 1970
17. Henneberger (1990): Gerhard Henneberger, Die elektrische Maschine, Stand der Technik, Entwicklungstendenzen, Antrittsvorlesung Aachen 1990
18. Hertz (1892): Heinrich Hertz, Die Kräfte elektrischer Schwingungen, behandelt nach der Maxwell'schen Theorie (1888), in: Heinrich Hertz, Untersuchungen ueber die Ausbreitung der elektrischen Kraft, Leipzig 1892, pp. 147-170
19. Historisches Museum (1991): Historisches Museum Frankfurt am Main (ed.), „Eine neue Zeit ...“, Die Internationale Elektrotechnische Ausstellung, Frankfurt a. M. 1991
20. Hopkinson/Hopkinson (1886): John Hopkinson, Edward Hopkinson, Dynamo-Electric Machines – Preliminary Notice, *Proceedings of the Royal Society of London* 40 (1886), pp. 326-328
21. Kaiser/Eckert (2002): Walter Kaiser, Michael Eckert, An der Nahtstelle von Theorie und Praxis: Arnold Sommerfeld und der Streit um die Wellenausbreitung in der drahtlosen Telegraphie, in: Astrid Schürmann, Burghard Weiss (eds.), Chemie – Kultur – Geschichte. Festschrift für Hans-Werner Schütt anlässlich seines 65. Geburtstages, Berlin, Diepholz 2002, pp. 203-212
22. Kline (1987): Ronald Kline, Science and Engineering Theory in the Invention and Development of the Induction Motor, 1880-1900, *Technology and Culture* 28 (1987), 2, pp. 283-313
23. Kline (1992): Ronald Kline, Steinmetz. Engineer and Socialist, Baltimore, London 1992, pp. 21-22, 39-40, 109-110
24. Kugler (2000): Lieselotte Kugler (ed.), Die AEG im Bild. Deutsches Technikmuseum Berlin, Berlin 2000, p. 73
25. Küppers (1996): Stefan Küppers, Numerische Verfahren zur Berechnung von Drehstrom-Klauenpolgeneratoren. Doctoral Dissertation, Department of Electrical Engineering, RWTH Aachen 1996
26. Müller et al. (1982): Wilhelm Müller et al., Numerical Solution of 2- or 3-Dimensional Nonlinear Field Problems by Means of the Computer Program PROF1, *Archiv für Elektrotechnik* 65 (1982), pp. 299-307
27. Rogge (1979): Henning Rogge: „Ein Motor muß aussehen wie ein Geburtstagsgeschenk“, in: Tilmann Buddensieg (ed.), Industriekultur. Peter Behrens und die AEG 1907-1914, Berlin 1979, pp. 91-126

28. Schubert (1984): Peter Schubert, Zur Genese von Theorie und Berechnung elektromagnetischer Energiewandler als Leitdisziplin bei der Herausbildung der Elektrotechnik als technikwissenschaftliche Disziplin, Philos. Diss. TU Dresden 1984
29. Schulte (2006): Stephan Schulte, Simulationsmethoden zur Analyse und Optimierung des Betriebsverhaltens von Kraftfahrzeuggeneratoren, Doctoral Dissertation, Department of Electrical Engineering and Information Technology, RWTH Aachen 2006
30. Silvester/Ferrari (1983): Peter P. Silvester and Ronald L. Ferrari, Finite Elements for Electrical Engineering, Cambridge, London, New York 1983
31. Taflove (1980): Allen Taflove, Application of the Finite-Difference Time-Domain (FDTD) Method to Sinusoidal Steady-State Electromagnetic-Penetration Problems, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility 22 (1980), 3, pp. 191-202
32. Trowbridge (2001): Charles William Trowbridge, Compumag Conference. The First 25 Years. Part 1 Oxford to Fort Collins, unpublished paper 2001
33. Trowbridge/Sykulski (2005): Charles William Trowbridge and Jan K[.] Sykulski, Some Key Developments in CEM and their Attribution, Record of the 15th Compumag Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, June 26-30, Shenyang 2005
34. Weiland (1986): Thomas Weiland, Die Diskretisierung der Maxwellgleichungen. Ein allgemeines Verfahren zur Berechnung elektromagnetischer Felder und seine Anwendung in Physik und Technik, Physikalische Blätter 42 (1986), 7, pp. 191-201
35. Winslow (1967): Alan M. Winslow, 'Numerical solution of the quasilinear Poisson equation in a non-uniform triangle mesh', Journal of Computational Physics 2 (1967), pp. 149-172
36. Yee (1966): Kane S. Yee, Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media, IEEE Transactions on Antennas and Propagation 14 (1966), pp. 302-307
37. Zenneck (1952): Jonathan Zenneck, Aus der Kindheit der drahtlosen Telegraphie, Die Naturwissenschaften 39 (1952), 18, pp. 409-418
38. Zienkiewicz/Cheung (1965): Olgierd Cecil Zienkiewicz, Yau Kai Cheung, Finite Elements in the Solution of Field Problems, Engineer 220 (1965), pp. 507-510, 1258-1260

Figures on colour plate 6

Figure A: Magnetic flux density distribution in Tesla, source: Gerhard Henneberger et al. 1996, Institute of Electrical Machines, RWTH Aachen

Figure B: Dipole Radiation in Free Space according to Heinrich Hertz, source: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/d/da/Felder_um_Dipol.jpg

Figure C: Claw-Pole Alternator with Translucent Air Regions, source: http://imoose.sourceforge.net/gallery/pic3_000.png

Figure D: Radiation from two Waveguides, source: ANT (1993), cover

Farbtafel 6 (colour plate 6)

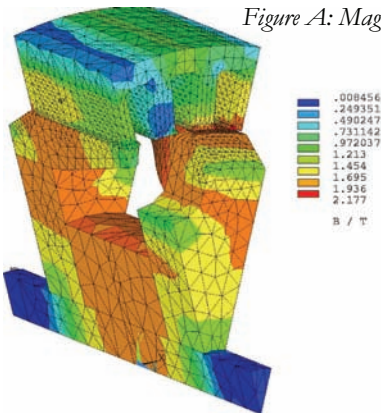


Figure A: Magnetic flux density distribution in Tesla

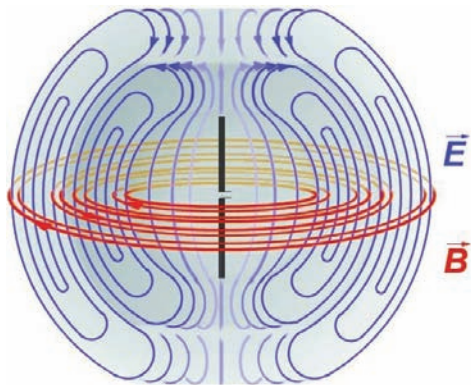


Figure B: Dipole Radiation in Free Space according to Heinrich Hertz, vertical Electric Field (E) and horizontal Magnetic Induction (B)



Figure C: Claw-Pole Alternator with Translucent Air Regions, Circa 350,000 Elements; Based on iMoose (Open Source Software), Institute of Electrical Machines, RWTH

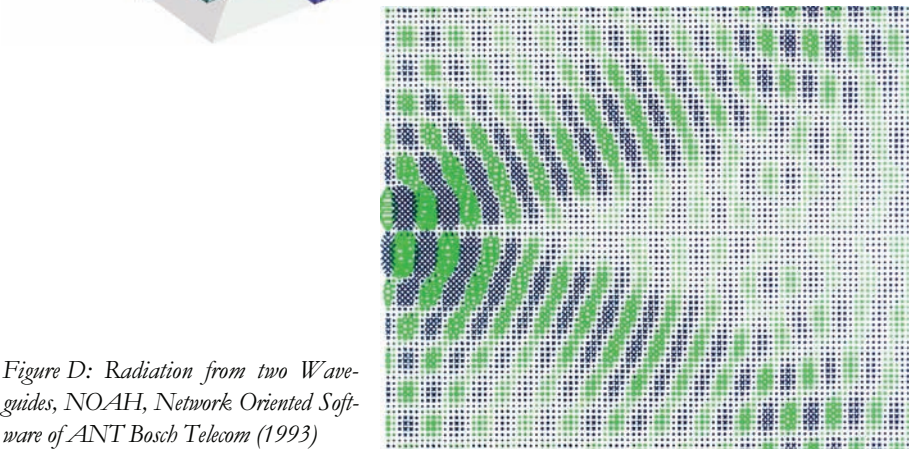


Figure D: Radiation from two Waveguides, NOAH, Network Oriented Software of ANT Bosch Telecom (1993)

Die Einführung der Digitalfotografie in die Astronomie – eine digitale Zäsur?

Sabine Müller

1. Einleitung¹

Die Fotografie der modernen Astronomie ist digital; dies gilt sowohl für die terrestrische als auch für die satellitengestützte Astronomie. Seit den 1960er Jahren ist die Digitalfotografie in der Astronomie auf dem Vormarsch; inzwischen hat sie sich allgemein durchgesetzt.² Ihre Einführung war keineswegs unumstritten, und die Geschichte ihrer Durchsetzung ist nicht nur eine Geschichte wissenschaftlichen Fortschritts, sondern auch eine Geschichte wirtschaftlicher und militärischer Interessen. So lässt sich die von der NASA finanzierte Entwicklung des *Hubble Telescope* als Wettlauf zwischen der analogen und der digitalen Aufnahmetechnik beschreiben, bei der letztere schließlich siegte und die Standards für die weitere astronomische Forschung setzte. Die jahrelange Diskussion über die Einführung der Digitalfotografie mit Hilfe von *charged coupled devices (CCDs)*³ drehte sich um die immensen Entwicklungskosten und das Entwicklungstempo der konkurrierenden Technologien, aber auch um deren wirtschaftlichen und militärischen Spin-off.

In diesem Aufsatz gebe ich einen historischen Überblick über die Einführung der Digitalfotografie in die Astronomie und diskutiere die Frage, ob es sich dabei um eine digitale Zäsur oder eher eine kontinuierliche technologische Weiterentwicklung gehandelt hat. Zunächst skizziere ich die Vorläufer der digitalen Fotografie (Kapitel 2). Dann beschreibe ich den Wettlauf der Entwickler der Digitalfotografie sowie analoger Aufzeichnungsverfahren bei der Entwicklung des Hubble Telescope, der schließlich zum Sieg der ersteren und in Folge dessen zu deren allgemeinen Einsatz in der Astronomie führte (Kapitel 3). Anschließend diskutiere ich die Vor- und Nachteile der Digitalfotografie für die Astronomie gegenüber herkömmlichen Verfahren (Kapitel 4 und 5). Schließlich untersuche ich die Frage, ob es berechtigt ist, von einer ‚Digitalen Zäsur‘ in der Astronomie zu sprechen (Kapitel 6).

¹ Dieser Aufsatz basiert auf meinem Vortrag „Visualisierung des Unsichtbaren in der Astronomie – Historische und wissenschaftstheoretische Fragen zur astronomischen Digitalfotografie“ im Rahmen der Tagung der Deutschen Gesellschaft für Geschichte der Medizin, Naturwissenschaften und Technik (DGGMNT) am 1.10.2006 in Braunschweig.

² Boeble/Bönning (2004). – Zur Astronomie bis Mitte der 1980er Jahre vgl. Henbest/Marten (1984).

³ Ein CCD besteht aus einer gitterförmigen Anordnung von Elektroden auf einem isolierenden Untergrund auf der Oberfläche eines dünnen Wafers von halbleitendem Silizium. Ein CCD ist also eine gitterförmige Anordnung lichtempfindlicher Elemente, die Licht in elektrische Ladungen umwandelt. Bei der Belichtung fällt eine von der Objekthelligkeit abhängige Menge an Photonen auf die Pixel und wird in Form von elektrischen Ladungen gespeichert. Beim Auslesen des CCD-Chips werden die Ladungen der einzelnen Pixel nacheinander in digitale Signale umgesetzt, diese werden dann in ein Speichermedium übertragen und dort in Form von Zahlen (Pixelwerten) gespeichert. – Vgl. Boeble/Bönning (2004). – Zu CCDs für die Astronomie vgl. Janesick (2001); Berry (2001); Howell (1992).

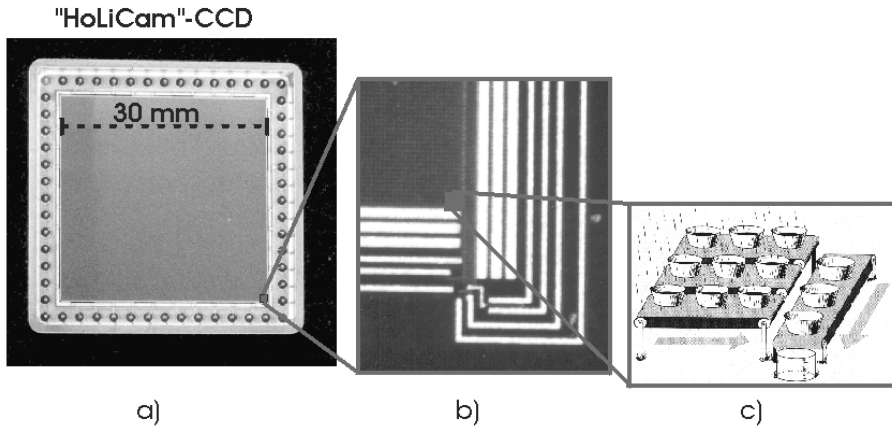


Abbildung 1:

a) Das hier abgebildete CCD mit $2.048 \cdot 2.048 (= 4.194.304)$ lichtempfindlichen Bildelementen (Pixeln) wurde erstmals 1991 in einer CCD-Kamera (HoLiCam) am 1m-Teleskop des Observatoriums „Hoher List“ der Sternwarte der Universität Bonn eingesetzt. Jedes Pixel misst $0,015\text{mm}^2$. Damit hat dieses CCD etwa die Fläche eines Kleinbildnegativs ($30,72\text{mm} \cdot 30,72\text{mm}$).

b) Auftreffendes Licht setzt im Halbleitermaterial des Detektors elektrische Ladungen frei, die während der Belichtung am jeweiligen Entstehungsort in Zellen – den Pixeln – gespeichert werden. Am Ende einer Belichtung ist in der Detektorfläche ein exaktes Ladungsabbild der Aufnahme entstanden. Dieses Ladungsabbild muss jetzt Pixel für Pixel ausgelesen, d. h. elektronisch vermessen werden. Dazu werden die Ladungen quer über den Detektor zu einem Ausgangsverstärker transportiert. Die Messwerte werden digitalisiert und an einen Computer übertragen. Dort wird aus den Werten wieder das ursprüngliche Bild zusammengesetzt.

c) Das Prinzip von CCDs ist in der Zeichnung (von Steven Simpson) dargestellt. Die Pixel sind hier Wasserbehälter, die in parallelen Reihen auf Förderbändern stehen und während eines Regenschauers (= Belichtung) Wasser sammeln. Anschließend werden die Bänder simultan nach rechts in Bewegung gesetzt. Am Ende des Bandes angekommen, werden sie in weitere Behälter auf dem quer laufenden Band entleert, so dass die Inhalte an der Messstation individuell bestimmt werden können.⁴

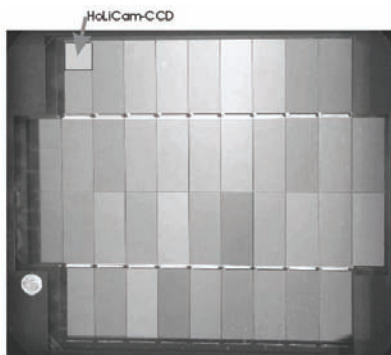


Abbildung 2:

Das 2003 weltweit größte CCD-Mosaik mit ca. $18.500 \cdot 18.500$ (ca. 350.000.000) Pixeln und einer Fläche von ca. $28\text{cm} \cdot 28\text{cm}$ (Canada-France-Hawaii Telescope, MegaPrime-Kamera). Es besteht aus 40 CCDs mit jeweils ca. $2.000 \cdot 4.500$ Pixeln.

⁴ Abbildung 1 und 2: www.astro.uni-bonn.de/~ccd/boccia/ccd_prinzip.

2. Vorläufer der Digitalfotografie⁵

Die Einführung der Digitalfotografie in die Astronomie hat sich nicht in einem einzigen Schritt vollzogen, sondern sie basiert auf einer Reihe von Vorläufern und Mischformen digitaler und analoger Messung, Aufzeichnung und Darstellung von Daten:

1. Die 1904 erstmalig eingesetzte *Bildtelegrafie* ist eine halb analoge, halb digitale Technologie: Gesendet werden Schwarz-Weiß-Übergänge sowie deren Ort und die Dauer des Sendens von Schwarz bzw. Weiß.
2. Die etwa zur selben Zeit entwickelte *Statistische Methode der Zwischenkreisbees* ist das erste rein digitale Verfahren der Bildübermittlung. Das zu übertragende Bild wird dabei in Felder gerastert (gescannt), dann werden deren unterschiedlichen Helligkeitswerten entsprechende diskrete Zeichen zugeordnet. Diese Zeichen werden gesendet, und auf der Empfängerseite werden ihnen wieder entsprechende Bildpunkte zugeordnet. Diese Methode ist der späteren Digitalisierung sehr ähnlich, allerdings liegt bei ihr das Bild nur während der Übertragung in digitalisierter Form vor.
3. Der *Analog/Digital-Wandler* (ab ca. 1920) dient zur Umwandlung analoger Bilder in eine digitale Form (nach Nyquists Formulierung des Abtasttheorems).
4. Das *Digital Radar Relay* (DRR) ist ein System zur digitalen Übertragung von Radarbildern über Telefonleitungen, das 1949/50 entwickelt und ab 1954 im *SAGE-Projekt* (*Semi-Automatic Ground Environment*) eingesetzt wurde.
5. Beim *Spionagesatellitenprogramm SAMOS* (ab 1960) erreichte erst der zweite Satellit den Orbit. Er machte Fotos mit dem *Bimat*-Verfahren von Kodak, das ähnlich wie Polaroid-Aufnahmen funktionierte; sie wurden im Satelliten entwickelt und dann elektronisch abgetastet. Die elektrischen, aber noch analogen Signale wurden zur Erde übertragen und dort wieder in Bilder übersetzt. Es soll bereits digitale Nachbearbeitung eingesetzt worden sein. Die Bildqualität war aber noch sehr schlecht. Elektronische Datenübertragung von Spionagesatelliten gibt es erst seit 1976.
6. Beim *Ranger-Programm*, das der Vorbereitung der bemannten Mondlandung diente, sendete *Ranger 7* (1964), das mit einer neuartigen Vidiconröhre ausgestattet war, Videobilder zur Bodenstation. Dort wurden sie 1965 am *Information Processing Laboratory (IPL)* digitalisiert und nachbearbeitet. Die Bildverarbeitungsverfahren wurden ab 1967 auch zur Verbesserung von Röntgenaufnahmen eingesetzt. Insbesondere das *Image Warping* wird in der Digitalen Subtraktionsangiografie eingesetzt, um geometrische Verzerrungen zu korrigieren.
7. *Mariner 4*, die erste erfolgreiche Marssonde (1974), sendete ihre nach dem SAMOS-Prinzip abgetasteten Bilder erstmals in der Geschichte von Satellitenbildern direkt in digitaler Form zur Erde. Wegen der Distanz zum Mars wäre ein analoges Signal bei seiner Ankunft nicht vom kosmischen Hintergrundrauschen zu unterscheiden gewesen.
8. Der erste Spionagesatellit (Typ KH-11), der ein CCD enthielt, wurde 1976 in den Orbit geschickt. Er funkte die Bilder bereits digitalisiert zur Erde. Dabei wurde die Übertragungsqualität so sehr verbessert, dass fast Echtzeitspionage möglich wurde.

⁵ Vgl. zu diesem Kapitel Schröter (2004b).

3. Wettlauf der Detektorenentwicklung für das Hubble Space Telescope⁶

Anfang des 20. Jahrhunderts waren fotografische Platten das wichtigste Hilfsmittel für astronomische Beobachtungen. Ihre Vorteile gegenüber Messungen mit dem bloßen Auge sowie gegenüber elektronischen Detektoren sind:

1. Fotografische Platten sind für Lichtexposition über lange Zeiträume geeignet; damit erlauben sie lange Beobachtungszeiten. Dabei kann jeder Feldpunkt gleichzeitig betrachtet werden, und eine einzige Platte kann ein großes Gebiet des Himmels abdecken.
2. Fotografische Platten haben eine hohe Auflösung.
3. Mit speziellen Emulsionen kann damit auch Licht mit Wellenlängen, die menschliche Augen nicht wahrnehmen können, gemessen werden.
4. Die Information wird dauerhaft gespeichert.

Fotografische Emulsionen waren in der Astronomie so erfolgreich, dass dadurch die Entwicklung anderer Detektortypen weitgehend unterdrückt wurde.

1934 entwickelte A. Lallemant ein Verfahren namens *Elektronographie*, bei dem elektronische Bilder direkt auf eine elektron-sensitive Emulsion aufgezeichnet werden. Mit diesem Verfahren sollte der schlechte Quantenwirkungsgrad der Photoemulsionen übertroffen werden. Die technische Realisierung der Elektronographie dauerte 30 Jahre. Das Hauptproblem dabei war, dass das Innere der Röhre ein Hochvakuum enthalten muss, um die Photokathode zu schützen, dass aber die Emulsion irgendwie ausgewechselt werden muss. Außerdem gibt diese ständig Gase ab, wenn sie sich in einem Vakuum befindet; letzteres ist aber zum Schutz der hochempfindlichen Photokathode erforderlich. Bis 1960 waren diese technischen Probleme gelöst, und elektronographische Kameras fanden größere Verbreitung. Eine solche Kamera wurde auch von den Astronauten von *Apollo 16* auf der Mondoberfläche verwendet.

Photomultiplier wurden seit dem Zweiten Weltkrieg in der Astronomie eingesetzt.⁷ Ihre Vorteile sind der hohe Quantenwirkungsgrad, die lineare Reaktion und die Vervielfachung des Signals in der Röhre. Der Nachteil ist, dass ein Photomultiplier immer nur die quantitative Messung eines Lichtereignisses erlaubt; jedes Objekt muss also einzeln gemessen werden. Ideal wäre eine Kombination der Fähigkeit von Photomultipliern zur quantitativen Lichtmessung und des Panorama-Empfangs von fotografischen Platten. Dieses Ziel formulierte 1972 das *Astronomy Survey Committee of the National Academy of Sciences*.

Das *Hubble Space Telescope* wurde 1986 vom *NASA Space Shuttle* ins Weltall gebracht. Es war das bis dahin bedeutendste Weltraumprojekt überhaupt. Die Planungsphase dauerte 25 Jahre; die Entwicklungskosten betrugen ca. 1,3 Milliarden Dollar. Die Auswahl der Detektoren des Teleskops war die wichtigste Entscheidung, die in der Vorbereitungsphase zu treffen war. Sie fiel 1977 nach langwierigen Diskussionen auf die CCD-basierte *Wide Field/Planetary Camera (WF/PC)*, eine Kamera, die von demselben Team entwickelt wurde, mit dessen bodengestützter CCD-Kamera 1982 der Hal-

⁶ Vgl. zu diesem Kapitel Smith/Tatarewicz (1985).

⁷ Vgl. hierzu auch DeVorkin (1985); McLean/Schagen (1979).

ley'sche Komet entdeckt wurde. Die Entscheidung für den Einsatz einer CCD-Kamera im Hubble Space Telescope wurde getroffen, obwohl die Grundlagen der CCD-Technik erst sieben Jahre zuvor publiziert worden waren, CCDs erst 1974 patentiert wurden, und obwohl erst wenige astronomische Beobachtungen damit gemacht worden waren. Erstaunlich ist diese Entscheidung auch insofern, als gegen CCD-Detektoren ihre mangelhafte Ansprechbarkeit im UV-Bereich spricht – obwohl gerade die Messung ultravioletter Strahlung ursprünglich eines der Hauptmotive dafür gewesen war, für astronomische Untersuchungen ins All zu gehen.

Teleskope im Weltall zu platzieren, bietet zwei Vorteile: erstens keine atmosphärischen Störungen und zweitens keine Beschränkungen des elektromagnetischen Spektrums durch die Atmosphäre, die den Großteil der elektromagnetischen Strahlung herausfiltert. In die Nähe dieses Ziels kam man allerdings erst in den späten 1950er Jahren, als es zum einen geeignete Transportvehikel gab, und zum anderen die wissenschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen günstig waren. Schon bald nach der NASA-Gründung im Jahr 1958 engagierte diese sich sehr für Pläne für eine Reihe von astronomischen Observatorien in der Erdumlaufbahn.

Das erste *Orbital Astronomical Observatory (OAO)* wurde 1968 in den Orbit gebracht. Die Pläne einiger Astronomen gingen jedoch darüber hinaus: Auf einem Treffen von Astronomen 1965 in Woods Hole, das von der NASA angeregt und von der *National Academy of Sciences* einberufen worden war, wurde darauf gedrängt, ein Teleskop ins Weltall zu bringen, das einen Primärspiegel mit einer Apertur von circa drei Metern haben und sensitiv von Infrarot über sichtbares Licht bis zu UV-Strahlung sein sollte. Mit der geforderten großen Apertur sollte eine hohe Auflösung und mit der Umlaufbahn außerhalb der Erdatmosphäre Unabhängigkeit von deren störenden Einflüssen erreicht werden. Ein derartiges beugungsbegrenztes Teleskop mit großer Apertur erfordert ein hochwertiges Detektorsystem. Diskutiert wurden hierzu zunächst nur zwei Möglichkeiten: (1) feinkörniger fotografischer Film, (2) hoch auflösende Leuchtschirmsubstanzen in einer Bildröhre. Die Offenheit gegenüber neueren Detektortypen war aber groß. Grundsätzlich wurde erwartet, dass ein Weltraumteleskop ein 10- bis 100-fach höheres Signal-Rausch-Verhältnis erreichen würde als ein Bodenteleskop mit demselben Detektor.

Filme in Weltraumteleskopen einzusetzen, hat einen gravierenden Nachteil: Innerhalb eines Monats im Weltall würde die durchdringende Weltraumstrahlung die fotografische Emulsion vernebeln. Der Film müsste also irgendwie entfernt und abgeschirmt werden, bevor er vernebelt, oder durch ein elektronisches System zuvor ausgelesen werden. Letzteres wurde in den militärischen Satelliten sowie in den *NASA Lunar's Orbiters* seit 1960 praktiziert. In den Orbiters wurden die Filme gescannt und in elektronische Signale umgewandelt, die dann zur Erde gesendet wurden. Von NASA-Experten wurde in den 1960er Jahren erwogen, die Filme durch Astronauten auswechseln zu lassen. Aber während diese Idee vom *Office of Manned Spaceflight* der NASA forciert wurde, blieb die Mehrheit der Astronomen skeptisch. Zum einen wollten die Astronomen weder zu abhängig von der bemannten Raumfahrt werden, wie dies durch regelmäßige Filmwechsel durch Astronauten der Fall gewesen wäre, noch wollten sie zum Rechtfertigungsgrund der bemannten Raumfahrt werden. Zum anderen bestand

die Befürchtung, dass jeder Filmwechsel eine Beschädigung oder Verschmutzung des Teleskops mit sich bringen könnte. Man wollte daher nach Möglichkeit Menschen vom Teleskop fernhalten. Diese Argumente sprachen grundsätzlich gegen den Einsatz von Film. So befand Nancy Roman, eine der führenden NASA-Astronomen:

“So I don’t think we would ever have gone to film and frequent rendezvous unless we were absolutely forced to it.”⁸

Ein weiteres Argument gegen den Einsatz von Filmen und für elektronische Detektoren ist, dass letztere mindestens um eine Größenordnung sensibler sind.

Nach dem *Woods-Hole*-Treffen wurde das *National Academy of Sciences Committee on Large Space Telescope* gegründet, bestehend aus acht führenden Astronomen und geleitet von dem Princeton-Astronomen Lyman Spitzer. Dieses Komitee sollte die Machbarkeit eines beugungsbegrenzten optischen Teleskops mit einer Apertur von circa drei Metern in der Erdumlaufbahn oder auf der Mondoberfläche untersuchen. Zwei Typen von Bildröhren wurden diskutiert: Der erste Typ benutzt fotografische Aufzeichnungen, entweder mittels Elektronographie oder mittels fotografischer Aufzeichnung von Bildern, die auf einem Leuchtstoff erzeugt werden. Der zweite Typ enthält eine integrierende Fernsehbildröhre mit elektronischer Ablesung. Das Ergebnis der Diskussionen war eine Empfehlung der integrierenden Fernsehbildröhren statt jeder Art von fotografischem Detektor. Über CCDs wurde noch nicht diskutiert.

Doch bevor integrierende Fernsehbildröhren in Weltraumteleskopen einsetzbar waren, mussten einige technische Probleme gelöst werden. Tatsächlich war Mitte der 1960er Jahre das Interesse der meisten Astronomen an Detektoren vom Typ Fernsehbildröhre auf dem Tiefpunkt angelangt, zum einen wegen ihrer Handhabungsschwierigkeiten, zum anderen weil es problematisch war, quantitative Informationen aus ihren Signalen zu abstrahieren. Die verfügbaren Fernsehröhren waren geeignet, viele Bilder pro Sekunde zu produzieren, aber nicht, um über viele Stunden zu integrieren. Wenn man das einfallende Licht mit einer Bildröhre verstärkte, war das Signal ausreichend, um den Einsatz Vidicon-artiger Kameraröhren zu ermöglichen. Erste Versuche damit wurden am *Lick Observatory* in Kalifornien durchgeführt. In diesem Anfangsstadium waren die Resultate allerdings schlechter als die anderer bodengestützter astronomischer Techniken, insbesondere der auf herkömmlicher Fotografie basierenden.

Doch in der Weltraumastronomie stellen sich ganz andere Probleme als in der bodengestützten Astronomie, vor allem das Problem des Transfers der aufgenommenen Bilder zur Erde. Außerdem wollen Weltraumastronomen zweidimensionale Photometrie machen und nicht nur Bilder von Sternen aufnehmen, ohne deren Helligkeit korrekt zu bestimmen. In dem Ziel Photometrischer Messungen trafen sich die Weltraumastronomen des *Large Space Telescope*-Programms mit den Planetenforschern. Denn die Planetenforscher hatten schon seit über zehn Jahren um automatisierte Aufzeichnungssysteme im Weltall gekämpft. Photometrie oder Spektrometrie im Ultraviolett von einzelnen Sternen, also von Punktquellen, konnte mit einer engen Apertur und einem eindimensionalen Detektor gemacht werden. Aber viele Probleme der Planeten-

⁸ Zitiert nach Smith/Tatarewicz (1985), S. 1224.

forschung erforderten zweidimensionale Aufzeichnungen, also Flächen-Photometrie von größeren Gebieten mit stark variierenden Helligkeitswerten. Doch die Wiedergewinnung der Filme, die für die Weltraumastronomie noch denkbar war, war für Planetenforscher ganz unmöglich, denn ihre Raumschiffe wären Jahre unterwegs. Und auch das Entwickeln und Einscannen von Filmen an Bord war für die Planetenforscher keine akzeptable Lösung, denn erstens wollten sie keine komplizierten Mechanismen und beweglichen Teile an Bord, und zweitens ist die Zeit, die die Raumsonde in der Nachbarschaft der Planeten verbringt und Aufnahmen macht, sehr kurz, und die schnell bewegten Bilder könnten dabei ernsthaft verwischt werden. Daher war für Raumfahren für Planetenmissionen ein bildaufzeichnendes System erforderlich, das so schnell wie möglich ein vollständiges Bild aufzeichnen und sofort speichern kann. Der Bedarf an einer Alternative zum Film sowohl in der Weltraumastronomie als auch in der Planetenforschung hat die NASA dazu gebracht, die Entwicklung fernsehröhrenartiger Detektoren zu unterstützen. Ein weiterer Vorteil dieser Detektoren ist, dass sie Bilder in einer leicht digitalisierbaren Form produzieren, die die Übermittlung und Bildverarbeitung am Computer enorm erleichtern.

1971 begann die NASA eine Reihe von Machbarkeitsstudien, um festzustellen, ob der Bau eines *Large Space Telescope (LST)* technisch realistisch wäre. In diesem Rahmen fand ein Kick-Off-Meeting der *LST Science Steering Group* statt, unter Vorsitz von Nancy Roman, bei dem die Gruppe einhellig zu der Überzeugung kam, dass ein elektronisches Bilderfassungssystem verwendet werden sollte. Sie beschloss mit nur einer Gegenstimme, dass fotografische Detektoren unpraktisch und im Weltall verschleißanfällig seien. John Lowrence vom *Princeton University Observatory* berichtete über eine vergleichende Studie, die er zu verschiedenen Bildsensoren gemacht hatte, wobei er besonders das *Secondary Electron Conduction Vidicon (SEC Vidicon)* hervorhob. Bei diesem System treffen Photonen auf eine Photokathode und lösen Elektronen aus, die auf einen Empfänger hin beschleunigt werden, in dem die Ladung des Elektronenstrahls dann ausgelesen wird. Die Princeton-Gruppe am SEC Vidicon war seit 1964 von der NASA gefördert worden. Die Entwicklung des SEC Vidicon war anfangs auf den geplanten *Princeton Advanced Satellite* und später auf das *ASTRA Orbiting Telescope* ausgerichtet. Auch wenn diese beiden Projekte nicht realisiert wurden, waren diese Studien gute Vorarbeiten für die Weiterentwicklung des SEC Vidicon, das explizit für den Einsatz in Satelliten entwickelt worden war. Es gab auch eine starke institutionelle Zusammenarbeit zwischen Princeton und dem LST-Team. Das ganze Programm von Princeton (Rakete, Ballon, Satelliten-Weltraumastronomie und Detektorentwicklung) könnte als bewusste Anstrengung in Richtung auf das LST hin gesehen werden. Das SEC Vidicon wurde konsequenterweise als der Detektor betrachtet. Die Verbesserung der Detektoren wurde als die Hauptaufgabe angesehen. Zu diesem Zweck rief die *LST Science Steering Group* 1972 das Symposium *Advanced Electro-Optical Imaging Techniques* ein. Dieses Symposium diente dazu, einen Überblick über die verfügbaren Detektoren (Silicon-Bildröhren, elektrostatistische Speicherröhren, Digicons, Fernsehsensoren inklusive SEC Vidicon und CCDs) zu schaffen.

CCDs wurden erstmals 1970 in zwei Aufsätzen im *Bell System Technical Journal* vorgestellt. Ein CCD besteht aus einer Anordnung von Elektroden auf einem isolierenden

Untergrund auf der Oberfläche eines dünnen Wafers von halbleitendem Silizium. Das Prinzip von CCDs ist, dass sie Ladungen in Potentialmulden speichern können, die auf der Oberfläche des Halbleiters geschaffen werden, und dass sie mit Hilfe von Elektroden die Ladungen über die Oberfläche bewegen können, indem sie die Minima der Potentialwälle bewegen. Diese Ladungen können Informationen repräsentieren. Wenn ein Photon auf das lichtempfindliche Silikon trifft und dabei ein Elektron-Loch-Paar erzeugt, wird das Elektron in der nächst gelegenen Potentialmulde gesammelt, und das Loch wird in das Substrat gedrückt. Nach einer passenden Integrationszeit kann die Information durch die Aufzeichnung der Verschiebung (*shift register action*) ausgelesen werden. Das Lichtmuster, das auf die CCDs fällt, erzeugt also eine Ladungsmusterreplik – je heller das Licht an einer Stelle, umso mehr Elektronen werden dort produziert und gesammelt.

Mit den CCDs, die 1972 auf dem o. g. NASA-Symposium von einem Mitarbeiter von *Bell Laboratories* vorgestellt wurden, gab es noch größere Schwierigkeiten: Ihre Speicherzeit betrug zunächst nur zehn Sekunden – viel zu kurz für die Aufnahme lichtschwacher astronomischer Objekte. Außerdem war ihre Formatgröße relativ klein, was ernsthafte Restriktionen bezüglich ihres nutzbaren Gesichtsfeldes bedeutete. Ein weiteres Problem war, dass der Ladungstransport innerhalb der CCDs nicht hundertprozentig effizient war, so dass Information verloren ging und Defekte in den Bildern entstanden. Der vielleicht wichtigste Einwand bestand darin, dass ihre Antwort im Ultraviolett schlecht war. Aus diesen Gründen wurde die vorgestellte CCD-Technik von den Astronomen nicht durchweg enthusiastisch aufgenommen. Einige Mitglieder waren allerdings begeistert von dem Potential dieser neuen Technologie. Denn sie bietet tatsächlich einige Vorteile für die Astronomie: Erstens sind CCDs lineare Detektoren (lineare Beziehung zwischen der Anzahl der Photonen und der Anzahl der ausgelösten Ladungen), zweitens ist ihr Quantenwirkungsgrad im Bereich des sichtbaren Lichts und des nahen Infrarot viel höher, drittens haben sie eine ausgezeichnete geometrische Stabilität (d. h. die Positionen der einfallenden Photonen können sehr exakt bestimmt werden), viertens sind sie leicht, robust und verbrauchen nur sehr wenig Energie – wichtige Aspekte für Detektoren in Raumfähren. Dies veranlasste Texas Instruments – zusammen mit zwei NASA-verbundenen Gruppen und weitgehend NASA-finanziert – an der Entwicklung von CCDs zu arbeiten. Auch das *Jet Propulsion Laboratory (JPL)* in Kalifornien, die führende Institution für Planetenforschung, war an CCDs interessiert. Das *Goddard Space Flight Center*, in Zusammenarbeit mit dem *U.S. Army's Night Vision Laboratory*, schloss sich Texas Instruments an, um *Intensified CCDs (ICCDs)* zu entwickeln. Dabei werden CCDs als Detektoren für Fotoelektronen, die von einer Photokathode emittiert werden, eingesetzt. Mit der Verwendung einer geeigneten Photokathode und dem Einbau eines CCD in eine Fernsehröhre sammeln CCDs Elektronen statt Photonen. Damit sollte auch das Problem des schlechten Ultraviolett-Empfangs behoben werden können.

Parallel zur Entwicklung der CCDs wurde an der Weiterentwicklung der SEC-Vidicon-Röhren gearbeitet, ebenfalls finanziert von der NASA. Während es für die SEC-Vidicon-Röhren kaum öffentliches Interesse gab, erhielten die CCDs viel Aufmerksamkeit von Seiten der Industrie. Letztere sollten die SEC-Vidicon-Röhren in

kommerziellen und privaten Videokameras ersetzen. Die CCDs boten hierfür Vorteile bezüglich Größe, Gewicht, Energieverbrauch, Empfindlichkeit, Linearität, dynamischer Bereich und Haltbarkeit. Dagegen waren die Vidicon-Röhren überlegen bezüglich des Formats, der Bildfrequenz, des Spektralbereichs und der Kosten. Neben den kommerziellen Interessen gab es auch ein aktives militärisches Interesse an der Entwicklung von CCDs.

1973 wurde die *LST Operations and Management Group* unter Vorsitz von C. R. (Bob) O'Dell eingerichtet. Es wurde weiterer Entwicklungsbedarf für die Detektoren konstatiert, aber die SEC-Vidicon-Röhre wurde nach wie vor als konkurrenzlos angesehen, auch wenn verschiedene, von der NASA finanzierte Gruppen an unterschiedlichen Detektortypen arbeiteten. Aber auf dem zweiten Treffen der *LST Working Group* empfahl der von allen beteiligten Gruppen hoch geschätzte Robert Danielson (Princeton), erstens CCDs in eine Fernsehröhre einzubauen, zweitens CCD-Chips zu einem Mosaik zusammenzufügen, und drittens die Empfänglichkeit von CCD-Detektoren für Partikelstrahlung zu untersuchen. Durch diese Vorschläge wurde die Gruppe auf die Möglichkeit aufmerksam, mehrere CCDs zu einer Anordnung (*array*) zusammenzusetzen und so das Problem ihrer geringen Kollektorfläche zu lösen.

Es wurde eine neue Ad-hoc-Gruppe zu dem Problem der Detektoren eingerichtet, die Folgendes forderte: 1. Mindestens zwei Detektortypen sollten im LST verwendet werden. 2. Die SEC-Vidicon-Röhre war die erste Wahl für den ersten LST-Aufenthalt im Weltall. 3. Eine CCD-Kamera sollte für den zweiten Flug entwickelt werden. (Es war geplant, dass das LST ungefähr alle fünf Jahre zur Erde zur Modernisierung zurückkehren sollte.)

Doch im Juni 1975 wurden die 6,2 Millionen Dollar aus dem Budget des Präsidenten für die LST-Studien auf Empfehlung eines *House Subcommittee*s komplett gestrichen. Es folgte ein zwei Monate langer Kampf um die Wiederbereitstellung des Budgets, geführt vor allem von den beiden Princeton-Astronomen John Bahcall und Lyman Spitzer sowie von einigen potentiellen LST-Auftragnehmern. Das Ergebnis der Lobbyarbeit war ein Kompromiss zwischen House und Senat, der der NASA 3 Millionen Dollar zugestand, um die Planungsstudien fortzuführen, allerdings unter der Bedingung, dass die NASA die substantielle Beteiligung anderer Nationen prüfte. Außerdem wurde ein LST-Primärspiegel mit einer Apertur von nur 2,4 m statt 3 m beschlossen. Daraufhin wurde das Large Space Telescope (LST) umbenannt in *Space Telescope* – dieser Name sollte den Kongress weniger beunruhigen. Die Kürzung der Fördermittel hatte auch Auswirkungen auf die Entwicklung der Detektoren: Die LST-Gelder für die Entwicklung der ICCD wurden komplett gestrichen und die für SEC Vidicon gekürzt. Die Entwicklung der ICCD ging allerdings weiter, teilweise finanziert durch die Goddards ICCD-Studien, teils durch das *Jet Propulsion Laboratory*, das eine Jupiter-Uranus-Mission plante und dazu 400 · 400 hintergrundbeleuchtete CCDs einsetzen wollte. Die Finanzierungsprobleme banden das LST-Projekt nichtsdestotrotz stärker an SEC Vidicon. Allerdings wurden diese inzwischen von den LST-Entwicklern als Detektoren zweiter Wahl angesehen.

Aufgrund der Vorgaben des Kongresses begann die NASA, ernsthaft internationale Kooperationspartner zu prüfen. Zwei mögliche Partner kamen in Frage: Großbritan-

nien und die *European Space Research Organisation*. Beide waren daran interessiert, einen Photonenzählenden Detektor bereitzustellen, der auf einem System basierte, das am *University College* (London) entwickelt wurde. Die Working Group der NASA fühlte sich aber sehr unbehaglich bei dem Gedanken, dass ein so entscheidendes Subsystem wie der Photonenzählende Detektor auf dem Beitrag der Europäer basieren sollte, und man meinte, es sei besser, die Gelder innerhalb des LST-Programms so umzuschichten, dass Gelder für die Detektorentwicklung frei würden. Daher wurde die Förderung der CCD-Entwicklung wieder in das Budget aufgenommen.

Auf dem Treffen der LST Working Group im April 1975 betrieb Danielson Lobbyarbeit für die Interessen der Planetenforscher. Er plädierte für eine Ausstattung des Space Telescope, die auch für die Planetenforschung – besonders für die Erforschung von Jupiter und Uranus – geeignet sein würde, konkret für eine „Planetenkamera“, also eine Kamera mit einem weiten dynamischen Bereich, mit der Fähigkeit, helle Lichtquellen zu messen mit hoher räumlicher Auflösung und mit Empfindlichkeit im Roten, was für CCDs gesprochen hätte. Doch im September 1975 entschied sich die LST Working Group für eine f/24-Kamera mit einem SEC-Vidicon-Detektor. Nach Meinung des Astronomen O'Dell war der Grund für diese Entscheidung, dass der Bau einer CCD-Kamera durch die *European Space Agency* (ESA) dieser zuviel Macht eingeräumt hätte; und man befürchtete, dass sich diese aus dem Projekt hätte zurückziehen können, was das gesamte Projekt zum Scheitern gebracht hätte.

Als im Januar 1976 der Budgetplan des Präsidenten den Kongress erreichte, war das Space Telescope nicht darin enthalten. Die Astronomen waren bestürzt und begannen eine größere Lobbykampagne unter Leitung von John Bahcall und Lyman Spitzer. Auch die Vertragspartner waren aktiv. Das Resultat war, dass der Kongress zustimmte, dass die NASA einen Plan für einen schnellen Start im Jahr 1978 erarbeiten sollte.

Im nächsten Monat berichtete ein Mitglied des Jet Propulsion Laboratory, dass die CCD-Chips nun sehr zufriedenstellend seien. Das Jet Propulsion Laboratory drängte darauf, eine Planetenkamera auf CCD-Basis in das *Space Telescope* einzubauen, nicht nur für Planetenbeobachtungen, sondern auch für Aufnahmen von sehr fernen Galaxien (mit großer Rotverschiebung).

Auf Grund der Mittelkürzungen war es unmöglich, dass die NASA in den nächsten vier Jahren mehr als eine Mission würde starten können. Damit wurde es umso wichtiger, das Space Telescope auch für die Beobachtung von Planeten auszulegen. CCDs waren dafür weit besser geeignet als SEC-Vidicon-Detektoren. Dieser Aspekt wurde noch dadurch verstärkt, dass im Mai 1976 die ersten Beobachtungen von Uranus mit einem CCD-Teleskop auf dem Mount Lemmon gemacht wurden.

Auf einem Treffen im Herbst 1976 konstatierte Nancy Roman, dass die SEC-Vidicon-Detektoren keine so guten Fortschritte gemacht hatten wie erhofft. Nach kontroverser Diskussion wurde schließlich einstimmig beschlossen, dass die f/24-Kamera verwendet werden sollte, aber nicht unbedingt mit dem SEC-Vidicon-Detektor.

Im März 1977 wurde ein *Announcement of Opportunity* der *Working Group* herausgegeben. Es enthielt drei Vorschläge für die Wide-Field-Camera: der erste, von Princeton, basierte auf dem SEC-Vidicon-Detektor, enthielt aber CCDs wegen ihres Ansprechverhaltens im Roten, der zweite, von Sobieski stammende Vorschlag enthielt eine Kombi-

nation der von Texas Instruments und JPL entwickelten CCDs mit ICCDs, der dritte, von James Westphal stammende Vorschlag basierte ebenfalls auf den von Texas Instruments und JPL entwickelten CCDs, aber erweitert um eine spezielle Beschichtung, um der schlechten UV-Antwort der CCDs entgegenzuwirken. Da alle Vorschläge CCDs enthielten, war es nun sicher, dass sie im schließlich als Hubble Telescope benannten Teleskop zum Einsatz kommen würden. Da auch die Jupiter-Raumsonde *Galileo* CCDs einsetzen würde, kämen nun in beiden führenden Initiativen der Weltall-Astronomie und der Planetenforschung CCDs zum Einsatz. Damit begann eine neue Ära der Weltall-Astronomie und der Planetenforschung.

Der Prozess der Einführung der CCD-Technologie war also nicht nur eine technische Entwicklung, sondern das Ergebnis eines komplexen Zusammenspiels von technischen, wissenschaftlichen, kommerziellen und institutionellen Faktoren. Die astronomischen Anwendungen der CCD-Technologie wurden durch die Sogwirkung des Absatzmarktes und durch einen Innovationsschub vorangetrieben. Die schnelle Entwicklung von CCDs als astronomische Detektoren basierte auf einer Allianz von Astronomen, Planetenforschern, Ingenieuren und der Industrie; sie wurde möglich durch Investitionen der Industrie in die CCD-Technologie in Erwartung von kommerziellen und militärischen Anwendungen sowie durch direkte Finanzierung durch die NASA.

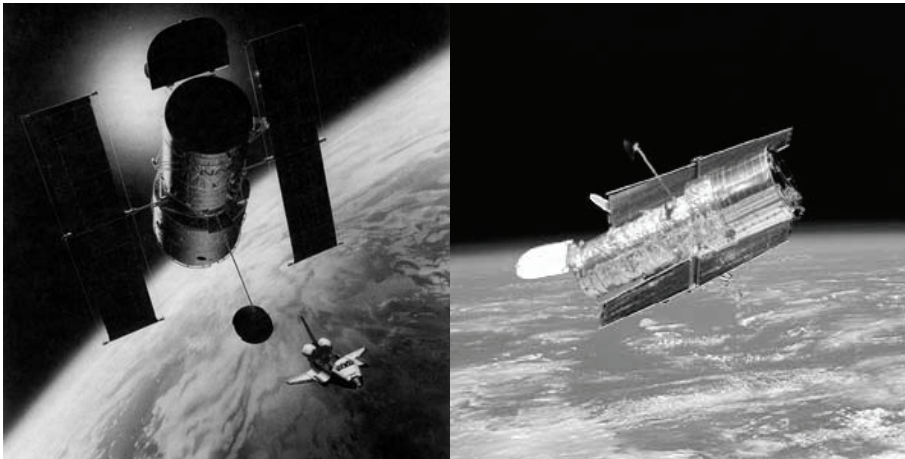


Abbildung 3: Das Hubble Space Telescope⁹

4. Vorteile der Digitalfotografie in der Astronomie

In der Fachliteratur der frühen 1980er Jahre werden Vor- und Nachteile der CCDs in der Astronomie diskutiert, wobei sich schnell herausgestellt hat, dass die Vorteile überwiegen und die anfangs noch konstatierten Nachteile überwindbar waren.

Die wichtigsten Vorteile der Digitalfotografie mit CCDs gegenüber der Analogfotografie sind:

⁹ <http://hubblesite.org/gallery/spacecraft>.

1. CCDs sind absolut lineare Detektoren,¹⁰ d. h. das Verhältnis von Aufnahmehelligkeit zur Belichtungszeit (also zwischen der Anzahl der auftreffenden Photonen und der Anzahl der dadurch ausgelösten, zu registrierenden Ladungen) ist linear (es gibt also bis zur Pixelsättigung keinen Schwarz-Schild-Effekt).¹¹ Fotografische Platten sind dagegen nicht linear.¹²
2. Dieses lineare Verhältnis macht es möglich, mehrere kurz belichtete Aufnahmen im Computer zu einem sog. Komposit aufzuaddieren. Das erlaubt Aufnahmen auch von Objekten geringer Helligkeit oder bei starker Hintergrundhelligkeit. Außerdem kann man wegen des linearen Verhältnisses von Aufnahmehelligkeit und Belichtungszeit misslungene Aufnahmen einfach auslassen, ohne die gesamte Aufnahme zu ruinieren.¹³
3. Im Bereich des sichtbaren Lichts und des nahen Infrarot haben CCDs einen viel höheren Quantenwirkungsgrad¹⁴ als andere Sensoren. Der Quantenwirkungsgrad von CCDs betrug 1984 schon bis zu 80 %. Dagegen beträgt der Quantenwirkungsgrad Fotografischer Platten nur wenige Prozent.¹⁵
4. CCDs besitzen eine größere Lichtempfindlichkeit als Videobildröhren (mindestens um eine Größenordnung)¹⁶ und als fotografische Schichten (bis etwa 40.000 ASA). Es ist mit CCDs möglich, einzelne Photonen zu registrieren.¹⁷
5. CCDs mit Zeilensensoren erreichen eine viel höhere Auflösung als andere Detektoren aufgrund der dabei möglichen höheren Belichtungszeiten. Dies ist besonders wichtig für den Einsatz in der Spionage- sowie in der Weltraumfotografie.
6. CCDs haben eine ausgezeichnete geometrische Stabilität; dadurch können die Positionen der einfallenden Photonen und damit die Positionen der beobachteten astronomischen Objekte sehr exakt bestimmt werden.¹⁸
7. Die Abweichungen mehrerer CCD-Aufnahmen ein und desselben Objekts sind viel geringer als die Variationen mehrerer entsprechender Aufnahmen mit Fotografischen Platten.¹⁹
8. CCDs haben einen viel größeren dynamischen Bereich als Fotografische Platten, nämlich bis zur Größenordnung von 10^4 . Dagegen haben Fotografische Platten zusammen mit den dazugehörigen Mikrodensitometern einen so kleinen dynami-

¹⁰ Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 68; Fort (1985), S. 5.

¹¹ Vgl. Smith/Tatarewicz (1985), S. 1226, und Boeble/Bönning (2004).

¹² Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 67.

¹³ Vgl. Boeble/Bönning (2004) und Smith/Tatarewicz (1985), S. 1226.

¹⁴ Die Quanteneffizienz ist ein wichtiges Maß für die Lichtempfindlichkeit der einzelnen Pixel. Sie ist der Wirkungsgrad, welcher Anteil der auftreffenden Photonen zu einer tatsächlichen Belichtung des Pixels führt. Gute Sensoren ohne Farbfilter bringen es auf eine Quanteneffizienz von bis zu 60 bis 80 %. Sensoren mit Farbfilterarray erreichen typischerweise nur 5 bis 10 % Quanteneffizienz. Durch den Einsatz von sog. Mikrolinsen auf jedem einzelnen Pixel kann die Quanteneffizienz gesteigert werden. – Vgl. Boeble/Bönning (2004).

¹⁵ Vgl. Smith/Tatarewicz (1985), S. 1226, Vigroux/Nieto (1985), S. 67 f., und Fort (1985), S. 3.

¹⁶ Vgl. Smith/Tatarewicz (1985), S. 1224.

¹⁷ Vgl. CCD Night 2005 Beta HelpWizard; Smith/Tatarewicz (1985), S. 1224.

¹⁸ Vgl. Smith/Tatarewicz (1985), S. 1226.

¹⁹ Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 69.

- schen Bereich, dass es nicht möglich ist, eine einzige Platte für die Oberflächen-Photometrie einer ganzen Galaxie von ihrem Zentrum bis zu ihren Rändern zu verwenden.²⁰
9. Mit CCDs ist Flächen-Photometrie von größeren Gebieten mit stark variierenden Helligkeiten möglich (Intensitätsmessung für jeden Bildpunkt einer großen Fläche, nicht nur Punktquellen, zum einen um die Helligkeit von Sternen zu bestimmen, zum anderen um Bilder von Planeten aufzunehmen).²¹ CCDs sind daher besonders geeignet für die Photometrie von Galaxien. Sie ermöglichen viel genauere Intensitätsmessungen, als dies mit Fotoplatten möglich ist.²²
 10. Aufnahmen mit CCDs werden wenig durch einen hellen Himmelshintergrund beeinträchtigt, weil diese durch die Software herausgerechnet werden kann.²³
 11. Ein weiterer Vorteil von CCDs gegenüber Fotografischen Platten ist, dass sie uniform sind. Die Nicht-Uniformität der Fotoplatten bereitet Probleme für die Subtraktion des Hintergrunds.²⁴
 12. CCDs haben viel kürzere Ansprechzeiten als Videobildröhren.
 13. CCDs in Teleskopen sparen Teleskopzeit gegenüber analogen Aufnahmen. (Um dieselbe Genauigkeit mit Fotoplatten zu erreichen wie mit CCDs müssten damit mehrere, länger belichtete Aufnahmen gemacht und anschließend rechnerisch kombiniert werden).²⁵
 14. Für Teleskope mit CCDs können spezielle Filter verwendet werden, die spezifisch für die physikalischen Eigenschaften der aufzunehmenden Objekte sind. Für die klassische Oberflächen-Photometrie mit Fotografischen Platten werden dagegen Breitbandfilter (z. B. UVB- oder Gunn-System) verwendet. Wegen der hohen Sensitivität der CCDs kann man dafür spezielle Filter für genauer definierte Wellenlängenbereiche verwenden, die genau zum Emissions- bzw. Absorptionsspektrum der aufgenommenen Objekte passen. Es lassen sich somit sowohl Emissionslinienintensitätskarten von Objekten, z. B. von ionisierten Gaswolken im Umfeld von Quasaren oder von planetarischen Nebeln aufnehmen als auch Messungen der Absorptionslinien von Galaxien durchführen. Wegen der hohen Sensitivität und Linearität erlauben CCD-Detektoren sehr akkurate Photometrie mit eng- oder mittelbandigen Filtern, was wiederum Rückschlüsse auf die physikalischen Parameter der beobachteten Galaxien erlaubt, insbesondere auf den Metallizitätsgradienten und den Farbgradienten. Dieser wiederum korreliert mit der Rotationsenergie einer Galaxie.²⁶

²⁰ Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 67 f.

²¹ Vgl. Smith/Tatarewicz (1985), S. 1225. – Zur Galaxienphotometrie vgl. auch Capaccioli (1985) und Nieto (1985).

²² Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 67-72.

²³ Vgl. CCD Night 2005 Beta HelpWizard.

²⁴ Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 67.

²⁵ Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 67-72. Dieser Einschätzung wurde allerdings von Capaccioli in der Diskussion des Vortrags von Vigroux/Nieto widersprochen (Vgl. Diskussionsbeitrag von Capaccioli zu Vigroux/Nieto (1985), ebd. S. 72).

²⁶ Vgl. Vigroux (1985), S. 13-20.

15. Besonders für die *satellitengestützte Weltraumfotografie* bieten CCDs Vorteile: Erstens sind CCDs leicht, robust und verbrauchen nur sehr wenig Energie.²⁷ Zweitens erfordern sie keine regelmäßige Wartung, da bei ihnen kein Filmwechsel nötig ist, der im Weltall nur durch bemannte Raumfahrt zu leisten wäre.²⁸ Drittens gibt es bei CCDs keine Störungen beim Durchgang der Raumfähren durch Bereiche der Atmosphäre mit energiereicher Teilchenstrahlung; chemische Filme dagegen vernebeln dabei und werden unbrauchbar. Um dies zu verhindern, müssten Filme während der Passage strahlenreicher Gebiete abgeschirmt werden, was mechanisch kompliziert wäre.²⁹
16. Auch für die *Planetenforschung* bieten CCDs besondere Vorteile: Da die Daten direkt digital vorliegen, können sie in dieser Form zur Erde gefunkt werden. Dagegen ist es kaum möglich, Filme, die sich in Raumschiffen auf Planetenmission befinden, zurück zu gewinnen.³⁰ Zwar könnten auch analoge Fotos zur Erde gefunkt werden, doch beide Möglichkeiten dazu sind nicht überzeugend: Erstens können analoge Bilder direkt zur Erde gesendet werden; dies ist aber bei größeren Entfernungen, z. B. bei Marsmissionen, nicht sinnvoll, da die ankommenden Daten nicht vom Hintergrundrauschen unterscheidbar wären. Zweitens könnten analoge Bilder an Bord gescannt, digitalisiert und dann in digitaler Form zur Erde gesendet werden; dies kann aber in der Nähe von Planeten zu verwackelten Bildern führen.³¹
17. Digitale Aufnahmen sind sofort sichtbar (*simple quick-look analysis*).³² Digitale Bilder von CCD-Kameras ermöglichen die direkte Bildbearbeitung durch Bildverarbeitungsprogramme. Dies bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Bildverbesserung wie Kontrastverstärkung und Eliminierung von Artefakten. Dadurch lassen sich viele Details aus den Rohbildern herausholen.³³

5. Anfängliche Nachteile der Digitalfotografie in der Astronomie

In den 1970er und 1980er Jahren wurden eine Reihe von Nachteilen von Detektoren mit CCDs gegenüber anderen Detektoren diskutiert, die aber im Zuge der raschen Weiterentwicklung der CCD-Technologie praktisch alle behoben werden konnten.

1. CCDs hatten anfangs ein zu kleines Format. 1984 betrug ihre typische Seitenlänge 1 bis 2 cm.³⁴ Wegen ihres kleinen Formats waren sie zunächst nur für die Photometrie von kleinen Bereichen des Himmels zu gebrauchen. Man musste viele solcher Aufnahmen zu einem Gesamtbild zusammensetzen. Fotografische Platten dagegen können sehr große Ausmaße haben, bis zu 20 cm für eine Primärfokus-

²⁷ Vgl. Smith/Tatarewicz (1985), S. 1226.

²⁸ Vgl. Smith/Tatarewicz (1985), S. 1223 f.

²⁹ Vgl. ebd.

³⁰ Vgl. Smith/Tatarewicz (1985), S. 1225.

³¹ Vgl. Schröter (2004b), S. 335-354.

³² Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 67.

³³ Vgl. CCD Night 2005 Beta HelpWizard; Bressler (2005).

³⁴ Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 68.

- platte eines 4-m-Teleskops; dies macht die Beobachtung sehr großer Felder möglich.³⁵ Daher wurde erst vorgeschlagen, CCDs nur für kleinräumige Aufnahmen zu verwenden, und für Aufnahmen von größeren Gebieten weiter herkömmliche Fotografien zu machen.³⁶ Es wurde aber schnell erkannt, dass man CCDs zu Mosaiken zusammensetzen konnte und damit direkt einen größeren Himmelsausschnitt fotografieren konnte.³⁷ Außerdem wurden größere CCDs zügig entwickelt.³⁸
2. Fotografische Platten hatten anfangs eine ungefähr doppelt so hohe Auflösung wie CCDs.³⁹ Inzwischen besteht dieser Unterschied nicht mehr.
 3. Die Exaktheit der photometrischen Messungen mit CCDs wird durch den (thermischen) *Dunkelstrom* (z. B. durch Wärme des Ausleseverstärkers) begrenzt. Da sie aber im Allgemeinen bei Temperaturen von unter 170 K betrieben werden, ist der Dunkelstrom vernachlässigbar.⁴⁰
 4. Außerdem wird die Exaktheit der photometrischen Messungen mit CCDs durch das sog. *Flatfield* begrenzt: So können bei manchen CCDs großflächige Muster auftreten, die durch Photonenemission des Verstärkers oder durch Randeffekte entstehen. Diese Muster sind nicht immer exakt proportional zur Belichtungszeit, und mitunter ist es schwierig, sie mit einer Genauigkeit von mehr als 1 % zu entfernen, was aber vergleichbar mit anderen Detektortypen ist.⁴¹ Nichtsdestotrotz lassen sich diese Muster in den meisten CCDs unterdrücken, indem die Spannung richtig gesetzt wird. Eine exakte Flatfieldkorrektur (mehr als 1 %) ist erforderlich, um die lichtschwächsten Bereiche von Galaxien zu vermessen. Durch die sorgfältige Anwendung verschiedener Methoden der Flatfieldkorrektur lässt sich eine Genauigkeit von mehr als $5 \cdot 10^{-3}$ erreichen.⁴²
 5. Ein weiterer Nachteil der CCD-Technik besteht in dem sog. *Blooming-Effekt*: Pixel können 'überlaufen', wenn sie auf Grund starker Belichtung gesättigt sind, also keine Ladung mehr aufnehmen können, aber weitere Photonen darauf auftreffen, so dass diese dann die benachbarten Pixel belichten. Als *Blooming* wird dieser Effekt bezeichnet, da solche übersättigten Sternabbildungen an Blumen erinnern. In der Astrofotografie macht sich das Blooming insbesondere bei langbelichteten Aufnahmen von dunklen Objekten mit sehr hellen Sternen bemerkbar. Abhilfe schafft hier die Komposit-Technik.⁴³
 6. Astronomische CCD-Kameras liefern grundsätzlich nur Schwarz-Weiß-Bilder. Zum Erstellen von Farbbildern müssen mehrere Aufnahmen mit unterschiedlichen Filtern gemacht und anschließend im Computer zu einem Gesamtbild kombiniert werden.

³⁵ Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 68.

³⁶ Vgl. Diskussionsbeitrag von Vigroux zu Vigroux/Nieto (1985), S. 72.

³⁷ Vgl. Fort (1985), S. 4.

³⁸ Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 68.

³⁹ Vgl. ebd.

⁴⁰ Vgl. ebd.

⁴¹ Vgl. Fort (1985), S. 7.

⁴² Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 68 f.

⁴³ Vgl. Boeble/Bönnig (2004); CCD Night 2005 Beta Help Wizard.

7. In der digitalen Bildbearbeitung gab es anfangs Schwierigkeiten, „intelligent“, d. h. situationsabhängig zu filtern. Astronomen entwickelten hierzu eigene Softwarelösungen.⁴⁴ Heute gibt es entsprechende professionelle Astronomiesoftware.
8. CCDs waren anfangs viel teurer als Fotografische Platten und die zugehörigen Systeme. Außerdem erfordern sie im Gegensatz zu Fotografischen Platten ein Hochtechnologiesystem um das Teleskop herum.⁴⁵



Abbildung 4:
*Aufnahme der Galaxie NGC5866 durch
das Hubble Space Telescope⁴⁶*

6. Digitale Zäsur in der Astronomie?

Medienwissenschaftler diskutieren seit etwa Anfang der 1990er Jahre im Anschluss an Nelson Goodman (1997) über die „Digitale Revolution“. Die Unterscheidung analog/digital ist zur zentralen medientheoretischen und medienhistorischen Unterscheidung avanciert und dabei metaphorisch aufgeladen worden. Die Analog/Digital-Unterscheidung wird als eine asymmetrische Differenz dargestellt: „Das Analoge“ steht als Metapher für das Ursprüngliche, Natürliche, Reale, aber auch Unbestimmte und Amorphe, „das Digitale“ als Metapher für das Omnipotente, Universelle, Kulturelle. Technik-euphorisch ebenso wie kulturkritisch habe sich die Analog/Digital-Differenz als Dichotomie etabliert von „*analog = real, aber auch mit den Trübungen der Welt behaftet vs. digital = hyperreal, also realer als real, aber potenziell auch irreal*“.⁴⁷ Mit dem Einzug der Digitaltechnik

⁴⁴ Vgl. Böhm (1997).

⁴⁵ Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 68.

⁴⁶ <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/galaxy/2006/24/image/a/format/web/results/> 20.

⁴⁷ Vgl. Schröter (2004a), S. 16.

in die Musikindustrie, die Fotografie, Anwendersoftware und die TV-Technik sei der Status des Analogen herabgesunken:

„Das Analoge ist jetzt das Verschwommene, Verrauschte, Defizitäre, ja buchstäblich Impotente – gegen die glitzernde Hyperbrillanz und auch explizit sexuell überdeterminierte Omnipotenz des Binär-Digitalen.“⁴⁸

Jens Schröter weist zu Recht darauf hin, dass die Unterscheidung analog/digital niemals eine Frage reiner Sukzession war, aber auch nie nur eine Frage von Opposition oder Kontinuum.⁴⁹ Er stellt fest, dass diese Unterscheidung den historischen Tatsachen nicht gerecht wird, da das Digitalprinzip bereits auf die Erfindung der Null im 12. Jahrhundert oder spätestens auf Leibniz' Binärkalkül zurückzuführen sei. Außerdem sei die Unterscheidung analog/digital eher diffus und ad hoc definiert.⁵⁰

„Entropie versus Information, kontinuierlich versus diskontinuierlich, linear versus nichtlinear, Ereignis versus Wiederholung, Wahrscheinlichkeit versus Unwahrscheinlichkeit, Reales versus Symbolisches, Natur versus Artefakt usw.“⁵¹

Auch in der astronomischen Fotografie hat sich die Digitalfotografie gegen die analoge Fotografie durchgesetzt. Rechtfertigt das, von einem Kuhn'schen Paradigmenwechsel zu sprechen oder, wie die Medienwissenschaftler dies tun, von einer „digitalen Zäsur“?

In der astronomischen Fachliteratur aus der Zeit der Einführung von CCDs in die Astronomie ist nirgendwo die Rede von einer digitalen Zäsur oder dergleichen. In der *Astronomy and Astrophysics Supplement Series* (1970-2000) diskutiert nicht ein Artikel explizit Vor- und Nachteile von Digital- bzw. Analogfotografie geschweige denn deren unterschiedliche Paradigmen. Nur in einigen Einleitungen der Aufsätze wird kurz auf die besonderen Möglichkeiten der Digitalfotografie speziell für die in dem jeweiligen Aufsatz beschriebenen Messungen hingewiesen.⁵² Aus Sicht der Astronomen war der Übergang von der Analogfotografie zur Digitalfotografie offenbar kein bedeutsamer Paradigmenwechsel, sondern ein „normaler“ technischer Fortschritt, der sich sehr schnell durchsetzte und auf breite Akzeptanz stieß, weil er präzisere Messungen sowie Aufnahmen in bisher nicht messbaren Wellenlängenbereichen ermöglichte. Bei der Diskussion über die Entwicklung von CCDs spielten wissenschaftliche und technische Argumente die Hauptrolle, auch wenn wirtschaftliche, politische und militärische Interessen den Handlungsspielraum der Wissenschaftler beeinflussten.

Von Laien wird die Analogfotografie meist als „natürlicher“ als die Digitalfotografie angesehen. Das basiert zum einen darauf, dass den meisten Fotografen (mit Ausnahme der jüngeren Generation) Analogkameras mit chemischen Filmen vertrauter sind als Digitalkameras, zum anderen darauf, dass heute jeder PC-Anwender digitale Bilder leicht bearbeiten und manipulieren kann. Das legt die Annahme nahe, dass auch in der

⁴⁸ Vgl. Schröter (2004a), S. 17.

⁴⁹ Vgl. Schröter (2004a), S. 29.

⁵⁰ Vgl. Schröter (2004a), S. 7-30.

⁵¹ Vgl. Pias (2004), S. 295-310.

⁵² Vgl. die im Literaturverzeichnis unter „Aufsätze aus *Astrophysics and Astronomy Supplement Series (A&ASS)*“ aufgeführten Beiträge.

astronomischen Fotografie die Analogtechnik natürlicher, realistischer oder objektiver sei als die Digitaltechnik. Die Herstellung von Digitalfotos wird von Autoren der Kultur- insbesondere der Medienwissenschaften als „Konstruktion“ von Bildern bezeichnet, die dem anscheinend objektiven Aufzeichnen von Bildern mit fotografischen Platten oder chemischen Filmen gegenübergestellt wird. Es wird dabei unterstellt, dass digitale Bilder im Gegensatz zu analogen Fotos keine Indexikalität besäßen, also keine Referenz zu etwas Realem hätten.⁵³

Dieser Meinung liegen allerdings falsche Vorstellungen über die astronomische Analogfotografie zugrunde, die auf Unkenntnis der tatsächlichen Arbeitsschritte bei der astronomischen Analogfotografie basieren:

1. Auch mit Fotoplatten aufgenommene astronomische Fotos wurden in der Regel nachträglich digitalisiert und zwar mit Hilfe von Mikrodensitometern, da die Aufnahmen anders kaum zu analysieren sind. Die Entwicklung der Mikrodensitometer hat aber mit der Weiterentwicklung der fotografischen Platten nicht Schritt gehalten, und sie waren Mitte der 1980er Jahre der Hauptgrund für den begrenzten dynamischen Bereich der Oberflächenfotografie mit fotografischen Platten.⁵⁴ Sowohl die Aufnahmen mit fotografischen Platten als auch die Aufnahmen mit CCDs erforderten seit Mitte der 1980er Jahre eine immer raffinierter Bildbearbeitung, die im einen Fall eine Meisterschaft im Umgang mit fotografischen Emulsionen erforderte, im anderen Fall die kontinuierliche Weiterentwicklung von Computer-Knowhow.⁵⁵ Die Tatsache, dass CCD-Aufnahmen bearbeitet werden, unterscheidet sie also nicht von den Aufnahmen mit fotografischen Platten.
2. Auch die Komposit-Technik, bei der aus mehreren, bei verschiedenen Wellenlängen oder Belichtungszeiten aufgenommenen Bildern ein Gesamtbild zusammengesetzt wurde, die also tatsächlich eine „Konstruktion von Bildern“ darstellt, kam schon bei mit Fotoplatten aufgenommenen astronomischen Fotos zum Einsatz. Ohne diese Technik sind Aufnahmen lichtschwacher Objekte in der Nähe leuchtstarker Objekte überhaupt nicht möglich.
3. Digitalfotos werden genauso wie auf Fotografischen Platten aufgezeichnete Fotos in ihrer ursprünglichen Form archiviert. Es ist also nicht so, dass lediglich bei Analogfotos Originalabbilder bestehen, während Digitalfotos grundsätzlich nur in bearbeiteter und zusammengesetzter Form vorliegen.
4. Auch die These, dass digitale Astrofotos im Gegensatz zu analogen Astrofotos „realer als real“ seien, weil sie Unsichtbares sichtbar machen (z. B. unsichtbare elektromagnetische Strahlung von astronomischen Objekten), lässt sich nicht aufrechterhalten: Dasselbe wurde schon in der Analogfotografie mit Hilfe spezieller Filme erreicht, um UV- und Infrarot-Aufnahmen zu machen.

Die Bearbeitung der Digitalfotos dient der Gewinnung von Informationen über real vorhandene Strukturen und Objekte, nicht der Manipulation von Daten oder dem Er-

⁵³ Diese These vertreten z. B. Heintz/Huber (2001), S. 29 f., womit sie an Baudrillards Diktum des Wirklichkeitsverlusts im „Zeitalter der Simulation“ und von Friedrich Kittlers These vom Verlust des referentiellen Bezugs digitaler Bilder anknüpfen. – Vgl. hierzu auch Heßler (2006), <12>-<13>.

⁵⁴ Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. 68.

⁵⁵ Vgl. Vigroux/Nieto (1985), S. III (Introductory Remarks).

zielen von Effekten (abgesehen von den extra für die Öffentlichkeit hergestellten Astrofotos). Durch die digitale Aufzeichnung und die anschließende digitale Bearbeitung werden in gewisser Weise die Vorteile der vor Erfindung der Fotografie üblichen zeichnerischen Darstellung astronomischer Beobachtungen mit den Vorteilen der (analogen) Fotografie kombiniert:⁵⁶ zum einen die Kontrasterhöhung, das Hervorheben des Wesentlichen, die intelligente Filterung, die Korrektur von Fehlern, die ästhetische Bearbeitung, zum anderen die Objektivität einer automatischen Aufzeichnung. Die Aufzeichnung (unsichtbarer) Strahlung von astronomischen Objekten mit Hilfe von CCDs und die anschließende digitale Datenbearbeitung sind die Voraussetzung der Erkenntnis realer astronomischer Strukturen und keine willkürlichen Konstruktionen.⁵⁷

Literatur

1. Benz (2001): Arnold Benz, Das Bild als Bühne der Mustererkennung: Ein Beispiel aus der Astrophysik, in: Bettina Heintz, Jörg Huber (Hrsg.), Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten, Zürich 2001, S. 65-78
2. Berry (2001): Richard Berry, The handbook of astronomical image processing, Richmond 2001
3. Boeble/Bönning (2004): Artur Boeble, Carl Bönning, Grundlagen der CCD Fotografie mit digitalen Spiegelreflexkameras, 2004, www.ineltech.de/download/documentation/Grundlagen%20der%20DSRK%20Fotographie.pdf [07.04.2006]
4. Böhm (1997): P[.] Böhm, The Potsdam image processing software, Astronomische Nachrichten 318 (1997), 4, S. 213-216
5. Bressler (2005): Peter Bressler, CCD Night 2005. Ein Programm für die Verarbeitung digitaler Astroatufnahmen, Sterne und Weltraum 12 (2005), S. 86 f.
6. Capaccioli (1985): Massimo Capaccioli, Accuracy and improvements in galaxy photometry: why and how, in: Jean-Luc Nieto (ed.), New Aspects of Galaxy Photometry. Proceedings of the Specialized Meeting of the Eighth IAU European Regional Astronomy Meeting, Toulouse, September 17-21, 1984, Berlin et al. 1985, pp. 53-66
7. CCD Night 2005 Beta, Help Wizard, www.ineltech.de
8. DeVorkin (1985): David H. DeVorkin, Electronics in Astronomy: Early Applications of the Photoelectric Cell and Photomultiplier for Studies of Point-Source Celestial Phenomena, Proceedings of the IEEE 73 (1985), 7
9. Fort (1985): B[.] Fort, New trends in CCD photometry of galaxies, in: Jean-Luc Nieto (ed.), New Aspects of Galaxy Photometry, Proceedings of the Specialized Meeting of the Eighth IAU European Regional Astronomy Meeting, Toulouse, September 17-21, 1984, Berlin et al. 1985, pp. 3-12

⁵⁶ Vgl. Hentschel (2000).

⁵⁷ Vgl. Schröter (2004).

10. Goodman (1997): Nelson Goodman, *Sprachen der Kunst. Entwurf einer Symboltheorie*, Frankfurt a. M. 1997
11. Heintz/Huber (2001): Bettina Heintz, Jörg Huber (Hrsg.), *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*, Zürich 2001
12. Henbest/Marten (1984): Nigel Henbest, Michael Marten, *Die neue Astronomie*. Basel, Boston, Stuttgart 1984
13. Hentschel (2000): Klaus Hentschel, Drawing, engraving, photographing, plotting, printing: Historical studies of visual representations, particularly in astronomy, in: Klaus Hentschel, Axel D. Wittmann (eds.): *The role of visual representations in astronomy. History and research practice*, Thun, Frankfurt a. M. 2000, pp. 11-43
14. Heßler (2006): Martina Heßler, *Von der doppelten Unsichtbarkeit digitaler Bilder*, *Zeitenblicke* 5 (2006), 3, www.zeitenblicke.de/2006/Hessler/index_html [20.07.2007]
15. Howell (1992): Steve B. Howell, *Astronomical CCD observing and reduction techniques*, San Francisco 1992
16. Janesick (2001): James R. Janesick, *Scientific Charge Coupled Devices*, Bellingham 2001
17. Lynch/Edgerton (1988): Michael Lynch, Samuel Y. Edgerton Jr., *Aesthetics and digital image processing: representational craft in contemporary astronomy*, in: Gordon Fyfe, John Law (eds.), *Picturing Power: Visual Depiction and Social Relations*, London, New York 1988
18. McLean/Schagen (1979): T[] P[] McLean, P[] Schagen (eds.), *Electronic Imaging*, London, New York, San Francisco 1979
19. Nieto (1985): Jean-Luc Nieto (ed.), *New Aspects of Galaxy Photometry*, *Proceedings of the Specialized Meeting of the Eighth IAU European Regional Astronomy Meeting*, Toulouse, September 17-21, 1984, Berlin et al. 1985
20. Pias (2004): Claus Pias, *Elektronenhirn und verbotene Zone. Zur kybernetischen Ökonomie des Digitalen*, in: Jens Schröter, Alexander Böhnke (Hrsg.), *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum?* Bielefeld 2004, S. 295-310
21. Schröter/Böhnke (2004): Jens Schröter, Alexander Böhnke (Hrsg.), *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum?* Bielefeld 2004
22. Schröter (2004a): Jens Schröter, *Analog/digital – Opposition oder Kontinuum?*, in: Jens Schröter, Alexander Böhnke (Hrsg.), *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum?* Bielefeld 2004, S. 7-30
23. Schröter (2004b): Jens Schröter, *Das Ende der Welt. Analoge vs. digitale Bilder – mehr oder weniger ‚Realität?‘*, in: Jens Schröter, Alexander Böhnke (Hrsg.), *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum?* Bielefeld 2004, S. 335-354
24. Smith/Tatarewicz (1985): Robert W. Smith, Joseph N. Tatarewicz, *Replacing a Technology: The Large Space Telescope and CCDs*, *Proceedings of the IEEE*, 73 (1985), 7, pp. 1221-1235
25. Vigroux (1985): Laurent Vigroux, *A new filter system for CCD surface photometry*, in: Jean-Luc Nieto (ed.), *New Aspects of Galaxy Photometry*, *Proceedings of the Specialized Meeting of the Eighth IAU European Regional Astronomy Meeting*, Toulouse, September 17-21, 1984, Berlin u. a. 1985, p. 13-20

26. Vigroux/Nieto (1985): Laurent Vigroux, Jean-Luc Nieto, Comparison of photographic and CCD surface photometry of galaxies, in: Jean-Luc Nieto (ed.), *New Aspects of Galaxy Photometry*, Proceedings of the Specialized Meeting of the Eighth IAU European Regional Astronomy Meeting, Toulouse, September 17-21, 1984, Berlin et al. 1985, p. 67-72

Aufsätze aus „Astrophysics and Astronomy Supplement Series“ (A&ASS)

1. Abad/Della Prugna, CCD measurements of visual binaries, 111, 229-235 (1995)
2. Abad et al., CCD and micrometric observations of visual double stars, 133, 71-79 (1998)
3. Alcaíno et al., Extended BVRI CCD photometry of the globular cluster NGC 2298, 83, 269-287 (1990)
4. Alcaíno et al., Bright populations of the LMC cluster NGC 1978 from multicolor CCD photometry, 135, 103-109 (1999)
5. Alcaíno et al., Deep multicolor CCD photometry of the globular cluster NGC 6723, 136, 461-470 (1999)
6. Aparicio et al., CCD photometry of resolved dwarf irregular galaxies. I: Sextans A, 71, 297-338 (1987)
7. Aparicio et al., CCD photometry of resolved dwarf irregular galaxies. III: GR:8, 74, 375-384 (1988)
8. Aparicio et al., CCD UBVR photometry of two old open clusters, King 11 and Be42 - Comparison with theoretical models, 88, 155-175 (1991)
9. Aparicio/Garcia-Pelayo/Moles, CCD photometry of resolved dwarf irregular galaxies. II: DDO 187. III: GR 8, 74, 367-374 (1988)
10. Aristidi et al., ICCD speckle observations of binary stars: Measurements during 1994-1995, 126, 555-561 (1997)
11. Ballet, Pile-up on X-ray CCD instruments, 135, 371-381 (1999)
12. Barrado/Byrne, BV(RI)_KC_CCD photometry of the core of the young open cluster NGC 5460, 111, 275-281 (1995)
13. Barteldrees/Dettmar, Parameters of stellar disks from CCD surface photometry of edge-on galaxies, 103, 473-502 (1994)
14. Bayer et al., CCD photometric search for peculiar stars in open clusters. I: NGC 2169, Melotte 105 and NGC 6250, 147, 99-109 (2000)
15. Bhatt/Sagar, Optical CCD imaging of some Herbig Ae/Be stars, 92, 473-480 (1992)
16. Borissova et al., CCD photometry of the globular cluster Palomar 13, 121, 499-505 (1997)
17. Borissova/Spassova, The CCD photometry of the globular cluster Palomar 1, 110, 1-17 (1995)
18. Boyle et al., CCD photometry in the Vilnius photometric system. I: Region in Lyra, 84, 1-10 (1990)
19. Boyle et al., CCD photometry in the Vilnius photometric system. II: Region in Sagitta, 86, 395-401 (1990)
20. Boyle et al., CCD photometry in the Vilnius photometric system. IV: Interstellar reddening in the direction of the globular cluster M 71, 95, 51-53 (1992)

21. Broeils/Knapen, Deep CCD photometry of spiral galaxies, 91, 469-479 (1991)
22. Buonanno et al., CCD photometry in globular clusters. II: NGC 7492, 67, 327-340 (1987)
23. Buonanno et al., CCD photometry of stars in the metal-poor globular cluster NGC 7099 (M30), 74, 353-365 (1988)
24. Caon et al., Photographic and CCD surface photometry of 33 early-type galaxies in the Virgo cluster, 86, 429-471 (1990)
25. Carraro/Ortolani, Deep CCD BV photometry of the poorly studied open cluster NGC 4815, 106, 573-579 (1994)
26. Chevalier/Ilovaisky, Cousins BVRI CCD photometry of stars in the M67 ‘dipper asterism’, 90, 225-229 (1991)
27. Chiosi et al., Globular clusters in the Large Magellanic Cloud – CCD photometry of NGC 1866, 78, 89-103 (1989)
28. Chollet/Sinceac, Analysis of solar radius determination obtained by the modern CCD astrolabe of the Calern Observatory. A new approach of the solar limb definition, 139, 219-229 (1999)
29. Clausen et al., Secondary standard stars for UVBY beta CCD photometry, 122, 559-569 (1997)
30. Costa/Loyola, CCD astrometry of faint compact extragalactic radio sources. I: First results and description of the program, 139, 297-304 (1999)
31. Cunow, Photometric CCD sequences in 13 southern Abell clusters, 97, 541-547 (1993)
32. Cunow et al., Photometric CCD sequences for calibration of the ESO/SERC atlas, 125, 71-73 (1997)
33. Cunow/Ungeruhe, Photometric CCD sequences in 8 southern Abell clusters, 112, 213-219 (1995)
34. Cunow/Wargau, Photometric CCD sequences for Calibration of the Eso/r survey, 102, 331 (1993)
35. Cunow/Wargau, Photometric CCD sequences in 7 southern Abell clusters, 107, 277-283 (1994)
36. Cuypers/Seggewiss, CCD photometry and astrometry of visual double and multiple stars of the HIPPARCOS Catalogue. II: CCD photometry and differential astrometry of 288 southern “Intermediate systems”, 139, 425-431 (1999)
37. Daly et al., CCD surface photometry of galaxies in the cluster Shapley 1346-30, 68, 33-40 (1987)
38. Deeg/Ninkov, Deep CCD photometry and the initial mass function of the core of the OB cluster Berkeley 86, 119, 221-230 (1996)
39. Demers et al., CCD sequences for the calibration of southern hemisphere survey plates. II, 99, 461-498 (1993)
40. Demers et al., CCD sequences for the calibration of Southern Hemisphere survey plates. I, 99, 437-460 (1993)
41. Ferraro et al., CCD-photometry of the Galactic globular cluster NGC 2808, 84, 59-93 (1990)
42. Fitzsimmons, CCD Stromgren UVBY photometry of the young clusters NGC 1893, NGC 457, Berkeley 94 and Bochum 1, 99, 15-29 (1993)

43. Foster et al., CCD photometry of late-type stars in the young open cluster IC 2602, 126, 81-90 (1997)
44. Foster et al., CCD photometry and proper motions of late-type stars in the young open cluster Stock 2, 143, 409-420 (2000)
45. Fugmann/Meisenheimer, CCD polarimetry and photometry of 5 GHz radio sources, 76, 145-156 (1988)
46. Fugmann et al., CCD identification and classification of 5 GHz radio sources, 75, 173-183 (1988)
47. Galadí-Enríquez et al., Secondary UBVR-I-CCD standard stars in the neighbourhood of Landolt standard stars, 146, 169-177 (2000)
48. Gavazzi et al., A CCD survey of galaxies in the Coma supercluster, 83, 399-458 (1990)
49. Gavazzi et al., A CCD survey of galaxies. II: Observations with the 2.1 M telescope at San Pedro Martir, 104, 271-314 (1994)
50. Gavazzi et al., A CCD survey of galaxies. IV: Observations with the 2.1 M telescope at San Pedro Martir, 112, 257-289 (1995)
51. Gavazzi/Randone, A CCD survey of galaxies. III: Observations with the Loiano 1.5m telescope, 107, 285-347 (1994)
52. Goormaghtigh, Inventory of major operational and planned ground-based astronomical telescopes of the countries represented in the European Science Foundation/sec. ed., 50, 187-193 (1982)
53. Goudfrooij et al., Interstellar matter in Shapley-Ames elliptical galaxies. I: Multi-colour CCD surface photometry, 104, 179-231 (1994)
54. Harder et al., CCD photometry of YYOrionis stars, 129, 337-341 (1998)
55. Harper et al., CCD astrometry of Saturn's satellites 1990-1994, 121, 65-69 (1997)
56. Harper et al., CCD astrometry of Saturn's satellites in 1995 and 1997, 136, 257-259 (1999)
57. Hilker et al., The central region of the Fornax cluster. I: A catalog and photometric properties of galaxies in selected CCD fields, 134, 59-73 (1999)
58. Hopp/Schulte-Ladbeck, CCD photometry of 11 resolved dwarf irregular galaxies, 111, 527 (1995)
59. Infante et al., CCD sequences in the Shapley supercluster of galaxies. I: The LCO-Toronto telescope data, 120, 357-359 (1996)
60. Jensen/Jørgensen, CCD based B and V lightcurves for the eclipsing binary NJL 5 in Omega Centauri, 60, 229-236 (1985)
61. Jensen et al., CCD photometry in the fields of six eclipsing binaries in the Large and Small Magellanic Clouds. I: Light curves of the binaries – Standard V, B-V data and variability study for 161 selected stars in the fields, 74, 331-350 (1988)
62. Jia et al., CCD photometric observations of blazars, 114, 337-339 (1995)
63. Jonch-Sorensen, CCD uvbybeta photometry of faint stars. I: Observations and reductions, 108, 403-408 (1994)
64. Jordi et al., UBVR-I-CCD photometry of Cepheus OB3 association, 114, 489-497 (1995)
65. Jorgensen et al., CCD surface photometry for E and S0 galaxies in the Coma cluster, 95, 489-534 (1992)
66. Kaluzny, CCD photometry of distant open clusters. I: Berkeley 22, Berkeley 29 and Berkeley 54, 108, 151-171 (1994)

67. Kaluzny, CCD photometry of variable stars in the globular cluster NGC 288, 120, 83-88 (1996)
68. Kaluzny, CCD photometry of distant open clusters. III: Berkeley 18, 121, 455-460 (1997)
69. Kaluzny, CCD photometry of variable stars in the field of the globular cluster NGC6397, 122, 1-7 (1997)
70. Kaluzny, CCD photometry of distant open clusters. IV: Trumpler 5, 133, 25-28 (1998)
71. Kaluzny/Rucinski, CCD photometry of distant open clusters. II: NGC 6791, 114, 1-20 (1995)
72. Karachentseva et al., CCD and HI observations of LSB dwarf galaxies in the general field, 117, 343-368 (1996)
73. Kim/Lee, CCD photometry of a delta Scuti variable in an open cluster. III: V 465 Persei in the alpha Persei cluster, 128, 111-116 (1998)
74. Kiss et al., CCD photometry and new models of 5 minor planets, 140, 21-28 (1999)
75. Kravtsov et al., NTT CCD photometry of the globular cluster M 79 = NGC 1904 in UB_V, 125, 1-9 (1997)
76. Le Campion et al., M15, an astrometric standard for CCD observations, 119, 307-320 (1996)
77. Le Fevre et al., RI CCD photometry of three distant clusters of galaxies and BVRI photometry in three comparison fields, 66, 1-9 (1986)
78. Linde et al., A study of clusters and field stars in two regions in the Large Magellanic Cloud. I: CCD photometry in B and V, 110, 533-543 (1995)
79. Longo et al., The UV properties of normal galaxies. I: The IUE data, 90, 375-386 (1991)
80. Lopes et al., Observations of radio stars at the Valinhos CCD Meridian Circle, 136, 531-537 (1999)
81. Magnier et al., BV RI CCD photometry of 361,281 objects in the field of M 31, 96, 379-388 (1992)
82. Makarova/Karachentsev, CCD imaging of twenty nearby isolated irregular galaxies, 133, 181-196 (1998)
83. Manfroid, Stellar calibration of CCD flat fielding, 113, 587-591 (1995)
84. Manfroid, On CCD standard stars and flat-field calibration, 118, 391-395 (1996)
85. Michalowski et al., CCD photometry, spin and shape models of five asteroids: 225, 360, 416, 516, and 1223, 146, 471-479 (2000)
86. Mighell, A new calibration of the Stobie et al. CCD stellar sequence F117-11, 83, 109-118 (1990)
87. Morlet et al., CCD measurements of visual double stars made with the 50 cm refractor of the Nice Observatory (2nd series), 145, 67-69 (2000)
88. Munari et al., CCD spectrophotometry of CVs. IV: 3430-7850 Angstrom atlas for 27 faint systems, 122, 495-505 (1997)
89. Munari/Zwitter, CCD spectrophotometry of CVs. V: 3300-9100 Angstroms atlas for 20 faint systems, 128, 277-287 (1998)
90. Nakos et al., CCD astrometry and instrumental {DELTA}V photometry of wide visual double stars. IV. Differential measurements of northern pairs, 112, 453-456 (1995)
91. Nakos et al., UB_V absolute CCD photometry and differential astrometry of close visual double stars, with G-type primaries, 124, 353-357 (1997)

92. O'Dea et al., CCD observations of gigahertz-peaked-spectrum radio sources, 82, 261-272 (1990)
93. Ortolani et al., CCD photometry of NGC 6528 – A high metallicity inner bulge globular cluster, 92, 441-448 (1992)
94. Paez et al., Deep CCD photometry of stars in the globular cluster M3, 84, 481-516 (1990)
95. Peletier et al., Simulated aperture-photometry on CCD-frames for 67 southern galaxies in B and R, 77, 339-344 (1989)
96. Popovic/Pavlovic, CCD measurements of double and multiple stars in Belgrade, 123, 487-493 (1997)
97. Prieto et al., Multiband analysis of the surface brightness distributions of SB and SC spirals CCD images. I: Observations, 93, 557-585 (1992)
98. Proell et al., Photographic surface photometry of the Milky Way. III: Photometry of the central area of the Galaxy in the ultraviolet, 51, 17-25 (1983)
99. Qiao et al., 1994-1996 CCD astrometric observations of Saturn's satellites and comparison with theories, 137, 1-5 (1999)
100. Ramsay/Pollaco, CCD observations in 7 open clusters – NGC2421, NGC2439, NGC2489, NGC2567, NGC2627, NGC2658 and NGC2910, 94, 73-102 (1992)
101. Richtler, Zero-point stars in the Magellanic Clouds and M67 for CCD Stromgren photometry, 86, 103-106 (1990)
102. Richtler, CCD photometry of the globular clusters NGC 6496, NGC 6624, and NGC 6637, 109, 1-7 (1995)
103. Richtler et al., VI CCD photometry of metal-rich globular clusters: NGC 6528, 127, 167-179 (1998)
104. Roettgering et al., CCD imaging of ultra-steep-spectrum radio sources, 114, 51-78 (1995)
105. Sagar/Cannon, A deep UBVRi CCD photometric study of the moderately young southern open star cluster NGC 4755 = kappa Crucis, 111, 75-84 (1995)
106. Sagar/Cannon, Multicolour deep CCD photometric study of the moderately young southern open star clusters NGC 3228, NGC 4103, NGC 5662 and NGC 6087, 122, 9-29 (1997)
107. Sagar/Sharples, Fibre spectroscopy and BV CCD photometry of the southern open cluster NGC 3114, 88, 47-62 (1991)
108. Salaman et al., Mesures d'étoiles doubles effectuées à la lunette de 50 cm de l'Observatoire de Nice avec une caméra CCD – CCD measurements of visual double stars made with the 50 CM refractor of the Nice Observatory, 135, 499-501 (1999)
109. Samus et al., A CCD BVRi color-magnitude study of the globular cluster NGC 5286, 112, 439-444 (1995)
110. Samus et al., A CCD BVI color-magnitude study of the metal-rich globular cluster NGC 5927, 119, 191-197 (1996)
111. Sárneczky et al., CCD observations of 11 faint asteroids, 137, 363-368 (1999)
112. Schmidt-Kaler et al., Photographic surface photometry of the Milky Way. I: Data and reduction methods, 51, 1-16 (1983)
113. Shatsky et al., UBVR absolute CCD photometry and differential astrometry of a sample of visual double stars with A-type primaries, 139, 69-74 (1999)
114. Sinachopoulos, CCD measurements of visual binaries, 76, 189-193 (1988)

115. Sinachopoulos et al., CCD astrometry and instrumental Delta V photometry of visual double stars. V: Differential measurements of pairs with angular separations 1arcsec to 4arcsec, 136, 525-529 (1999)
116. Sinachopoulos/Prado, CCD photometry and astrometry of visual double stars, 96, 137-142 (1992)
117. Sinachopoulos/Seggewiss, CCD astrometry of visual binaries. II: Differential measurements of northern double stars, 83, 245-250 (1990)
118. Sinachopoulos/Van Dessel, CCD astrometry and UBV photometry of visual binaries. II: Visual double stars with mainly G-type primaries and relatively small angular separation, 130, 299-304 (1998)
119. Sinceac et al., Methode nouvelle pour la mesure CCD DU diametre solaire avec un astrolabe. A new method for CCD measurements of the solar diameter with an astrolabe, 128, 605-615 (1998)
120. Slezak et al., CCD sequences in the Shapley supercluster of galaxies. II: The ESO data, 119, 329-332 (1996)
121. Smriglio et al., CCD photometry in the Vilnius photometric systems. II: Analysis of a region in Lyra, 88, 87-93 (1991)
122. Stobie et al., CCD stellar sequences in galactic structure fields, 60, 503-515 (1985)
123. Terrett et al., An image display interface for astronomical image processing, 76, 263-304 (1988)
124. Tikhonov/Karachentsev, CCD photometry and distances of six resolved irregular galaxies in Canes Venatici, 128, 325-330 (1998)
125. Vallenari et al., Star clusters of the Large Magellanic Cloud. III: CCD-photometry of NGC 2164, 87, 517-540 (1991)
126. Van Dessel/Sinachopoulos, CCD astrometry and instrumental Delta-V photometry of wide visual double stars. III: Differential measurements of often observed southern pairs, 100, 517-520 (1993)
127. Veiga et al., CCD astrometric observations of Uranian satellites, 113, 557-560 (1995)
128. Veiga et al., New CCD positions of Triton and a comparison with the theoretical predictions, 131, 291-293 (1998)
129. Veiga et al., CCD observations of Nereid and a new orbital determination, 136, 445-451 (1999)
130. Veiga et al., CCD astrometric observations of Uranian satellites: 1995-1998, 138, 247-251 (1999)
131. Veiga et al., CCD observations of Phoebe, 142, 81-84 (2000)
132. Veiga/Vieira Martins, CCD observations of Triton, 120, 107-109 (1996)
133. Viateau et al., The Bordeaux and Valinhos CCD meridian circles, 134, 173-186 (1999)
134. Walterbos et al., A high resolution radio continuum survey of Messier 31. II: Observations at 1412 MHz, data reduction, and the 37W catalogue of radio sources, 61, 451-471 (1985)
135. Walterbos/Kennicutt Jr., Multi-color photographic surface photometry of the Andromeda galaxy, 69, 311-332 (1987)
136. Will et al., CCD photometry and astrometry in the selected regions C and E in the Large Magellanic Cloud, 112, 367-369 (1995)

137. Wozniak/Pierce, CCD surface photometry of early-type barred galaxies. I: Data reduction and results, 88, 325-348 (1991)
138. Xie et al., CCD photometry of 10 BL Lacertae objects, 87, 461-469 (1991)
139. Yang/Liu, CCD photometric study of the contact binary FG Hydrae, 144, 457-461 (2000)
140. Zhang/Xie, CCD photometry and long-term optical variability of PKS 2155-304, 116, 289-293 (1996)
141. Zwitter/Munari, CCD spectrophotometry of CVs. I: 4600-9000 Å low resolution atlas for 31 faint systems, 107, 503-514 (1994)
142. Zwitter/Munari, CCD spectrophotometry of CVs. II: 3300-9150 Å atlas for 25 faint systems, 114, 575-588 (1995)
143. Zwitter/Munari, CCD spectrophotometry of CVs. III: 3270-9000 Å atlas for 38 faint systems, 117, 449-465 (1996)

Internet

1. <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap050205.html> (NASA Web Site) [23.07.2007]
2. <http://hubblesite.org/gallery/spacecraft> (Hubble Site) [23.07.2007]
3. <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/galaxy/2006/24/image/a/format/web/results/20/> (Hubble Site) [23.07.2007]
4. http://hubblesite.org/sci.d.tech/behind_the_pictures/meaning_of_color (Hubble Site) [23.07.2007]
5. www.astro.uni-bonn.de/~ccd/boccia/ccd_prinzip/ (Universität Bonn, Astronomie) [23.07.2007]

E. Visualisierung in der Medizin

Assoziative sowie ästhetische Strukturen der Lehre vom Blutkreislauf im 19. Jahrhundert und die Auswirkungen auf die Visualisierung dieser Lehre

Gerhard Müller-Strahl

Einer Arbeit des Anatomen und Physiologen E. H. Weber (1795-1878)¹ wird in der folgenden Analyse eine besondere Aufmerksamkeit zuteil werden. Diese betonte Hinwendung zu dessen Schrift *Ueber die Anwendung der Wellenlehre auf die Lehre vom Kreislauf des Blutes* (1850/52)² ist zuallererst über das äußerliche Merkmal motiviert, dass durch die mitgeteilte Lehre eine deutliche Zäsur innerhalb der Geschichte der Kreislaufphysiologie hervorgerufen werden konnte, weil das darin enthaltene Forschungsprogramm wie kaum eine zweite Lehre vom Kreislauf nach der offiziellen Entdeckung des Kreislaufes durch W. Harvey (1578-1657)³ eine breite und intensive Rezeption im deutschsprachigen Raum erfahren hat; dieses Programm wurde zugleich ein maßgeblicher Anlass für weiterführende kreislaufphysiologische Studien in einem umfassenderen internationalen Rahmen, die bis an das Ende des 19. Jahrhunderts fortbestanden. Ferner fordert die vordergründig unsystematisierte thematische Vielfalt der Gedanken in der Weber'schen Arbeit dazu auf, einen einheitlichen Gesichtspunkt in dieser verwirrend mannigfaltigen Darstellung auszumachen, um gewissermaßen die Perspektive Webers zurückzugewinnen, von der aus die zugrunde liegende Systematik seiner Lehre verstanden werden könnte. Gelänge dieser Perspektivenwechsel, dann wären damit Ansätze für eine weiterschreitende erkenntnistheoretische Analyse physiologischen Forschens an der Leitlinie der Weber'schen Lehre gebunden.

Die eigentlich aufzuspürenden, aber verdeckten Besonderheiten der Weber'schen Studie erschließen sich dann unter günstigen Voraussetzungen, wenn die präsentierte Theorie zunächst durch vorzüglich assoziative Bezüge innerhalb von Werk und Schaffen Webers eingebettet werden kann, und wenn daraufhin eine wertende Einordnung der von Weber vorgetragenen Erkenntnisse sowohl innerhalb des zeitgenössischen wissenschaftlichen Umfeldes als auch aus dem Rückbezug zu vorgängigen Arbeiten voll-

¹ Angesichts der Tatsache, dass eine Biographie Webers bisher nicht vollständig geliefert wurde, sind einige Hinweise auf biographische Skizzen angebracht, die nicht im aktuellen DBI verzeichnet sind; vgl. das Literaturverzeichnis des folgenden Aufsatzes „Visualisierung und Heuristik physiologischer Modelle zu Kreislauftheorien des 19. und 20. Jahrhunderts“.

² E. H. Weber, *Ueber die Anwendung der Wellenlehre auf die Lehre vom Kreislauf des Blutes* und insbesondere auf die Pulslehre, Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-physische Classe (1850), S. 164-204. – Diese Veröffentlichung wurde ein zweites Mal mit dem Eingangsdatum von 1852 in Müller's Archiv von 1851 unter demselben Titel, mit identischem Text und Tafelteil veröffentlicht; vgl. dazu das Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin (1851), S. 497-546. – Der Bezug zu dieser duplizierten Veröffentlichung wird über die Bezeichnung *Lehre vom Kreislauf* hergestellt; Seitenangaben folgen der Paginierung der Ausgabe von 1850; mit dem Namen ‚Weber‘ wird immer E. H. Weber gemeint sein; seine Brüder erhalten zur Kennzeichnung zusätzlich die Initialen ihrer Vornamen.

³ Der Entdeckungszeitraum kann mit der Jahreszahl 1619 als dessen Abschluss einigermaßen angedeutet werden.

zogen würde. Diese Aspekte können in der anschließend präsentierten Analyse nur insofern eine Rolle übernehmen, als die *Lehre vom Kreislauf* einen Anschluss an die Wellenlehre von 1825 gestattet.⁴ Eine solche Selektion muss auch der dazu verwandten Form der Analyse widerfahren, welche die Breitenwirkung der Weber'schen Arbeit in der nachfolgenden Rezeption betrifft; nur diese Charakterisierung kann mit Nachdruck zur Sprache kommen, eine vollständige Darstellung könnte nur durch die jeweils gesonderte Betrachtung aller thematischen Felder der *Lehre vom Kreislauf* eingelöst werden, wozu die Tradierungslinien der physikalischen *Wellenlehre*, der physikalischen Schlauchwellenlehren, der physiologischen Pulslehren, der hydrodynamischen Lehren von der Druckverteilung in Röhrensystemen und der physiologischen Lehren von der Regulierung des intravasalen Flüssigkeitsvolumens zählen. Diese fünf grundlegenden Bestandteile der Kreislauflehre von 1850/52 können aber nur beiläufig angeschnitten werden und dafür wird dem sechsten Bestandteile der Lehre, dem Weber'schen Kreislaufmodell,⁵ um so mehr Raum gewidmet. Die Tradierungslinien dieses Modells lassen sich anhand einzelner Spuren bis in die Gegenwart nachvollziehen, so dass sich aus den Modifikationen im Verhältnis zum ursprünglichen Entwurf die Invarianten und eventuell die modifizierenden Faktoren dieser Entwicklungen innerhalb eines wissenschaftlichen Kontextes aufzeigen lassen.

⁴ Weber und W. Weber, *Wellenlehre*, auf Experimente gegründet, oder über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- oder Lichtwellen, Leipzig 1825; auf diese Monographie wird mit der Kurzbezeichnung *Wellenlehre* Bezug genommen. – Als frühe Rezeptionen der *Wellenlehre* von 1825 seien genannt: J. S. T. Gehler, *Physikalisches Wörterbuch*, Leipzig, 1842, Bd. 10.2, S. 1275-1364 und die Tafeln XII und XIV, auf denen eine Wellenrinne sowie die zyklonale Gestalt der Wellenoberfläche nach F. J. Gerstner (1756-1832) dargestellt sind; vgl. ferner J. B. Biot, *Lehrbuch der Experimentalphysik* (hrsg. von G. Th. Fechner), Bd. 5, Leipzig 1829, S. 130-151 und die Tafel V^{bis} mit einer Ansicht von einer großen und kleinen Wellenrinne; auch sind die zyklonalen Bewegungsformen der Teilchen der Wasseroberfläche beim Passieren eines Wellentales oder -berges skizziert. Selbstverständlich fanden die Konzepte der *Wellenlehre* nach dem Vorbild der Weber'schen Arbeit von 1850/52 Eingang in die meisten der nachfolgenden Lehren vom Puls; vgl. z. B. R. Tigerstedt, *Die Strömung des Blutes in den Arterien*, 4. Der Arterienpuls, in: R. Tigerstedt, *Die Physiologie des Kreislaufs*, Bd. 3, Berlin 1922, S. 173-258; im § 133, „Allgemeine Übersicht über die Bewegung des Blutes in den Arterien“, findet sich eine Würdigung des Weber'schen Kreislaufschemas im Speziellen und auf S. 186 eine zusammenfassende Würdigung der Weber'schen *Lehre vom Kreislauf*. – Eine Stellungnahme des nicht physiologisch geprägten A. Baumgartner zur *Wellenlehre* gebraucht folgende Worte: „Als besondere Zugabe zur zweiten Auflage erschien die Lehre von der schwingenden Bewegung des Wassers, weil gerade zur Zeit ihres Erscheinens die physische Literatur mit der Gebrüder Weber vortrefflichem Werke über die Wellenlehre bereichert wurde, durch welches dieser wichtige Theil der Physik auch Anfängern zugänglich gemacht wurde, während er früher nur als Eigenthum gewandter Mathematiker angesehen werden konnte, ja selbst diesen nicht so klar zu seyn schien, als es jetzt jedem nur einigermaßen denkenden Kopf gemacht werden kann.“ (Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande mit Rücksicht auf mathematische Begründung, Wien 1832, S. VI).

⁵ Unter Modell soll das technische Modell verstanden werden – ganz im Sinne L. Boltzmanns (1844-1906); vgl. Leiber (2000). – Zum Modellbegriff vgl. ferner Nova Acta Leopoldina (1968). In sämtlichen darin kumulierten Abhandlungen – historischen, naturwissenschaftlichen sowie mathematischen – wird auf das Modell des Blutkreislaufes als technische, mathematisierbare Repräsentation eines organischen Systems nicht eingegangen.

Die prospektive Einbettung der Arbeit Webers von 1850/52 soll an dieser Stelle bereits – wenn auch nur kursorisch – skizziert werden, um zumindest ihre Bedeutung für die Entwicklung physiologischer Kreislauftheorien zu verdeutlichen: Die *Lehre vom Kreislauf* war einerseits massive Reaktion auf die kurz zuvor erschienene *Hämodynamik*⁶ (1850) des Physiologen A. Volkmann (1800-1877) und wurde von diesem wiederum zur Rechtfertigung seiner eigenen Lehre von 1850 in der *Beleuchtung der Weberschen Streitfragen* (1852) angegangen.⁷ Diese dritte Arbeit erfuhr durch Weber eine erneute Replik in dem darauf folgenden Jahr in der *Widerlegung der Einwendungen Volkmanns*.⁸ Damit wurden die Wogen in Müller's Archiv jedoch nicht geglättet; Volkmann verfertigte eine Abhandlung, mit der er sich persönlich zu Weber begab, um sie ihm zu verlesen, „indem ich mich der Hoffnung hingab, dass eine mündliche Besprechung zu einer Verständigung über unsere Differenzen führen werde. Diese Hoffnung ist zu meinem aufrichtigen Bedauern fehlgeschlagen, indess hat jene Besprechung doch den Vortheil gehabt, mich über die Gründe der gegen mich erhobenen Opposition aufzuklären.“ Somit kam es doch zu einer Veröffentlichung der *Erläuterung und Rechtfertigung* in Müller's Archiv des darauf folgenden Jahres.⁹ Volkmann kündigt darin seinen Vorsatz zu schweigen an, selbst wenn eine abermalige Erwiderung Webers geschehen würde, und wünscht sich abschließend, „daß die Ausgleichung der Differenzen, um welche es sich hier handelt, in andere Hände komme.“ Zwei Jahre vergingen bis – ungerufen oder auch nicht – dieser Wunsch in F. C. Donders (1818-1889) Physiologie des Menschen teilweise¹⁰ bzw. in einem separaten Beitrag in Müller's Archiv weitestgehend eingelöst wurde.¹¹ Volkmann reagierte mit einer letzten, einlenkenden Replik.¹² Zu einem endgültigen Ruhepol ge-

⁶ A. W. Volkmann, Die Haemodynamik nach Versuchen, Leipzig 1850. Abgekürzter Titel: *Hämodynamik*.

⁷ A. W. Volkmann, Beleuchtung einiger von E. H. Weber angeregten Streitfragen über Blutdruck und Blutbewegung, Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin (1852), S. 287-311. Abgekürzter Titel: *Beleuchtung der Weberschen Streitfragen*.

⁸ E. H. Weber, Widerlegung der von Volkmann gegen meine Abhandlung über die Anwendung der Wellenlehre auf die Lehre vom Kreislaufe des Blutes und insbesondere auf die Pulslehre gemachten Einwendungen, Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin (1853), S. 156-174. Abgekürzter Titel: *Widerlegung der Einwendungen Volkmanns*.

⁹ A. W. Volkmann, Erläuterung und Rechtfertigung der hydraulischen Grundsätze, welchen ich in meinem Werke über Hämodynamik gefolgt bin, Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin (1854), S. 119-152. Abgekürzter Titel: *Erläuterung und Rechtfertigung*.

¹⁰ F. C. Donders (Mitwirk. A. F. Bauduin, Übers. F. W. Theile), Physiologie des Menschen, Bd. 1 (Die Ernährung), Leipzig 1856; ein zweiter Band erschien nicht mehr; als Grundlage zur deutschen Ausgabe wurde die ursprüngliche Handleiding tot de natuurrkunde van den gezonden mensch, Utrecht, 1851 (Allgemeene natuurrkunde) und 1853 (bijzondere natuurrkunde) vom Verfasser revidiert und vervollständigt.

¹¹ F. C. Donders, Kritische und experimentelle Beiträge zur Hämodynamik, Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin (1856), S. 433-466. Abgekürzter Titel: *Kritische und experimentelle Beiträge*.

¹² A. W. Volkmann, Erörterungen zur Hämodynamik mit Beziehung auf die neuesten Untersuchungen von Donders, Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin (1856), S. 119-152. Abgekürzter Titel: *Erörterungen zur Hämodynamik*.

langte die Debatte durch eine weitere Darstellung nach Donders im dritten darauffolgenden Jahr.¹³

Diese Auseinandersetzung mit der Sequenz Volkmann (*Hämodynamik*) – E. H. Weber (*Lehre vom Kreislauf*) – Volkmann (*Beleuchtung der Weberschen Streitfragen*) – E. H. Weber (*Widerlegung der Einwendungen Volkmanns*) – Volkmann (*Erläuterung und Rechtfertigung*) – Donders (*Kritische und experimentelle Beiträge*) – Volkmann (*Erörterungen zur Hämodynamik*) ist ein wesentliches Dokument zur Theorie der Physiologie, da unter den beteiligten Physiologen die Frage nach dem Zusammenhang von Theorie und Experiment verhandelt wird; so wird z. B. auf die Fragen eine Antwort gesucht, wie ein Experiment zu gestalten sei oder welcher Komponente des Zusammenhanges von Theorie und Experiment das Primat bei der Theorienbildung zukomme.¹⁴ Volkmann will auf dem Weg eines organismusnahen Experimentierens zu seinen Aussagen über den Druckabfall im Gefäßsystem gelangen; Weber beruft sich viel deutlicher auf theoretische Positionen, die von Th. Young (1773-1829), J. L. M. Poiseuille (1779-1869) und ihm selbst bereitgestellt wurden, wobei ihm physikalische Überlegungen, Berechnungen, anschauliche Vergleiche, Analogien und sein theoriegerechtes Kreislaufmodell zur Seite treten. Auf diesen komplexen Grundlagen entwickelt Weber Aussagen, die denjenigen von Volkmann widersprechen. Diese Einzelheiten der umzeichneten Weber-Volkmann-Debatte können aber nur im Hintergrund der folgenden Analyse mitgeführt werden. Bevor dann aber auch der Gesichtspunkt der Mathematisierung physiologischer Systeme ganz aus den Augen verloren wird, sind einige Hinweise zu dieser Thematik bereits an dieser Stelle angebracht: In der Veröffentlichung von 1850/52 spricht Weber von theoretischen Berechnungen seines Bruders Wilhelm Weber (1804-1891) und verweist dazu auf eine „Note“, in welcher diese Theorie vorgestellt werde;¹⁵ eine solche ist jedoch nicht aufzufinden; allerdings bedient sich Weber in derselben Veröffentlichung eines Formalismus, der von seinem Bruder bereits zur Verfügung gestellt worden zu sein scheint, dessen Herleitung jedoch erst 1866 publiziert wurde.¹⁶ Eine provisorische Zusammen-

¹³ F. C. Donders (Übers. F. W. Theile), *Physiologie des Menschen*, Leipzig 21859, S. 60-142; Donders gibt auch eine gute Übersicht der in jener Zeit verfügbaren Vorrichtungen zur Druckmessung an Gefäßen.

¹⁴ Genauer müsste die differenzierende Redeweise von Theorie und Experiment dahingehend formuliert werden, dass erst in der Verbindung von spekulativer Theorie und Experiment eine sinnvolle Differenz zu Tage tritt; denn jedes Experiment kann nur auf Grund theoretischer Vorannahmen als Experiment verstanden werden.

¹⁵ *Lehre vom Kreislauf*, S. 166, 176; vgl. auch S. 182.

¹⁶ W. Weber, *Theorie der durch Wasser und andere inkompressible Flüssigkeiten in elastischen Röhren fortgepflanzten Wellen*, *Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-Physische Klasse* 18 (1866), S. 353-357. – Versuche zu einer mathematischen Beschreibung eines kardiogenen Massetransportes in flüssigkeitsgefüllten Röhren mit elastischer Wandung sind bedeutend älter als die Aufbruchstimmung, die Weber mit der Ankündigung der theoretischen Beschreibung der Wellenfortpflanzung verbreitet. Z. B. sei auf den Mathematiker Leonhard Euler (1707-1783) verwiesen, der ein halbes Jahrhundert vor der *Wellenlehre* einen Versuch unternahm, eine frühe mathematische Formulierung für die Bewegungsform des Blutstromes in elastischen Röhren als Reaktion auf die Herz Tätigkeit zu finden; vgl. P. H. Fuss, N. Fuss (Hrsg.), *Leonhardi Euleri opera postuma mathematica et physica anno MDCCCXLIV (1844) detecta*, Bd. 2, Petroполи 1862, S. 823; der postum erschienene Text ist auf 1775 datiert. Diese Arbeit Eulers dürfte den beiden Weber-Brüdern aber unbekannt gewesen sein, da in der *Wellenlehre* die von ihnen gewissenhaft ver-

schau der soweit erwähnten und chronologisch auseinander gerissenen physikalischen, physiologischen und mathematisierenden Veröffentlichungen kann eine aufschlussreiche Arbeit von A. Fick (1829-1901) liefern.¹⁷

Der Gang der Analyse sieht also zunächst vor, die Einbettung der Weber'schen Arbeit mit den bezeichneten Einschränkungen zu vollziehen; dies geschieht retrospektiv hauptsächlich mit Referenz zur *Wellenlehre* von 1825. Damit wäre dann auch der Teil vorbereitet, der sich auf die immanenten Eigentümlichkeiten der mitgeteilten Lehre einlässt, insofern davon insbesondere das Kreislaufschema betroffen ist. Diese immanente Analyse der *Lehre vom Kreislauf* legt unmittelbar – jedoch auf einer überlagerten Ebene – die darin verborgenen *ästhetischen* Elemente frei, welche das bildlich-schematische Arrangement des Kreislaufschemas mit bestimmt haben. Es wird jedoch einer gesonderten Analyse bedürfen, die Tradierung des Kreislaufschemas über einige wesentliche Etappen bis an das Ende des 20. Jahrhunderts nachzuzeichnen, um die prospektive Einbettung der *Lehre vom Kreislauf* festzulegen. Daraus werden sich Aussagen über den heuristischen Wert von Schemata und Modellen in der medizinischen und physiologischen Forschung ergeben.¹⁸

1. Physiologisch relevante Elemente der *Wellenlehre* von 1825

Die *Wellenlehre* der Weber-Brüder hatte das Ziel, den theoretischen Vorarbeiten, die bis dahin von Mathematikern zur physikalischen Wellenlehre geliefert worden waren, eine experimentelle Grundlage zu geben.¹⁹ Jedoch weisen die Autoren ausdrücklich darauf hin, dass dieses grundlegende „wissenschaftliche Bedürfnis“ – und auch das Bedürfnis, „nicht nur die Bewegung der Welle selbst, sondern auch die zugleich statt findende Molecularbewegung“ zu untersuchen²⁰ – nicht die eigentlichen Motive für das Unternehmen der *Wellenlehre* darstellen; das wesentliche sei vielmehr die Zufallsbeobachtung Webers über das geometrisch beeindruckende Verhalten einer kreisförmig umgrenzten Quecksilberoberfläche unter hineinträufelndem Quecksilber gewesen.²¹ Die Realisie-

zeichneten Stellen aus dem Werk Eulers darauf keinen Bezug nehmen. Weber selber verweist für die Idee, dass die Elastizität der Gefäßwandung am Bluttransport beteiligt sei, auf Youngs Arbeit von 1809.

¹⁷ A. Fick, *Die medicinische Physik*, Braunschweig ³1885, S. 99-145; diese Ausführungen sind sehr eng an die Weber'sche Arbeit von 1850/52 angelegt und somit ideale Interpretationshilfen; die Theorie der Schlauchwellen wird jedoch nicht nach W. Weber abgehandelt sondern nach einer Theorie von J. v. Kries. Auf S. 134-139 erfolgt die Besprechung des Weber'schen Kreislaufmodells – über weite Strecken mit den ursprünglichen Worten Webers – und auf S. 139-145 die Berechnung der Herzarbeit. Vgl. auch *Die medicinische Physik*, Braunschweig ¹1856, ²1866; diese beiden Auflagen erschienen als Supplementbände zu Müller-Pouilllets Lehrbuch der Physik und Meteorologie. – Die Tatsache, dass die Mathematisierung von Herzaktion und Kreislauffunktion in der Weber'schen Arbeit bereits angelegt, ja sogar vorgesehen war, wurde öfters in der Geschichte der Physiologie übersehen.

¹⁸ Vgl. für diese Fragestellung den folgenden Aufsatz.

¹⁹ *Wellenlehre*, S. V-VII.

²⁰ *Wellenlehre*, S. VI. W. Weber war ein Fürsprecher atomistischer Vorstellungen von der Materie und daher an einem solchen Schluss von den Phänomen auf die atomaren Verhältnisse interessiert.

²¹ *Wellenlehre*, S. VI. Weber erkannte die experimentelle Nutzbarmachung einer ästhetisch ansprechenden Beobachtung; denn die Wellenausbreitung ist auf der trägen, undurchsichtigen Quecksilberoberflä-

rung dieses mehrfach motivierten Vorhabens führte 1825 zu einem Werk der physikalischen Experimentierkunst,²² welches im Verein mit den unterschiedlichsten theoretischen Vorarbeiten²³ der Wellentheorie des Lichtes Bahn brach, die in jener Zeit gegenläufig zur Emanationstheorie behandelt wurde.²⁴ Die Wirksamkeit der *Wellenlehre* beruhte aber nicht so sehr auf einer singulären Feststellung, die den tradierten Systemen einen trennenden Maßstab anlegte als vielmehr in mannigfaltigen, einzelnen Befunden, aus denen sich fast ebenso viele Korrekturen an den theoretischen Ansätzen der Vorgänger ergaben.²⁵ Jedoch wird in der *Wellenlehre* nirgends die Intention angesprochen, Fragen von physiologischem Belang zu klären; nicht einmal Andeutungen oder Äußerungen suggestiver Art können eine Verbindung zur experimentellen Physiologie wahrscheinlich machen. Dieser Umstand kann nicht zu Genüge betont werden, da infolgedessen die *Wellenlehre* als ein Werk angesehen werden mag, welches unabhängig von der später erfolgten Übertragung experimentell verankerter physikalischer Sachverhalte auf die *Lehre vom Kreislauf* entstand; damit ließe sich die unvorhergesehene Herkunft allgemein-begrifflicher und physikalisch-theoretischer Voraussetzungen auf eine spezielle Lehre der Physiologie nahe legen. Diese assoziative Kette könnte den Sinn dafür schärfen, dass bereits die frühen Arbeiten der Weber'schen Lehre vom Puls – diese erschienen seit 1827 und kulminierten in der *Lehre vom Kreislauf* – unter dem Eindruck der physikalischen Erfahrungen aus den Studien zur *Wellenlehre* konzipiert worden waren.

Die *Wellenlehre* schließt zwei umfassende historische Teile mit ein, deren erster der beobachtenden und zugleich auf spekulativem Wege erklärenden Annäherung an das Phänomen der Wellen gewidmet ist und deren zweiter die verfügbaren mathematischen Beschreibungsweisen aus der physikalischen Tradition bereitstellt.²⁶ Die übrigen Passa-

che deutlich besser mit den unbewaffneten Sinnen zu erfassen. Vgl. die Darstellungen solcher Wellenmuster an kreisförmigen und elliptischen Quecksilberoberflächen auf den Tafeln VI und VII der *Wellenlehre*; die Kupferplatten zu diesen Drucken wurden schon 1823 gefertigt und bilden die Ausnahmen unter den 18 Tafeln, die ansonsten sämtlich von den Gebrüdern Weber in Eigenarbeit gestochen worden sind. Dies sind wohl die frühesten Spuren, die deutlich auf die Beeinflussung der Arbeiten der Weber-Brüder durch den eng befreundeten E. F. F. Chladni (1756-1827) hinweisen.

²² Für die Zeit vor 1825 verdienen auch die experimentalphysikalischen Arbeiten von G. Bidone (1781-1838) und H. Flaugergues (1755-1835) eine besondere Erwähnung.

²³ Von den mathematischen Physikern werden besonders R. Descartes (1596-1650), Ch. Huyghens (1629-1695), I. Newton (1642-1727), L. Euler (1707-1783), D. Bernoulli (1700-1782), J. d'Alembert (1717-1783), J.-L. Lagrange (1736-1813), P.-S. Laplace (1749-1827), F. J. Gerstner (1756-1832), S.-D. Poisson (1781-1840) und A. L. Cauchy (1789-1857) hervorgehoben. Der Lehre Poissons wird eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet, da im Anschluss an eine Besprechung derselben (S. 377-384) ein ziemlich ausführlicher, auf Französisch verfasster Abschnitt (S. 384-434) mit der Kopfzeile „Bemerkungen zur Theorie Poissons“ folgt.

²⁴ Vgl. *Wellenlehre*, S. 564-574 (§ 306-313).

²⁵ Die vielfältigen Bezüge der experimentell gehaltenen Wellenlehre zu den Arbeiten theoretischer Physiker sind ausführlich und übersichtlich beschrieben bei G. W. Muncke (1772-1847), *Wellen*, in: J. S. T. Gehler, *Physikalisches Wörterbuch*, Bd. 10.2, Leipzig 1842, S. 1275-1364.

²⁶ Die Weber-Brüder verweisen für die historischen Aufarbeitungen auf die S. 29-100 (§ 21-86) und S. 303-436 (§ 211-238); erstere umfassen den historisch-beobachtenden Teile „Ueber die Erscheinungen, welche bey Wellen wahrgenommen werden, deren erregende Ursachen auf die Wellen zu wirken fortfahren, namentlich über die unter dem Einflusse des Windes entstehenden Wellen“ und die letzte-

gen umfassen Anmerkungen allgemeiner Natur, ferner die zentralen experimentellen Arbeiten der Weber-Brüder in anschaulicher Darstellung und schließlich die Ergebnisse sowie Schlussfolgerungen aus den aufbereiteten Teilen zur Naturbeobachtung, zum Experiment und zur mathematischer Theorie. Hinter dieser gegliederten Anordnungsweise steht ein bewusster, gestalterischer Wille der Autoren; das geht aus einer Stelle hervor, in der die komplexen Wellenerscheinungen auf Seen und Meeren besprochen werden. Diese Phänomene, da sie in die alltäglichen Beobachtungen hineinspielen, seien vertraut und scheinbar auch bekannt und könnten sogar anhaltend ein Interesse finden; dennoch seien sie nicht der Quell für eine Theorie der Wellen. Die Orientierung an solchen komplexen Erscheinungen versperre vielmehr die Ausbildung einer wissenschaftlichen Disziplin; in physikalischen Versuchen z. B. würden gezielt einfachere Erscheinungen hervorgerufen, die zur Begründung einer elementaren Theorie der Wellen hinreichten. Von einer Betrachtung dieser isolierten, wenn auch nicht nur allgemein vertrauten Erscheinungen solle dann zu einer Betrachtung der zusammengesetzten vorangeschritten werden. Die Struktur der allgemeinen Erscheinungen in der gewöhnlichen Beobachtung aber, von der die analytische Bewegung in der Wissenschaft ausginge, bleibe in den analytisch gewonnenen Erscheinungen fortlebend, sie ermögliche daher auch die synthetische Bewegung zurück zu den komplexen Erscheinungen der Naturbeobachtung – sie bleibt durchweg unentbehrlicher Bestandteil „bey einer wissenschaftlichen Anordnung“; insofern sind physikalische Theorien immer auch teleologisch organisiert:

„Man hat aber bis jetzt, durch die Schiffarth veranlasst, diesen verwickelten Wellenerscheinungen mehr Aufmerksamkeit geschenkt, als den einfachen. Jene drängen sich dem Menschen durch gelegentlich gemachte Erfahrungen selbst auf, diese kann man nur auf dem Wege des Versuchs kennen lernen. Jene verwickelten, namentlich durch den Wind hervorgebrachten, Wellenerscheinungen, sind daher schon allgemeiner bekannt als diese. Ob man es daher gleich bey einer wissenschaftlichen Anordnung gewöhnlich für nothwendig hält, von einfacheren Erscheinungen zur Betrachtung der mehr zusammengesetzten fortzugehen, so schien es uns doch hier zweckmässig das bekanntere vor auszuschicken, und dadurch Interesse für die feineren Versuche zu erregen, welche wir zur Begründung einer Theorie der Wellen angestellt haben. Wir werden daher hier nur eine Zusammenstellung dessen geben, was man über die durch den Wind erregten Wellen weiss, und was wir hierüber, durch unsere Beobachtungen auf Seen und auf dem Meere selbst erfahren haben, ohne sogleich eine gründliche Erklärung beizufügen, die erst, wenn man eine vollständige Theorie der Wellen besitzt, gegeben werden kann.“²⁷

Dass neben den vereinfachend-experimentellen und den damit verknüpften physikalisch-mathematischen Abhandlungsteilen auch ein Anteil spekulativen Denkens und leibhafter Erfahrungen zur Gewinnung der Inhalte der *Wellenlehre* mitwirkte, ist nicht zu übersehen. So mag – um ein Beispiel der spekulativen Komponente zu geben – Weber die späterhin relevante Unterscheidung vom Strömen einer Flüssigkeit und der Aus-

ren den historisch-theoretischen Teil „Geschichtliche Darstellung der bis jetzt aufgestellten Theorien der Wellen selbst“.

²⁷ *Wellenlehre*, S. 32 (§ 24).

breitung von Wellen in einer Flüssigkeit erfahren haben und sich vergegenwärtigen können.²⁸ Die Unterscheidung von Oberflächenwelle und Strömung einer eingeschlossenen Flüssigkeit wird z. B. rein spekulativ über eine historische Anbindung eingeführt, indem die Weber-Brüder in der *Wellenlehre* auf das „Problem XLI“ aus der pseudo-aristotelischen Schrift *Problemata* Bezug nehmen.²⁹ Pseudo-Aristoteles habe sich bereits zu dem Phänomen geäußert, dass bei einem Übergang von ruhiger zu bewegter See die ersten Meereswellen bereits vor dem Anheben eines Windes auftreten würden. Seine Erklärung habe darin bestanden, dass der kontinuierliche Zusammenhang des Meeres stärker ausgeprägt sei als derjenige in der Luft, so dass zwar der Wind auf hoher See Auslöser der Wellenbewegung sein könne, die Welle jedoch wegen des effektiveren Zusammenhanges des Seewassers vor der Küste eher auftauche als der Wind.³⁰

Auch das Erlebnis lebhafter Naturbeobachtungen und dessen Anteil an der wissenschaftlichen Arbeit wurde von den Weber-Brüdern nicht unterschätzt; neben der Kompilation von Erfahrungsberichten anderer Autoren fügten sie eigene Erfahrungsberichte mit ein; im § 29 der *Wellenlehre* wird z. B. die Italienreise der Brüder vom Sommer 1822 erwähnt, die Beobachtungen am Meerbusen von Triest oder bei einer Segelfahrt von Venedig nach Triest. In das Geschehen um die Entstehung der *Wellenlehre* gehörten ferner Reisen an das Adriatische Meer, den Bodensee, den Zürcher und Zuger See, den Lago Maggiore und den Lago di Garda. Webers Beobachtungen am Golf von Genua werden gesondert erwähnt.³¹ Der Lebhaftigkeit dieser Eindrücke entsprach auch der Umgang der Brüder miteinander, die ihr Unternehmen nicht als ein bloß gemeinsames bezeichneten, sondern als eine „gemeinschaftliche Untersuchung“,

„bey der die Ideen und Beobachtungen eines jeden von uns so sehr untereinander verwachsen sind, indem sie häufig ihre Wurzel und Nahrung in den Ideen und Beobachtungen des anderen fanden, dass keiner von uns in dieser Abhandlung sein Eigenthum zu unterscheiden vermag, sondern dieselbe als eine vollkommen gemeinsame Frucht unserer vereinigten Anstrengung ansieht.“³²

²⁸ Vgl. in der *Lehre vom Kreislauf* von 1850 den Abschnitt „Wellenbewegung und Strombewegung“ (S. 166-168).

²⁹ Da die betreffende Stelle von den Weber-Brüdern in deren *Wellenlehre* beiläufig zitiert worden ist – obwohl von ihnen ausführlich diskutiert (§ 47-50) – seien die dem heutigen Leser zugänglichen Stellen aus des Pseudo-Aristoteles’ *Problemata* mitgeteilt; vgl. dazu Flashar (1983), S. 194, 197 und 201 bzw. die Kap. 2, 12 und 28 aus dem Buch XXIII der Schrift.

³⁰ Diese Sachlage kann bereits parallel zu derjenigen bei der Ausbreitung des Pulses gesetzt werden: Wären das Herz bzw. der Wind die antreibenden Kräfte, dann wären der Puls bzw. die Meereswelle deren Fernwirkung. Die Beschäftigung Webers mit dem 41. Problem liefert auf diese Weise Anregungen für eine Pulslehre, die auch zu einem Widerspruch gegen die damals gültige Lehre nach A. v. Haller (1708-1777) angeregt haben mag. Haller lehrte die Gleichzeitigkeit von Herzaktion und peripheren Pulsen. Weber war aber aufgrund seiner spekulativen Übung spätestens seit 1825 darauf vorbereitet, die für die Kreislauftheorie relevante Unterscheidung von Strombewegung und Wellenbewegung nicht aus den Augen zu verlieren. – Experimente zur bloßen Strombewegung sind in der *Wellenlehre* angeführt, vgl. die Tafel XIII, Fig. 85, 87, 88, 89; leider geht Weber auf diese ideal passenden Versuche in seiner *Lehre vom Kreislauf* nicht mehr ein.

³¹ *Wellenlehre*, § 34 und § 42.

³² *Wellenlehre*, S. VII

Unterschiedlichste experimentelle Beobachtungen im Verlauf der Experimente aus der *Wellenlehre* nahmen Einfluss auf die weitere Entwicklung der Hydraulik – aber auch auf die theoretischen Voraussetzungen für eine Übertragung auf den organismischen Kreislauf – und fanden Eingang in die späteren Lehrbücher dieser physikalischen Disziplin; ein Überblick zu einigen Experimenten ist daher angebracht: Die Beschreibung von Form und Gestalt der Welle (§ 87-93), der Mechanismus der Wellenauslösung durch den Steinwurf ins Wasser (§ 81-84), die Wellenausbreitung auf Flüssen (§ 85-86), die Erfassung der oberflächlichen und tiefer liegenden Teilchenbahnen beim Durchgang einer Welle (§ 99-131), das Verhalten der Flüssigkeitsströme bei der Durchdringung gegenläufiger Wellen (§ 159-165), das Verhalten der Wellen bei der Reflexion an einer starren Wand (§ 166),³³ die Spaltung der laufenden Wellen durch unterschiedlich tief zur Oberfläche eingestellte Scheidewände (§ 169), die Beugung von Oberflächenwellen an einer Blende (§ 174) und schließlich die Wirbelbildungen an einem eingetauchten Ruderblatt (§ 178-180).³⁴

Nach dem Erscheinen der *Wellenlehre* vergingen bis zu Webers *Lehre vom Kreislauf* noch 25 Jahre. Innerhalb dieser Zeitspanne wurden Teilergebnisse der letzteren Arbeit, die das kreislaufphysiologische Schaffen Webers krönte, vorab veröffentlicht. Weber gibt diese Vorarbeiten in der *Lehre vom Kreislauf* ausführlich an³⁵ – jedoch so, dass er

³³ Z. B. nahm auf dem Wege zu Reflexion die Amplitude der Welle während des Anpralls um das 1,7fache zu.

³⁴ Die Auswirkungen der *Wellenlehre* auf die weitere Entwicklung der Hydrodynamik können nicht umfassend dargestellt werden.

³⁵ Vgl. E. H. Weber, *Annotationes anatomicae et physiologicae. Programmata collecta*, Leipzig 1851, S. 1-7 (I. Pulsum arteriarum non in omnibus arteriis simul, sed in arteriis a corde valde remotis paulo serius, quam in corde et in arteriis cordis vicinis, fieri) und S. 8-13 (II. De utilitate parietis elastici arteriarum); die Originalveröffentlichungen stammen aus den Jahren 1827 bzw. 1834; die *Annotationes anatomicae* sind mit der Widmungsschrift *Piis manibus Antonii Scarpa* versehen, die sich an den Anatomen und Chirurgen Antonio Scarpa (1752-1832) wenden. Vgl. als dritte, zeitlich dazwischen liegende Veröffentlichung E. H. Weber (Hrsg.), *Hildebrandt's Handbuch der Anatomie*, Bd. 3, Leipzig 1831, S. 69-70. – Die Arbeit von 1827 ist somit die früheste Veröffentlichung Webers, in der die *Wellenlehre* von 1825 Anwendung fand; Weber beschäftigt sich darin mit dem Zeitunterschied, den die peripheren Pulse messen lassen. In den Arbeiten von 1831 und 1834 begründete er das Konzept von der Windkesselfunktion der Arterien. In der Arbeit von 1850/52 findet sich dieser Vergleich S. 166 f. wieder. – Windkessel (Heronball) fanden damals in Feuerspritzen Einsatz; die von einem manuellen Pumpwerk ausgelösten rhythmischen Druckschwankungen würden zu einer deutlichen Schwankung in der Stärke des Löschstrahls führen; wird dem Löschschlauch aber kurz nach dem Abgang vom Wassertank über eine Abzweigung ein weiterer, nur kurzer Schlauch parallel geschaltet, dessen Ende durch einen lufthaltigen und geräumigen Kessel verschlossen wird, dann vermag die komprimierbare Luft des Kessels die Druckschwankungen des Wassers im Löschschlauch zu dämpfen (vgl. G. W. Muncke [1772-1847], *Druckpumpe*; in: J. S. T. Gehler, *Physikalisches Wörterbuch*, Bd. 2, Leipzig 1826, S. 622-641, darin S. 631-635). Analog dazu erfüllen die Arterienwände wegen ihrer elastischen Dehnbarkeit den Zweck einer vorübergehenden Speicherung potentieller Energie in einem ihrer axialen Segmente, um diese Energie in Blutströmung, kinetische Energie, umzusetzen, die im anschließenden Arteriensegment wiederum eine Speicherung potentieller Energie veranlasst usf. Der intermittierende Volumenstrom des tätigen Herzens wird so annähernd zu einem kontinuierlichen Strömen geglättet, was bei Rigidität der Gefäße nicht der Fall wäre. – Einen weiteren komplexen Vorgang, den des Übertrittes des Blutes aus den größeren Gefäßen in die kleineren, so dass die Versorgung aller Gewebsareale gleichmäßig

nicht systematisch und theoretisch eingebundene Entwürfe vorstellt, sondern vielmehr verschiedene Lehrmeinungen verarbeitet, von denen jeweils eine von ihm befürwortet und die andere abgelehnt wird; dabei bedient er sich einfacher experimenteller Beobachtungen, welche die Richtigkeit seiner Wahl wahrscheinlich machen sollen. Diesen diskursiven und vereinzelter Mitteilungen zu Beginn der Schrift steht mit dem eigentlichen Inhalt der *Lehre vom Kreislauf* ein in sich geschlossener Entwurf gegenüber, so dass der Leser, der von der charakteristisch neuen Art der Veröffentlichung von 1850/52 ausgeht, beim Befragen jener Vorarbeiten die integrative Bedeutung der *Lehre vom Kreislauf* zu unterschätzen geneigt ist. Insgesamt lässt sich aber wegen dieser Geschlossenheit das Urteil rechtfertigen, den Entwurf von 1850/52 als die relevante Mitteilung überhaupt im kreislaufphysiologischen Schaffen Webers anzusetzen, welche ihrerseits eine eigene physiologische Tradition zu begründen vermochte.

2. Von der *Wellenlehre* (1825) zur *Lehre vom Kreislauf* (1850). Rekonstruktion einer Entwicklung am Leitfaden analytischer und synthetischer Verfahren

Im vorigen Abschnitt konnte das grundlegende Verhältnis nachgewiesen werden, dass in der *Wellenlehre* explizit keinerlei Motivation für physiologische Sachverhalte vorhanden war. In der *Lehre vom Kreislauf* spielen Resultate aus der *Wellenlehre* jedoch eine entscheidende Rolle. Daher bietet sich als Fortführung der Analyse an, eine Entwicklung über 25 Jahre nachzuzeichnen, während welcher die Unterordnung der Erscheinungen des Kreislaufes unter die Theorie der Wellen in tropfbaren Flüssigkeiten vollzogen wurde.³⁶ Unter solchen evolutiven Vorgaben kann im Werk Webers bereits frühzeitig ein erster Hinweis auf den Übergang von den eindringlichen Erfahrungen und Versuchen der *Wellenlehre* zu ihren Anwendungen in der speziellen, aber komplexen *Lehre vom Kreislauf* konstruiert werden; denn in seiner Schrift von 1827 wird ausgeführt:

„Quo facto arteriae elasticitate sua secundum longitudinem et latitudinem rursus se contrahere tendunt, et ita vicinas continuationes arteriarum propulso sanguine extendunt, quae et ipsae dum contrahuntur vicinas partes propulso sanguine extendunt et sic porro, ita ut spatium temporis, quamvis perexiguum, aliquod tamen elabatur, priusquam unda, i. e. successiva sanguinis pressio et arteriarum dilatatio et contractio, ad remotiores arterias veniat. Simili ratione lapis in lacum delapsus, aquam, cuius locum occupare tendit, percellit. Quae percussio non simul vicina et remotiora lacus loca elevat, neque undam format, quae celeritate soni per aquam propagati progreditur, sed undam multo lentius progredientem. Secundum pericula a me et fratre facta (Wellenlehre auf Experimente gegründet.

gewährleistet werde, beschreibt Weber am Ende der *Lehre vom Kreislauf* mit dem Bild der Windlade der Orgel (S. 202 f.); die Windlade dient zur gleichmäßigen Ansteuerung der jeweils zugängigen Orgelpfeifen, die unabhängig von ihrer Anzahl oder räumlichen Verteilung geschehen soll. Weber nahe stehende Wissenschaftler, die sich mit der Theorie des Schalls – auch an Orgelpfeifen – auseinandersetzten, waren W. Weber und K. F. S. Liskovius. – Das Bild von der Windlade betont die gleichmäßige Verteilung komprimierter Luft an mehrere und räumlich verteilte Röhren; das Bild vom Windkessel betont die dämpfenden Eigenschaften eines elastischen Hohlraumes, der schubweise beladen wird.

³⁶ Ähnliches könnte für den Weber'schen Stimmgabelversuch gelten, da Versuche an der Stimmgabel in der *Wellenlehre* (§ 271-274) ausführlich beschrieben werden. Vgl. Bickerton/Barr (1987).

Leipzig 1825. P. 188) celeritas undae in aqua, 23 pollices profunda, et quieta
5 1/4 pedum Parisiensium esse in una sexagesima invenitur.“³⁷

1831 referiert J. Müller in seinem *Handbuch* dieselbe Idee: „Weber vergleicht diess [die Ausbreitung von Wellen in den Blutgefäßen] mit der Fortpflanzung der Wellen, die ein in einen See geworfener Stein bewirkt.“³⁸ Ringförmige Wellen in einem See und Wellen in Blutgefäßen werden wie selbstverständlich gegenübergestellt, obwohl es sich um zwei Situationen handelt, die zunächst unverbunden nebeneinander bestehen müssten – bis auf die Übereinstimmung in der Begrifflichkeit ‚Welle‘. Um weitere mögliche Vergleichspunkte hervorzuheben und den Vergleich, der eine gewisse Berechtigung zu verdienen scheint, zu stabilisieren und nicht zu verwerfen, sei die früher bereits assoziierte Vorstellung dazugefügt, dass der Herzschlag durch die vom Steinwurf ausgelöste Störung ersetzt gedacht werden könnte; denn beide Typen von Störungen verdrängen in der flüssigen Phase Masse und generieren Wellen. Diese Konfrontation scheinbar unvereinbarer Systeme wird tatsächlich auch in der *Lehre vom Kreislauf* suggeriert:

„So wie nun eine Schallwelle, die sich in der Luft ausbreitet, an lebendiger Kraft abnimmt, oder so wie eine kreisförmige Wasserwelle, wenn sie sich ausbreitet und zu einem grösseren Kreise wird, an Höhe abnimmt *), so nimmt auch die Grösse der Pulswelle ab, je mehr sie sich auf eine grössere Flüssigkeitsmenge ausbreitet [...].“

„*) Siehe unsere Versuche hierüber: Wellenlehre p. 192 - 194.“³⁹

Die Beharrlichkeit und Treue Webers gegenüber diesen Vergleichen von schwer zu vereinigenden Sachverhalten⁴⁰ kann erst dann gewürdigt werden, wenn eine schrittweise

³⁷ „Aufgrund dieser Tatsache [dass die Arterien leichter in Längsrichtung als in radialer Richtung zu dehnen sind] sind die Arterien wegen ihrer Elastizität bestrebt, sich wieder ihrer Längs- und Radialrichtung folgend zusammenzuziehen, und so dehnen sie die benachbarten zusammenhängenden Strukturen der Arterien durch die Vorantreibung des Blutes aus, die auch selbst [wieder], während sie sich zusammenziehen, die benachbarten Teile durch die Vorantreibung des Blutes ausdehnen und so fort, so dass ein Zeitraum, wie winzig auch immer, so doch von Bedeutung vergeht, bevor die Welle, das ist die sukzessive Druckausübung auf das Blut und die Dilatation und (Re-)Kontraktion der Arterien, zu den entfernteren Arterien(abschnitten) gelangen möge. Nach einer ähnlichen Überlegung treibt der in den See geworfene Stein das Wasser an, dessen Stelle er einzunehmen strebt. Diese Erschütterung hebt nicht benachbarte und entferntere Stellen des Sees gleichzeitig und formt nicht eine Welle, die mit der Geschwindigkeit des Schalls, wenn er sich durch das Wasser fortpflanzt, voraneilt, sondern eine Welle, die viel langsamer fortschreitet. Gemäß Versuchen, die von mir und meinem Bruder ausgeführt wurden [...], wird in 23 Daumen tiefem und ruhigem Wasser eine Geschwindigkeit der Welle von 5 1/4 Pariser Fuß in einer Sekunde gefunden.“ (Annotationes anatomicae et physiologicae. Programmata collecta, Leipzig 1851, S. 1-7) Diese Darstellung der Problematik (vgl. auch *Wellenlehre* § 143) macht Gebrauch von den Überlegungen zu Kontinuität und Wellenbewegung des Meeres unter dem Einfluss des Windes, die bei Pseudo-Aristoteles – und auch in der *Wellenlehre* (§ 49-77) – verhandelt wurden.

³⁸ J. Müller, *Handbuch der Physiologie des Menschen*, Bd. 1, Koblenz 1835, S. 191. Diese Stelle bei Müller ist fast wörtlich am Text Webers von 1827 orientiert. Abgekürzter Titel: *Handbuch*.

³⁹ *Lehre vom Kreislauf*, S. 202.

⁴⁰ Ein weiterer Hinweis auf Relikte des behaupteten Vergleichs ergibt sich aus der *Widerlegung der Einwendungen Volkmanns*, nach welcher der Steinwurf eine positive Welle hervorruft; das entspricht aber

Überführung der bestimmenden analytischen Elemente von der *Wellenlehre* auf solche Phänomene nachgewiesen werden kann, die in der *Lehre vom Kreislauf* auftreten. Diese sukzessive Transformation kann nicht in Vollständigkeit beschrieben werden; eine Skizze jedoch der notwendigen assoziativen Bestandteile kann genügen, um eine assoziative Reihe von solcher Dichte zu bieten, dass ihr mit Leichtigkeit neue Elemente hinzugefügt werden können: Die Wellenausbreitung im See um einen hineingeworfenen Stein herum könnte zum Zwecke einer Übertragung auf den Organismus in erster Näherung eine Abwandlung erfahren durch die anschauliche Vorstellung von einem See, welcher mit Wellenrinnen⁴¹ durchsetzt zu denken ist – so wie ein Organismus von Gefäßen durchzogen wird; dabei wäre also auch noch vorauszusetzen, dass die Wellenrinnen aus der *Wellenlehre* an den Stirnseiten offen und sternförmig um den einsinkenden Stein anzuordnen wären. In Entsprechung zu den vorgestellten Vergleichen Webers und in Übereinstimmung mit dem assoziativen Bild von Wellenrinnen in einem See ist auch der Aufbau der Veröffentlichung von 1850/52 gehalten; denn nach und nach wird darin eine Annäherung an die endgültigen Verhältnisse des organischen Kreislaufs vorgenommen; Weber geht von Versuchen an der Wellenrinne zur Untersuchung der Schlauchwellen in ausgebreiteten Kautschukröhren über, untersucht dann zur Abgrenzung die Wellenausbreitung in einer wassergefüllten Darmröhre und lässt sich schließlich auf Reflexionen über die Wellenausbreitung in einem rückläufigen System aus Kautschukröhren ein; dieses Kreislaufmodell bildet den Abschluss einer kompositorischen Arbeit, die verschiedenste, analytisch verfügbare Elemente zu einem neuen Ganzen zusammenführt. Dass Weber solche synthetischen Denkbewegungen auch in anderen, ähnlich gelagerten Fällen durchführte, kann an folgendem Gedankenexperiment nochmals gezeigt werden:

„Man denke sich, dass in einem Strome eine gerade, an beiden Enden offene Röhre in der Richtung des Stroms parallel mit dem Wasser fortschwimmt, so dass die Röhre und ihr Inhalt gleiche Geschwindigkeit haben und sich in relativer Ruhe befinden. Wird nun die Röhre plötzlich in ihrer Bewegung angehalten, so wird sich das in ihr befindliche Wasser vermöge des Beharrungsgesetzes in allen

dem Wellenmuster innerhalb der arteriellen Schleife des Kreislaufmodells aus Webers *Lehre vom Kreislauf*; hiernach erzeugt der Ventrikel anterograd eine positive Welle, retrograd eine negative. Ebenfalls in der *Lehre vom Kreislauf* und in der *Widerlegung der Einwendungen Volkmanns* wird an das Bild eines sukzessiven Hinein- oder Herauspumpen von Flüssigkeit in oder aus einem in diese Flüssigkeit eintauchenden Rohr appelliert; diesem Bild, welches sich zur Übertragung auf die Situationen am linken und rechten Ventrikel des Herzens anbietet, korrespondieren bereits konkrete Versuche in der *Wellenlehre* (§ 135, S. 169-171). Stoßweises Hinein- oder Herauspumpen ruft positive bzw. negative Wellen hervor, und diesen entsprechen die Schlauchwellen innerhalb der arteriellen bzw. venösen Seite des Kreislaufmodells aus der *Lehre vom Kreislauf*.

⁴¹ Die Wellenrinne ist ein wichtiges experimentelles Mittel in der *Wellenlehre* von 1825 (§ 91 f.). Sie ist nichts anderes als ein nach oben hin offener Kasten, der eher lang und tief als breit ist. Er kann mit Wasser befüllt werden, und da eine Längsseite aus Glas gefertigt ist, können die Wasserbewegungen sichtbar gemacht werden; das kurze Eintauchen einer staubbedeckten Platte ermöglicht das Aufzeichnen der Wellenformen (*Wellenlehre*, § 93).

seinen Theilen gleichzeitig längs den Röhrenwänden bewegen.⁴² Das Wasser wird dann zwar durch Friction einen Widerstand erleiden, der desto größer ist, je größer seine Geschwindigkeit, aber es wird deswegen keinen grösseren Druck auf die Röhre ausüben als zuvor.“⁴³

Hier wird in der Anschauung von einer Flüssigkeitsbewegung in einem offenen Strom, einer synthetischen Situation, zu einer Bewegung in einer isolierten Röhre übergegangen. Ähnlich ließe sich der Übergang von der Wellenausbreitung in einem offenen See zu derjenigen in einem See herstellen, welcher in der bereits beschriebenen Weise von Wellenrinnen durchsetzt ist. Auch zu dieser assoziativen Figur findet sich als Beleg eine Textstelle, in der das Einfangen von Wellen auf einer Seeoberfläche in einer Wellenrinne dargestellt wird:

„Kann sich die erregte Welle nicht auf eine große Wasserfläche ausbreiten, so bleibt dieses Fortrücken der Flüssigkeitstheilchen weithin sichtbar, z. B. in einem schmalen Graben mit parallelen Wänden.“⁴⁴

Dem soweit entwickelten Bild von radial um ein Zentrum angeordneten Wellenrinnen in einem See kann eine weitere Komponenten hinzugefügt werden; Weber beschäftigt sich in dem Paragraphen „Ueber die Besänftigung der unter dem Einflusse des Windes erregten Wellen durch die Ausbreitung von Ölen auf der Oberfläche des Wassers“ der *Wellenlehre*⁴⁵ mit einer Methode, die Wellenunruhe bei stürmischer See durch das Ausgießen von Ölen auf der Wasseroberfläche einzudämpfen; um diesen Effekt des Öls zu erklären, wird eine analoge Situation assoziiert:

„Folgende Vergleichung wird das Abgleiten des Windes [...] [auf der ölbedeckten Wasseroberfläche] noch mehr erläutern. Wenn man auf eine leicht bewegliche

⁴² Das Haften der Flüssigkeit an der Wandung der Röhre hätte Weber aufgrund von Ausführungen in der *Wellenlehre* (vgl. darin z. B. S. 100 bzw. § 68) berücksichtigen müssen; ein eingehendes Studium der Geschichte der Hydrodynamik belehrt allerdings darüber, dass das Bewusstsein von einem Strömungsprofil mit Singularitäten an der Wandung des Strömungskanals noch nicht allgemein verbreitet war; vgl. jedoch C. Bergmann, *Kreislauf des Blutes*, in: R. Wagner (Hrsg.), *Handwörterbuch der Physiologie*, Bd. 2, Braunschweig 1844, S. 247, mit Bemerkungen zum Strömungsprofil in Gefäßen. – Dass Weber sich über die physikalischen Zusammenhänge nicht immer im Klaren war, kann auch aus der *Lehre vom Kreislauf* abgeleitet werden: Auf S. 175 wird auf eine Skizze von einer wandernden Schlauchwelle Bezug genommen, die im Tafelwerk abgebildet ist; laut Text soll mit den durchgezogenen Pfeilen der Skizze ein „Druck“ versinnbildlicht werden – was aber versinnbildlicht wird, ist die Kraft, die ein Segment wegen des herrschenden Druckgefälles auf die Fläche eines benachbarten Segmentes ausübt; es hätte also ein Pfeil genügt, wo Weber ein bis drei Pfeile zeichnet. Eine zweite Information der Skizze ist die Darstellung der Strömungsgeschwindigkeiten vom Inhalt des Schlauches durch unterbrochene Pfeile; daraus lässt sich ersehen, dass Weber weder an ein Strömungsprofil gedacht hatte – die Pfeile sind alle gleich lang und parallel zur Rohrachse ausgerichtet – noch die Verhältnisse in der Nähe der Rohrwandung reflektiert hatte.

⁴³ *Widerlegung der Einwendungen Volkmanns*, S. 159. Als synthetisch würde die Einbringung des Rohres in die strömende Flüssigkeit gelten, als analytisch die Strömungsverhältnisse im Rohr, sobald es angehalten wird.

⁴⁴ *Widerlegung der Einwendungen Volkmanns*, S. 172.

⁴⁵ *Wellenlehre*, § 49-77; das Zitat findet sich auf S. 89.

Tafel, über die man ein seidenes Tuch gebreitet hat, mit den Fingerspitzen unter einem schiefen Winkel drücken wollte [...].“

In dieser Vergleichung wird das Öl nicht unbedingt als nur oberflächlich abdeckende, sondern zugleich als umhüllende Struktur repräsentiert; und wie in den bereits vorgestellten analogischen Denkstrukturen wird auch in diesem Fall nur ein herausgelöstes Segment der allseitig ausgebreitete Wasseroberfläche durch eine „Tafel“ repräsentiert. Wenn Tuch und Öl assoziativ aufeinander bezogen werden, dann gilt es zum Zweck der intendierten Analyse nunmehr, den morphologisch motivierten Bezug des Öls bzw. Tuches zu den Kautschukröhren und schließlich Arterienwandungen durch eine funktionelle Komponente reichhaltiger zu gestalten: Wenn aus dem § 77 der *Wellenlehre* die Bemerkung mit hinzugezogen wird, dass neben der Kontinuitätsunterbrechung durch die Ölhaut (bzw. Kautschukwandung) auch deren Elastizität als besänftigender Faktor der Oberflächenwelle bzw. der Schlauchwelle in Frage kommt, dann wäre über die Momente Struktur und Elastizität eine weitere Annäherung an die Situation des Kreislaufmodells und auch des Organismus erreicht; denn die Vorstellung von ölbedeckten Wellen in den Wellenrinnen des Sees lässt sich in die von wassergefüllten Kautschukröhren transformieren, indem die Kautschukröhre mit dem Rotationskörper identifiziert wird, der erhalten wird, wenn die isolierte Welle der Wellenrinne samt Ölhaut um eine Achse längs des Bodens der Rinne rotiert wird.

Die soweit gesammelten Belege für einige analogisierende und assoziierende Denkmuster Webers in der *Wellenlehre* und in einigen seiner physiologischen Arbeiten zur Kreislauflehre gestatten also folgende Zusammenschau: Weber gelangte analytisch von den Wellen auf dem Meer zu den Wellen im See, zu Wellen in einer eingetauchten Rinne; dann synthetisch von den Wellen in einer Rinne zu ebensolchen Wellen, die aber von einer weiteren Struktur – der Ölhaut – überlagert werden; dieses unter Öl gedämpfte Wellensegment lässt sich in einem abermaligen synthetischen Schritt um eine Längsachse rotieren, so dass schließlich eine Vergleichbarkeit mit Wellen in flüssigkeitsgefüllten Kautschukröhren hergestellt wird. Schließlich wird 1850/52 der Kreislauf vereinfachend mit einer zirkulär geschlossenen Röhre verglichen, in welche ein Pumpwerk eingeschaltet ist, und zur Vervollständigung wird in den Lauf der Röhre ein poröser Widerstand eingebracht, der die Kapillargefäße vertreten soll. Jede Etappe der synthetischen Schritte findet ihre Korrespondenz in Teilaspekten des organismischen Kreislaufes und schließlich in den Pulswellen entlang der Blutgefäße. Wird von diesen gedanklichen Umsetzungen ausgegangen, dann kann auch die psychologische Beharrlichkeit erkannt werden, mit welcher Weber Vorstellungen von den Oberflächenwellen aus der älteren *Wellenlehre* auf die physikalischen Gegebenheiten an den Schlauchwellen – und damit erst recht an den Gefäßen – überträgt. Dabei ist zu beachten, dass die hydrodynamischen Verhältnissen der freien Oberflächenwellen schon bezüglich der Randbedingungen nicht denjenigen an den Schlauchwellen entsprechen können; denn im Falle der Oberflächenwellen, solange diese als positive Bergwellen oder als negative Talwellen vorliegen, sind je Wellendurchgang halbovale Teilchenbewegungen mit maximaler Amplitude an der Oberfläche der Flüssigkeit und mit zunehmend kleiner wer-

denden Amplitude bei wachsender Tiefe vorzufinden;⁴⁶ im Falle der Schlauchwellen hingegen unterbindet die umhüllende Wandung aufgrund der Haftung der füllenden Flüssigkeit die kreisförmige Bewegung derjenigen Teilchen, welche der Wandung unmittelbar anliegen; allein ein radialer Freiheitsgrad liegt vor. Daraus folgt eine Differenz des Massetransportes zwischen Schlauchwelle und Oberflächenwelle – letztere transportiert vornehmlich im Bereich der Oberfläche und müsste bei der Übertragung auf die Schlauchwellen mit der wandungsnahen Schicht des Schlauches identifiziert werden,⁴⁷ wo aber – wie soeben gezeigt – kein Massetransport möglich ist. Da ferner die Längsachse am Boden einer Wellenrinne im See bei der Übertragung auf die Schlauchwellen mit der zentralen Achse des Schlauches identifiziert werden müsste, ergibt sich ergänzend zu der ersten Differenz eine weitere Differenz bzgl. der Randbedingungen zwischen dem Strömungsverhalten am Grund der Oberflächenwelle der Rinne und in der Schlauchmitte; denn die Schlauchwelle zeigt im Gegensatz zur Oberflächenwelle eine ausgeprägte Massebewegung in ihrem axialen Bereich; dass Weber tatsächlich von einer optimalen Massebewegung im zentralen Anteil des Schlauches ausgegangen ist, lässt sich aus Fig. VIII des Tafelwerkes zur *Lehre vom Kreislauf* entnehmen, in dem Geschwindigkeitsvektoren der Teilchenströmungen von je gleichem Betrag im mittleren, achsennahen Teil der Schlauchwelle angeordnet sind, nicht aber wandnah.⁴⁸

3. Symmetrie, Gleichgewicht und Gleichmaß als Prinzipien der Visualisierung in Webers *Lehre vom Kreislauf*. Eine immanente Analyse der ästhetischen Struktur dieser Lehre

Weber bezieht sich in der *Lehre vom Kreislauf* auf die seinerzeit noch gültigen Lehren Hallers und Bichats.⁴⁹ A. v. Haller (1708-1777) habe neben seiner eigenen Lehre von der Gleichzeitigkeit des Herzspitzenstoßes am Brustkorb und der peripher tastbaren Pulse das in der physiologischen Tradition nur nebenher übermittelte „sonderbare, von

⁴⁶ Vgl. *Lehre vom Kreislauf*, S. 168-173; *Wellenlehre*, § 104 f.

⁴⁷ Deutliche Belege dafür, dass Weber diese Identifikation vorgenommen hat, lassen sich nicht nur in der Arbeit von 1827, sondern auch in der *Lehre vom Kreislauf* aufspüren; denn in dem theoretischen Teil dieser Lehre (S. 166-173), der gewissermaßen eine Rekapitulation von Inhalten der *Wellenlehre* darstellt, taucht auch folgender Satz auf, bevor zur Theorie der Schlauchwellen übergegangen wird: „Dasselbe, was ich hier [im Falle von Wellen an der freien Oberfläche von Flüssigkeiten] von dem Fortrücken der Wassertheilchen durch positive und negative Wellen gesagt habe, gilt auch von den in einer elastischen, ausdehnbaren, mit Wasser erfüllten Röhre entstehenden Wellen.“ (S. 172) Zudem suggeriert die Theorie der Wellen in einem Röhrenzirkel (S. 188 f.) genau das Geschehen, welches für Oberflächenwellen zuvor beschrieben wurde. Erst in der *Widerlegung der Einwendungen Volkmanns* (S. 170) beginnt Weber sich differenzierter zu äußern.

⁴⁸ Diese einander widersprechenden Verhältnisse hätten von Weber auch aus der Arbeit Freys abgeleitet werden können. Die Widersprüche sind elegant aufgelöst in der Arbeit von J. L. Hoorweg, Über die Blutbewegungen in den menschlichen Arterien, Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere 46 (1890), S. 115-188; Hoorweg zeigt, dass die Teilchenbewegung innerhalb einer Schlauchwelle zentral in axialer und peripher in radialer Richtung verläuft; eine solche Bewegungsanalyse ist mit den Vorstellungen Webers nicht zu vereinen.

⁴⁹ Vgl. *Lehre vom Kreislauf*, S. 165.

den Naturgesetzen abweichende Resultat“ zitiert, dass doch ein Zeitversatz zwischen diesen Ereignissen vorhanden sei.⁵⁰ Auch X. Bichat (1771-1802) habe in seiner Allgemeinen Anatomie noch ähnlich argumentiert. Weber hätte jedoch bereits 1827 in eigenen Versuchen eine Bekräftigung der Gegenpositionen zu jenen offiziellen Lehrmeinungen herbeiführen können. Dann sei die Arbeit von 1834 gefolgt, in welcher die Windkesselfunktion des Arteriensystems diskutiert wurde,⁵¹ und schließlich die maß-

⁵⁰ A. v. Haller verweist ablehnend auf die Beobachtungen von J. Weitbrecht (1702-1747), *Commentarii academiae scientiarum imperialis Petropolitanae* 7 (1734/35; Drucklegung 1740), S. 317; diese und eine von Webers Freund K. F. S. Liskovius (1780-1844) bestätigende Beobachtung wurde von Weber in der Arbeit von 1834 in den gesammelten *Annotationes anatomicae et physiologicae* gewürdigt und bestätigt. Eine eindringliche Schilderung der Widerstände, unter denen diese Erkenntnis durchgesetzt wurde, bieten die *Symbolae ad theoriā de sanguinis arteriosi flumine* von L. Spengler (Med. Diss., Marburg 1843), z. B. in der Praefatio: „Recte enim Cicero dixit: obest plerumque iis, qui discere volunt, auctoritas eorum, qui se docere profitentur; desinunt enim suum iudicium adhibere, idque habent ratum, quod ab eo, quem probant, iudicatum vident.“ (S. V). Spengler erhielt das Dissertationsthema von C. Ludwig (1816-1895) anlässlich der von Weber vorgebrachten „theoria fluminis arteriosi“; dies ist ein direkter Beleg dafür, dass Webers Schaffen auf die Arbeiten im Umkreis Ludwigs Auswirkungen gehabt hat. – Die eigentliche Entdeckung Webers in der Pulslehre bedarf einer genaueren Eingrenzung, die am Leitfaden von J. Müllers *Handbuch* vorgenommen werden kann: „Mit dem Puls der Arterien muss man den Herzschlag, pulsus cordis, nicht gleichstellen. Der Puls der Arterien ist, wie schon Soemmering, Corrigan, Stokes, Burdach fanden und ich wieder finde, um einige Terzen später als der Herzschlag.“ (*Handbuch*, S. 156) Hier konnte Weber also kein Neuland betreten; seine Aussagen zur Asynchronie der Pulse beziehen sich aber auf die peripheren Pulse, wozu im *Handbuch* mitgeteilt wird: „Man nimmt gewöhnlich an, dass der Puls in allen Arterien bei verschiedener Entfernung vom Herzen gleichzeitig sey. Weitbrecht, Liscovius und E. H. Weber (Adnot. Anatom.) haben indess das Gegentheil gezeigt, und in der That ist es leicht, sich vom Gegentheil der Behauptung von Bichat zu überzeugen. Die Arterien pulsieren in der Nähe des Herzens isochronisch mit der Contraction des Ventricels, denn der pulsus cordis ist die Zusammenziehung der Ventrikel, der pulsus arteriarum aber die hierdurch und durch den Druck des Blutes bewirkte Ausdehnung der Arterien.“ (S. 190). Müller führt im Anschluss daran aus, dass der Zeitversatz zwischen den peripheren Pulsen der eigentliche Beleg für die endliche Laufdauer der peripheren Pulse vom gemeinsamen Ursprung im Aortenstamm aus sei; diesem Beleg hätten gerade die Versuche Webers gedient. – Der Stand des Wissens über die Funktionen des Kreislaufs kann für die 1850er Jahre in fast umfassender Vollständigkeit abgeschätzt werden; vgl. dazu C. Bergmann, *Kreislauf des Blutes*, in: R. Wagner (Hrsg.), *Handwörterbuch der Physiologie mit Rücksicht auf physiologische Pathologie*, Bd. 2, Braunschweig 1844, S. 210-307; S. 215 eine Übersicht der allgemeinen Bedingungen des Kreislaufgeschehens; S. 218-223 Betrachtungen zum dynamischen Gleichgewicht des Kreislaufs; S. 223-236 eine Übersicht der Beiträge Poiseuilles; S. 247 Bemerkungen zum Strömungsprofil in Gefäßen; S. 260-264 die vorherrschende Pulslehre; S. 251-264 die Funktionen der Arterien; S. 264-288 Anmerkungen zu den Kapillargefäßen und S. 288-292 zu den Venen. – Die von Weber vorgenommenen Laufzeitmessungen an den Pulswellen der Arterien sind in gewisser Weise zu vergleichen mit anderen Typen von Bewegungsformen mit endlicher Geschwindigkeit, durch deren Nachweis gewissen Formen von vitalistischem Denken kein Raum mehr gegeben war; die Bestimmung z. B. der endlichen Laufzeit von nervösen Erregungen an peripheren Nerven nach der Methode von H. Helmholtz (1821-1894) (vgl. dazu in Müller's Archiv die Jahrgänge 1850 und 1852) gehört in dieser Hinsicht zur selben Kategorie wie die Messungen Webers.

⁵¹ Erste Hinweise auf die Bedeutung der elastischen Speicherfunktion der größeren Arterien finden sich schon bei St. Hales (1677-1761), *Statick des Geblüts*, Halle, 1748, S. 30, bei G. A. Borelli (1608-1679), *De motu animalium*, Teil 2, Leiden 1685, Kap. V-VII, S. 48-101, und ebenso in den Arbeiten Th. Youngs (1773-1829). Vgl. auch S. H. Schmidt, *Von der wundersamen Macht der Muskeln* [...] aus

geblichen Beiträge der Kollegen H. Frey⁵² und Volkmann. Dessen ungeachtet fehle es jedoch immer noch an einer theoretischen Beschreibung der in elastischen, wassergefüllten Röhren fortgepflanzten Wellen und an Versuchen, um „daran die Übereinstimmung der Theorie mit der Erfahrung zu prüfen“. Weber werde zur Erfüllung dieser Aufgabe den Versuchsteil liefern, Wilhelm Weber den theoretischen. Zur Rekapitulation der bereits bekannten Elemente aus der *Wellenlehre* habe Weber anzumerken, dass eine Wellenbewegung durch ihre besondere Form des Teilchentransportes von der Strombewegung abzugrenzen ist – die Welle transportiert sukzessive, in der Strömung geschieht dies kontinuierlich; der Welle entspricht eine lokale Störung, die sich im Medium fortgepflanzt, der Strombewegung eine globale Störung (*Gleichgewicht*).⁵³ Mittels

des Borell seinem vortrefflichen Werck von Bewegung der Thiere, Heilbronn 1706 (Reprint: Hannover 1978), S. 37-41 (VII. Abtlg.) und S. 43-47 (VIII. Abtlg.) – Das analogisierende Prinzip des Windkessels wurde in der Hämodynamik des peripheren Arteriensystems durch O. Frank zu einem zentralen Aspekt erhoben; für die gedankliche Verbindung der Weber'schen Schöpfung zu O. Frank vgl. Rödenbeck (2000); zu O. Frank vgl. Lohff (1999). – Ein anderer typischer Vorgänger der kardialen Hämodynamik und damit im Speziellen des Druck-Volumen-Diagramms nach O. Frank wäre neben Weber auch Th. Schwann (1810-1882), der in einem ‚Fundamentalversuch‘ von 1838 eine Mathematisierung der Muskelkraft vorgenommen hatte; für die wenigen Hinweise darauf vgl. Needham (1971), S. 53 und 246 oder Florkin (1960).

⁵² H. Frey, Versuch einer Theorie der Wellenbewegung des Blutes in den Arterien, Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin (1845) S. 132-229. Da Freys Versuche in der *Lehre vom Kreislauf* einer rigorosen Kritik unterzogen werden, soll die Erwähnung Freys an dieser Stelle dazu dienen, den unvergleichbar höheren Wert dieser Arbeit in Müller's Archiv hervorzuheben: Frey arbeitete bereits in sehr systematischer Weise an wassergefüllten Kautschukröhren, verglich die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten von Pulswellen in solchen Röhren unter verschiedenen physikalischen Bedingungen – das sind zumindest auch diejenigen, die Weber in seiner Arbeit von 1850/52 bemüht – verfehlte jedoch eine betragsmäßige Mitteilung der festgestellten Pulsgeschwindigkeiten. Frey verdient Weber gegenüber auch in der Hinsicht eine Bevorzugung, dass er zusätzlich Markierungsversuche der Flüssigkeitsströme in den Kautschukröhren vornahm. Frey war also mehrere Jahre vor Weber ein richtungsweisender Anwender der Wellenlehre auf die Lehre der Schlauchwellen um einer Theorie der Kreislauffunktion willen; dieses letztere Verdienst gestehen ihm aber auch Webers eigene Worte in der *Lehre vom Kreislauf* zu.

⁵³ An dieser Stelle erstmals ein deutlicher Hinweis auf das Operieren Webers mit den Maximen vom Gleichmaß oder Gleichgewicht. Des weiteren, sagt er, sei der Teilchentransport im Falle eines Stromes kontinuierlich (*Gleichmaß*), im Falle einer Welle schrittweise. – Die geometrische Rekonstruktion einer Welle aus den Einzelbewegungen der Teilchen an der Flüssigkeitsoberfläche (vgl. die Fig. V, VI und VII der Tafel zur *Lehre vom Kreislauf*) legt ebenfalls eine nicht bewusst hervorgehobene Maxime der Symmetrie zugrunde; denn in der *Wellenlehre* (S. 338-372, § 219-223) wurde schon explizit darauf verwiesen, dass Wellen eben nicht diese geometrisch strenge, zyklische Form hätten. Dieser anschaulichen Rekonstruktion widerfuhr ein ähnliches Schicksal wie dem Kreislaufschema – es wurde im verbleibenden 19. Jahrhundert mit Vorliebe rezipiert, visualisiert und den Weber-Brüdern zugeschrieben; eine frühe und ähnliche Version dieser idealtypischen Rekonstruktion geht auf F. J. Gerstner (1756-1832) zurück, der in seiner Theorie der Wellen samt einer daraus abgeleiteten Theorie der Deichprofile (Prag 1804; vgl. auch Gilberts Annalen der Physik 2 (1809), S. 412-445) die Grundlagen lieferte und in der *Wellenlehre* an vielen Stellen zitiert wird (z. B. S. 159, 108 und 338-372); dieser indirekte Bezug zu Gerstner geht auch den nach 1850/52 rezipierenden Physiologen verloren, die sich auf die gesonderte Passage zur Wellenlehre in der *Lehre vom Kreislauf* beziehen. — Das Ergebnis der *Wellenlehre*, dass die Teilchenbahnen mit zunehmender Annäherung an den Grund zunehmend flach-elliptisch werden, findet

der eingipfligen Bergwelle oder der dazu inversen Talwelle könnten zusammengesetzte Wellenformen beschrieben werden; die positive Bergwelle allein führe zu einem schrittweisen Teilchentransport in Ausbreitungsrichtung der Welle, die negative Talwelle in der dazu entgegengesetzter Richtung (*Antisymmetrie*). Bei Volkmann würden in der *Hämodynamik* diese Umstände nicht genügend berücksichtigt, es seien dort sogar „Strombewegung und Wellenbewegung identisch“ gesetzt.⁵⁴

Ein weiterer, experimentell realisierter Fall der Übertragung der Wellenlehre auf die Pulslehre sei in Studien von Frey geschehen, die eine „mit incompressibler Flüssigkeit erfüllte dehnbare elastische Röhre“ zum Gegenstand hatten. Frey habe die Situation der Wellenausbreitung in einem solchen System mittels Analogie zu einer gespannten, mit Masse belegten Saite verglichen, was zwar zu ähnlichen Resultaten wie die Weber'sche Beschreibung führe; Freys Analogie lege den Wellen aber „ganz andere Vorgänge und Kräfte“ zugrunde als das Weber'sche Modell, in welchem eine Zerlegung der Röhre in Ringsegmente vorgenommen wird; jedoch erst damit könne eine adäquate Beschreibung der Kräfte vorgenommen werden; die „mathematische Zeichensprache“ liefere dann eine Formel zur Berechnung der Pulswellengeschwindigkeit, die zu den von Weber experimentell untersuchten Fall (11,26 m/s) einen theoretisch berechneten Wert von 10,15 m/s ergibt.⁵⁵ Weber sieht keinen Anlass zur Beunruhigung angesichts der Differenz des Messwertes zu dem theoretischen. Er gibt sich ebensowenig beeindruckt bei der ein wenig weiter erfolgten Verkündung der wegen anatomischer Unbestimmtheiten teilweise geschätzten Pulswellengeschwindigkeit an den menschlichen Arterien, die sich auf 9,24 m/s beläuft (Tendenz zum *Gleichmaß*).⁵⁶ Weber stellt nach diesen Vorbemerkungen die gemeinsam mit seinem Sohn Theodor Weber (1829-1914) gestalteten Experimente an Kautschukröhren vor; die Registrierung der Schlauchwellen erfolgt mittels eines waageähnlichen Hebelsystems (*Gleichgewicht*); die Wellengeschwindigkeiten werden für Durchlaufzeiten der einfachen, dreifachen und fünffachen Röhrenlänge ermittelt, ein Verfahren, bei dem die Reflexion der Welle an den Röhrenenden ausgenutzt wird. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle zeigt eine *mäßige* Abhängigkeit von der Spannung der Röhrenwandung bzw. von der Füllung der Schläuche, eine Unabhängigkeit von der „lebendigen Kraft“, mit der die Welle durch eine Kompression des Schlauchs zwischen zwei Brettchen ausgelöst wird, und ebenso von der Form der Welle, sei sie nun Tal- oder Bergwelle (*Gleichmaß*).⁵⁷ Die nächste Gruppe von

sich später z. B. bei J. Boussinesq, *Essai sur la théorie des eaux courantes*, Paris 1877. – Fotografien von Trogwellen – das sind die Wellen in einer Wellenrinne – finden sich bei E.-J. Marey, *Comptes rendus* 116 (1893), S. 913.

⁵⁴ Erster Kritikpunkt an der Lehre vom Kreislauf in Volkmanns *Haemodynamik*; er betrifft die Grundlagen der Wellenlehre bzw. deren Übertragung auf den Blutkreislauf in Form der Pulslehre.

⁵⁵ *Lehre vom Kreislauf*, S. 176.

⁵⁶ *Lehre vom Kreislauf*, S. 196.

⁵⁷ Bei L. J. Thénard (1777-1857) findet sich eine frühe Angabe zur Herstellung von Kautschuk-Röhren: «Cette propriété [dass der Kautschuk, in Wasser eingelegt, klebrig wird] a même été mise à profit pour faire des tubes de caout-chouc»; sie erfolgte nach Thénards Angaben so, dass langgestreckte, dünne Zylinder aus diesem Naturprodukt durch Einlegen in Wasser aufgeweicht und dann ihrer Klebrigkeit wegen längs miteinander verbunden werden können (vgl. den *Traité de chimie élémentaire, théorique et pratique*, Bd. 3, Paris 1815, 2. Teil, 1. Buch). Dass auch die wassergefüllten Röhren in den Experi-

Experimenten zur Wellenausbreitung in „einem mit Wasser gefüllten Dünndarme“ ergeben dazu ganz andere Resultate (*Anti-Symmetrie*) und Abhängigkeiten; eine zehnfache Verlangsamung der Ausbreitungsgeschwindigkeit wird auf die differierende Anatomie im Vergleich zur Arterienwandung zurückgeführt; Abhängigkeiten der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Spannung, Form und auslösender lebendiger Kraft werden festgestellt; die Welle erfährt insbesondere eine Abnahme ihrer Geschwindigkeit mit der Zeit der Ausbreitung.⁵⁸

Nach der Analyse dieser vorbereitenden Schritte in Webers *Lehre vom Kreislauf* lässt sich bereits festhalten, dass die experimentellen Sachverhalte zum Arterienpuls und an den einfachen Kautschukröhren den ästhetischen Prinzipien des *Gleichgewichtes*, *Gleichmaßes* und der *Symmetrie* unterstellt sind. Vor dem Hintergrund dieser Beobachtung werden die Auswirkungen der drei mitgeführten Prinzipien auf die Gestaltung des Kreislaufmodells im Folgenden weiter untersucht werden.

3.1 Das Kreislaufschema Webers als visualisierte Organismustheorie

In der Fortführung des synthetischen Verfahrens durch Weber wird das System eines in sich rückläufigen, über einen Trichter mit Wasser angefüllten Kautschukschlauches vorgestellt – das *Kreislaufschema*, welches durch die Abbildungen 1 und 2 anschaulich und authentisch vertreten ist.⁵⁹ Eine Beschreibung von dessen Anordnung und Funktionsweise lässt sich zugleich mit den nunmehr vertrauten Hinweisen auf die korrelierenden ästhetischen Prinzipien überlagern, die im gesamten Entwurf Webers eine leitende Funktion eingenommen haben: Der Kautschukschlauch, welcher sowohl die arterielle (a-a') als auch die venöse (v-v') Seite des Modells vertritt (*Gleichmaß* von Material und Funktion), wird an zwei gegenüberliegenden Stellen (*Symmetrie*) seines Verlaufs durch besondere Vorrichtungen in seiner Kontinuität unterbrochen. Die eine bildet ein eingeschobenes Darmsegment (h) bzw. das manuell zu bedienende Pumpwerk, welches an beiden Einmündungen in den Kautschukschlauch mit identischen, gleichrichtenden Ventilen (b) und (g) versehen ist, ohne dass der Unterschied von Segel- oder Taschenklappe am natürlichen Ventrikel in Betracht gezogen würde (*Symmetrie* und *Gleichmaß*);

menten Webers oder Freys klebrig waren, lässt sich aus eingestreuten Bemerkungen in den Texten bestätigen (vgl. z. B. *Lehre vom Kreislauf*, S. 178). Diese Herstellungsweise aus aneinandergelegten „Saiten“ lässt natürlich an den Vergleich einer Wellenausbreitung in solchen Röhren mit derjenigen in einer gedämpften Saite denken; die von Weber alternativ vorgeschlagene, gedachte Fragmentierung der Röhren in Ringsegmente ist eigentlich ein Scheinargument gegen Freys Analogie, da das Freikörperproblem eines Saitenabschnitts und eines Ringsegmente physikalisch ineinander überführbar sind.

⁵⁸ Den Darm als inadäquates Modell für die Pulswellenleitung in Arterien nachzuweisen, war bei Weber sicherlich auch motiviert durch die Experimente seines Kollegen Volkmann, der im 4. Kapitel der *Hämodynamik* seine „Erfahrungssätze“ zur Wellenbewegung des Wassers in elastischen Röhren an Därmen gewinnen wollte.

⁵⁹ Die Quellen der Abbildungen sind die Tafel zu Webers *Lehre vom Kreislauf* und eine Seite aus A. Fick, *Die medicinische Physik*, Braunschweig 1885, S. 135 bzw. 136; die Abbildung von 1885 wurde derjenigen von 1850/52 gegenübergestellt, um zu zeigen, mit welcher geometrischen Treue zur Vorlage – selbst in den Bezeichnungen ihrer Teile – die Kopie mit dem stilistisch zurückhaltenden Original aus der *Lehre vom Kreislauf* übereinzukommen suchte.

der komprimierende Handschluss um dieses Segment repräsentiert die Herztätigkeit.⁶⁰ Die zweite Diskontinuität bildet neben der manuellen Pumpe ein nur leicht geballter Schwamm (c), der den Ausschnitt des Kautschukrohres auf halbem Wege zwischen (a) und (v) vollständig ausfüllt und seiner Porositäten wegen das Kapillarsystem vertritt (*Gleichmaß*).⁶¹ Das Atrium des organischen Herzens wird durch einen handbreiten Abschnitt des Schlauchs (v) vor der einlassenden Klappe (b) des Ventrikelsegments (h) repräsentiert; wird dieses Segment (v) mit der noch freien Hand komprimiert, bevor die andere das Ventrikelsegment (h) aktiviert, dann wird letzteres optimal gefüllt werden auf Grund einer sich selbst einstellenden Verteilung des Wassers von dem Vorhof auf die venöse oder ventrikuläre Seite (*Gleichgewicht*); Überfüllung und Unterfüllung des nachgeschalteten Ventrikels werden so vermieden (*Gleichmaß*). Das Wechselspiel von venöser Seite des Schlauches, Atrium und Ventrikel ist nach Weber zu vergleichen mit einem Scheffel (Ventrikel), der mit Korn durch bloßes Schütten (aus dem Atrium) gefüllt und überhäuft würde (anterogrades Füllen des Ventrikels) (anterogrades *Gleichgewicht*), ohne eine zusätzliche Stauchung des Füllguts anzuwenden (erste Bedingung für *Gleichmaß*), welche nur zu zufällig bedingten Unregelmäßigkeiten im jeweiligen Füllquantum führen würde. Statt einer forcierten Stauchung in den Hohlraum des Scheffels hinein ist ein Streichmaß (Atrium) vorzuziehen, welches nur die Überhäufung beseitigt; so vermag auch das Wasser im Atrium (v) während dessen Kontraktion nicht nur den Ventrikel zu befüllen sondern auch wegen der zur venösen Seite hin fehlenden Klappen eben dorthin auszuweichen (retrogrades *Gleichgewicht*; zweite Bedingung für *Gleichmaß*); dann kann der Inhalt des Scheffels bedenkenlos an das nächste Gefäß weitergegeben werden, bzw. so erfolgt nach Kontraktion des Ventrikels eine Füllung des arteriellen Systems unter adäquaten Bedingungen.⁶²

Eine „Zusammendrückung“ des Ventrikels, die nach der des Atriums zu erfolgen hat, bringt anterograd von (a) nach (a') eine positive Welle bzw. Bergwelle hervor, die als wandernde *Ausbuchtung* des Schlauchumfanges sichtbar wird; die diastolische „Erschlaffung“ bewirkt retrograd von (v) nach (v') eine negative Welle bzw. Talwelle, eine wandernde *Einbuchtung* des Schlauchumfanges (S. 189) (*Antisymmetrie* in Bezug auf Form und Richtung). Von den theoretischen Betrachtungen her ist bekannt, dass die positive Welle die Wasserteilchen ein Stück weit in ihrer Ausbreitungsrichtung vorantreibt, die negative jedoch entgegengesetzt zur Ausbreitungsrichtung; am Kreislaufschema ergänzen sich also die Wirkungen von anterograder positiver und retrograder nega-

⁶⁰ Von ideengeschichtlichem Interesse ist ein Vergleich mit Bröer (1996), S. 67, Abb. 24; dort ist eine 1685 brieflich übermittelte Skizze Reisels zu einem Kreislaufschema festgehalten, in der ebenfalls eine Hand einen biventrikulären, ledernen Apparat aktiviert; der Lungenkreislauf (bei Weber fehlend) und der Körperkreislauf (bei Weber mit einem Widerstand versehen) sind durch einfache Röhren repräsentiert.

⁶¹ Der Knappheit halber sei die Weber'sche Diskussion der Fälle übergangen, in denen zunächst ein starrer zirkulärer Schlauch (S. 188) diskutiert wird, dann ein ebensolcher, aber elastischer Schlauch, dem entweder sowohl die Ventile für das Darmsegment als auch der Schwamm fehlen (S. 188) oder dem alleine der Schwamm fehlt (S. 199). Weber lässt also kaum einen der möglichen synthetischen Fälle aus.

⁶² Zu diesem von Weber eingeführten Bild des Vorhofsmechanismus sei die überraschende Tatsache vermerkt, dass diese gelungene Analogie in keiner der noch zu erwähnenden Rezeptionen der *Lehre vom Kreislauf* Aufnahme gefunden hat – ganz im Gegensatz zu den eifrig aufgegriffenen Bildern von der Windlade der Orgel oder dem Windkessel der Feuerspritze.

tiver Welle in Bezug auf den Transport im arteriellen bzw. venösen Schenkel (*Symmetrie*). Aus diesen Ausführungen lässt sich erstmals in aller Klarheit die Tendenz Webers offenlegen, symmetrische Verhältnisse in die konkrete Situation des Schemas zu projizieren und dabei gleichzeitig den realen Sachverhalt zu verleugnen; denn um den Sog für eine retrograde Talwelle hervorzurufen, welcher der Umkehrung der Wirkung der manuellen Kontraktion für die Bergwelle entspräche, dazu wäre die Rückstellkraft des zuvor manuell komprimierten Dünndarmsegments (h) bei weitem nicht ausreichend. Dass die beschriebenen Verhältnisse zudem auch nicht der Situation am Organismus entsprechen, gesteht Weber selber ein – kein negativer Puls sei zu tasten, weil die Venen in der Diastole kollabieren.

Diese basalen Arrangements zum Zwecke eines Kreislaufschemas und ihre theoretische Darstellung lassen eine Rangordnung dreier Ebenen – Theorie, Schema und Modell, Organismus – erkennen. Die idealisierte Vorstellung der Theorie ist dominant; den theoretischen Ansprüchen der Mitteilungen Webers kann bereits das visualisierte Schema des Kreislaufes nicht gerecht werden – geschweige denn der konkrete Kreislauf des Organismus; dies konnte am Fall der negativen Welle gezeigt werden, die allein theoretisch vertreten, real aber nicht nachweisbar ist.⁶³ Wie es aus einer anderen Sicht um die Dominanz der Theorie gegenüber dem Modell bestellt ist, kann an einem zweiten Fall in aller Deutlichkeit gezeigt werden, der auf die Wechselwirkung von Pumpwerk und kapillarem Schwamm vermittelt des Röhrensystems bezogen ist; der „Waschschwamm“ dient als Substitut für die „Capillargefäße“; durch die Poren des Schwammes vermag Flüssigkeit nur mittels Strombewegung zu dringen und die Wellenbewegung in der arteriellen Schleife kommt vor dieser „Scheidewand“ zum Erliegen und kann nur durch eine Strombewegung fortgesetzt werden.⁶⁴ Das Abströmen der herantransportierten Flüssigkeit zur venösen Seite ist aber durch die hohe „Friction“ der Poren behindert. Bei Herz Tätigkeit kommt es folglich anfangs zu einer Umverteilung der Flüssigkeit in den Kautschukröhren von der venösen auf die arterielle Seite (Anti-Symmetrie), bis die dadurch bedingte Steigerung der Druckdifferenz am Schwamm genügend Antrieb für das ausgleichende Strömen bewirkt.⁶⁵ Sind diese komplexen Gleichgewichtsbedingungen zwischen intermittierender Ventrikeltätigkeit und kontinuierlichem kapillaren Abtransport erfüllt, kann ein konstanter Zustand des Flüssigkeitstransportes durch das System beibehalten werden (Gleichmaß). Diese Überlegung nutzt Weber, um seine Regel vom mittleren Druck einzuführen:

⁶³ Die negative Welle gibt es auch noch bei A. Fick, *Die medicinische Physik*, S. 135.

⁶⁴ Weber berücksichtigt nicht die Auswirkungen der Talwellen, die von venöser Seite am kapillaren System angreifen, um ebendort ein Strömen zu bewirken.

⁶⁵ *Lehre vom Kreislauf*, S. 190 f.; ein ähnlicher Gedanke bei C. Bergmann, *Kreislauf des Blutes*, in: R. Wagner (Hrsg.), *Handwörterbuch der Physiologie*, Bd. 2, Braunschweig 1844, S. 218-223; diese Ausführungen müssen auch so gewertet werden, dass von denselben ein Impuls hat ausgehen können, ein Kreislaufmodell nach Webers Art herzurichten.

„Den mittleren Druck würde man bei dem Modelle kennen lernen, wenn man den Druck von Zoll zu Zoll mässe, die gefundenen Zahlen addirte und die Gesamtsumme durch die Zahl der Zolle dividirte.“⁶⁶

Diese Regel, welche häufiger in der Tradition der Kreislaufphysiologie aufgegriffen wurde, besagt, dass beim einmaligen Durchgang (h-g-a-a'-c-v'-v-b-h) durch den dynamisch stabilen Kreislauf in Verbindung mit einer fortwährenden Druckmessung ein solcher mittlerer Druck errechnet werden könne, der sowohl bei Änderung der Herzaktivität unveränderlich bleibe als auch bei Herzstillstand, bei welchem bekanntlich nach einer Weile ein globaler Druckausgleich eintritt, so dass dann in diesem besonderen Fall der Mitteldruck des Systems durch eine einzige lokale Messung direkt ermittelt werden kann. Der mittlere Druck wäre nach Weber also eine alleinige Funktion des Füllungszustandes des Kreislaufsystems und damit unabhängig von allen Schwankungen der natürlichen Herzaktivität. Die besagte Regel, die ein *Gleichmaß* in den Verhältnissen des Kreislaufmodells entdecken hilft, setzt eine *symmetrische* Beschaffenheit seines venösen und arteriellen Schenkels voraus;⁶⁷ denn sie bedarf zu ihrer Begründung,⁶⁸ dass die Druckzunahme bei zusätzlicher Befüllung des arteriellen Kautschukrohres in gleicher Weise stiege wie spiegelbildlich dazu die Druckabnahme bei entsprechender Entleerung des venösen Kautschukrohres. Eine solche Annahme ist aber keineswegs gerechtfertigt – weder für das Modell, noch für den organischen Kreislauf; in letzterem Fall benötigt die Widerlegung nicht einmal einen großen Aufwand, da die Venen des Organismus im Gegensatz zu den elastischen Arterien kollabieren können – die Symmetriebedingung ist offensichtlich verletzt.⁶⁹ Da aber der Füllungsdruck nichtsdestotrotz für die Funktion des Gesamtkreislaufes bedeutend ist, setzt Weber die *Lehre vom Kreislauf* mit Betrachtungen zu der Äquilibrierung des intravasalen Flüssigkeitsvolumens fort:

„Der mittlere Druck, den das Blut in unserem Gefässsysteme auf die Wand der Röhren ausübt, hängt also nicht vom Herzen, sondern von dem Uebergewichte ab, welches die Resorption von Flüssigkeit durch die Blutgefässe und Lymphgefässe über die Secretion, über das Durchschwitzen von Flüssigkeit durch die Wände der Röhren des Gefässsystems und über die Verdunstung hat. [...] Die Einrichtung unsers Gefässsystems, vermöge deren der Röhrenzirkel, dessen Wände namentlich in den Haargefässen die Flüssigkeit so überaus leicht hindurchdringen und heraustreten lassen, dennoch durch die in ihm enthaltene Flüssigkeit nicht nur gefüllt, sondern mit so grosser Kraft gespannt ist und fortwährend gespannt erhalten wird, muss uns in Erstaunen versetzen. Weder in den Pflanzen noch sonst im Körper der Thiere finden wir seines Gleichen. Durch Endosmose ist dieses nicht zu erklären. Denn ein einseitiger, von innen nach

⁶⁶ *Lehre vom Kreislauf*, S. 191; aus diesem Zitat lässt sich ersehen, dass Weber mit dem einfachen mathematischen Konzept des Wegintegrals vertraut war.

⁶⁷ Eine einfache Vorstellung dieser *Symmetrie* gelingt dadurch, dass zu jeder Drucksteigerung im arteriellen Schenkel, hervorgerufen durch eine gesteigerte Herzarbeit, eine genau entsprechende Druckminderung im venösen zu denken ist.

⁶⁸ Weber selber gibt keine Begründung seiner Regel an; er sagt dazu nur: „Diesen so kurz und klar ausgedrückten Gedanken hat mein Bruder Eduard [(1806-1871)] schon vor vielen Jahren gegen mich ausgesprochen.“

⁶⁹ Vgl. eine ähnliche Argumentation bei A. Fick, *Die medicinische Physik*, S. 138.

aussen gehender Druck wirkt der durch Endosmose zu bewirkenden Aufnahme von Flüssigkeit in die Gefäße entgegen.“⁷⁰

Eine Hypothese zu einem quantitativen *Gleichgewicht* zwischen resorbierenden und sezernierenden Faktoren wird hier formuliert, welche ihren verursachenden Faktoren nach *antisymmetrisch* sind; für die globale Bilanz stehen der Resorption durch die Blut- und Lymphgefäße sowie der endosmotischen Aufnahme von Flüssigkeit in das Gefäßsystem die Sekretion im weitesten Sinne, die Durchschwitzung über die Gefäßwände und die Verdunstung über die Körperoberflächen entgegen; die konträren Wirkungen von Endosmose und hydrostatischem Druck entscheiden letztendlich die Bilanz auf der Ebene der Gefäßwände.⁷¹ Dieses *Gleichgewicht* bleibe ungestört durch orale Flüssigkeitszufuhr oder renale Ausscheidung (*Gleichmaß*); Weber macht für diese Stabilität die Imbibitionsfähigkeit der Gewebe verantwortlich, indem durch diese Eigenschaft erst gar nicht eine Ansammlung von neu zugeführter Flüssigkeit im Gefäßsystem entstehen könne.⁷² Im Falle des Kreislaufmodells sei der Fülltrichter (I) die Vorrichtung, welche „bildlich die Lymphgefäße und überhaupt die resorbierenden Gefäße“ darstelle (S. 193). Die Bedeutung, die Weber den Lymphgefäßen im Verhältnis zur Endosmose beimisst, kommt darin zum Ausdruck, dass für diese Gefäße ein eigener Mechanismus hypostasiert wird, durch welchen den Blutgefäßen wiederum ermöglicht werde, keinen Verlust des Volumens ihrer „Substanz“ zu erleiden.⁷³

⁷⁰ *Lehre vom Kreislauf*, S. 191 f.

⁷¹ Das nach E. H. Starling (1866-1927) benannte Gesetz von der Äquilibration der kolloidosmotischen und hydrostatischen Drücke an der Gefäßwandung (1896) wird in dieser Passage von Weber in vereinfachter Form angedacht.

⁷² Das imbibitionsfähige Gewebe identifiziert Weber in der *Lehre vom Kreislauf* (S. 194) mit dem „die Haargefäße umgebenden Zellgewebe“ – dem Bindegewebe in heutiger Terminologie – und bezeichnet seine Konsistenz als „schwammig“, womit zugleich eine assoziative Verknüpfung zum Schwamm des Kreislaufmodells gegeben ist. — Zum Begriff Zellgewebe oder auch *tela cellulosa*, die nach Weber zu der Klasse der „zusammensetzenden Gewebe“ oder *telae componentes* gehört, vgl. E. H. Weber (Hrsg.), Hildebrandt's Handbuch der Anatomie des Menschen, Bd. 1, Braunschweig 1830, S. 178 bzw. S. 232-244. — Den Übergang von den Gefäßen zu den Gewebsräumen vergleicht Weber auch mit einem „Sieb“ (*Lehre vom Kreislauf*, S. 193).

⁷³ Weber spricht von einer „Substanz“ und nicht von dem „Blut“ als dem Inhalt der Gefäße (S. 192). — Die Überlegungen zu diesen in „Erstaunen“ versetzenden Gleichgewichtsverhältnissen beschließt Weber mit dem Bericht von eigenen Versuchen, in denen es nicht gelungen sei, an einem „Leichnam“ eine Drucksteigerung durch die Injektion von Wasser in die Gefäße hervorzurufen; das injizierte Wasser wurde augenblicklich in das umgebende Gewebe „ausgeschwitzt“. Die Prototypen dieser Versuche stammen von F. Magendie (1783-1855), F. L. M. Poiseuille (1799-1869) und G. G. Valentin (1810-1883) (S. 192-195). — Dass Weber der Lymphe eine entscheidende Rolle für den Kreislauf beimisst, ist schon in seiner Allgemeinen Anatomie bzw. im ersten Band der Hildebrandt'schen Anatomie verankert; auch ein Kollege Webers, C. G. Carus (1789-1869), mag hier Erwähnung finden; vgl. dessen Arbeit Über den Blutumlauf, (Meckels) Archiv für Anatomie und Physiologie (1818), S. 413-428.

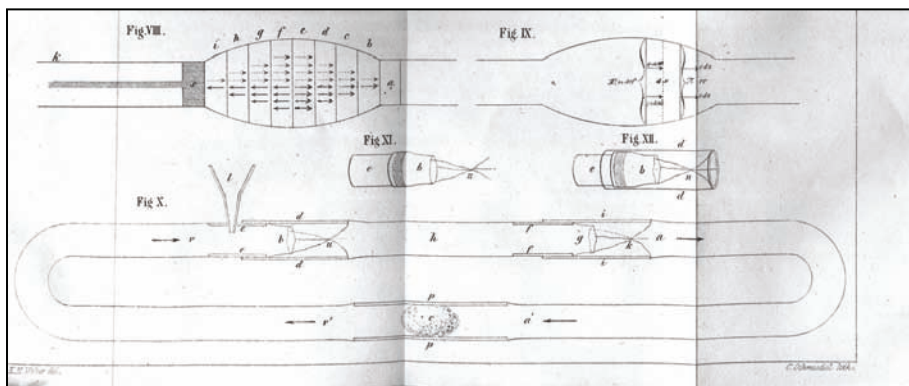


Abbildung 1: Tafel zu Webers *Lehre vom Kreislauf* (1850/52)⁷⁴

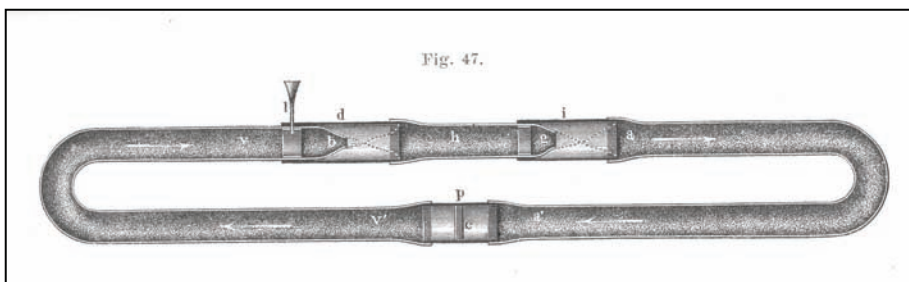


Abbildung 2: Fig. 47 aus A. Fick, *Die medicinische Physik* (1885)⁷⁵

Damit schließen die direkten Bezugnahmen auf das Kreislaufschema in der *Lehre vom Kreislauf*, so dass ein Rückblick über die gewonnenen Ergebnisse angebracht ist: Das Schema Webers liefert ein vorbildliches Beispiel für die Art und Weise, in der sich das Denken eines Physiologen gestaltete, wenn dessen Intention darin besteht, seine wissenschaftliche Methode an der physikalischen auszurichten. Im Verein mit einem Rüstzeug an physikalischen Theorien aus früheren experimentellen Erfahrungen zur Wellenlehre und veranlasst durch den Mangel an experimentell vermittelten Tatsachen aus zeitgenössischen physiologischen Arbeiten – dazu zählte auch die *Hämodynamik* Volkmanns – hat Weber den Versuch unternommen, die Funktionsweisen einzelner Elemente des Kreislaufes in einer Theorie des Kreislaufs zusammenzuführen; die dazugehörigen analytischen und synthetischen Operationen erfahren ihren Gipfel in dem Kreislaufmodell von 1850/52. Die Wellenerscheinungen auf offener See, der Steinwurf in das Wasser eines Sees und darauf die Versuche an der Wellenrinne bedeuteten analytische Vereinfachungen der natürlichen Situation, und von diesen sowohl theoretisch als auch experimentell übersichtlichen Elementen aus den 1820er Jahren geschah sukzessive eine Übertragung auf die Lehre vom Puls und erst in den 1850er Jahren auf die

⁷⁴ Vgl. Fußnote 59.

⁷⁵ Vgl. ebd.

Verhältnisse an wassergefüllten Schläuchen bzw. an dem zweimal unterbrochenen Schlauchring – ein Pumpwerk mit davon auseinander laufenden großen Gefäßen und einer verbindenden kapillarreichen Strecke. Die Theorie⁷⁶ beherrscht dabei die Implikationen der synthetischen Schritte in der *Lehre vom Kreislauf*. Das Fortschreiten von der Oberflächenwelle in einem Graben zur Schlauchwelle und zur Welle in einem rückläufigen Schlauchsystem verharret bei der Theorie der Oberflächenwellen und führt zu idealisierten theoretischen Annahmen über besondere Eigenschaften des modellierten Kreislaufs. Die Synthese dieses anschaulichen Modellapparates wird zusätzlich von einer auf den Organismus abbildenden Funktion getragen; der Apparat, der immer schon eine Theorie voraussetzt,⁷⁷ wird also nicht nur mit Bezug auf die theoretischen Vorgaben, sondern auch in Hinsicht auf die Zustände des Organismus entworfen; somit ist das Schema Webers ein hybrides Gebilde, welches einerseits die physikalische Theorie, andererseits die Realität des Organismus zu seiner Existenz voraussetzt – es ist das visualisierte Symbol für den organischen Kreislauf im Lichte einer physikalisierenden Physiologie, ein anschaulicher Hybrid zwischen Theorie und Realität, welcher sowohl die Vorgaben der Theorie als auch die Vorgaben des Organismus in sich aufnimmt und konfrontiert, wodurch eine Verschmelzung beider Quellen zum hybriden Symbol geschieht.

Diese Feststellungen genügen aber nicht; denn es konnte auch darauf verwiesen werden, dass den abbildenden Funktionen zwischen Theorie, Schema und Organismus die ästhetischen Prinzipien der Symmetrie, des Gleichgewichtes und des Gleichmaßes zur Seite gehen; sämtliche Prinzipien sind ordnende und somit strukturierende Prinzipien der eigentlichen Abbildung – ermöglichen sie überhaupt erst in dem Sinne, dass in ihnen der Grund dafür gelegt wird, eine Affinität zwischen den abzubildenden Objekten herzustellen, ihnen einen übergreifenden Rahmen zu geben, um sowohl der physikalischen Theorie als auch den organischen Verhältnissen ihren rechten Platz am intermediären Schema einzuräumen. Eine schöne Bestätigung konnte diese wissenschaftstheoretische Analyse auf drei Wegen erfahren – anhand der Platzierung von negativen Wellen im Kreislaufmodell, anhand der idealisierenden Regel vom konstanten mittleren Druck und anhand einer Hypostase zur Aufrechterhaltung des intravasalen Flüssigkeitsvolumens; die Regel wurde nach Webers eigenen Worten lange vor dem Entwurf des Schemas formuliert – sie sei ein lange bereits bestehender Einfall des Bruders Eduard Weber (1806-1871) gewesen.⁷⁸

Die abbildende Funktion zwischen Modell und Organismus kann anhand einiger ihrer Elemente fixiert werden: Der Ventrikel wird *modo geometrico* auf ein Dünndarmsegment projiziert, die Ventrikelmuskulatur *modo functionale* auf die Handmuskeln, die atrio-ventrikuläre und ventrikulo-arteriale Klappe werden *modo geometrico* auf identische

⁷⁶ Die Elemente dieser Theorie bzw. ihre theoretischen Elementarereignisse brauchen für den angestrebten Zweck nicht besonders mannigfaltig zu sein; es genügen die Definition einer Welle, einer Strömung, die Kenntnisse über Teilchenbewegungen an der Oberfläche und in der Tiefe einer Welle und die Ereignisse der Reflexion und Interferenz.

⁷⁷ Das Konzept P. Duhems sei hier zu Grunde gelegt (*La théorie physique. Son objet et sa structure*, Paris 1906, bzw. Ziel und Struktur physikalischer Theorien, Hamburg 1998, 4. Kapitel).

⁷⁸ *Lehre vom Kreislauf*, S. 191.

„Röhrenventile“, das Atrium *modo geometrico* auf ein Kautschuksegment vor dem Eingang in den Ventrikel, die Atriumsmuskulatur *modo functionale* auf die zweite Hand, die großen Arterien und Venen *modo geometrico* auf die Kautschukröhren – und damit die Elastizität der Kautschukröhren *modo functionale* auf die Elastizität der Arterien – die Haargefäße *modo geometrico* auf Poren in einem Schwamm – und damit *modo functionale* der Widerstand jener auf den Widerstand dieser Strukturen – der Füllungsdruck *modo functionale* auf den Füllstand am Fülltrichter, die Sekretion und Resorption *modo functionale* auf die Verbindung der venösen Röhre zum Fülltrichter, das Blut *modo functionale* auf Wasser. Es sind *keine* Strukturen im Modell zu finden, die auf den Körper als ganzer, auf die Lunge, auf den kleinen Kreislauf, auf die sukzessiven Aufzweigungen der Gefäße, auf die Eigenkontraktilität der Arterien bzw. auf eine Beteiligung der Arterien am Transport des Blutes,⁷⁹ auf die Eigenbewegung des Blutes,⁸⁰ – Weber sieht also in der Herzkraft die einzige Ursache für den Bluttransport – auf die Kügelchen des Blutes,⁸¹ auf die geringe Elastizität der Venen, auf die Venenklappen, auf die verschiedenen Strukturen des arterio-venösen Überganges oder auf die regulierenden Einflüsse des Nervenapparates⁸² abbilden. Es ergibt sich aus den *nicht* vollzogenen Abbildungsoptionen die Folgerung, dass Weber nicht nur eine dem Modell natürlicherweise inhärente Vereinfachung hat anstreben wollen; er bezweckte gewiss auch eine Bereinigung der zeitgenössischen Kreislauflehren von vitalistischen Lehren, die z. B. diverse, das Herz unterstützende Kontraktionen postulierten, die von attraktiven bzw. repulsiven Kräften

⁷⁹ Zur aktiven Kontraktion von Gefäßen vgl. *Handbuch*, S. 193: „Die älteren Schriftsteller und mehrere neuere haben die nach der Ausdehnung der Arterien erfolgende elastische Zusammenziehung der Arterien fälschlich für einen Muscularact, und die Fasern der Arterienhaut für Muskelfasern gehalten, wovon sie sich, wie Berzelius gezeigt hat, in jeder Hinsicht unterscheiden.“ Und ferner S. 196: „Dagegen ist es nicht zu läugnen, dass manche chemische Substanzen, z. B. Mineralsäuren, salzsaurer Kalk, an den Arterien Zusammenziehungen bewirken; sie thun diess aber nur, indem sie eine chemische Veränderung in der Substanz der Arterien hervorbringen, was oft davon abhängt, dass der Substanz ein Theil ihres Wassers entzogen wird. WEBER'S Anat. 3. Diese Veränderungen beweisen nichts für die Muscularcontractilität der Arterien.“

⁸⁰ Zur Eigenbewegung des Blutes vgl. *Handbuch*, S. 211: „Nach Kiehmeyer haben Treviranus, Carus, Doellinger und Oesterreicher dem Blute eine eigene Propulsionskraft, sich nach dem Capillargefäßen hin, und von diesen ab sich zu bewegen, angenommen, eine Kraft, die nach dem Aufhören der Herzthätigkeit noch und unabhängig von derselben im Leben wirken soll.“ Oder auch G. R. Treviranus in seiner *Biologie oder Philosophie der lebenden Natur für Naturforscher und Aerzte*, Bd. 4, Göttingen 1814, S. 272 oder 654. – Dass die Herzkraft nach der Meinung einiger Physiologen Unterstützung durch andere Kräfte benötige, dazu vgl. *Handbuch*, S. 209: „Verschiedene Schriftsteller haben geglaubt, die Kraft des Herzens reiche nicht aus, um das Blut durch die Haargefäße zu treiben, und es bedürfe hierzu besonderer Hülfskräfte, welche hierzu supponiert worden sind, wie die Zusammenziehung der Haargefäße, oder die selbstständige Bewegung des Blutes, wovon die Beobachtung nichts zeigt.“ Oder auch L. F. Koch, Ist die Kontraktion des Herzens die einzige bewegende Kraft des Blutumlaufs, oder hat dieser noch eine Hülfskraft, und wie zeigt sie sich?, (Meckels) *Archiv für Anatomie und Physiologie* 2 (1827), S. 416-468.

⁸¹ Eine für die Geschichte der Rheologie interessante Beschreibung des Verhaltens der Blutkügelchen in Kapillargefäßen findet sich im *Handbuch*, S. 210.

⁸² Nervale Einflüsse werden auf S. 219 im *Handbuch* geschildert: „Verschiedene Schriftsteller haben in der neueren Zeit zu beweisen gesucht, dass die Nerven einen grossen Antheil an der Bewegung des Blutes in den Capillargefäßen haben.“

der Kapillargefäße auf das arterielle bzw. venöse Blut ausgingen oder in denen sogar dem Blut die Befähigung zur Selbstbewegung zugesprochen wurde. Auch die abbildende Funktion zwischen Modell und Theorie kann anhand einiger Elemente fixiert werden, wenngleich in diesem Fall die Dichte der Abbildungsvorschriften weit geringer ausfällt. Es konnte gezeigt werden, dass die Theorie der Oberflächenwellen aus den 1820er Jahren immer noch ihren unberechtigten Vortritt vor der kürzlich erst erworbenen Theorie der Schlauchwellen suchte, um die Erscheinungen des Pulses aus einer synthetischen Theorie des Kreislaufs zu erklären. Positive und negative Pulswelle werden auf arterielles und venöses System aufgeteilt, wodurch die Symmetrie des Modells gewinnt, die Beschreibung der realen Situation aber Einbußen hinnehmen muss. Weniger ausgiebig werden die Theorien des Strömungswiderstandes besprochen; der Hinweis auf die Arbeiten von Young und Poiseuille scheint zu genügen. Eine Theorie der Herzkontraktion wurde von Weber kaum berücksichtigt, der Pumpmechanismus des Modells wird einzig verwirklicht, um Schlauchwellen zu generieren.⁸³ Als letztes in dieser Reihe erscheint die Theorie des intravasalen Füllungsdruckes, die in der Regel vom mittleren Füllungsdruck wiederum unberechtigte Symmetriebetrachtungen zur Voraussetzung hat. Eine Übersicht zu den an der Flüssigkeitsbilanz beteiligten Transportvorgängen vermag nur auf hypothetischen Wegen ein wenig Grund zu gewinnen. Das Modell gibt also insgesamt die Theorie der Wellenbewegung am getreusten wieder.

3.2 Nachträge Webers zu seiner ‚Lehre vom Kreislauf‘

Auf die Präsentation des Kreislaufmodells folgt in der *Lehre vom Kreislauf* thematisch eine Erörterung der Pulswellen am Menschen; die Ausbreitungsgeschwindigkeit stimme mit derjenigen in der Kautschukröhre überein;⁸⁴ es sei zu berücksichtigen, dass die Wellenlänge größer ist als die längste Arterienstrecke am menschlichen Körper; sowohl die Reflexion als auch die Friktion seien die dämpfenden Faktoren der Welle. Weber kann dann in der letzten Phase seiner *Lehre vom Kreislauf* nicht umhin, neben seinem eigenen Wissen aus der *Wellenlehre* ein Wissen über die Strömungswiderstände im Kreislauf von anderer Seite heranzuziehen; dazu schließt sich Weber den Untersuchungen Th. Youngs und J. L. M. Poiseuilles unmittelbar an; der Großteil der strömungsbedingten Reibungsverluste trete „in den kleinsten Arterien, Haargefäßen und in den kleinsten Venen“ auf.⁸⁵ Dann setzt die Kritik an Volkmanns Versuchen ein, die trotz mancher eingestreuter *Captationes benevolentiae*⁸⁶ nicht sanft ausfällt:

⁸³ Der Stand des Wissens über den Mechanismus des Herzens kann für die 1850er Jahre in fast umfassender Vollständigkeit abgeschätzt werden; vgl. dazu G. Kürschner, Herz und Herzthätigkeit, in: R. Wagner (Hrsg.), Handwörterbuch der Physiologie mit Rücksicht auf physiologische Pathologie, Bd. 2, Braunschweig 1844, S. 30-107; zumindest die S. 37-42, 64-70 und 80 f. wären in der *Lehre vom Kreislauf* zu berücksichtigen gewesen.

⁸⁴ Diese Übereinstimmung war ein wichtiger Hinweis darauf, dass die Fortleitung der Pulswelle in den Arterien sehr wahrscheinlich passiv geschieht, ohne dass ein Hilfsfaktor der Tätigkeit des Herzens zur Seite gehen würde.

⁸⁵ Von Th. Young werden angeführt: Hydraulic investigations, subservient to an intended Croonian Lecture on the motion of the blood, Philosophical Transactions (1808), pp. 164-186; The Croonian Lecture. On the functions of the heart and arteries, Philosophical Transactions (1809), pp. 1-31. Young rekurriert nach Weber auf Couplet, Bossut, Dubuat und Gerstner und habe seine „physikalischen For-

„Volkman hat sich, unstreitig weil er den physikalischen Theil der Youngschen Arbeit nicht kannte, mit grosser Beharrlichkeit einer sehr mühevollen Experimentaluntersuchung über ähnliche hydraulische Aufgaben unterzogen, einer schwierigen Arbeit, die sich mehr für einen in hydraulischen Untersuchungen geübten, mit der Literatur der Hydraulik vertrauten, rechnenden Physiker, wie Young war, als für einen Physiologen eignet.“⁸⁷

Diesem Vorwurf begegnet Volkman in seiner ersten Verteidigung, indem er Webers Satz zu seinen Gunsten verzerrt wiedergibt: „Young hat sich auf Untersuchungen von Dingen eingelassen, welche sich für den experimentierenden Physiologen besser als für den rechnenden Physiker eignen.“⁸⁸ In ungefähr gleichem Sinne äußert Volkman etwas später: „Ich habe auf dem Weg des Versuches bewiesen, dass der Druck auch in weiten Röhren abnehmen könne, wenn nur die Flüssigkeit schnell hindurchströmt.“⁸⁹ Aus dieser überzeugt vorgetragenen Meinung lässt sich die Unvertrautheit Volkmanns mit dem physikalisch bereits definierten Begriff der Viskosität ableiten.

Ein weiterer wichtiger Vorwurf Webers gegenüber Volkman betrifft die Missachtung von Ähnlichkeitsgesetzen, die bei der Skalentransformation von mikroskopischen Strömungsverhältnissen auf makroskopische Versuchssysteme Beachtung finden müssen;⁹⁰ denn dann hätte auch Volkman sich davor verwahren können, die Strömungsverhältnisse im Hämodynamometer⁹¹ mit den arteriovenösen Verhältnissen zu

sungen“ angewandt „auf den Kreislauf des Blutes in lebenden Thieren [...] , indem er sich hierbei hauptsächlich auf die Untersuchungen von Stephanus Hales stützte“ (S. 198). – Von J. L. M. Poiseuille sind zu berücksichtigen: *Recherches sur l'action des artères, dans la circulation artérielle*, *Journal de Physiologie expérimentale et pathologique* 9 (1829), pp. 44-52; *Recherches sur la force du coeur aortique*, *Journal de physiologie expérimentale et pathologique* 8 (1828), pp. 272-305; *Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de très petit diamètres*, *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'académie des sciences* 11 (1841), pp. 961-967; *Rapport sur un mémoire de M. le docteur Poiseuille, ayant pour titre: Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de très-petits diamètres*, *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'académie des sciences* 15 (1842), pp. 1167-1186; die dazugehörige Übersetzung ins Deutsche erschien als *Experimentelle Untersuchungen über die Bewegung der Flüssigkeiten in Röhren von sehr kleinen Durchmesser*, (Poggendorffs) *Annalen der Physik und Chemie* 58 (1843), S. 424-448; S. 424 Angaben zu den Arbeiten von Dubuat, Gerstner und Girard; S. 425 eine Bezugnahme auf die Arbeiten von G. Hagen (1797-1884). In Müller's Archiv erschien 1834 von Poiseuille eine Arbeit über Die wesentliche Ursache der Bewegung des Blutes in den Venen (S. 365 ff.).

⁸⁶ Z. B. anerkennt Weber, dass Volkmanns *Hämodynamik* ein Werk sei, „in welchem die Lehre vom Kreislauf des Blutes durch viele neue interessante Versuche bereichert worden ist.“

⁸⁷ Der zweite Kritikpunkt an Volkmanns *Hämodynamik* betrifft die widersprechenden Resultate seiner Widerstandsmessungen an Röhren zu den Vorhersagen der Young'schen Theorie (*Lehre vom Kreislauf*, S. 200).

⁸⁸ *Beleuchtung der Weberschen Streitfragen*, S. 292.

⁸⁹ *Beleuchtung der Weberschen Streitfragen*, S. 295.

⁹⁰ Der dritte Kritikpunkt an Volkmanns *Hämodynamik* betrifft also die experimentelle Situation; es wird diesbezüglich angefragt, ob die gewählte experimentelle Anordnung den Verhältnissen am Organismus adäquat sei.

⁹¹ Volkman machte 1849 seine erste Mitteilung zu den Versuchen mit seinem Hämodynamometer, um Widerstandsberechnungen an Arterien vorzunehmen und die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes in Gefäßen zu ermitteln; vgl. die Arbeit *Über einige Probleme der Hämodynamik und deren Lösbarkeit*, *Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu*

vergleichen; die Geometrie des Hämodynamometers sei unähnlich zu der des arterio-venösen Überganges und eine Druckdifferenz von Anfangspunkt zu Endpunkt des durchströmten Hämodynamometers bedeute folglich etwas anderes als die arterio-venöse Druckdifferenz, bei welcher immer auch der Druckabfall an den Kapillaren mit inbegriffen ist; oder es herrsche – mit anderen Worten – bei vergleichbarem Druckabfall eine verhältnismäßig geringere Strömungsgeschwindigkeit im Kapillarsystem als in der Röhre des Hämodynamometers.⁹²

In einem gewissen Sinne invers zu Volkmanns Befunden sei L. Spenglers Befund einer Zunahme des Blutdruckes mit der Entfernung vom Herzen, was den „physikalischen Gesetzen so sehr widerspricht, dass irgend eine von den vielen Quellen des Irrthums unberücksichtigt geblieben sein muss, welche bei diesen schwierigen Versuchen schwer ganz zu vermeiden sind.“⁹³ Es ist bezeichnend, dass Weber die von ihm selber erwogene Möglichkeit einer Reflexion der arteriellen Wellen am peripheren Kapillarbett an dieser Stelle des Diskussion als Ursache solcher Erscheinungen außer acht lässt und

Leipzig. Mathematisch-Physische Classe 1 (1849), S. 75-78. Ab 1847 stand ihm auch bald das Kymographion aus dem C. Ludwig'schen Laboratorium zur Verfügung, dessen Messvorrichtung Volkmann bereits für die eigenen Versuchszwecke leicht abgewandelt hatte; das Kymographion ermöglichte in Verbindung mit dem Hämodynamometer eine graphische Registrierung des Wanddruckes von Gefäßen. – Das Volkmann'sche Hämodynamometer war eine Verbesserung des Poiseuille'schen von 1828 und stellte eine etwa ein Meter lange und drei Millimeter im Durchmesser messende, U-förmig gebogene Glasröhre dar.

⁹² Weber hat sich in der messenden, mikroskopischen Anatomie dadurch einen Namen gemacht, die Passagegeschwindigkeit von Erythrozyten in den Kapillargefäßen zu ermitteln: Ueber die in den Adern lebender Frösche und Froschlarven sichtbare Bewegung von Körnchen, welche die Gestalt der Lymphkörnchen haben, und über die Geschwindigkeit, mit welcher sie sowohl, als die Blutkörnchen in den Haargefäßen sich bewegen, Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin (1838), S. 450-468. In dieser Veröffentlichung beschreibt Weber ebenfalls das Rollen von Lymphozyten entlang der Gefäßwandungen der Mikrozirkulation und erklärt dies Phänomen mit Begriffen, die modernen Vorstellungen nahe kommen; einen weiteren Hinweis verdient zunächst die intensive Auseinandersetzung Webers mit der Theorie Poiseuilles in dieser Schrift, dann aber auch die Bezüge zu zwei Vorgängerarbeiten in demselben Archiv von 1837, unter denen diejenige von F. M. Ascherson wegen ihrer Originalität hervorzuheben ist, weniger die sich daran anlehnde Arbeit von Weber. – Dass Weber spätestens schon 1830 an solchen Phänomenen der Mikrozirkulation interessiert war, lässt sich mit den Ausführungen im Abschnitt „Geschwindigkeit des Bluts in den Haargefäßen“ (Hildebrandt's Anatomie nach Weber, Bd. 3, Braunschweig 1831, S. 39) belegen, in denen jedoch noch eine ganz andere Einschätzung der Geschwindigkeit geübt wurde; denn es genügte die Feststellung einer hohen oder geringen Geschwindigkeit; Bemerkungen zu den frühen Widerstandsmessungen an der Summe der Haargefäße waren darunter gemischt: „Noch mehr habe ich mich von der Langsamkeit des Blutlaufs in den Haargefäßen durch das Mikroskop an durchsichtigen Theilen kaltblütiger Thiere überzeugt.“ – Weber war einer der ersten Physiologen, die das virtuelle Zwischenbild des Mikroskops zur Distanzmessung benutzten; vgl. dazu auch das *Handbuch*, Bd. I, S. 156. – Aus dem Fundus der experimentellen Erfahrungen zur Erstellung der *Wellenlehre* mag auch der reflektierte Umgang Webers sowohl mit den Phänomenen des Lichtes (Reflexion, Interferenz; vgl. auch *Handbuch*, Bd. I, S. 131) als auch mit dem technischen Instrumentarium und dessen Einsatz als Messgerät zählen; z. B. werden Beobachtungen von kaum merklichen Teilchenbewegungen unter dem Mikroskop mitgeteilt und mit Hilfe eines Zirkels oder mit einem Fadenkreuz räumlich analysiert (vgl. *Wellenlehre*, S. 119 bzw. § 100).

⁹³ *Lehre vom Kreislauf*, S. 201.

Spenglers Messungen daher als den physikalischen Gesetzen widersprechend ablehnt. Diese Ablehnung, die aus theoretischen Erwägungen nicht zwingend ist, scheint wiederum dem ästhetischen Prinzip des *Gleichmaßes* zu entspringen: „Dass der Druck des Blutes in allen grösseren Arterien ziemlich gleich sei, wird durch die verhältnissmässig geringe Friction daselbst und durch das Aufstauen desselben und die allmähliche Reflexion der Pulswelle erreicht.“⁹⁴ Weber warnt unter Hinweis auf Spengler und seine eigenen Erfahrungen daher auch Volkmann vor experimentell bedingten Fehlerquellen oder führt dessen Messungen auf den nicht „normalen Zustand“ der Versuchstiere zurück.⁹⁵ Hier taucht unvermittelt die klassische Frage der physiologischen Forschung auf, ob die physikalische Theorie Voraussagen für physiologische Untersuchungsobjekte treffen kann, deren Komplexität weitaus größer ist als ein physikalischer Versuchsaufbau, oder ob die physikalische Messung am physiologischen Objekt Verhältnisse aufdecken kann, die physikalisch nicht weiter erklärbar sind.

Eine Stütze für seine Vorstellungen von der Druckverteilung am arterio-kapillaren Übergang erhält Weber durch den Vergleich mit der „in der Orgel befindlichen Windlade.“⁹⁶ In einer Windlade werde ein *Gleichgewicht* zwischen einem großem Behältnis und vielen kleineren, abführenden Röhren hergestellt, so dass jedes Rohr *un*unterschieden von nahen oder fernen Röhren in gleicher Weise durchströmt werden kann, um eine vergleichbare Intensität der Orgelpfeifenklänge zu garantieren ; auch diese Ortsunab-

⁹⁴ Weber spricht von „allmählich“, weil die dichotomen Verzweigungen der Kapillaren erst mit der Zunahme der Verzweigungshäufigkeit der Gefäße einen immer undurchdringlicher werdenden Widerstand für die Pulswelle bieten; im Kreislaufmodell Webers jedoch würde der Schwamm eine abrupte Reflexion bewirken; vgl. auch Hildebrandt's Anatomie nach Weber, Bd. 3, Braunschweig 1831, S. 41: „Ehemals glaubten viele Physiologen, dass auch die stumpferen oder spitzigeren Winkel, unter welchen die Aeste aus den Röhren abgehen, einen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Blutes hätten. Durch den Ursprung der Aeste unter einem spitzigen Winkel nämlich würde der Fortgang des Blutes weniger gehemmt, als durch den Ursprung der Aeste unter einem minder spitzigen. Allein dieser Umstand hat nur dann einen Einfluss auf die Geschwindigkeit einer Flüssigkeit, wenn sie bei ihrer Fortbewegung so wenig Widerstand erleidet, dass ihr Lauf durch Summierung der Stöße, die sie empfängt, nach einer bestimmten Richtung hin beschleunigt wird. Wenn dagegen der Widerstand, den die Flüssigkeit bei ihrer Bewegung erfährt, so groß ist, dass die Stöße in jedem Moment dadurch aufgehoben werden und sich also nicht summieren können, so dass vielmehr die Flüssigkeit, im Falle die Druckkräfte plötzlich zu wirken aufhörten, auch sogleich stillstehen würde; so haben die spitzigeren oder weniger spitzigen Winkel keinen merklichen Einfluss auf die Geschwindigkeit. Die Flüssigkeit in den Röhren befindet sich unter diesen Umständen überall unter dem nämlichen Drucke und strebt mit gleicher Kraft nach allen Richtungen hin auszuweichen, und sie tritt daher, die Winkel mögen spitzer oder weniger spitz sein, in alle abgehenden Röhren mit gleicher Gewalt ein.“

⁹⁵ Vierter Kritikpunkt an Volkmanns *Hämodynamik*: die Kritik richtet sich auf die experimentellen Randbedingungen.

⁹⁶ Der Leipziger Arzt K. F. S. Liscovius (1780-1844) gehörte in das Umfeld der Freunde Webers, welches von Chladni ausgehend geprägt war, wie aus einem Brief Chladnis an Weber hervorgeht oder aus einer Notiz in den *Annotationes anatomicae*; Liscovius veröffentlichte in den *Annalen der Physik und Chemie* Arbeiten zur Akustik von Pfeifen und hierüber mag Weber der Umgang mit Prinzipien der Orgelmechanik vertraut gewesen sein; vgl. auch den Einsatz von Orgelpfeifen in der *Wellenlehre* (§ 283); dort wird die Entstehung der Schwingungen an der Spalte der Orgelpfeife mit der sich einstellenden Pulsation des Luftstromes an den Windöfen verglichen, falls an diesen die Einlasstür für die Luft eng angestellt werde; dies rufe stoßweises Anfachen der Glut hervor.

hängigkeit verweist auf das Prinzip des *Gleichmaßes*. Nun zeige aber die mikroskopische Anatomie der kleinen Gefäße, die von dem großen Gefäßsystem abzweigen, unabhängig von der Entfernung vom Herzen einen identischen strukturellen Bau; dies belege, dass der Eintrittsdruck in die kleinen Gefäße überall nahezu gleich sei. Das ist ein anatomisch-funktionelles Argument Webers, in welches die unausgesprochene Voraussetzung mit eingeht, dass Gefäße auf den physikalischen Stimulus des intravasalen Druckes strukturell identisch reagieren. Dieses Argument erfuhr durch Volkmann keine Replik mehr, so dass davon ausgegangen werden kann, dass in dieser Hinsicht Konsens unter den beiden Physiologen herrschte.

Soweit konnten in einer umfassenden Analyse einige wichtige ästhetische Prinzipien der Weber'schen *Lehre vom Kreislauf* isoliert dargestellt werden: *Gleichgewicht*, *Gleichmaß* und *Symmetrie*. Der im folgenden Aufsatz anzuschließenden Analyse wird die Aufgabe obliegen, zunächst die Form der Verbindung dieser ästhetischen Elemente mit der erkenntnistheoretischen Schichtung der Kreislauflehre herauszuarbeiten (wissenschaftstheoretische Bilanz) und im Anschluss an dieses Fundament die geschichtlich erwirkten Einflüsse dieser Lehre bis an das Ende des 20. Jahrhunderts zu verstehen.

Literatur

1. Bickerton/Barr (1987): Richard C. Bickerton, Geoffrey S. Barr, The origin of the tuning fork, *Journal of the Royal Society of Medicine*, 80 (1987), S. 771-773
2. Bröer (1996): Ralf Bröer, Salomon Reisel (1625-1701), Barocke Naturforschung eines Leibarztes im Banne der mechanistischen Philosophie, Stuttgart 1996 (= *Acta Historica Leopoldina*, 23)
3. Flashar (1983): Hellmut Flashar (Hrsg.), Aristoteles Werke in deutscher Übersetzung, Bd. 19, *Problemata Physica*, Berlin 1983
4. Florkin (1960): Marcel Florkin, Naissance et déviation de la théorie cellulaire dans l'oeuvre de Théodore Schwann, Paris 1960
5. Leiber (2000): Theodor Leiber, Vom mechanistischen Weltbild zur Selbstorganisation des Lebens, München 2000
6. Lohff (1999): Brigitte Lohff, Das Jahr 1899. Die erste mathematische Beschreibung des Druck-Volumen-Diagramms durch Otto Frank (1865-1944), *Sudhoffs Archiv* 83 (1999), S. 131-151
7. Needham (1971): Dorothy Mary Needham, *Machina Carnis*, Cambridge 1971
8. Nova Acta Leopoldina: Nova Acta Leopoldina 33 (1968), Sonderband Biologische Modelle
9. Rödenbeck (2000): M[] Rödenbeck, Ernst Heinrich Weber und die heutige Lehre vom Blutkreislauf, in: Wolfgang Eisenberg, U[] Renner, S[] Trimper et al. (Hrsg.), *Synergie, Syntropie, Nichtlineare Systeme*, Bd. 6, Ernst-Heinrich Weber, Leipzig 2000, S. 83-99

Visualisierung und Heuristik physiologischer Modelle zu Kreislauftheorien des 19. und 20. Jahrhunderts

Gerhard Müller-Strahl

In einer zuvor entworfenen Analyse konnten maßgebende ästhetischen Prinzipien aus der Weber'schen *Lehre vom Kreislauf* freigelegt werden:¹ *Gleichgewicht, Gleichmaß und Symmetrie*. Der folgenden Analyse wird in konsequenter Fortsetzung die doppelte Aufgabe obliegen, zunächst die Form der Verbindung dieser ästhetischen Elemente mit der erkenntnistheoretischen Schichtung der Kreislauflehre herauszuarbeiten; im Anschluss an diese wissenschaftstheoretische Bilanz werden die geschichtlich erwirkten und weit-hin streuenden Einflüsse dieser Lehre bis an das Ende des 20. Jahrhunderts vorgestellt. Dieser umfangreichere Teil der Analyse wird dann fast wie von selbst das Material zu-sammenführen, aus dem erneut der Aspekt der Visualisierung einer medizinisch-physiologischen Lehre in bestimmte Konturen wird gefasst werden können. Aber auch ein zweiter Gewinn lässt sich aus dieser Aufweitung der bisher auf Webers Lehre fokus-sierten Analyse ziehen: Sie wird Anhaltspunkte bieten können, mittels derer sich unter-schiedliche Formen der Heuristik in der medizinischen Forschung nachweisen lassen, insofern das theoretische Wissen in dieser Disziplin Rekurs auf Modelle nimmt, die im Prozedere der Forschungstätigkeit zu unterschiedlichen Methoden der Problemlösung eingesetzt wurden; diese wissenschaftstheoretische Bilanz wird zeigen, dass Modelle in der medizinischen und physiologischen Forschung durchaus sinnvoll zu heuristischen Zwecken eingesetzt werden können – ein Faktum, dessen Relevanz seitens der Wissen-schaftstheorie für das Feld der Naturwissenschaften ziemlich einmütig bestritten wird.

1. Wissenschaftstheoretische Bilanz aus der Analyse der *Lehre vom Kreislauf*

Um die *Lehre vom Kreislauf* (1850/52) entspinnt sich ein ausladendes assoziatives Ge-flecht: Die Pulslehren Hallers und Bichats aus der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts bilden eine der ursprünglichsten Gruppen, auf deren Beobachtungen am Organismus Bezug genommen wird. Die physikalisch motivierte *Wellenlehre*² der Weber-Brüder, sehr wahrscheinlich veranlasst und gefördert von dem gemeinsamen Freund Chladni, berei-tet eine neue Perspektive auf das Phänomen des Arterienpulses vor; der Steinwurf in den ruhigen See und der Herzschlag mit seinen in die Peripherie laufenden Pulsen wer-den 1827 von Weber gegenübergestellt; dieser gewagte, aber auch begründbare Ver-gleich lässt Weber mit zwei Vorgängern, Weitbrecht und Liskovius, an der Isochronie der Pulse zweifeln – eine Laufzeitbestimmung wird vorgenommen, wodurch die erste Gruppe durch die Erkenntnisse einer neuen zweiten Gruppe ersetzt wird. Zwischen 1828 und 1829 erscheinen im Rahmen einer dritten Gruppe von Forschungsbestrebun-

¹ Vgl. den vorangehenden Aufsatz „Assoziative sowie ästhetische Strukturen der Lehre vom Blutkreis-lauf im 19. Jahrhundert und die Auswirkungen auf die Visualisierung dieser Lehre“; zur Kurzbezeich-nung *Lehre vom Kreislauf* siehe auch dort Fußnote 2.

² Vgl. den vorangehenden Aufsatz, Fußnote 4.

gen die Untersuchungen Poiseuilles, in denen sowohl der Strömungswiderstand einer Flüssigkeit in Abhängigkeit von deren Viskosität und von den geometrischen Bedingungen erklärt³ als auch die Distension der Arterienwand bei Passage eines Pulses auf experimentellem Wege erwiesen werden.⁴ Diese dritte Gruppe wird von einer vierten Gruppe ergänzt, wenn zwischen 1829 und 1846 die Bemühungen einiger Physiologen sich auf eine Bestimmung der Kreislaufzeit bzw. auf die Bestimmung der Blutmenge im Kreislauf richten.⁵ Damit verbunden ist das Problem, wie das intravasale Volumen unter dem Einfluss verschiedenster Kräfte (Endosmose, Imbibition, hydrostatischer Druck) konstant gehalten werden kann.⁶ Erst wieder 1845 wird deutlich an die Ergebnisse aus der zweiten und dritten Gruppe angeknüpft; Frey unternimmt im Anschluss an die zweite Gruppe eine Studie zum Verhalten von Schlauchwellen und schlägt eine Übertragung dieser besonderen Situation auf die Verhältnisse am Kreislauf vor. 1850 erscheint Volkmanns *Hämodynamik*,⁷ eine Arbeit, welche besonders der dritten Gruppe zuzuschlagen ist; sie mag Weber einen Anlass gegeben haben, seine früheren Arbeiten zur Pulslehre mit denjenigen aus den drei nachfolgenden Gruppen in einer integrativen Arbeit zur Kreislauflehre zusammenzuführen. Insgesamt können also vier, sich untereinander ergänzende Gruppen auseinandergehalten werden, die durch Webers Schema unter ein Dach gebracht werden; jede dieser Gruppen bedeutet einen abgrenzbaren Rahmen einer speziellen Theorie; jede Gruppe hat zudem ihre personalen Repräsentanten, von denen einige genannte wurden, die aber in jedem Falle durch andere Namen ergänzt werden könnten. Was aber in diesem Zusammenhang zunächst interessiert, ist die Positionierung Webers: Weber steht sowohl – als Gegner der Lehre von der Isochronie – am Anfang dieser ganzen Entwicklung als auch an ihrem vorläufig erreichten Ende, wenn er 1850 die synthetische Leistung vollbringt, eine sinnvolle Zusammenschau der Theorien vom Flüssigkeitstransport und -haushalt zu Wege zu bringen. Dennoch sind in beiden Fällen assoziative Stützen vorhanden – zu Beginn Weitbrecht und Liskovius, am Ende die Arbeit Bergmanns in Wagners Handwörterbuch. Auch die ausdrückliche Bestrebung Webers, eine Mathematisierung der Schlauchwellen herbeizuführen, mündet in einigen Andeutungen, wird aber nicht bis zu einer fassbaren Formel konkretisiert. Weber setzt also – bildlich gesprochen – ein Mosaik zusammen, zu dem er zunächst nur einige Fragmente lieferte, viele aber von anderer

³ Der Reflex dieser Untersuchungen findet sich in der *Lehre vom Kreislauf*, S. 199.

⁴ Vgl. Poiseuille, *Recherches sur l'action des artères dans la circulation artérielle*, (Magendie) *Journal de physiologie expérimentale et pathologique* 9 (1829), pp. 44-52; diese wichtigen Untersuchungen erwähnt Weber *nicht*.

⁵ Dass Weber diese Untersuchungen kannte, geht aus einer Stelle seiner Abhandlung von 1850/52 hervor (vgl. *Lehre vom Kreislauf*, Fußnote S. 193 f. und darin besonders der letzte Satz). Wichtig waren in diesem Zusammenhang die Arbeiten eines E. Hering (*Zeitschrift für Physiologie* 3 [1829], S. 1-45, und 5 [1833], S. 58 ff.) bzw. eine aktuellere und übersichtliche Arbeit von F. A. Huettenhein, *Observationes de sanguinis circulatione haemodromometri ope institutae*, (Diss. Univ.) Halle 1846. Eine Methode zur Messung der Blutmenge geht zurück auf G. Valentin, *Versuche über die in dem thierischen Körper enthaltene Blutmenge*, *Repertorium für Anatomie und Physiologie*, Bd. 2, 1837, S. 281-293.

⁶ Vgl. in der *Lehre vom Kreislauf* die S. 192-195.

⁷ Vgl. den vorangehenden Aufsatz, Fußnote 6.

Seite hernimmt, und zu welchen beziehungslos vereinigten Fragmenten er dann in einem zweiten Schritt auch den Plan liefert, nach dem sie anzuordnen seien.

Diesen Plan, aus dem das Kreislaufschema erwuchs, gilt es als nächstes zu verstehen. Dazu wurde vorbereitend gesagt, dass in Bezug auf Webers Lehre eine Ebene der theoretischen Reflexion, eine zweite Ebene der Anschauung sowie eine dritte des realen Organismus unterschieden werden können. Der theoretischen Instanz bzw. den fünf Theorie-Gruppen und ihren Beziehungen untereinander sind ästhetische Prinzipien beigeordnet, von welchen die funktionale Verbindung zwischen Theorie, Schema und organischer Realität letztendlich getragen wird. Erst diese Prinzipien – Gleichmaß, Gleichgewicht und Symmetrie – ermöglichen die Annahme eines Kreislaufschemas, welches – gemessen an Theorie und Realität – immer nur ein hybrides Objekt wird darstellen können. Dieses hybride Symbol, das Schema, ist aber nur eine Form der Anschauung; denn es wurde in der Analyse auch gezeigt, dass in der *Lehre vom Kreislauf* neben das anschaulich gegebene Kreislaufschema auch das visualisierte Kreislaufschema sowie das konkrete Kreislaufmodell treten. Viele Anzeichen sprechen dafür, dass Weber Versuche unternommen hat, sein Kreislaufschema in die konkreten Formen eines Modells zu bringen.⁸ Viel gewichtigere Indizien sprechen aber dafür, dass ein vollkommen funktionstüchtiger Apparat nicht hat erzielt werden können; denn die von Weber geforderte Existenz einer negativen Welle auf venöser Seite würde eine Saugkraft des Herzens voraussetzen, die vom Aufbau aber nicht erwartet werden kann, und ebenso setzt die Regel vom unveränderlichen Mitteldruck eine Saugkraft der venösen Seite voraus, die wiederum nicht durch den Aufbau gegeben ist. Es hat also anscheinend keine sorgfältige Beobachtung am Modell-Apparat stattgefunden. Immerhin wird durch diesen Blick der Lehre an der Realität vorbei eine besondere Form einer überlagerten ästhetischen Dimension geschaffen, die den Wert des Schemas zwecks Verwendung als zukünftige organismustheoretische Grundlage nicht mindert. Weber selbst ergeht sich entsprechend auch in einer Reflexion über die Mechanismen des Volumenhaushaltes der Gefäße – eine auf ästhetischem Wege eingeführte Heuristik, die vom Schema in keiner Weise direkt nahegelegt wird; das Schema schärft höchstens das Bewusstsein dafür, dass ein intakter Kreislauf eine Regulation der Füllung in irgendeiner Form voraussetzt. Aus diesen sämtlichen Konstellationen folgt die Berechtigung, den Begriff vom ‚visualisierten Kreislaufschema‘ beizubehalten und nicht umzubenennen in ‚visualisiertes Organismusmodell‘; denn das Modell als bedienbaren Apparat hat es wohl nicht in zufriedenstellender Form in Webers Labor gegeben. Das visualisierte Kreislaufschema der Lehre ist folglich ein symbolischer Hybrid in direkter Korrespondenz zum Schema in der Anschauung, an welchen die Dominanz der Theorie gegenüber der Realität des Organismus zum Ausdruck kommt; es ist ohne direkten Anspruch auf eine Realisation durch ein konkretes Modell bzw. einen Apparat; es vereinigt in sich genau die Kreise von Theorien, die um die Mitte des 19. Jahrhunderts weitgehend etabliert waren und welche in dieser Analyse zu vier Gruppen geordnet wurden. Abstriche an die Realität werden zugunsten der Erfüllung der drei ästhetischen Prinzipien hingenommen. Damit übereinstimmend ist der Befund, dass die Abbildungsvorschrift zwi-

⁸ Vgl. z. B. die Fußnoten in der *Lehre vom Kreislauf*, S. 183, 186 f., 190.

schen Theorie und hybridem Schema sehr viel dichter und somit ausgeprägter ist als zwischen Schema und Organismus.

Der Plan Webers zu einem Kreislaufschema lässt sich nun endlich bestimmen: Das Schema dient dem Zweck, vorhandene theoretische Elemente so in Beziehung zu setzen, dass daraus eine Erklärung für den Transport von Flüssigkeit in einem rückläufigen System aus Röhren erwachsen kann.⁹ Die Beziehungen unter den theoretischen Gruppen erfüllen die drei ausgewiesenen ästhetischen Prinzipien. Soweit also konnte die wissenschaftstheoretische Aufgabe der Analyse eingelöst werden; es verbleibt jedoch für den folgenden Abschnitt noch die Aufgabe, einen Nachweis zu erbringen, dass der soweit entwickelte Charakter des von Weber geschaffenen hybriden Symbols einen gehörigen Anklang bei der Tradierung physiologischer Lehren gefunden hat. Die noch zu belegende erfolgreiche Karriere dieses Symbols macht im Vorfeld bereits zum einen die These wahrscheinlich, dass eine von Weber abweichende Charakteristik des hybriden Symbols die Teilnahme an der Tradierung weniger deutlich hätte werden lassen, zum anderen die komplementäre These, dass die hervorgerufene positive Resonanz auf die Visualisierung der Weber'schen Lehre eine Grundhaltung der physiologischen Forschung widerspiegelt, die ebenso deutlich in dem Weber'schen symbolischen Hybrid als einem Teil des Ganzen zum Ausdruck kommt.

2. Rezeptionsgeschichte des Weber'schen Kreislaufschemas aus der *Lehre vom Kreislauf*

1855 berichtet K. Vierordt (1818-1884) aus Tübingen über Webers Kreislaufschema;¹⁰ gleich zweimal ist das visualisierte Schema in enger Anlehnung an die Vorlage von 1850 in den fünfseitigen Text eingestreut. In Vierordts Visualisierung ist das kapillare Bett, der ‚Schwamm‘ bei Weber, durch ein Sieb aus zusammengelegtem Tüll ersetzt; die Beschriftung ist fast identisch mit der Vorlage; als Material für den venösen und arteriellen Schenkel wird ein Stück Dünndarm vorgeschlagen – eine Konstruktion, die der Weber'schen Intention eigentlich widerspricht, die aber ohne Einschränkung empfohlen wird:

⁹ Dass dem Schema eine heuristische Bedeutung innewohnt, kann hier nur kurz angedeutet werden: Die Beschränkung des komplexen Organismus auf das reduzierte Schema bietet den Vorteil, die Diskussion unter den theoretischen Gruppen ohne Abschweifungen gestalten zu können. Die Einfachheit des Schemas, in dem nur gewisse, ausgewählte Momente des Organismus auftauchen, lässt aber auch Variationsmöglichkeiten zu, die in gezielter Weise dem Ausgangsschema nach und nach zugefügt werden könne, so dass progressiv eine Annäherung an die Komplexität des Organismus zumindest möglich erscheint. Auf dem Boden also von Beschränkung und Einfachheit entsteht der Antrieb, Veränderungen am Schema vorzunehmen; eine Fokussierung und Akzentuierung der Forschungsinteressen wird erreicht. Andererseits könnte dem Schema immer wieder nachgesagt werden, dass es eben nicht auf die realen Verhältnisse direkt übertragbar sei; so werden die Grenzen des Schemas, seiner Entwicklungsmöglichkeiten und damit der wissenschaftlichen Methode aufgezeigt. Das Schema entwickelt sich also unter einer doppelten Heuristik – Antrieb zur Integration des Möglichen und Anerkennung der Grenzen zum Realen.

¹⁰ K. Vierordt, *Die Lehre vom Arterienpuls in gesunden und kranken Zuständen. Gegründet auf eine neue Methode der bildlichen Darstellung des menschlichen Pulses*, Braunschweig 1855, S. 52-56.

„Die Einrichtung dieses Apparates gleicht also vollkommen der hydraulischen Maschine unseres Organismus [...]. Hinsichtlich näherer Einzelheiten und mancher, für die Kreislaufphysiologie wichtigen Bemerkungen, die zu weiteren Forschungen in hohem Grade anregen müssen, verweise ich auf E. H. Webers Abhandlung (Müller's Archiv, 1851), deren Studium Jedem unerlässlich ist, welcher sich mit diesen, auch die Pathologie so sehr interessirenden Fragen vollkommen vertraut machen will.“

1857 übernimmt E.-J. Marey (1830-1904), damals Interne am Hôpital Cochin in Paris, die sphygmographische Methode der Pulsmessung von Vierordt und vergleicht sie mit der tonometrischen von Hales und Poiseuille; ganz im Gegensatz zu den vom Titel der Arbeit¹¹ ausgehenden Erwartungen werden Untersuchungen zur Ausbreitung von Schlauchwellen an einfachen Schläuchen vorgestellt; die Beiträge Webers werden nicht gesondert hervorgehoben. Vornehmliches Anliegen ist es, eine klinisch verwertbare Lehre vom Puls zu entwickeln.

Von Donders (1818-1889) Beitrag zur Weber-Volkmann-Debatte in dessen Physiologischem Lehrwerk von 1859 wurde schon berichtet;¹² im „§ 31. Schema des Blutumlaufs nach Weber“ wird das visualisierte Kreislaufschema fast originalgetreu wiedergegeben, obwohl auch hier ein Darmabschnitt als Material für die Wellenleiter vorgeschlagen wird; dieses Schema sei ein sinnreiches Hilfsmittel, um „daran ein paar gewichtige den Blutumlauf betreffende Betrachtungen zu knüpfen“. Donders erwähnt nicht die Lokalisation des Atriums innerhalb des Schemas. Kritisiert wird dafür gemeinsam mit den Kollegen Fick und Brunner die Regel vom konstanten mittleren Druck. Zu relativieren sei auch die zu abrupte Reflexion der Wellen am Schwamm des Modells, wo doch die Verhältnisse im Organismus stetige Übergänge zeigen. Eine negative Talwelle wird für die venöse Seite des Modells zwar angenommen, für den Organismus aber auf die „grossen Venenstämme“ eingeschränkt.

1863 hat Marey sich mit dem Weber'schen Kreislaufschema bekannt gemacht¹³ und entwickelt auf dieser Grundlage eine Perspektive zukünftiger Forschungen, die in einer sukzessiv zu steigenden Imitation der natürlichen Verhältnisse bestehen soll:

«Le schéma de Weber vient de nous montrer, d'une manière très claire et très simple, le rôle fondamentale de chacun des éléments principaux de la grande ou de la petite circulation. Sans doute, il y a loin de là à une imitation fidèle du mouvement du sang, à la reproduction exacte des phénomènes physiques liés à la circulation, mais cela suffit déjà pour faire comprendre l'action des différents or-

¹¹ E.-J. Marey, *Recherches hydrauliques sur la circulation du sang*, Annales des sciences naturelles 8 (1857), pp. 329-364; p. 348 ein einziger Hinweis auf Webers Schrift *De pulsu, resorptione et tactu* (Leipzig 1834). Vgl. auch die spätere Arbeit desselben Physiologen *Mouvements des ondes liquides dans les tubes élastiques*, Journal de physique théorique et appliquée 4 (1875), pp. 257-264; hier wird ein „explorateur de l'onde“ eingesetzt, der sich an den Mechanismus des Stethoskops anlehnt.

¹² F. C. Donders, (Übers. F. W. Theile), *Physiologie des Menschen*, Leipzig 21859, S. 60-142; S. 84-88 bezieht sich auf das Weber'sche Kreislaufschema.

¹³ E.-J. Marey, *Physiologie médicale de la circulation du sang: basée sur l'étude graphique des mouvements du coeur et du pouls artériel avec application aux maladies de l'appareil circulatoire*, Paris 1863, pp. 31-34; p. 31 das visualisierte Kreislaufschema Webers mit leichten Abänderungen im Stil und in der Beschriftung; p. 164 eines der frühesten Kreislaufmodelle Mareys.

ganes, coeur, artères, capillaire et veines. La voie est ouverte: il sera désormais facile d'imiter avec plus de perfection la disposition anatomique de l'appareil circulatoire; cela conduira à une imitation plus parfaite de la fonction et souvent à la reproduction absolue de certains phénomènes de la circulation sanguine, tels que le pouls, les bruits du coeur et des vaisseaux, etc. [...].

Ce schéma de Weber nous fournit la division la plus naturelle qu'on puisse choisir pour l'étude des phénomènes qui se passent en chaque point de l'appareil circulatoire.»

Für ein solches Forschungsprogramm ist es aber umso erstaunlicher, dass Marey nicht den Mechanismus des Atriums nach Weber in seine Ausführungen aufnimmt, dass er nicht auf den Mechanismus der Schlauchwellen eingeht und die Regel vom mittleren Druck nicht diskutiert. Als Material für den Wellenleiter schlägt er einen Ziegendarm vor.¹⁴ 1865 jedoch präsentiert Marey ein Modellherz aus Kautschuk,¹⁵ an dem Vorhof, Ventrikel und Klappen vorhanden sind; der Ventrikel ist von einem engmaschigen Seidennetz so umhüllt, dass über die Fernwirkung eines manuell zu bedienenden Hebels der Mechanismus der Kontraktion ausgelöst werden kann; die ausgeworfene Flüssigkeit wird über einen Auffangtrichter dem Vorhof wieder zugeführt.¹⁶ Dieses Modell dient laut Marey der Imitation von klinischen Palpations- und Auskultationsbefunden und wird schließlich zur experimentellen Kardiographie eingesetzt, um einen Vergleich mit der klinischen Kardiographie zu ermöglichen.

Eine Arbeit Diesterwegs,¹⁷ deren Titel einen Bezug zum Weber'schen Schema erwarten lässt, muss in Ermangelung desselben trotz sonstiger interessanter historischer Bemerkungen übergangen werden; wenn auch eine mechanische Kenntnis der Puls-welle vorausgesetzt wird, so bemüht sich Diesterweg doch besonders um eine Darstellung der Wechselwirkungen von großem und kleinem Kreislauf und von der Respirationsbewegung auf den kleinen Kreislauf. Darin kommt immerhin die ausladende heuristische Tragweite der Weber'schen Arbeit zum Ausdruck.

¹⁴ Die Tatsache, dass Marey von einem „Ziegendarm“ spricht – obwohl Weber an keiner Stelle in seiner *Lehre vom Kreislauf* solche Angaben macht – ist ein Indiz, dass Marey eher mit Volkmanns *Hämodynamik* vertraut war als mit der Weber'schen Lehre; der Ziegendarm wird in der *Hämodynamik*, S. 85, von Volkmann empfohlen; Marey nimmt in seinen Arbeiten aber kaum auf Volkmann Bezug. Auch scheint Marey manche Einzelheiten am Weber'schen Schema übersehen zu haben – wie jenem auch einige theoretische Überlegungen bei Weber entgehen; dieses Vorbeipfeilen an Webers Lehre rührt von der sehr verschiedenen Intention her, unter der Marey sein Forschungsprogramm gestaltet.

¹⁵ E.-J. Marey, *Études physiologiques sur les caractères du battement du coeur*, Journal de l'anatomie et de la physiologie normales et pathologiques de l'homme 2 (1865), pp. 276-301, 416-425; p. 417 das „coeur schématique“.

¹⁶ Diese Art der Rezirkulation nennt sich halboffene Zirkulation, da die Kontinuität der Gefäße unterbrochen ist, nicht aber die Rückführung der ausgeworfenen Flüssigkeit.

¹⁷ A. Diesterweg, Über die Anwendung der Wellenlehre auf die Lehre vom kleinen Kreislauf und über die Unterschiede der Blutbewegung in beiden Kreislaufhälften, Berliner Klinische Wochenschrift 4 (1867), S. 365-367, 377-379, 385-388, 395-397.

1868 stellt Marey erneut das Weber'sche Schema vor;¹⁸ angesprochen werden die Umverteilung des Flüssigkeitsvolumen von der arteriellen auf die venöse Seite, die damit verbundenen Druckunterschiede, die Pulswelle, die nur im arteriellen Bereich zu spüren sei, und das kontinuierliche Strömen im Bereich der Kapillaren bzw. Poren des Schwammes. Wenige Seiten darauf wird ein Modell präsentiert, mit dem Marey seine frühere Ausführung revidiert; das neue Kreislaufmodell besteht aus Kautschukelementen für Ventrikel und Vorhof; der Ventrikel befindet sich in einem Glasbehälter und wird über Druckluft komprimiert; der Vorhof ist manuell zu komprimieren; eine halb-offene Rezirkulation ist vorgesehen. Von Bedeutung ist die vom Apparat ermöglichte Modellierung der graphisch verzeichneten Pulscurven in der Ausstrombahn des Ventrikels. Diese Grundlage wird 1875 aufgegriffen,¹⁹ um an dem bereits bekannten Kautschukherz Kontraktionen sowohl des Vorhofs als auch des Ventrikels zu imitieren. Der manuelle Antrieb einer Achse mit Exzentrerscheiben, Schwungrad und Kurbel reicht aus, um Netze, die um beide Herzkammern gezogen sind, über Seilzüge in rhythmische Bewegung zu versetzen – zu verengen oder erweitern zu lassen. Die Auswurfbahn des Ventrikels imitiert wiederum die Aorta und an dieser werden Pulsregistrierungen vorgenommen, um eine evtl. Übereinstimmung mit dem Pulsverlauf am Organismus zu untersuchen. An diesem Apparat ergeben sich somit vielfältige Möglichkeiten, diverse Parameter zu variieren, um die Angleichung an die korrespondierenden Registrierungen am Organismus zu erzielen; Marey nennt dies eine „vérification du schéma“ und meint, auf diese Weise eine ursprüngliche Intention Webers in verfeinerter Form an einem weniger untauglichen Apparat realisiert zu haben:

«L'idée de Weber qui, le premier, imagina de reproduire, dans un système de conduits élastiques, les phénomènes de la circulation, me semble une de celles qui seront les plus fécondes en application à la physiologie.»

Allerdings sind die Diskrepanzen der von Marey beschworenen Anwendungen im Gebiete der Physiologie im Zusammenhang mit der gegebenen *Analyse der Lehre vom Kreislauf* bereits offensichtlich; Weber war an allgemeinen Gesetzmäßigkeiten für ein geschlossenes Kreislaufschema interessiert, Marey zielt an seinem halb-offenen Zirkulationsmodell viel deutlicher auf die Schaffung einer sowohl klinischen als auch physiologischen Pulslehre. Die originäre Intention Webers wird dafür in zeitgenössischen Arbeiten deutlicher akzentuiert in der Arbeit eines Schülers aus dem Leipziger Laboratorium C. Ludwigs, die nur ein knappes Jahr später erschien.²⁰ Dieses Weber'sche Modell nach

¹⁸ E.-J. Marey, *Du mouvement dans les fonctions de la vie*, Paris, 1868, pp. 48-63; p. 50 die Abbildung des Weber'schen Kreislaufschemas; p. 53 das neu entwickelte Kreislaufmodell; p. 56 das Herz von 1863, welches in einen Netzbeutel eingehüllt ist.

¹⁹ E.-J. Marey, *VI. Nouveau schéma de la fonction du coeur*, in: *Physiologie expérimentale: travaux du laboratoire de Marey*, Bd. 1, Paris 1875, pp. 63-85

²⁰ E. Cyon, *Methodik der physiologischen Experimente und Vivisektionen*, Giessen 1876, S. 78-85; auf S. 78 f. wird das halb-offene Kreislaufmodell Webers aus der *Widerlegung der Einwendungen Volkmanns* (zur Kurzbezeichnung siehe den vorausgehenden Aufsatz „Assoziative sowie ästhetische Strukturen der Lehre vom Blutkreislauf im 19. Jahrhundert und die Auswirkungen auf die Visualisierung dieser Lehre“, Fußnote 8) vorgestellt, welches aber genauso auf die frühere Darstellung durch Bergmann in Wagners Handwörterbuch zurückgehen könnte; auf S. 80 f. wird ein Demonstrationsversuch Mareys

Cyon besteht aus je einer Kautschukblase für Vorhof bzw. Ventrikel; der Ventrikel wird also nicht von einem Darm vertreten; auch die Ventile des Ventrikels sind aus Kautschuk hergestellt;²¹ die Wellenleiter sind wieder die Kautschukröhren nach Weber; die Pulswellen lassen sich mit einem Sphygmographen nach E. Mach (1838-1916) und auch akustisch durch einen Glockenton registrieren; demonstriert werden können so die Berg- und Talwellen. Auf arterieller und venöser Seite befinden sich Röhrenmanometer, so dass auch die arteriovenöse Druckdifferenz bei unterschiedlichen Graden der Herztätigkeit erfasst werden kann; sogar ein Maß für die Herzarbeit kann bestimmt werden. So könne ferner auch die Unterscheidung von Wellen- und Strömungsbewegung dargelegt werden; ungünstig jedoch sei es, an dem Apparat die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen zu messen, den Höhenverlust einer Pulswelle mit der Ausbreitung festzustellen oder die Reflexion bzw. etwaige Interferenzen von Schlauchwellen auszumachen. Die Beschreibung des Apparats und die Besprechung der zugehörigen Theorie lassen keinen Zweifel darüber aufkommen, dass eine Realisation des Weber'schen Schemas auf gelungene und angemessene Weise durchgeführt worden ist.

1878 erscheint Mareys aufwändigstes Kreislaufschema – wieder mit der Intention, die den Pulsverlauf bestimmenden Parameter in normalen und pathologischen Fällen anhand des Modellapparates ausfindig zu machen.²² Die Situationen z. B. von Aorteninsuffizienz, -aneurysma und Mitralstenose sollen simuliert werden können. Das Modell-Herz von 1875 liegt zu diesem Zweck in doppelter Ausführung vor, und beide ‚Hälften‘ sind durch einen großen sowie kleinen Kreislauf verbunden. Die Kapillaren sind durch mehrere, englumige Schläuche vertreten, in deren Verlauf Hähne eingelassen sind, um den Widerstand zu regulieren. Der manuelle Antrieb für die Kammern ist im Wesentlichen derselbe – z. B. ist die Kurbel durch ein Handrad ersetzt oder die eigentliche Kompression der Kautschukblasen erfolgt durch schwenkbar gelagerte Holztafeln, welche die Kammern wie zwischen Tür und Wand einengen und wieder freigeben.

Zu einem Standard physiologischer Lehre wird das Weber'sche Schema in einem Wörterbuch-Artikel von Rollett aus Graz.²³ Das konkrete Modell ist kaum präsent; als Material für Ventrikel und große Gefäße wird Kautschukrohr vorgeschlagen, nur die Ventile werden wie bei Weber aus Darm hergerichtet. Ein Vorhof wird erst gar nicht ins Gespräch gebracht. Die Visualisierung ist großteils wie bei Weber gehalten – sowohl im Zeichenstil als auch in der Beschriftung – jedoch fehlt der Fülltrichter; je ein Röhrenmanometer ist dem arteriellen sowie dem venösen Schenkel aufgepfropft worden. Die Lehre besteht darin, einen Begriff von den dynamischen Gleichgewichtsbedingun-

besprochen; auf S. 82-85 wird von den Ausführungen zu dem Weber'schen Zirkulationsschema eingenommen. Zu diesem Band gehört die Tafel XI aus Cyons Atlas zur Methodik der physiologischen Experimente und Vivisektionen, Gießen 1876; die Figur 4 stellt einen wirklichen Apparat vor, mit dem das Weber'sche Kreislaufschema realisiert worden zu sein scheint.

²¹ Eine in den Ventrikel ragende Kautschukröhre wird durch einen Stopfen verschlossen, und die Wandung des so gebildeten Hohlzylinders wird schräg eingeschnitten.

²² E.-J. Marey, VIII. Sur un nouveau schéma imitant à la fois la circulation générale et la circulation pulmonaire, in: *Physiologie expérimentale: travaux du laboratoire de Marey*, Bd. 4, Paris 1878, pp. 233-252.

²³ A. Rollet, *Physiologie der Blutbewegung, Hydraulische Einleitung zur Lehre vom Blutstrom in den Gefäßen*, *Der Strom in elastischen Röhren*, 5. E. H. Weber's Kreislaufschema, in: L. Hermann (Hrsg.), *Handbuch der Physiologie*, Bd. IV.1, Leipzig 1880, S. 222-225.

gen des Kreislaufs zu vermitteln. Die Existenz von Berg- und Talwellen und ihr Ausbreitungsbereich werden erklärt. Von einem Ausbau des Schemas zu einem Modell für künftige Zwecke der Forschung wird schließlich abgeraten:

„Wir haben uns auf das beschränkt, was E. H. Weber's Kreislaufschema zu erläutern vermag und das ist vornehmlich die Ursache der Strombewegung und die Nothwendigkeit der Unterscheidung der Strom- und Wellenbewegung.

Auf eine Diskussion dessen, was das Schema von dem im Organismus vorliegenden Verhältnissen nicht zu erläutern vermag, hier einzugehen, halten wir [für] überflüssig. Modelle sind in der Regel nur im Stande, gewisse fundamentale Thatsachen zu erläutern. Spricht man mehr von ihnen an, dann bringen sie leicht die Gefahr, unrichtige Vorstellungen zu erwecken. In der angeführten Beschränkung ist E. H. Weber's Kreislaufschema in seiner Einfachheit unübertroffen und weitaus vorzuziehen später construirten Schemen des Kreislaufs, z. B. jenem von Marey, welches namentlich in Bezug auf die Action des Herzens zu den unrichtigsten Vorstellungen Veranlassung zu geben geeignet ist.“

Eine davon abweichende Haltung gibt Marey 1881 deutlich zu erkennen:

«Pour traduire sous une forme saisissante des lois du mouvement du sang, Weber imagina un appareil fort simple qu'il a nommé schéma de la circulation et qui en reproduit en effet quelques-uns des phénomènes les plus caractéristiques. [...] Le schéma de Weber était insuffisant, mais les services qu'il a rendus m'ont engagé à en construire d'autres dans des conditions moins imparfaites. Après un grand nombre de tentatives et de perfectionnements successifs, j'ai réussi à obtenir un appareil qui imite d'une manière satisfaisante les phénomènes mécaniques de la circulation.»²⁴

Das in dieser Arbeit mit Optimismus vorgestellte Kreislaufmodell entspricht in den mechanischen Prinzipien dem Vorgänger von 1878 – nur dass der gesamte Aufbau technisch verfeinert wurde, so dass Übersichtlichkeit und Kompaktheit gegeben sind; der Antrieb des Apparates wird von einem Motor übernommen, der mit dem früheren Handrad über einen Riemenantrieb verbunden ist. Diesem Modell hat Marey über längere Zeit keine weitere Perfektionierung mehr angedeihen lassen, da dasselbe 1901 nochmals zusammen mit reichhaltigen experimentellen Befunden veröffentlicht wird.²⁵

²⁴ E.-J. Marey, *La circulation du sang à l'état physiologique et dans les maladies*, Paris 1881, pp. 15 f.; pp. 1-20 (Chapitre I.) allgemeine Grundlagen der Lehre vom Kreislauf; p. 15 das Weber'sche Schema, welches fast originalgetreu abgebildet ist bis auf folgende Abweichungen: Der rechte Vorhof ist nicht berücksichtigt, das Herz ist als Kautschuk-Ampulle gebildet und die Wellenleiter seien aus Ziegeldarm zu verfertigen; p. 18 das Modell Mareys von 1878; pp. 699-724 Registriermethoden; pp. 710-713 Vorstellung eines ‚nouveau schéma pour imiter les phénomènes normaux ou pathologique de la circulation‘; pp. 713-724 Anwendungen des neuen Kreislaufmodells.

²⁵ M. E. Meyer, *Circulation du sang dans les vaisseaux, Pression et vitesse, pouls et sphygmographie*, in: D'Arsonval, Chaveau, Gabriel, Marey (Hrsg.), *Traité de physique biologique*, Bd. 1, Paris 1901, pp. 355-404; p. 356 die Abbildung von Mareys Schema von 1878; p. 364 die Abbildung von Mareys Schema von 1881.

Für die anschließende Zeit zwischen 1880 und 1910 können vereinfachend drei Entwicklungslinien unterschieden werden: Die eine ist zumeist in Lehrwerken der Physiologie vertreten – so wie in den bereits vorgestellten von Donders und Tigerstedt; diese Tradition setzt die Visualisierung des Weber'schen Denkschemas vom Kreislauf mit großer Konstanz fort, wozu generell anzumerken ist, dass – bis auf die Ausnahme bei Fick – die Visualisierung zumeist Webers Konzeption vom rechten Ventrikel und die Idee vom unveränderlichen Mitteldruck fallen lässt; der Ventrikel wird meistens als Kautschukblase dargestellt.²⁶ Die zweite Linie verfolgt eine Emanzipierung von den Vorgaben des Weber'schen Schemas und widmet sich ihren Forschungszwecken mit Intentionen, die denen des Physiologen Marey nahestehen. Marey kann unter diesen Vertretern gewissermaßen als derjenige betrachtet werden, der den Ausgang seiner Entwicklung bei Webers Schema fand, um jedoch an dasselbe andere Vorstellungen heranzutragen; er entwarf ein Modell, um diesen Prototypen nach und nach zu einem Imitat des Organismus zu transformieren; Marey konnte daher in diesem vakanten Bereich der physiologischen Forschung eigene Maßstäbe setzen; am Exempel dieser ausgereiften Modelle konnten andere Forscher Marey nachfolgen, ohne ihre Orientierung unbedingt an Weber zu nehmen. Die Modelle aus dieser Linie sind wegen vieler Eigenwilligkeiten schwer in eine vergleichende Untersuchung einzubeziehen, die im Falle Webers und Mareys noch recht ertragreich war. Es bleibt daher bei der Nennung einiger Repräsentanten, wie z. B. Hoorweg aus Utrecht, Salaghi aus Forlì, Stuart aus London, Basch aus

²⁶ A. Fick, *Medizinische Physik*, Braunschweig 1885, S. 99-159 [Würzburg]; L. Fredericq, J. P. Nuel, *Éléments de physiologie humaine*, Gand 1888 [Lüttich], p. 83 eine Abbildung des Schemas aus Marey 1878 und mit dem Kommentar: «Weber avait imaginé un schéma de la circulation, c'est-à-dire un instrument de démonstration, réalisant quelques unes des conditions fondamentales du mouvement du liquide dans l'appareil circulatoire de l'homme. Marey a repris cette idée; il a perfectionné le schéma de la circulation, au point d'en faire un véritable appareil de recherche. La fig. 42 montre un modèle d'appareil circulatoire en caoutchouc, verre, etc. reproduisant les principales particularités anatomiques de l'appareil circulatoire. Les instruments enregistreurs, sphygmographes, cardiographes, dromographes, etc. s'appliquent parfaitement sur ce schéma.»; I. Munk, *Mechanik des Kreislaufs*, in: *Physiologie des Menschen und der Säugetiere*, Berlin 1897, S. 50-53 [Berlin]; L. Fredericq, *Schéma de la circulation*, in: Ch. Richet (Hrsg.), *Dictionnaire de physiologie*, Bd. 3, Paris 1898, [Gand] p. 814 vermerkt der Autor: «E. H. Weber (*Arch. f. Anat. u. Physio.*, 1851, 497. Voir aussi H. H., I, 1, 222 [das sind Zitierfehler; das zweite Zitat müsste lauten: *J. H.*, IV, 1, 222^c und bedeutet *J. Hermann*, Bd. IV.1, S. 222]) eut le premier l'idée de reproduire dans un système de conduits élastiques les principaux phénomènes mécaniques de la circulation.»; M. v. Frey, *Kreislaufschema*, in: *Vorlesungen über Physiologie*, Berlin 1904, S. 81-83 [Würzburg]; Abbildung des Schemas auf S. 80 mit einem Vorhof als dünnwandigem Ballon und einem Ventrikel als Kolbenpumpe, die arteriellen Schläuche sind 10 m lang und dickwandig, die venösen Schläuche von größerem Lumen, jedoch dünnwandig, und vier Röhrenmanometer sind angebracht; R. du Bois-Reymond, *Physiologie des Menschen und der Säugetiere*, Berlin 1908, S. 58-65 [Berlin]; S. 60 das Weber'sche Schema mit Gummi-Ventrikel und ohne Vorhof; O. Langendorff, *Der Kreislauf des Blutes*, B. Die Blutbewegung in den Gefäßen, I. Triebkräfte des Blutstromes, in: *Lehrbuch der Physiologie des Menschen*, Leipzig 1909, S. 392-395 [Rostock]; Webers Schema auf S. 394, angelehnt an Rollet; das Schema als Abbildung findet sich trotz einiger Hinweise auf E. H. Webers Lehre *nicht* bei G. F. Nicolai, *Die Mechanik des Kreislaufs*, in: W. Nagel (Hrsg.), *Handbuch der Physiologie des Menschen*, Bd. 1. (Physiologie der Atmung, des Kreislaufs und des Stoffwechsels), Braunschweig 1909, S. 661 ff. [Berlin].

Wien, Henderson aus Yale oder Lodholz aus Pennsylvania.²⁷ Ein Großteil dieser neu aufblühenden Forschungsansätze widmet sich der Theorie der Wellenausbreitung in mit Wasser gefüllten Schläuchen.²⁸ In diesem Rahmen können auch die nur spärlich mit Zitaten ausgestatteten Arbeiten O. Franks nicht unerwähnt bleiben, die erst 1922 in einem geschichtlichen Rückblick den Anschluss an die Arbeiten der soweit besprochenen Physiologen suchten.²⁹ Interessanterweise widmen sich auch einige Modelle dieser Gruppe der Bedeutung des Lymphsystems für den Kreislauf – eine Frage, die in Webers Modell eine noch ganz untergeordnete Rolle spielte und bei Marey gar nicht zum

²⁷ J. L. Hoorweg, Über die Blutbewegungen in den menschlichen Arterien, Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere 46 (1890), S. 115-188 [Utrecht]; Abbildung eines halboffenen Kreislaufschemas S. 144; weitere Modellexperimente auf S. 166, 183 und 184; Hoorweg gibt eine sehr aufschlussreiche Übersicht betreffs der Entwicklung der Pulswellenlehre am seinem Kreislaufmodell; viele Resultate Webers finden ihre Bestätigung, z. B. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Pulswellen in Kautschukröhren; S. S. Salaghi, Schema del circolo sanguigno, Il raccoglitore medico 12 (1891), S. 10-17, 38-44, 78-87 und 106-114 [Forlì]; ein sehr eigenwilliges Schema für Versuchszwecke und zur Imitation von pathologischen Erscheinungen; T. P. A. Stuart, The interference kymoscope, an apparatus for demonstrating many of the phenomena of wave motion, The journal of physiology 12 (1891), pp. 157-159; *idem*, The circulation kymoscope, an arrangement for demonstrating many of the physical phenomena of the circulation, The journal of physiology 12 (1891), pp. 160-163 [Sydney]; aufwendiges aber anschauliches Demonstrationsgerät der wellenförmigen Ausbreitung des Druckes in elastischen Röhren; S. v. Basch, Allgemeine Physiologie und Pathologie des Kreislaufes, Wien 1892 [Wien]; Basch war Schüler C. Ludwigs; Abbildung des Modells S. 7; großer und kleiner Kreislauf sind unterschieden; S. 5 schreibt Basch: „Der Weg, den eine solche Untersuchung zu nehmen hat, ist durch E. H. Weber vorgezeichnet. Es handelt sich dabei darum, nach dem Vorbilde eines Kreislaufs mit zwei Herzen ein Modell zu construiren und dieses für das Studium der allgemeinen Gesetze des Kreislaufs zu benützen. / Solche Modelle sind schon wiederholt construirt und beschrieben worden. So hat beispielsweise Marey ein ziemlich complicirtes Kreislaufmodell hergestellt, um an demselben die Pulsform unter normalen und pathologischen Verhältnissen zu studiren. / Eine solche Absicht lag mir vollständig ferne. Mir handelte es sich im wesentlichen darum, mit Hilfe eines Kreislaufmodells zu erfahren, wie sich unter verschiedenen Bedingungen die Drücke in den verschiedenen Abschnitten des künstlich hergestellten Kreislaufsystems ändern.“ Eine Diskussion dieses Modells bietet M. v. Frey, Rezension zu ‚S. v. Basch, Allgemeine Physiologie und Pathologie des Kreislaufes‘, Centralblatt für Physiologie 6 (1893), S. 618-619; Y. Henderson, Demonstration of working models of the circulation, American Journal of Physiology 23 (1904), pp. 10 ff. [Yale]; E. Lodholz, A circulation schema, University of Pennsylvania medical bulletin 23 (1910/11), pp. 75-85 [Pennsylvania]; eigenwilliges Schema; „This schema is capable of accurate work, easy to operate, not readily disordered, and demonstrates practically all of the more important hemodynamic principles.“

²⁸ Die Flut an spezifischen Arbeiten über Schlauchwellen kann nicht ausführlich erwähnt werden; darunter sind etwa Arbeiten von Ceradini, Fick, v. Frey, Grashey, v. Kries, Moens, u. a.

²⁹ O. Frank, Die Grundform des arteriellen Pulses, Zeitschrift für Biologie 37 (1899), S. 483-526; O. Frank, Kritik der elastischen Manometer, Zeitschrift für Biologie 44 (1903), S. 445-613; vgl. auch O. Frank, Hydraulische Versuche und Kreislaufmodelle, in: R. Tigerstedt (Hrsg.), Handbuch der physiologischen Methodik, Bd. 2.4, Leipzig 1911, S. 319-321. Auf S. 319 f. führt Frank aus: „Wenn Marey S. 16 der ‚Circulation‘ sagt, dass ein derartiges Schema ein vorzügliches Mittel zur Demonstration des Mechanismus der Zirkulation sei, so kann man ihm hierin vollständig beistimmen. Nicht so sehr aber seiner Behauptung, dass die Beobachtungen an einem solchen Modell für die Forschung wertvoll sind. Das kann doch nur insofern gelten, als man an dem Modell über die verschiedenen Gründe, die irgendeiner beobachteten Erscheinung zu Grunde liegen, aufmerksam gemacht wird.“

Tragen kam; auf eine Arbeit von Charles aus London kann in diesem Zusammenhang hingewiesen werden.³⁰ Die dritte Linie schließlich sieht ihren Auftrag in didaktischen Aufgaben. Cantalamessa aus Bologna, Porter aus Harvard – der Gründer der Harvard Bioscience, Inc. – oder Moritz aus München sind Vertreter dieser Richtung. Dazu gehören ferner verschiedenste Modelle, die an ausgewählten Ausschnitten des Kreislaufes bestimmte physiologische Verhältnisse klarlegen sollen, wie z. B. bei Fick aus Würzburg, der die Druckverhältnisse der Endstrombahn im Modellversuch mit verzweigten Röhrensystemen untersuchte.³¹

Für die Zeit nach 1910 kann die Einteilung der Traditionslinien nach einem ähnlichen Verfahren wie für die Zeit zwischen 1880 und 1910 erfolgen. Bis in die Gegenwart lässt sich der Anschluss an das Weber'sche Schema in Lehrwerken der Physiologie deutlich nachvollziehen.³² Auffällig ist, dass keine Anleitungen bzw. Andeutungen mehr

³⁰ T. C. Charles, Schema of the circulation of the blood and lymph, *Journal of anatomy and physiology* 22 (1887/88), pp 435-440 [London]; 3. Abbildung p. 436; sehr eigenwilliges Schema, welches auch den Lymphkreislauf demonstrieren soll; didaktisches Interesse; Vermeidung von Vivisektion.

³¹ I. Cantalamessa, Di un apparecchio schematico, che dimostra la circolazione del sangue e delle sue applicazioni alla fisiologia ed alla patologia, *Bullettino delle scienze mediche* 16 (1885), pp. 382-392 [Bologna]; Abbildung des an Marey 1881 angelehnten Apparates auf pp. 384 f.; zwei Vorhöfe und zwei Ventrikel aus halbsphärischen Kautschukschalen, die wie Blasebälge komprimiert werden; sehr kompakter mechanischer Antrieb wegen Einsatzes eines Exenter; auch veröffentlicht in *La riforma medica*, Napoli 2 (1886), pp. 562-563, 568-569; A. Fick, Ueber den Druck in den Blutkapillaren, *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Thiere* 42 (1888), S. 482-488 [ein Modell der Endstrombahn]; W. T. Porter, The laboratory teaching of physiology, *Science* 14 (1901), pp. 567-570 [Harvard] Porter war der Gründer der heutigen Harvard Bioscience, Inc.; er stellt keine Bezüge zu anderen Arbeiten her; Abbildung des Modells p. 569; Ventrikel als Gummiballon mit eigener Saugkraft bei Diastole; kein Vorhof; halboffenes Modell; als Kapillarsatz wird Bambusmark und eine parallel geschaltete Röhre mit Quetschhahn verwandt; Röhrenmanometer für Ventrikel und arterielle sowie venöse Schenkel; Kombination mit Sphygmograph; Porter schreibt: "With this apparatus the physical phenomena of the circulation may be learned thoroughly."; Moritz, Demonstration eines Kreislaufmodells, *Verhandlungen des Kongresses für Innere Medizin* 13 (1895), S. 395-407; dazu der umfangreiche Artikel Ueber ein Kreislaufmodell als Hilfsmittel für Studium und Unterricht, *Deutsches Archiv für klinische Medizin* 66 (1899), S. 349-434. [München]; dieses Modell sei ein „Apparat [...]“, der auch das Interesse des mit Kreislauf Fragen sich beschäftigenden Forschers zu erwecken vermag. Imitation von Druck-Volumen-Kurven und verschiedener Kreislaufpathologien.

³² R. Rosemann, Leonard Landois' Lehrbuch der Physiologie des Menschen mit besonderer Berücksichtigung der praktischen Medizin, Bd. 1, Berlin ¹³1913, S. 134 [Münster]; die Abbildung S. 134 wie bei A. Fick; R. Tigerstedt, *Die Physiologie des Kreislaufs*, Bd. 3, Berlin ²¹1922, S. 256-258 [Helsingfors]; Bezug auf Weber und Webers Schema durch eine rein gedankliche Nachstellung der originalen Situation von 1850/52; Carl J. Wiggers, *Physiology in health and disease*, Philadelphia ⁵¹1955, pp. 687-692; O. H. Gauer, *Kreislauf des Blutes*, in: Gauer, Kramer, Jung (Hrsg.), *Physiologie des Menschen*, Bd. 3, München 1972, S. 196-197, 201, 206-207, 224-225. [Berlin]; S. 207 der mathematisierte Windkessel; S. 224 das Weber'sche Kreislaufschema nach Ph. Broemser (vgl. dessen Lehrbuch der Physiologie, Leipzig ²¹1938, S. 153-173, S. 169); R. Busse, *Kreislauf*, in: *Physiologie des Menschen*, R. F. Schmidt und G. Thews (Hrsg.), Berlin 1995, S. 498-560; vgl. hierin besonders Abb. 24-12, S. 509, oder Abb. 24-6, S. 503, mit Fig. 10 bzw. Fig. 8 im Abbildungsteil der Weber'schen Arbeit von 1850; R. Busse, *Kreislauf*, in: *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie*, R. F. Schmidt, F. Lang, (G. Thews) (Hrsg.), Berlin 2007, S. 618-680; vgl. hierin besonders S. 626 (Pulswelle) und S. 630 (Kreislaufmodell); der Bezug auf Weber fehlt.

gegeben werden, um das Schema zu realisieren; welches Material zu wählen sei oder wie bestimmte Strukturen, z. B. die Ventile, zu konstruieren seien, ist kein Thema des Diskurses mehr. Das ursprüngliche Schema Webers ist zu einem reinen Denkschema geworden ohne Anspruch auf jegliche Handgriffe, die ein Modell herbeiführen sollen. Bei Tigerstedt z. B., obwohl er seine verbalen Ausführungen Schritt für Schritt am Weber'schen Schema orientiert, tritt sogar der Fall ein, dass auch die Skizze des Schemas fallen gelassen wird. Reins *Einführung in die Physiologie* ist eine der Ausnahmen,³³ in denen ein Bezug zu dem Weber'schen Schema nur noch schwer auszumachen ist; er taucht jedoch als Skizze ohne Benennung ihres Schöpfers in dem nachfolgenden Lehrwerk in den Artikeln von Busse wieder auf – wahrscheinlich unter dem Einfluss, den das physiologische Kompendium von Gauer, Kramer und Jung in den 1970er Jahren unvermeidbar entwickeln musste.

Kreislaufmodelle wurden im 20. Jahrhundert auch in laufende Forschungsprogramme integriert. Ein weniger beachtetes Modell von Krogh kommt 1912 unter ähnlichen Bedingungen zustande wie einst das Weber'sche – etwa in der Ausführung von Cyon; Krogh sammelt das kreislaufphysiologische Wissen seiner Zeit sorgfältig und konstruiert einen Apparat, um festzustellen, ob sich die einige Erscheinungen des Kreislaufes auf der Grundlage der physikalischen Eigenschaften der organischen Bestandteile hervorrufen lassen; eine wichtige Erscheinung ist zu jener Zeit die autoregulative Funktion des Kreislaufes ohne jegliche Interferenz seitens nervöser Mechanismen. Trotz aller äußerlichen Verschiedenheiten zu Webers Modell ist Kroghs Apparat³⁴ eine Wiederholung des älteren Schemas – nur dass die physikalischen Bedingungen stärker herausgearbeitet sind, z. B. durch die Regulationsmöglichkeiten von Stromwiderständen, durch eine motorisch angetriebene Herzfähigkeit³⁵ und durch eine separate Vorrichtung in Funktion eines Windkessels; auf organisch-repräsentativer Seite beinhaltet die Unterscheidung eines gewöhnlichen großen und eines portalen Kreislaufes, die rein passive Befüllung des Herzens und der geringere venöse Druck in Herznähe eine konzeptionelle Änderung im Vergleich zum Weber'schen Schema. Es verdient eine besondere Aufmerksamkeit, dass das Modell Kroghs wie eine komplementäre Ergänzung zu den reinen Schemata Hendersons³⁶ erscheinen kann. Das Verhältnis von

³³ H. Rein, *Einführung in die Physiologie des Menschen*, Berlin 1938, 1943, 1946 [Göttingen]; vgl. auch das Handbuch der American Physiological Society (Hrsg.), *Handbook of Physiology*, Bd. 1-3, Washington 1962, Section 2 (Circulation).

³⁴ A. Krogh, The regulation of the supply of blood to the right heart (With a description of a new circulation model), *Skandinavisches Archiv für Physiologie* 27 (1912), pp. 227-248 [Kopenhagen]; Krogh greift das Problem des Blutspeichers auf, der wesentliche Funktionen im Dienste der Druckregulation bei der Aufnahme von Muskelarbeit ist; das Modell Kroghs ist auf p. 246 abgebildet.

³⁵ Das Herz ist ein Ballon in einem starren Gefäß, so dass es von außen durch den Druck einer Wassersäule komprimiert werden kann. Wird die Verbindung zum Gefäß durch ein rotierendes Ventil rhythmisch unterbrochen, dann entstehen dazwischen Phasen, während derer das Herz passiv gefüllt werden kann. Diese Konstruktion enthält Anleihen aus einem Herztypus in der Konstruktionsreihe Mareys.

³⁶ Y. Henderson, Acapnia and Shock. VII. Failure of the Circulation, *American Journal of Physiology* 27 (1910), pp. 152-176; Y. Henderson, Acapnia and Shock. VIII. The Veno-Pressor Mechanism, *American Journal of Physiology* 46 (1918), pp. 533-553.

Henderson zu Krogh ist in gleichsam analog zu demjenigen von Weber zu Cyon bzw. Marey.

1936 präsentieren Starr und Rawson ein Zirkulationsmodell,³⁷ dessen Herz dem Frank-Starling-Mechanismus gehorcht,³⁸ um daran die Folgen einer einseitigen Herzinsuffizienz auf den Zustand der Drücke im Kreislauf zu untersuchen.

Reminiszenzen an Webers neunzig Jahre älterem Schema mit einigen technischen Zutaten aus der sechzig bis achtzig Jahre älteren Entwicklungsreihe bei Marey werden 1939 in einer Arbeit von Bayliss wachgerufen.³⁹ Die Skizze zum Modell ist so spärlich gehalten wie bei Weber; das einfache Herz mit zwei Ventilen wird wie bei Marey durch einen Exzenter-Antrieb zwischen zwei Brettchen komprimiert; ein gesonderter Windkessel ist nahe der Auswurfbahn angebracht; das Kapillarsystem besteht aus mehreren komprimierbaren Schläuchen; die venöse Seite wird von einem dünnen Schlauch gebildet; Drücke und Flüsse können gemessen werden. Auch die Charakterisierung des Modells ist eine Zusammenfassung der Einschätzungen der beiden früheren Physiologen, auf die Bayliss jedoch keinen namentlichen Bezug nimmt:

“The model to be described is an ideal separation of the components of the mammalian circulation which are responsible for the effects of ‘capacity’ and of ‘resistance’: The most essential point about it is that it has a closed circuit and is such that the rate of flow of fluid round it depends upon the degree of filling.”

In einer zweiten Hinsicht nähert sich Bayliss der Entwicklung Mareys an; denn fünfzehn Jahre später stellt Bayliss ein technisches Modell eines Herzens vor, um es dem älteren Kreislaufmodell von 1939 einzufügen.⁴⁰ Auch Marey ging in den 1860er Jahren nach einem frühen Kreislaufmodell unmittelbar zur Konstruktion eines mechanischen Herzens über.

Der Physiologe Wiggers nimmt über mehr als drei Jahrzehnte immer wieder Bezug auf labortaugliche Kreislaufmodelle⁴¹ und reiht seine daran vollzogenen Studien in die von Marey und Frank begründete Tradition ein. Wiggers Arbeit von 1938 formuliert prägnant einige der verschiedentlich geäußerten Intentionen, um mit einem solchen Modell zu arbeiten und dabei den *In-vivo*-Versuch zu flankieren. Das physiologi-

³⁷ I. Starr und A. J. Rawson, Changes occurring in a circulation schema when failure of one or both ventricles of the heart is simulated, *American Journal of Physiology* 116 (1936), p. 150 [Pennsylvania]; vgl. *American Journal of Medical Sciences* 191 (1936), pp. 739 ff.

³⁸ Der Frank-Starling-Mechanismus beruht auf zwei Mechanismen; eine passive diastolische Füllung des Herzmuskels wird gefolgt von einer Auswurfphase, deren Effektivität mit dem Grad der diastolischen Füllung steigt.

³⁹ L. E. Bayliss, A circulation model, *Journal of Physiology* 97 (1939), pp.429-432 [Edinburgh].

⁴⁰ L. E. Bayliss, A mechanical model of the heart, *Journal of physiology* 127 (1955), pp. 358-379 [Edinburgh].

⁴¹ C. J. Wiggers, Circulation in Health and disease, Philadelphia 1923, p. 67 [Cleveland]; in dieser Arbeit Bezüge zu Kreislaufmodellen aus dem Jahre 1919; C. J. Wiggers, The influence of vascular factors on mean pressure, pulse pressure and phasic peripheral flow, *American Journal of Physiology* 123 (1938), pp. 644-658 [Cleveland]; p. 645 eine Skizze des Modells; C. J. Wiggers, Physiology in Health and Disease, Philadelphia (1949, pp. 687-691) 1955, pp. 687-689 [Cleveland]; p. 688 eine Visualisierung des Modells von 1938.

sche Problem, aus peripherem Widerstand und arterieller Compliance den Druck- sowie den Strompuls herzuleiten, sollte nach seiner Ansicht im Modellversuch umgrenzt werden, da die Verhältnisse im Organismus durch die mannigfaltigsten Interferenzen – z. B. durch nervale Einflüsse auf sämtliche Parameter des Kreislaufs – zu komplex seien. Wiggers gelangt auch zu Aussagen, auf Grund welcher er gewissen Theoretikern keine uneingeschränkte Zustimmung zu ihren Folgerungen geben konnte; auch versetzte ihn das Modell in die Lage, unter verschiedenen Gruppen, deren experimentell erzielten Resultate untereinander unvereinbar waren, nur eine auszuwählen, deren Ergebnissen er beipflichten konnte.

In den 1960er Jahren ist es der Physiologe Blasius, der über ein Jahrzehnt lang einen Teil seiner Arbeit einem Kreislaufmodell widmet.⁴² So sehr er bestrebt ist, den Anschluss zu Wiggers herzustellen – seine Erwartungen an das Modell sind ganz andere; ihm geht es darum, einen Apparat einzurichten, der möglichst viele verschiedene Zustände des Kreislaufsystems nachzustellen vermag; zu dieser Familie von Phänomenen gehören auch einige pathophysiologische, z. B. die Aortenstenose und -insuffizienz, die Mitralkstenose und -insuffizienz, die Aortensklerose und der hypovolämische Schock.

Die soweit skizzierte zweite Traditionslinie für die Zeit nach 1910 kann durch einige wenige, hochspezialisierte Modelle ergänzt werden; so finden sich Modellstudien an der arteriellen Endstrombahn,⁴³ zum Lagewechsel⁴⁴ oder über den Einfluss des Lymphsystems auf den Kreislauf.⁴⁵ Solche und thematisch ähnliche Verzweigungen an

⁴² W. Blasius, Ein neues Kreislaufmodell (Modifikation nach Wiggers), Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere 268 (1958), S. 71 [Gießen]; W. Blasius, Ein neues Modell zur Darstellung der Druckabläufe im arteriellen Kreislauf unter verschiedenen physiologischen und pathophysiologischen Bedingungen, Pflügers Archiv 297 (1967), S. R96 [Gießen]; Tagungsbeitrag einschließlich einer Visualisierung des Modells in einem Farbtonefilm; W. Blasius, Ein neues Modell zur Darstellung der Druckabläufe im arteriellen Kreislauf unter verschiedenen physiologischen und pathophysiologischen Bedingungen, Verhandlungen der deutschen Gesellschaft für Kreislaufforschung 34 (1968), S. 222-228 [Gießen]; Fotografie des Modells S. 224; blutspeichernde Organe; Gummischlauch als Aorta; Herzballon über Exzenter angetrieben; Durchflussmesser; Aortendruck mittels Verstärkerelektronik; Pathologie; nochmals veröffentlicht in: Zeitschrift für Kreislaufforschung 57 (1968), S. 792-800; W. Blasius, Verbessertes Kreislaufmodell mit gleichzeitiger Registrierung von Druck und Stromstärke und den aus diesen durch Integration und Differentiation gewonnenen Werten unter verschiedenen physiologischen und pathophysiologischen Bedingungen, Pflügers Archiv 312 (1969), S. R151-152. [Gießen]; nochmals veröffentlicht in: Verh. Dtsch. Ges. Kreislaufforsch. 35 (1969), S. 319-320.

⁴³ W. R. Hess, Die Verteilung von Querschnitt, Widerstand, Druckgefälle und Strömungsgeschwindigkeit im Blutkreislauf, Einleitung und Historisches, in: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, A. Bethe, G. v. Bergmann, G. Embden, A. Ellinger (Hrsg.), Bd. 7.2, Berlin 1927, S. 904-906 [Zürich] mit kurzem Abriss der Weber-Volkman Debatte.

⁴⁴ H. C. Bazett, Factors in the causation of differential blood pressure, American Journal of Physiology 70 (1924), pp. 550-585 [Pennsylvania].

⁴⁵ F. Standenath, Ein Kreislaufschema mit besonderer Berücksichtigung des Transsudationsprozesses und des Lymphgefäßsystems, Pflügers Archiv 211 (1926), S. 391-402 [Graz] deutlicher Bezug zu Weber; Abbildung des Kreislaufschemas nach Weber auf S. 391; Ziel ist die Integration eines Transsudationsschemas, abgebildet auf S. 393; dieser Aspekt sei bei Weber nicht berücksichtigt worden: „Von allen schematischen Nachbildungen des Blutgefäßsystems, die noch jetzt in der Physiologie benutzt werden, ist wohl das klassische Kreislaufschema von E. H. Weber [...] das bekannteste, das sich hauptsächlich zur Erläuterung der Stromrichtung des Blutes innerhalb der geschlossenen Gefäßbahn und des

einem dominanten Entwicklungstamm sind schon von der vorangegangenen Untersuchung der entsprechenden Traditionslinie zwischen 1880 und 1910 her vertraut. Der Vollständigkeit halber sind abschließend noch solche Modelle nachzuweisen, die sich nach 1810 einem didaktischen Zweck verschrieben haben.⁴⁶ In dieser Traditionslinie ist ebenfalls leicht die Fortsetzung der entsprechenden Linie aus der Zeit zwischen 1880 und 1910 zu erkennen.

3. Wissenschaftstheoretische Bilanz aus der Analyse der Traditionslinien der *Lehre vom Kreislauf*⁴⁷

Vor dem Hintergrund der Entwicklungslinien, die im Anschluss an das Schema der *Lehre vom Kreislauf* haben aufgerollt werden können, gestaltet sich die Perspektive auf das ursprüngliche Schema in einer neuen Art: Weber hat offenbar mit seinem visualisierten Kreislaufschema eine fast vollständige Zusammenstellung wesentlicher Ele-

durch rhythmische Pressung des Herzschlauches entstehenden Spannungsunterschiedes zwischen Arterien- und Venendruck eignet. [...] Es ist das Grundprinzip des Weber'schen Kreislaufschemas verwertet, nur ist an Stelle des capillaren Anteils, der bei Weber durch ein Glasrohr mit Schwämmen dargestellt ist, das Transsudationsschema Körner-Klemensiewics eingesetzt; außerdem ist die Realisierung des Lymphgefäßsystems versucht worden.“ Dass Weber jedoch im Ansatz an solche Phänomene gedacht hat, ist im Haupttext des vorangehenden Aufsatzes gezeigt worden.

⁴⁶ R. Stigler, Ein Modell des menschlichen Blutkreislaufes, *Pflügers Archiv* 14 (1918), S. 283-295 [Wien]; S. 290 eine Abbildung des Demonstrationsmodells angelehnt an W. T. Porter (1901); vorangesetzt sind Beschreibungen von Modellen, in denen die Wirkung der Gravitation auf den Blutkreislauf demonstriert wird; vgl. den Aufsatz Zwei Modelle zur Demonstration des Einflusses der Schwere auf die Blutverteilung, *Pflügers Archiv* 171 (1918), S. 262-263; H. C. Bazett, Factors Concerned in the Control of Capillary Pressure as Indicated in a Circulation Scheme, *American Journal of Physiology*, 149 (1947), pp. 389-399 [Pennsylvania]; Bezug auf Bayliss (1940), Krogh (1912) und Bazett (1924); R. J. S. McDowell, An Artificial Circulation, *Journal of Physiology* 108 (1949), pp. 2P-3P; E. Bauereisen, Eine einfache Unterrichtsapparatur zur Aufnahme von Farbstoffverdünnungskurven, *Pflügers Archiv* 277 (1963), S. 357-360 [Würzburg]; Bauereisen war kurz zuvor am Carl-Ludwig-Institut in Leipzig tätig; der Beitrag ist A. v. Muralt in Zürich gewidmet; dennoch nur wenige Bezüge zu Webers Schema; S. 358 Skizze und Fotografie des Modells; Ventrikel wird mittels Synchronmotor angetrieben; arterielle Seite wird durch starre Röhren in Kombination mit einer Windkesselvorrichtung repräsentiert, kapillarer Widerstand durch Schlauchklemmen; halboffenes System; Zweck ist die Demonstration der Erzeugung und Verwendung von Indikatorverdünnungskurven; T. M. Fischer, H. Schmid-Schönbein, A circulation model for teaching fluid dynamics in laboratory courses in physiology, *Medical Education* 21 (1987), S. 391-398 [Aachen]; T. Arts, A. P. G. Hoecks, J. Aerts, Physical Model of Arterial Wave Propagation and Flow Dynamics for Student Education, *Pflügers Archiv*, 430 (1995) S. R58; T. Arts, A. P. G. Hoeks und J. Aerts, Physikalisches Modell zur Untersuchung der arteriellen Pulswellenfortleitung, *Physiologie* (Deutsche Physiologische Gesellschaft, Hrsg.), 1997, S. 20-24 [Maastricht]; die Gefäße sind als Rinnen realisiert, also durch ein System, an dem zuletzt E. H. Weber in seiner *Wellenlehre* von 1825 experimentiert hatte.

⁴⁷ Die Visualisierung von Kreislaufschemas und die damit verbundene Errichtung von sowie Bindung an Traditionslinien ist in der Wissenschaftsgeschichte seltener aufgegriffen worden; am umfangreichsten gelangte diese Thematik bei K. E. Rothschiuh zur Darstellung; vgl. dazu dessen Artikel Über Kreislaufschemas und Kreislaufmodelle seit den Zeiten von William Harvey (1578-1657), *Zeitschrift für Kreislaufforschung* 46 (1957), S. 241-249.

mente des organischen Geschehens herbeiführen können; was vor seiner Zeit in einzelnen Aspekten beleuchtet wurde und teilweise schon in vergleichsweise fortgeschrittenen Theorien erklärt wurde, konnte durch die Vereinigung zu einem Gesamtgeschehen in ein neues Licht gestellt werden. Das visualisierte Kreislaufschema kann als eine Skizze bezeichnet werden, in welcher verschiedenste Kompartimente des Organismus zu einer synthetischen Einheit verbunden werden; jedes Kompartiment aus diesem Zirkel vermag die ihm in der Isolation möglichen Funktionen auch in der Verknüpfung zu erfüllen; z. B. kommt im arteriellen und venösen Schenkel des Schemas die Theorie der Schlauchwellen nach Frey und nach den Weber-Brüdern zum Tragen, oder die Theorie des Strömungswiderstandes nach Poiseuille wird von dem Kompartiment übernommen, welches als Strömungswiderstand zwischen die beiden erwähnten Schenkel eingereiht wird. Aber das Schema Webers ist nicht nur diese vordergründige Aufreihung von Kompartimenten zu einem Zirkel, sondern beinhaltet über diese Topologie hinaus ein Arrangement, in dem ebenso die den Kompartimenten korrespondierenden Funktionen synthetisch behandelt werden müssen. Diese einzufordernde Synthese auf einer zweiten Ebene ermöglicht bisher ungeahnte Ausblicke auf überlagerte verbindende Funktionen, die nur im Zusammenhang des Ganzen hervortreten und daher nur unter diesen Voraussetzungen problematisiert werden können.

Es konnte dargelegt werden, dass die von dem Weber'schen Schema angesprochene Form des Wissens einen hohen Grad der Ästhetisierung vertragen konnte – vielleicht war dieser sogar erwünscht; der Beleg für diese Feststellung aus der Tradition heraus lieferte die Tatsache, dass der Visualisierungsstil des Schemas von 1850/52 mit beachtenswerter Konstanz in solcher Literatur gepflegt wurde, die sich mit einer bestimmenden Intention des Lehrens an ihre Leser wandte – und dies bis in die gegenwärtige Zeit noch tut. Eine Auflösung jedoch der ästhetischen Prinzipien des ursprünglichen Weber'schen Schemas ereignete sich im Zuge der Technisierung des Schemas. Es konnte demonstriert werden, dass die Forschungsarbeiten Mareys zwischen 1860 und 1880 diesen Entwicklungszweig wesentlich mitgestaltet hatten. Wenn Marey nicht das Schema Webers wiedergibt – was er wenige Male doch tut, um etwa auf eine motivierende Idee zu einem eigenen Forschungsprogramm hinzuweisen – dann bedient er sich bei der Visualisierung seiner Modelle der abbildhaften Zeichnung, in welcher der ganze Apparat im Detail zum Vorschein kommt, und kontrastiert somit die intentionale Haltung der eigenen Arbeiten zu der ästhetisch stilisierenden Traditionslinie. Auffällig ist zudem, dass Marey fast nie zu einer Visualisierung seiner Kreislaufmodelle durch eine Skizze oder durch eine technische Zeichnung hat bewegt werden können. Skizzen tauchen erst bei den Denkschemata – z. B. Henderson (1918) – oder bei den technisierten Varianten der später eingesetzten Modelle nach 1910 auf – bei Bayliss (1940) z. B. in sehr typischer Form; die technische Zeichnung tritt so gut wie nie hervor, was wiederum insofern verständlich ist, als eine technische Zeichnung vornehmlich für den Gebrauch durch den Feinmechaniker gedacht ist; ebenso oft ist in der Zeit nach 1910 aber auch der Fotografie oder der abbildhaften Zeichnung zu begegnen. Und wird auch dasjenige Feld der Literatur betreten, welches Modelle vorstellt, an denen im Unterricht ein didaktischer Zweck verfolgt werden soll, dann ist hier ebenfalls eine Neigung hin zur abbildhaften Zeichnung (vgl. z. B. Cyon, 1876) oder später auch zur Fotografie

deutlich überwiegend. Insgesamt lässt sich der Stil der Visualisierung über alle drei Klassen der Traditionslinien als ein Kompositum aus zwei hauptsächlichen Tendenzen beschreiben; die eine geht dahin, den Transfer von Wissen zu garantieren, die zweite zielt darauf, die Realisierung von Wissen zu demonstrieren; bei Weber überwog deutlich die erste Tendenz, bei Marey die zweite; in den Modell-Skizzen und Schema-Skizzen nach 1910 liegen Mischformen vor.

Es ist noch Klarheit darüber zu gewinnen, aus welcher Sachlage heraus Modelle – z. B. der beschriebenen Art – in der medizinischen Grundlagenforschung eingesetzt wurden, welcher Erkenntnisgewinn von einem mechanischen Apparat zu erwarten war oder inwiefern der Nachbau eines Organismus den Gang der Forschung zu beeinflussen vermochte. Es kann zunächst der hinreichend bekannten These zugestimmt werden, dass ein physikalischer Modell-Apparat immer nur nach schon bekannten Gegebenheiten zusammengesetzt werden kann und somit erst recht in Bezug auf die theoretischen Einsichten keine weiteren Erkenntnisse oder besonderen Aufschlüsse erwarten lässt.⁴⁸ Der physiologische Modell-Apparat ist dem physikalischen gegenüber jedoch dadurch ausgezeichnet, dass er dem System, das er zu charakterisieren hat, immer auch wie ein Unvergleichbares gegenübersteht. Die Berechtigung zu dessen Existenz schöpft in großem Maße aus der intentionalen Grundhaltung des durchgeführten Forschungsprogramms. Wird der Apparat eingesetzt, um Phänomene des Organismus zu imitieren, z. B. ein Klappengeräusch, eine Pulscurve oder eine sonstige Registrierung eines messenden Instrumentes, dann dient er zunächst bloß der Überprüfung eines Bestandes an Wissen, wenn von der Voraussetzung ausgegangen wird, dass die Imitation nur dann gelingt, wenn alle relevanten funktionalen Aspekte des Organismus in die Herrichtung des Apparates mit einfließen konnten. Bleibt also die Imitation ineffektiv, dann fordert der vorausgesetzte Nebengedanke dazu auf, das noch mangelhafte mechanische System durch die sukzessive Integration zusätzlicher Teilsysteme zu vervollständigen, bis dass die Angleichung perfektioniert wäre. Die Integration von Teilsystemen erweitert aber die Möglichkeiten des Zusammenspiels der Teilsysteme und benötigt daher – bei aller Kenntnis über die isolierten Teilsysteme – eine besondere Form der Theorie, welche diesen synthetischen Aspekt berücksichtigt. Weber hatte z. B. in der Hypothese vom unveränderlichen Mitteldruck einen solchen Aspekt hervorgekehrt, der aus einer isolierten Betrachtung der Teilsysteme nicht hätte gewonnen werden können. Diese Art von positiver Heuristik,⁴⁹ die ein physiologisches Modell bieten kann, kann als primäre Heuristik bezeichnet werden. Eine primäre Heuristik macht keine Aussagen über das Verhalten der Teilsysteme sondern über dasjenige der nach und nach komplexer zusammengesetzten Systeme. Da diese Heuristik in ihr Ziel kommt, wenn die organischen Phänomene vollständig nachgestellt werden, kann davon gesprochen werden, dass diese Heuristik letztendlich von der Ausrichtung an den gemessenen Größen ihren Antrieb hernimmt.

⁴⁸ Vgl. diese These bei Duhem (*La théorie physique. Son objet et sa structure*, Paris 1906, bzw. Ziel und Struktur physikalischer Theorien, Hamburg 1998, 4. Kapitel).

⁴⁹ Es werden nur Fälle positiver Heuristiken berücksichtigt – solche also, die bestimmte Möglichkeiten der Theorienbildung anbieten – und nicht die negativen Heuristiken, die bestimmte Formen der Theorienbildung ausschließen.

Neben die Intention des Imitierens trat in der Analyse aber fast ebenso vehement die Intention hervor, dem komplexen organischen System ein Modell an die Seite zu stellen, das bewusst bestimmte Teilsysteme des Organismus isoliert, welche ansonsten in Wechselwirkungsmechanismen unentwirrbar verflochten wären. Auch in diesem Fall einer Isolierung waltet ein Nebengedanke, der folgendermaßen formuliert werden könnte: Sind in einem organischen System gewisse Untersysteme so verschränkt, dass an einen separaten Erfahrungsgewinn im isolierten Bereich eines einzelnen Untersystems nicht zu denken ist, dann kann im apparativen Modell eine ersatzweise Erfahrungsgrundlage für das Untersystem geben werden, die dann mit der zuvor erlangten Erfahrung am zusammengesetzten organischen System abzustimmen ist; diese Abstimmung benötigt zusätzlich eine eigene Form von Theorie. Da sich die heuristische Bedeutung dieses speziell eingesetzten Modells auf die Reaktionsweise der Untersysteme bezieht, kann diese Form einer positiven Heuristik zur Abhebung von der primären – diese bezog sich auf die Verhältnisse an den Obersystemen – als sekundäre bezeichnet werden. Unter dem Vorzeichen einer solchen sekundären Heuristik wurde öfters in den Jahren zwischen 1910 und 1960 für den Einsatz von apparativen Modellen argumentiert – früh z. B. bei Krogh (1912). Die Bewegung hingegen, die Marey zwischen 1860 und 1880 hervorgerufen hatte, befand sich vorwiegend auf der Fährte einer primären Heuristik. Weber war diesbezüglich derjenige, der 1850/52 durch seine synthetische Leistung die Möglichkeit einer positiven (primären) Heuristik vor aller Augen gestellt hatte.

Literatur

Biografische Angaben zu E. H. Weber, insofern sie nicht im aktuellen DBI verzeichnet sind

1. Almanach (1861): Weber, Ernst Heinrich, in: Almanach der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Wien 1861, Bd. 11, S. 203-211
2. Callisen (1830-45): Weber, Ernst Heinrich, in Adolf Carl Peter Callisen, Medizinisches Schriftstellerlexikon der jetzt lebenden Ärzte, Wundärzte, Geburtshelfer, Apotheker und Naturforscher aller gebildeten Völker, Kopenhagen 1830-1845, S. 450-454
3. Eisenberg (1992): Wolfgang Eisenberg (Hrsg.), Die Gebrüder Weber. Wegbereiter interdisziplinärer Forschung, Halle (Saale) 1992
4. Fulton/Wilson (1966): John F. Fulton, Leonard G. Wilson, Selected Readings in the History of Physiology, Springfield 1966, pp. 295
5. Garrison (1960): Fielding Hudson Garrison, Ernst Heinrich Weber, in: An introduction to the history of medicine, Philadelphia 1960, pp. 468-470
6. Hermann (1817): Gottfried Hermann, Ernst Heinrich Weber, in: De Mythologia Graecorum antiquissima dissertatio, Leipzig 1817, S. 27 f.
7. Hoffmann (1934): P[.] Hoffmann, Ernst Heinrich Webers Annotationes anatomicae et physiologicae, Zur Erinnerung, Medizinische Klinik 30 (1934), S. 1250 f.
8. Illustrierte Zeitung (1865): Ernst Heinrich Weber, der Anatom, in: Illustrierte Zeitung, Leipzig 1865, No. 1160 (23. Sept. 1865), S. 214

9. Kruta (1976): Vladislav Kruta, Weber, Ernst Heinrich, in: Dictionary of Scientific Biography, Bd. 14, New York 1976, pp. 199-202
10. Ludwig (1878a): Carl Ludwig, Rede zum Gedächtniss an Ernst Heinrich Weber gehalten im Namen der medizinischen Fakultät am 24. Februar 1878 in der akademischen Aula zu Leipzig, Leipzig 1878, S. 3-23
11. Ludwig (1878b): Carl Ludwig, Ernst Heinrich Weber, Mitteilungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina 14 (1878), S. 34-37
12. Royal Society (1879): Royal Society (Hrsg.), Ernst Heinrich Weber, in: Proceedings of the Royal Society of London, London 1879, Bd. 29, pp. XXVIII-XXXII
13. Schreier (1993): Wolfgang Schreier, Die drei Brüder Weber und Gustav Theodor Fechner. Untersuchungen zur medizinischen, Psycho- und technischen Physik, Internationale Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und Medizin 1 (1993), S. 111-116

Jubiläumsschriften für E. H. Weber zum 50. Jahrestag des Eintrittes in das Amt eines ordentlichen Professors (8. Januar 1871)

1. Czermak (1871): Johann Nepomuk Czermak (1828-1873), Der elektrische Doppelhebel. Eine Universal-Kontaktvorrichtung zur exacten Markirung des Momentes, in welchem eine beliebige Bewegung beginnt oder ihre Richtung ändert, in: Johann Nepomuk Czermak, Gesammelte Schriften, Bd. 1, Leipzig 1871, S. 820-835
2. Fechner (1871/1925): Gustav Theodor Fechner (1801-1887), Zur experimentellen Ästhetik, in: Vorschule der Ästhetik in 2 Bänden, Leipzig 1871, 1925 [die Schrift ist dem 1. Band beigegeben]
3. Fick (1871): Adolf Fick (1829-1901), Studien über elektrische Nervenreizung, Würzburg 1871, S. 3-14
4. Henke (1871): Philipp Jakob Wilhelm Henke (1834-1896), Bemerkungen über die Beweglichkeit der Wirbelsäule und ihre Haltung beim Stehen und Gehen, Rostock 1871
5. Ludwig/Schweigger-Seidel (1872): Carl Ludwig (1816-1895) und Franz Schweigger-Seidel (1834-1871), Die Lymphgefäße der Fascien und Sehnen, Leipzig 1872

Das Gehirn in bunten Bildern. Farbstrategien und Farbsemantiken in den Neurowissenschaften

Ein Forschungsaufriß

Dominik Groß und Gereon Schäfer

1. Bildgebende Verfahren in der Medizin

In der Medizin kommt bildgebenden Verfahren spätestens seit der Entdeckung der Röntgenstrahlen (1895) und ihrer Nutzbarmachung für die Heilkunde herausragende Aufmerksamkeit zu. Gleichwohl erlangte die bildgebende Diagnostik erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ihre heutige Bedeutung. Maßgeblich hierfür waren die in der Jahrhundertmitte erfolgte Entwicklung nuklearmedizinischer Bildgebungsverfahren (Szintigrafie, SPECT = Single-Photon-Emission-Computed Tomography und schließlich PET = Positron Emission Tomography) und der medizinische Einsatz von Ultraschall (Sonografie) zur Untersuchung von Weichteilgeweben. In den 1970er Jahren schloss sich die Etablierung der Computertomografie (CT) und der Magnetresonanztomografie (MRT) an.¹ Mit der Einführung von Computern vor ca. 25 Jahren war zudem das technische Potential vorhanden, die zunächst als Zahlenmenge vorliegenden Bilder farblich darzustellen.² Der Einsatz der beschriebenen Verfahren hat die Möglichkeiten des Fachs, medizinische Sachverhalte zu visualisieren, maßgeblich erweitert – eine Entwicklung, die den medizinischen Blick auf den Menschen nicht unbeeinflusst lassen konnte. Bereits 1996 konstatierte Michael Hagner: „Die technisch-apparative Innovation der neuen bildgebenden Verfahren wird, so meine These, die Wahrnehmung des Menschen in seiner körperlichen und geistigen Dimension tiefgreifend verändern.“³

Aus diesem Grund erscheint die Medizin als Untersuchungsgegenstand für den Bereich „Bildwissenschaft“ besonders ertragreich.⁴ Die Medizin als *angewandte* Wissenschaft zeichnet sich allerdings durch eine Reihe von Eigenheiten aus: So sind die Grenzen zwischen Forschung und klinischer Praxis oft fließend; dementsprechend spielt (farbige) Bildgebung in reinen Forschungszusammenhängen ebenso wie in der klinischen Anwendung eine Rolle.⁵ In der Grundlagenforschung wird etwa die funktionelle Magnetresonanztomografie für die Untersuchung aller denkbaren Hirnfunktionen verwendet. Ihre Anwendung am Menschen ersetzt heute schon einen Teil der Hirnforschung, die früher nur im invasiven Tierexperiment durchgeführt werden konnte. Auch in der klinischen Forschung kommen bildgebende Verfahren bei vielen neurologischen Fragestellungen zum Einsatz.

(Farbige) Bildgebung wird mithin sowohl in der Kommunikation unter Spezialisten – beispielsweise Neurowissenschaftlern – als auch in der innerprofessionellen Kom-

¹ Vgl. u. a. Dössel (2000); Leondes (2005); Groß/Müller (2006); Lehmann (2007).

² Vgl. Höhne/Pfeiffer (1974); Böhm et al. (1979); Köhler (2003).

³ Hagner (1996), S. 259.

⁴ Schirra (2005).

⁵ Vgl. Nikolow/Bluma (2002), S. 203 f.

munikation – beispielsweise zwischen Neurologen und überweisenden Allgemeinmedizinern – eingesetzt. Darüber hinaus ist sie in der Patientenaufklärung von Belang; so dienen (farbige) Bilder in der Routineanwendung als Argumentationshilfe in der Kommunikation mit PatientInnen.⁶ Medizinische Visualisierung entfaltet ihre Wirkung also in unterschiedlichen fachlichen und sozialen Zusammenhängen – in Form des Wissenstransfers innerhalb der scientific community, als Informationsaufbereitung für PatientInnen und im Sinne einer Wissenspopularisierung, d. h. der Vermittlung medizinischer Inhalte an die Öffentlichkeit bzw. an den interessierten Laien.⁷ Tatsächlich erfreuen sich die zerebrale funktionelle Bildgebung und (farbige) Bilder aus dem Bereich der Medizin auch in der Öffentlichkeit, beispielsweise in populären Magazinen, den klassischen und neuen Medien, zunehmender Aufmerksamkeit.⁸ Die Gründe hierfür scheinen ohne weiteres einsichtig: Die mittels funktioneller Bildgebung gelieferten (farbigen) Bilder sind gleichermaßen anschaulich und ästhetisch, so dass sich ihre Präsentation für die Unterrichtung und Instruktion des interessierten Laien geradezu anbietet.⁹ Vor allem die bisweilen „farbenprächtige“ Darstellung sowie die beeindruckende Kontrastschärfe geben dem Betrachter das Gefühl, die betreffenden Aufnahmen „lesen“ und folglich interpretieren zu können. Selbst Laien scheint es leicht zu fallen, lokale Unterschiede in der Hirnaktivität optisch zu erfassen und zu verstehen: „MR ist cool. [...] Man sieht, was es ist, wenn man sich mit Anatomie auskennt.“¹⁰

Zudem befasst sich die Neurowissenschaft mit Fragen der Bedingungen menschlicher Erkenntnis. Die Hirnforschung schickt sich nach dem Selbstverständnis einiger Forscher an, ein neues Wissen darüber zu erarbeiten, was es heißt, Mensch zu sein. Die Fragen des Bewusstseins und seiner neuronalen Korrelate, aber auch die grundlegende Frage, ob es einen freien Willen gibt, werden heute fundamental anders beantwortet als noch vor Beginn der funktionellen Bildgebung.¹¹

Schließlich berührt die Medizin in ganz grundsätzlicher Weise vitale Interessen. Sie besitzt die Deutungshoheit über Krankheit und Gesundheit und behandelt Fragen von Leben und Tod. So sprach Hagner den bildgebenden Verfahren 1996 in der Diskussion um den Hirntod eine entscheidende Rolle zu: „[...] wer in Zukunft nicht glauben kann, daß ein Mensch tot sei, wird ein Hirnbild vorgelegt bekommen.“¹² Tatsächlich wurde die „Macht“ medizinischer Visualisierungen 2005 im Fall der Wachkomapatientin Terri Schiavo besonders deutlich: Als der Ehemann der Betroffenen Computertomografie-Bilder von Schiavos Denkorgan öffentlich machte und gezielt mit Aufnahmen eines gesunden Gehirns kontrastierte, gaben viele seiner ursprünglichen Kritiker ihren Widerstand gegen seine Forderung, Frau Schiavo sterben zu lassen, auf.¹³ Damit zeigt sich die Überzeugungskraft von scheinbar unbestechlichen Bildern aus dem Körperinneren –

⁶ Burri (2001), S. 293.

⁷ Kretschmann (2003).

⁸ Mielke (2004); Rögner (2003).

⁹ Vgl. Breidbach (2005); Kemp (2003); Maar/Burda (2005).

¹⁰ Burri (2001), S. 287.

¹¹ Groß/Müller (2007).

¹² Hagner (1996), S. 282.

¹³ Berndt (2006).

ungeachtet der Tatsache, dass es sich hierbei lediglich um visualisierte rechnerische Abstraktionen und nicht etwa um tatsächliche Abbildungen handelt.¹⁴ Alle bei PET, fMRT oder CT dargebotenen Farben und Kontraste stellen das Produkt einer Idealisierung dar, so dass die Bilder – unabhängig von ihrem Informationsgehalt – letztlich Konstruktionen auf der Grundlage von Messreihen sind.¹⁵ Regionale Unterschiede im zerebralen Blutfluss werden durch „spezifische Manipulations- und Repräsentationsverfahren in epistemisch relevante Objekte verwandelt“.¹⁶ Das Manipulationspotential dieser Konstrukte ist evident¹⁷: Es beginnt mit der Herstellung der Bilder, die an die Verfügbarkeit finanzieller, technischer und personenbezogener Ressourcen – und damit personenabhängiger Präferenzen – geknüpft ist. Die technisch-apparative Bildproduktion basiert mithin auf verschiedenen Variablen und ist das Resultat diverser Entscheidungs- und Selektionsprozesse. Ähnliches gilt für die Nachbearbeitung auf dem Bildschirm: Hier können beispielsweise Kontraste verändert und Perspektiven gedreht werden. Häufig werden die vorgenommenen technischen Einstellungen – und damit das erzeugte Bild – gezielt von der jeweiligen Fragestellung abhängig gemacht: „es geht auch darum, ein Organ [...] zu fixieren, d. h. wissenschaftsfähig zu machen.“¹⁸ Was scheinbar objektiv ist, verdankt sich letztlich auch einer intuitiv-emotionalen Herangehensweise. Folglich lässt sich ein methodischer Pluralismus konstatieren, der kontextabhängig ist und individuell neu bestimmt wird. Auch Neurowissenschaftler selbst räumen ein, dass diese Vorauswahl erhebliche Auswirkungen auf die spätere Visualisierung und deren Interpretation hat. Somit entstehen diese „farbigen Hirnbilder“ in einem Prozess, der ein enormes Manipulationspotential aufweist.

Aus dem Vorgenannten ergibt sich, dass das „doing images“, die „Fabrikation visueller Erkenntnis“ (Burri)¹⁹ in der Medizin weit reichende Voraussetzungen und Implikationen beinhaltet. Burri bezeichnet die entstehenden Bilder als Produkte „soziotechnischer Interaktionen“.²⁰ Visualisierungen sind also nicht als rein technisch-materieller Output bildgebender Verfahren, sondern auch als „graphische Stabilisierung des im Körper Verborgenen“ (Hagner)²¹ und damit als „Bildobjekte“ (Heßler)²² zu verstehen, in denen sich ein komplexes Raster von Komponenten abbildet. Sie dienen als Grundlage für die Erkenntnisproduktion in der medizinischen Forschung, beispielsweise zur Lokalisierung von farbig abgebildeten Hirnaktivitäten, und der klinischen Anwendung, insbesondere für die Diagnosestellung; zugleich sind sie das Ergebnis von Wissensstrategien und persönlichen Vorentscheidungen und Präferenzen. Derartige medizinische Repräsentationen müssen deshalb nicht nur als Ausgangspunkt, sondern als Resultante epistemischer Prozesse begriffen werden. Vor diesem Hintergrund kommt dem medizi-

¹⁴ Berndt (2006), S. 1; Lehmann (2006).

¹⁵ Grau (2003); Walter (2002).

¹⁶ Hagner (1996), S. 261; zum Herz: Borck (1997).

¹⁷ Burri (2001); Rogowitz/Treinish (1996).

¹⁸ Hagner (1996), S. 262.

¹⁹ Burri (2001), angelehnt an West/Fenstermaker (1995).

²⁰ Burri (2001), S. 277.

²¹ Hagner (1996), S. 263.

²² Heßler (2006), S. 14.

nischen Bild vorerst der „Status eines ‚epistemischen Dings‘ zu, welches gleichzeitig sinnhaft gemacht und verstanden werden muss“.²³

Während in den Anfängen der funktionellen Bildgebung – schon aufgrund technischer Grenzen – Graustufen dominierten, rekuriert letztere seit einiger Zeit in zunehmendem Maße auf Farbe. Die zunehmende Bedeutung der Farbe bei der Visualisierung medizinischer Sachverhalte kontrastiert mit der Tatsache, dass die Farblichkeit als Konstituente derartiger Bilder trotz ihrer Auffälligkeit und ihrer systematischen Relevanz noch kaum Gegenstand ikonografischer Untersuchungen war. Dabei vermittelt Farbe Bedeutungen, die mit sprachlichen Aussagen oder „sprachnaher“ Bildlogik nicht erfasst werden. Erkenntnisprozesse, die durch farblich gestaltete Abbildungen initiiert werden, führen somit unter Umständen zu anderen Ergebnissen als solche, die allein auf nicht-farbigen Kontrasten und/oder Sprache basieren. Insofern ist der Farbe eine eigenständige Rolle bei der Generierung, Steuerung und Kanalisierung von Erkenntnisprozessen zuzuschreiben. Tatsächlich wird Farbe in der medizinischen Bildgebung zwischenzeitlich an vielen Stellen bzw. in unterschiedlichen medizinischen Fachdisziplinen eingesetzt, wobei die Farbauswahl nicht etwa festgeschriebenen Standardisierungen folgt, sondern allenfalls „kulturell codiert“ (Burri)²⁴ bzw. „als freie Kulturschöpfung zu werten“ ist (Fleck)²⁵.

So wird beim Neuroimaging (PET, fMRT) die Durchblutung des Gehirns abgebildet. Höhere Durchblutung in einem Hirnareal lässt wiederum auf gesteigerte neuronale Aktivität schließen. Neuronale Prozesse werden also nicht direkt erfasst. Auch werden die geringen Signalunterschiede erst nach vielfachen Aktivitätsmessungen in kurzen Zeitabständen und einer nachfolgenden statistischen Bearbeitung der Daten zur Kontrasterhöhung sichtbar. Anders als die Aufnahmen suggerieren, sind nicht nur bestimmte Gehirnareale aktiv, sondern permanent das gesamte Gehirn – die Unterschiede betreffen ausschließlich den Grad der Aktivität. Letztlich entsteht ein so genanntes Aktivationsbild, das mittels *Falschfarben*²⁶ markierte Hirnareale zeigt, die von einem anatomischen MR-Bild überlagert werden.²⁷ Die aktivierten Areale werden häufig je nach Grad der Aktivierung üblicherweise in einer „Heißfarben“-Skala von Rot bis Gelb eingefärbt.

2. Visualisierungsstrategien in der Medizin: Der Forschungsstand

Erst für die letzten zwei Jahrzehnte lässt sich eine zunehmende Auseinandersetzung mit dem Thema Visualisierungen in den Wissenschaften feststellen, wobei vor allem der Prozess der Bildproduktion²⁸ und die visuelle Wissenskommunikation mit der Öffent-

²³ Burri (2001), S. 286, unter Verweis auf Rheinberger (1992).

²⁴ Burri (2001).

²⁵ Fleck (1983), S. 46.

²⁶ Zum Einsatz von Falschfarben in den Wissenschaften vgl. auch Müller/Groß (2006) sowie Müller, „Visualisierungen in der astronomischen Digitalfotografie“ in diesem Band.

²⁷ Crélier/Järmann (2001); Müller/Groß (2006).

²⁸ Hagner (1996 und 1997); Lynch (1990).

lichkeit²⁹ und damit die Frage der Popularisierung von Wissen im Mittelpunkt des Interesses stehen.

Zur Visualisierung in der *Medizin* existieren – insbesondere mit Blick auf die Neurowissenschaften – einzelne wegweisende Beiträge, so etwa die Arbeiten von Hagner³⁰ und Borck,³¹ die sich mit der „visuellen Repräsentation zerebraler Prozesse“ bzw. mit der Entwicklung der Elektroenzephalografie beschäftigen. Auch Crélier/Järmann³² setzen ihren Schwerpunkt bei zerebralen Bilddarstellungen. Badakhasi³³ analysiert die epistemische Rolle der bildgebenden Verfahren „in der Ordnung des Wissens in der Medizin“, ohne indessen auf Farbaspekte einzugehen. Andere Autoren setzen sich mit bestimmten Teilaspekten medizinischer Bilder wie physiologischen Kurven,³⁴ Graphen³⁵ oder Fotografien³⁶ auseinander, wobei sich die genannten Autoren insbesondere auf die Zeit vor 1950 beziehen.

Allerdings ist keiner der vorgenannten Verfasser den Vertretern der funktionellen Bildgebung in der Medizin zuzurechnen. Völlig zu Recht stellt Schirra in diesem Zusammenhang fest, dass die Medizin zwar sehr viele Bilder verwende, aber (noch) nicht als Teilnehmer an der „Bildwissenschaft“ zu betrachten sei, weil sie Bilder kaum kritisch hinterfrage. Schirra zufolge ist das Bild in der Medizin „nur ein Mittel zur (möglichst effizienten) Präsentation medizinisch relevanter Sachverhalte“. Er kommt zu dem Schluss, dass das „Umgehen mit Bildern üblicherweise überhaupt kein Thema der Medizin ist, sondern höchstens eine ihrer Methoden.“³⁷ Aus der Feder betroffener Mediziner stammen dementsprechend am ehesten deskriptive Beiträge zur Geschichte der medizinischen Bildgebung.³⁸

Im Übrigen wird im einschlägigen Schrifttum allenfalls am Rande auf die Bedeutung der Farbe in medizinischen Bildern Bezug genommen. Vor allem die Frage, unter welchen möglichen Gesichtspunkten Farblichkeit – gerade im medizinischen Kontext – die abgebildete, Wirklichkeit neu oder anders strukturiert, fand bisher nur wenig Beachtung. Dies ist umso bemerkenswerter, als der Einsatz von Farbe für wissenschaftliche Illustrationen im 19. Jahrhundert stark umstritten und Gegenstand innerfachlicher Diskurse war.³⁹ Zu den wenigen Beiträgen über Farbsemantiken und Farbstrategien in der rezenten medizinischen Bildgebung zählen neben Burri,⁴⁰ die in ihrem Text en passant auf das Thema Farbe eingeht, die dezidiert der Farbe in der Medizin gewidmeten Publikationen von Hennig⁴¹ und Groß/Duncker,⁴² der populärwissenschaftliche Beitrag von

²⁹ Z. B. Nikolow/Bluma (2002); Lösch (2006a und b).

³⁰ Hagner (1996).

³¹ Borck (2005).

³² Crélier/Järmann (2001).

³³ Badakhasi (2005).

³⁴ Chadarevian (2001).

³⁵ Duncker (2004).

³⁶ Schickore (2002).

³⁷ Schirra (2005), S. 14.

³⁸ Kevles (1998); Heintzen/Adam (2002).

³⁹ Vgl. etwa Steinmetzer et al. (2006).

⁴⁰ Burri (2001).

⁴¹ Hennig (2006).

Grau⁴³ sowie die älteren, allerdings vornehmlich deskriptiven Arbeiten von Hofkin⁴⁴ und Mascaro.⁴⁵ Weitaus häufiger finden sich dagegen (alternativmedizinisch akzentuierte) Beiträge zur Farbpsychologie in der Medizin⁴⁶ oder zum Einsatz von Farbe zu therapeutischen Zwecken⁴⁷.

Dementsprechend ist auch eine gezielte vergleichende Untersuchung des Farbeinsatzes in verschiedenen medizinischen Teildisziplinen weiterhin ein Forschungsdesiderat. Bisher sind lediglich einzelne, vorrangig an der technischen Entwicklung orientierte Aspekte der Visualisierung in der Pädiatrie⁴⁸ und, etwas differenzierter, der Pränataldiagnostik⁴⁹ thematisiert worden. Eine Studie zu den „bildmächtigen“ Neurowissenschaften steht bislang aus; dabei wäre gerade sie besonders lohnend, denn der weit reichende und weiterhin zunehmende ‚Erfolg‘ vor allem neurowissenschaftlicher Forschung scheint eng mit der Produktion und Popularisierung „bunter Hirnbilder“ korreliert. Eine nähere Untersuchung verdient in diesem Zusammenhang auch Hagners These, dass nach „einer Art Computerisierung des Gehirns“, die um die Mitte des 20. Jahrhunderts „mit einer gewissen Ikonophobie“ einher gegangen sei, seit einiger Zeit eine Gegenbewegung zu verzeichnen ist, die zu einer „Re-Individualisierung des Gehirns“ führe.⁵⁰

Bisher fehlt des Weiteren eine systematische Analyse, welchen Veränderungen der Einsatz von Farbe im Zeitverlauf bzw. in Abhängigkeit vom jeweiligen medizinischen Kontext – beispielsweise Grundlagenforschung vs. Routineanwendung – oder der jeweiligen Spezialdisziplin unterliegt und nach welchen Prinzipien die Farbauswahl erfolgt. Dabei wären mehrere Thesen auf den Prüfstand zu stellen, so etwa die Annahmen von Burri, dass (1) Visualisierungen in den Neurowissenschaften vor allem eine heuristische Funktion zukommt, d. h. dass sie als „Verständnisbilder“ dazu dienen, einen bestimmten Sachverhalt besser erfassen und nachvollziehen zu können,⁵¹ dass (2) „ästhetische und ethisch-moralische Wahrnehmungs- und Deutungsschematas“ Einfluss auf die Ausgestaltung der medizinischen Bilder nehmen⁵² sowie (3), dass die Auswahl von Falschfarben in der Medizin aufgrund „impliziter, nicht festgeschriebener Standardisierung“ erfolgt,⁵³ oder (4) die Einschätzung von Hennig, wonach Farbe in Klinik und Wissenschaft zurückhaltend eingesetzt werde, „während in der populärwissenschaftlichen Literatur die Möglichkeiten von farbigen Darstellungen intensiv genutzt“ würden.⁵⁴ Damit offenbart sich zugleich ein grundsätzlicher Klärungsbedarf der

⁴² Groß/Duncker (2006).

⁴³ Grau (2003).

⁴⁴ Hofkin (1996/97).

⁴⁵ Mascaro (1982/83).

⁴⁶ Mausfeld/Heyer (2003); Hoormann/Schawelka (1998); Kuehni (2005).

⁴⁷ Z. B. Meedt (2003).

⁴⁸ Orland (2002).

⁴⁹ Orland (2003).

⁵⁰ Werner (2003), S. 105.

⁵¹ Burri (2001), S. 291.

⁵² Burri (2001), S. 284.

⁵³ Burri (2001), S. 282.

⁵⁴ Hennig (2006), S. 10.

Frage, in welchen Verwendungszusammenhängen sich Farbbilder nachweisen lassen und inwieweit die farbliche Gestaltung nach dem Zielpublikum ausgerichtet wird.

3. Forschungsperspektiven

Aus dem Genannten lassen sich unter anderem folgende konkrete Fragestellungen entwickeln:

1. Wie verändert sich der Einsatz von Farbe in der untersuchten Fachdisziplin im Verlaufe der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts? In welcher Weise vollzog sich der Übergang von einer Visualisierung des Gehirns auf dem gewöhnlichen Röntgenfilm zu einer solchen durch digitale Techniken? Kann der Wandel beim Einsatz von Farben zur Repräsentation des Gehirns mit technischen, chemisch-pharmakologischen (Kontrastmittel), reprotchnischen, wissenschaftlichen, informationsselektierenden, epistemischen Parametern korreliert werden?
2. Wie verändert sich der Einsatz von Farbe in Abhängigkeit vom jeweiligen medizinischen Kontext? (Grundlagenforschung vs. diagnostisch vs. therapeutisch; chirurgisch vs. konservativ bzw. invasiv vs. nichtinvasiv)?
3. Welche Farben werden eingesetzt und nach welchen Prinzipien erfolgt die Auswahl farblich zu gestaltender Bilder bzw. Bildelemente (durchgängige vs. partielle Farbigkeit)? Werden hierbei „harte“ Kriterien zugrunde gelegt oder handelt es sich vornehmlich/ausschließlich um nicht festgeschriebene „Standardisierungen“? Sind die gezeigten Farben primär (z. B. Orientierung an physiologischen Gegebenheiten) oder sekundär (z. B. Orientierung an ästhetischen bzw. didaktischen Interessen) motiviert? Wann tritt flächige (zweidimensionale) und wann lineare bzw. punktuelle (ein- bzw. nulldimensionale) Farbigkeit auf?
4. Dient der Einsatz von Farbe in den genannten medizinischen Disziplinen vorrangig zur Verdeutlichung (optischen Aufbereitung) von Informationen oder zur Vermittlung *neuer* Information? Inwieweit ermöglicht der Einsatz von Farbe Erkenntnisse, die aus dem primär gewonnenen Bild des Gehirns nicht hätten abgeleitet werden können (dabei muss unterschieden werden zwischen morphologischen und funktionalen Aussagen)? Lässt sich die These bestätigen, dass Visualisierungen in den Neurowissenschaften (auch) eine heuristische Funktion zukommt, d. h. dass sie als Anregung für neue Ideen wirken und als „Verständnisbilder“ dazu dienen, einen bestimmten Sachverhalt erfassen zu können?⁵⁵
5. Hat der Einsatz von Farbe Verzerrungen und Verkennungen im Rahmen des Erkenntnisprozesses zur Folge? Führt der Eigenwert von Farbe möglicherweise dazu, dass die in relationaler Bildlichkeit oder im Begleittext fassbaren Inhalte durch die Farbgestaltung unterlaufen oder konterkariert werden?
6. Wo treten Farbbilder aus dem Bereich Neurowissenschaften bevorzugt auf? In welchen Medien (fachspezifisch, wissenschaftlich, populärwissenschaftlich, Laienmedien) lassen sie sich nachweisen und inwieweit richtet sich die farbliche Gestaltung nach dem Zielpublikum? Welche Einflüsse bestimmen die Tendenz zu einer

⁵⁵ Vgl. Burri (2001).

farbigen Gestaltung der Bilder (Ästhetische Aspekte, Informationsselektion, Öffentlichkeit)? Welche strategischen Überlegungen leiten hierbei die Überführung von Schwarz-Weiß-Darstellungen in farbig markierte Bilder? Unterliegt der Farbeinsatz im Zuge der medialen Aufbereitung von Forschungsergebnissen signifikanten Veränderungen? Lässt sich die von Hennig aufgestellte These verifizieren, wonach der Einsatz von Farbe in Klinik und Wissenschaft zurückhaltend erfolgt, „während in der populärwissenschaftlichen Literatur die Möglichkeiten von farbigen Darstellungen intensiv genutzt werden“?⁵⁶

7. Nutzt die Medizin die Bedeutungsvalenzen farbiger Darstellungen auch zu Zwecken, die außerhalb des reinen Wissenstransfers liegen bzw. außerhalb der scientific community Wirksamkeit erlangen?

Der letztgenannten Frage soll besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, vor allem vor dem Hintergrund folgender, für die Funktion (farbiger) Bilder im medizinischen Kontext aufgestellter Thesen:

- (Farbige) Bilder können für interessenpolitische Zwecke eingesetzt werden – „Machen die Neurowissenschaftler die bessere PR“⁵⁷ – um dem eigenen Forschungsfeld Aufmerksamkeit zu sichern und gegenüber möglichen Drittmittelgebern eine besondere Förderungswürdigkeit herauszustellen bzw. glaubhaft zu machen.
- Sie können als Ausweis von Wissen und Autorität fungieren und damit der Autorisierung einer bestimmten Gruppe medizinischer Akteure (Vertreter der scientific community, bestimmte Fachärzte) dienen bzw. das Ansehen einer Fachdisziplin befördern.⁵⁸
- Sie können der (medizinischen) Profession Öffentlichkeit und Resonanz verschaffen und so ein „Alleinstellungs- oder Distinktionsmerkmal“ darstellen.
- Besagte Bilder haben eine persuasive Funktion, d. h. sie können z. B. im Patientengespräch als Überzeugungshilfe verwendet werden.⁵⁹
- Medizintechnisch hergestellten Visualisierungen wird im gesellschaftlichen Kontext vielfach Evidenz zugeschrieben; sie werden als „Abbildungen“ von Organen (wie Gehirn oder Herz) betrachtet und damit als objektive Darstellungen akzeptiert. D. h. sie können eine Beweisfunktion übernehmen, wie der Fall Schiavo zeigt.⁶⁰

Damit sind sie zugleich Mittel, derer sich die Medizin bedienen kann, um als Definitions- und Deutungsmacht von Gesundheit und Krankheit wirksam zu werden – bereits dieser Einzelaspekt macht deutlich, wie lohnend es wäre, den Visualisierungsstrategien und Farbsemantiken in den Neurowissenschaften ein stärkeres Augenmerk zu schenken.

⁵⁶ Hennig (2006), S. 10.

⁵⁷ Schnabel (2005).

⁵⁸ Burri (2001).

⁵⁹ Ebd.

⁶⁰ Berndt (2006).

Literatur

1. Badakhshi (2002): Harun Badakhshi, Body in numbers. Medizinische Visualistik: Strategien, Technologien, Verstärker. Ein Internetjahrbuch für Kulturwissenschaft 7 (2002), www.culture.hu-berlin.de/verstaerker/vs005/badakhshi_ctmrt.pdf
2. Berndt (2006): Christina Berndt, Wie Bilder den Verstand täuschen, Spiegel Online 15.05.2006, www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,415299,00.html
3. Böhm et al. (1979): M[] Böhm, G[] C[] Nicolae, G[] Pfeiffer et al., Darstellung digitaler Bilder in der Radiologie, in: J[] R[] Möhr, Claus O. Köhler (Hrsg.), Datenpräsentation – Frühjahrstagung der GMDS 1979 in Heidelberg, Berlin u. a. 1979, S. 32-40
4. Borck (1997): Cornelius Borck, Herzstrom – Zur Dechiffrierung der elektrischen Sprache des menschlichen Herzens und ihrer Übersetzung in klinische Praxis, in: Volker Hess (Hrsg.), Die Normierung der Gesundheit. Messende Verfahren der Medizin als kulturelle Praxis, Husum 1997, S. 65-86
5. Borck (2005): Cornelius Borck, Hirnströme. Eine Kulturgeschichte der Elektroenzephalographie, Göttingen 2005
6. Breidbach (2005): Olaf Breidbach, Bilder des Wissens. Zur Kulturgeschichte der wissenschaftlichen Wahrnehmung, München 2005
7. Burri (2001): Regula Burri, Doing Images. Zur soziotechnischen Fabrikation visueller Erkenntnis in der Medizin, in: Bettina Heintz, Jörg Huber (Hrsg.), Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten, Zürich, Wien 2001, S. 277-303
8. Chadarevian (2001): Soraya de Chadarevian, Die „Methode der Kurven“ in der Physiologie zwischen 1850 und 1900, in: Michael Hagner (Hrsg.), Ansichten der Wissenschaftsgeschichte, Frankfurt a. M. 2001, S. 161-190
9. Crelier/Järman (2001): Gérard Crelier, Thomas Järman, Abbildung von Wahrnehmung und Denken. Die funktionelle Magnetresonanz-Bildgebung in der Hirnforschung, in: Bettina Heintz, Jörg Huber (Hrsg.), Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten, Zürich, Wien 2001, S. 95-108
10. Dössel (2000): Olaf Dössel, Bildgebende Verfahren in der Medizin. Von der Technik zur medizinischen Anwendung, Berlin, Heidelberg 2000
11. Duncker (2004): Tobias H. Duncker, Energie und Bewusstsein. Untersuchungen zur Psychophysiologie Hans Bergers, Marburg 2004
12. Fleck (1983): Ludwik Fleck, Erfahrung und Tatsache. Gesammelte Aufsätze. Mit einer Einleitung, hrsg. von Lothar Schäfer und Thomas Schnelle, Frankfurt a. M. 1983, S. 46-58
13. Grau (2003): Alexander Grau, Momentaufnahmen des Geistes?, Gehirn & Geist 4 (2003), S. 76-80
14. Groß/Duncker (2006): Dominik Groß, Tobias Heinrich Duncker (Hrsg.), Farbe – Erkenntnis – Wissenschaft. Zur epistemischen Bedeutung von Farbe in der Medizin, Münster 2006 (= Anthropina, 1)

15. Groß/Müller (2006): Dominik Groß, Sabine Müller, Mit bunten Bildern zur Erkenntnis? Neuroimaging und Wissenspopularisierung am Beispiel des Magazins „Gehirn & Geist“, in: Dominik Groß, Tobias Heinrich Duncker (Hrsg.), Farbe – Erkenntnis – Wissenschaft, Münster 2006 (= Anthropina, 1), S. 77-92
16. Groß/Müller (2007): Dominik Groß, Sabine Müller (Hrsg.), Sind die Gedanken frei? Die Neurowissenschaften in Geschichte und Gegenwart, Berlin 2007 (= Humandiskurs, 1)
17. Hagner (1996): Michael Hagner, Der Geist bei der Arbeit. Überlegungen zur visuellen Repräsentation cerebraler Prozesse, in: Cornelius Borck (Hrsg.), Anatomien medizinischen Wissens. Medizin – Macht – Moleküle, Frankfurt a. M. 1996, S. 259-286
18. Hagner (1997): Michael Hagner, Zwei Anmerkungen zur Repräsentation in der Wissenschaftsgeschichte, in: Hans-Jörg Rheinberger, Michael Hagner, Bettina Wahrig-Schmidt (Hrsg.), Räume des Wissens. Repräsentation, Codierung, Spur, Berlin 1997, S. 339-355
19. Heintzen/Adam (2002): P[] Heintzen, W[] Adam, History of cardiovascular imaging procedures, Zeitschrift für Kardiologie 91 (2002), Suppl. 4, S. 64-73
20. Hennig (2006): Jürgen Hennig, Farbeinsatz in der medizinischen Visualisierung, Bildwelten des Wissens, Kunsthistorisches Jahrbuch für Bildkritik 4 (2006), 1, S. 9-16
21. Heßler (2006): Martina Heßler (Hrsg.), Konstruierte Sichtbarkeiten. Wissenschafts- und Technikbilder seit der Frühen Neuzeit, München 2006
22. Hofkin (1996/97): Bonnie D. Hofkin, The use of color in scientific and medical illustration, Journal of Biocommunication 23 (1996), 3, S. 8-13, 24 (1997), 1, S. 16-28
23. Höhne/Pfeiffer (1974): Karl H. Höhne, G[] Pfeiffer, The Role of the Physician – Computer Interaction in the Acquisition and Interpretation of Scintigraphic Data, Methods of Information in Medicine 13 (1974), 2, pp. 65-70
24. Hoormann/Schawelka (1998): Anne Hoormann, Karl Schawelka (Hrsg.), Who's afraid of. Zum Stand der Farbforschung, Weimar 1998
25. Kemp (2003): Martin Kemp, Bilderwissen. Die Anschaulichkeit naturwissenschaftlicher Phänomene, Köln 2003
26. Kevles (1998): Bettyann Kevles, Naked to the bone. Medical Imaging in the twentieth century, New York 1998
27. Köhler (2003): Claus O. Köhler, Historie der Medizinischen Informatik in Deutschland von den Anfängen bis 1980, www.informierung.de/cokoehler/HistorieMI_Koehler_text.pdf
28. Kretschmann (2003): Carsten Kretschmann (Hrsg.), Wissenspopularisierung – Konzepte der Wissensverbreitung im Wandel, Berlin 2003 (= Wissenskultur und gesellschaftlicher Wandel, 4)
29. Kuehni (2005): Rolf G. Kuehni, Color. An introduction to practice and principles, Hoboken 2005
30. Lehmann (2006): Thomas M. Lehmann, Über Möglichkeiten und Grenzen bei der Verarbeitung und Analyse medizinischer Bilder, in: Andreas Beyer, Markus Lohoff (Hrsg.), Bild und Erkenntnis. Formen und Funktionen des Bildes in Wissenschaft und Technik, München 2006, S. 50-55

31. Lehmann (2007): Thomas M. Lehmann, Medizinische Bildverarbeitung, in: R[] Kramme (Hrsg.), *Medizintechnik – Verfahren, Systeme, Informationsverarbeitung*, Heidelberg 2007, S. 765-789
32. Leondes (2005): Cornelius T. Leondes, *Medical Imaging Systems Technology. Methods in Cardiovascular and Brain Systems*, New Jersey et al. 2005
33. Lösch (2006a): Andreas Lösch, Anticipating the Futures of Nanotechnology: Visionary Images as Means of Communication, *Technology Analysis & Strategic Management (TASM)*, 18 (2006), 3/4, Special Issue on the Sociology of Expectations in Science and Technology, S. 393-409
34. Lösch (2006b): Andreas Lösch, Antizipationen nanotechnischer Zukünfte: Visionäre Bilder als Kommunikationsmedien, in: Alfred Nordmann, Joachim Schummer, Astrid Schwarz (Hrsg.), *Nanotechnologie im Kontext: Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven*, Berlin 2006, S. 223-242
35. Lynch (1990): Michael Lynch, The externalized retina: Selection and mathematization in the visual documentation of objects in the life sciences, in: Michael Lynch, Steve Wolgar (eds.), *Representation in Scientific Practice*, Cambridge, London 1990, pp. 153-186
36. Maar/Burda (2005): Christa Maar, Hubert Burda (Hrsg.), *Iconic Turn – Die neue Macht der Bilder*, Köln 2005
37. Mascaro (1982/83): David Mascaro, On the use of color in medical illustration, *Journal of Biocommunication* 9 (1982), pp. 10-17, 10 (1983), pp. 30-38
38. Mausfeld/Heyer (2003): Rainer Mausfeld, Dieter Heyer (eds.), *Colour perception. Mind and the physical world*, Oxford, New York 2003
39. Meedt (2003): Petra Meedt, *Die Sichtbarmachung des Unsichtbaren. Eine historisch-anthropologische Untersuchung zur Bedeutung der Farbe in der Medizin*, Magisterarbeit Freiburg 2003
40. Mielke (2004): Ralf Mielke, Die CD in der Mikrowelle. In dieser Woche erscheinen drei neue Wissensmagazine, *Berliner Zeitung* vom 01.12.2004, S. 30
41. Müller/Groß (2006): Sabine Müller, Dominik Groß, Farben als Werkzeug der Erkenntnis. Falschfarbendarstellungen in der Gehirnforschung und in der Astronomie, in: Dominik Groß, Tobias Heinrich Duncker (Hrsg.), *Farbe – Erkenntnis – Wissenschaft. Zur epistemischen Bedeutung von Farbe in der Medizin*, Münster 2006 (= *Anthropina*, 1), S. 93-116
42. Nikolow/Bluma (2002): Sybilla Nikolow, Lars Bluma, Bilder zwischen Öffentlichkeit und wissenschaftlicher Praxis. Neue Perspektiven für die Geschichte der Medizin, Naturwissenschaften und Technik, *NTM – Internationale Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften* 10 (2002), S. 201-208
43. Orland (2002): Barbara Orland, Babys in der Röhre. Wie die Pädiatrie die Normalisierung der Magnetresonanztchnik unterstützte, in: David Gugerli, Barbara Orland (Hrsg.), *Ganz normale Bilder. Historische Beiträge zur visuellen Herstellung von Selbstverständlichkeit*, Zürich 2002 (= *Interferenzen*, 2), S. 227-250
44. Orland (2003): Barbara Orland, Der Mensch entsteht im Bild. Postmoderne Visualisierungstechniken und Geburten, *Bildwelten des Wissens. Kunsthistorisches Jahrbuch für Bildkritik* 1 (2003), 1, S. 21-32

45. Rheinberger (1992): Hans-Jörg Rheinberger, Experiment, Differenz, Schrift: Zur Geschichte epistemischer Dinge, Marburg 1992
46. Rögner (2003): Wiebke Rögner, Alles so schön bunt hier. Grafische Tricks bei der Präsentation von Forschungsergebnissen erzeugen oft mehr Schein als Sein, Süddeutsche Zeitung Nr. 28 vom 04.02.2003, S. 18
47. Rogowitz/Treinisch (1996): Bernice E. Rogowitz, Lloyd A. Treinish, How Not to Lie with Visualization, Computers In Physics 10 (1996), 3, pp. 268-273
48. Schickore (2002): Jutta Schickore, Fixierung mikroskopischer Beobachtungen: Zeichnung, Dauerpräparat, Mikrofotografie, in: Peter Geimer (Hrsg.), Ordnungen der Sichtbarkeit. Fotografie in Wissenschaft, Kunst und Technologie, Frankfurt a. M. 2002, S. 285-312
49. Schirra (2005): Jörg R. J. Schirra, Ein Disziplinen-Mandala für die Bildwissenschaft – Kleine Provokation zu einem Neuen Fach –, IMAGE 1 – Zeitschrift für interdisziplinäre Bildwissenschaft 1 (2005), S. 30-45
50. Schnabel (2005): Ulrich Schnabel, „Wer deutet das Denken?“ Ein Streitgespräch zwischen Wolfgang Prinz und Wolf Singer, DIE ZEIT Nr. 29 vom 14.07.2005, http://nurtext.zeit.de/2005/29/N-Singer_2fPrinz
51. Steinmetzer et al. (2006): Jan Steinmetzer, Dominik Groß, Tobias Fischer, Farbigkeit versus Naturtreue? Der Einsatz von Farbe bei Robert Koch und deren epistemische Bedeutung, in: Dominik Groß, Tobias Heinrich Duncker (Hrsg.), Farbe – Erkenntnis – Wissenschaft. Zur epistemischen Bedeutung von Farbe in der Medizin, Münster 2006 (= Anthropina, 1), S. 41-62
52. Walter (2002): Henrik Walter, Funktionelle Bildgebung in der kognitiven Neurowissenschaft: Ihre Bedeutung für Psychiatrie und Philosophie des Geistes, Ulm 2002
53. Werner (2003): Gabriele Werner, Bildunterschätzung? Bildüberschätzung? Ein Gespräch der Bilderwelten des Wissens mit Michael Hagner, Bildwelten des Wissens, Kunsthistorisches Jahrbuch für Bildkritik 1 (2003), 1, S. 103-111
54. West/Fenstermaker (1995): Candace West, Sarah Fenstermaker, „Doing difference“, Gender & Society 9 (1995), 1, pp. 8-37

Kurzbiografien der Autorinnen und Autoren

Dr. phil. Martina Długaiczky, geboren in Hannover; Studium der Kunstwissenschaft, Geschichte und Politologie an der Universität Kassel (1994 Magisterprüfung, 2001 Promotion); Assistentin am Lehrstuhl und Institut für Kunstgeschichte der RWTH Aachen; *Forschungsschwerpunkte*: politische Ikonografie der Frühen Neuzeit, Universitäts- und Lehrsammlungen des 19. Jahrhunderts.

Dr. phil. David Engels, geboren in Verviers (Belgien); Studium der Geschichte, Philosophie und Volkswirtschaftslehre an der RWTH Aachen (2007 Promotion in Alter Geschichte, Promotionsstipendiat der Studienstiftung des Deutschen Volkes), Nebensstudien in Lüttich (Arabistik) und Nottingham; seit 2005 Assistent am Lehrstuhl für Alte Geschichte des Historischen Instituts der RWTH; *Forschungsschwerpunkte*: Römische Religionsgeschichte, Seleukidischer Staat, arabisch-islamische Kultur, Geschichtsphilosophie.

Lioba Geis, M. A., geboren in Aachen; Studium der Geschichte, Kunstgeschichte und Katholischen Theologie an der RWTH Aachen (2006 Magisterprüfung); seit 2006 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Mittlere Geschichte der RWTH Aachen; *Forschungsschwerpunkte*: Geschichte des Königreichs Sizilien, Geschichte der Normannen- und Stauferherrschaft, mittelalterliche Institutionen.

Univ.-Prof. Dr. med., med. dent. et phil. Dominik Groß, geboren in St. Wendel; Studium der Geschichte, Philosophie und Klassischen Archäologie (1990 Magisterprüfung, 1993 Promotion in Saarbrücken), der Zahnheilkunde (1989 Zahnärztliche Prüfung, 1991 Promotion in Homburg) und der Humanmedizin (2000 Ärztliche Prüfung, 2001 Promotion in Ulm), 1998 Habilitation in Würzburg; seit 2005 Direktor des Instituts für Geschichte, Theorie und Ethik der Medizin an der RWTH Aachen, seit 2006 Sprecher des Aachener Kompetenzzentrums für Wissenschaftsgeschichte; *Forschungsschwerpunkte*: angewandte Medizinethik (Medizin und Geschlecht, Verteilungsgerechtigkeit, Neuroethik, Transplantationsmedizin), Neuzeitliche und frühneuzeitliche Medizingeschichte (insbesondere medizinische Berufsgruppen).

Univ.-Prof. Dr. phil. Walter Kaiser, geboren in Esslingen am Neckar; Studium der Physik und Chemie, dann auch der Geschichte der Naturwissenschaft und Technik sowie Philosophie an der Universität Stuttgart (1975 Promotion); 1976-1982 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachbereich Mathematik der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, 1984 Habilitation für das Fach „Geschichte der Naturwissenschaften“ in Mainz, 1985/86 Forschungsaufenthalt am „Office for History of Science and Tech-

nology“ an der University of California, Berkeley, 1986/87 Oberkonservator am Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim; seit April 1987 Professor für „Geschichte der Technik“ an der RWTH Aachen; *Forschungsschwerpunkte*: neuere Physikgeschichte, Zeitgeschichte der Technik, insbesondere Geschichte der Ingenieurwissenschaften, Unternehmensgeschichte.

Univ.-Prof. Dr. phil. Alexander Marksches, geboren in Berlin; Studium der Kunstgeschichte, Geschichte und klassischen Archäologie in München, Osnabrück, Berlin, Florenz und Bonn (1994 Magister, 1999 Promotion), 2007 Habilitation an der Universität Basel; seit 2006 Inhaber des Lehrstuhls für Kunstgeschichte der RWTH Aachen, Mitherausgeber der Zeitschrift für Kunstgeschichte; *Forschungsschwerpunkte*: Kunst des Mittelalters und der Neuzeit, Wissenschaftsgeschichte.

Dr. phil. Dipl.-Phys. Sabine Müller, geboren in Bottrop; Studium der Physik (Nebenfächer: Chemie, Physiologie und Wissenschaftstheorie, Diplomarbeit in Neurobiologie, 1992 Diplom an der RWTH Aachen) und der Philosophie (2004 Promotion an der RWTH Aachen); seit 2006 Wissenschaftliche Angestellte und Fachkoordinatorin für Wissenschaftsethik und -theorie am Institut für Geschichte, Theorie und Ethik der Medizin an der RWTH Aachen; *Forschungsschwerpunkte*: Neuroethik, insbesondere ethische Probleme der Neurochirurgie, philosophische und naturwissenschaftliche Intelligenz-Theorien, biologische Grundlagen psychischer Phänomene.

PD Dr. med. Gerhard Müller-Strahl, M.A., geboren in Aachen; Studium der Medizin in Aachen, Paris und Lausanne (1989 Staatsexamen, 1991 Promotion), berufsbegleitendes Studium der Philosophie und Mathematik in Göttingen, Leipzig und Bochum (2006 Masterprüfung), 2004 Habilitation an der Ruhr-Universität Bochum in Geschichte und Wissenschaftsgeschichte der Medizin; seit Oktober 2006 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geschichte, Theorie und Ethik der Medizin an der RWTH Aachen, Geschäftsführer des Aachener Kompetenzzentrums für Wissenschaftsgeschichte; *Forschungsschwerpunkte*: Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte der Medizin und der Physiologie.

Univ.-Prof. (em.) Dr. rer. nat. Walter Oberschelp, geboren in Herford; Studium der Mathematik, Physik und Astronomie in Göttingen, Tübingen und Münster (1959 Promotion und Lehramtsprüfung), 1966 Habilitation, dann ein Jahr Professor an der University of Illinois, Urbana; seit 1971 Lehrstuhlinhaber für „Angewandte Mathematik, insbesondere Informatik“ in Aachen, Aufbau des Diplom-Studienganges Informatik (gegründet 1972) und Etablierung des Nebenfachs Informatik in der Mathematik, 1998 Emeritierung, weitere Lehrtätigkeit mit Schwerpunkten Interdisziplinarität und historische Grundlagen, insbesondere im Seniorenstudium. *Forschungsschwerpunkte*: Dis-

krete Mathematik, Theoretische Informatik (Rechnerstrukturen, Bildverarbeitung, Computergraphik), Wissenschaftsgeschichte, Philosophie.

Univ.-Prof'in Dr. phil. Christine Roll, geboren in Hamburg; Studium der Geschichtswissenschaft und der Slavistik in Hamburg und Konstanz (1986 Staatsexamen in Konstanz), 1991 Promotion im Fach Geschichte, 2003 Habilitation, Erteilung der *Venia legendi* für Neuere Geschichte an der Universität Konstanz; seit Oktober 2003 Hochschulprofessorin für Geschichte der Frühen Neuzeit und Wissenschaftliche Leiterin des Hochschularchivs der RWTH Aachen; *Forschungsschwerpunkte*: Russland und Europa, Geschichte des Alten Reichs, Internationale Beziehungen in der Frühen Neuzeit, Katholische Aufklärung und Säkularisation; neue Forschungsgebiete: Kartografie, Frauen in den Wissenschaften.

Dr. med. dent. Gereon Schäfer, geboren in Frankfurt a. M.; Studium der Zahnmedizin (1989 Zahnärztliche Prüfung, 1995 Promotion in Homburg/Saar) sowie Geschichte, Romanistik und Klassischen Archäologie; seit 2007 wissenschaftlicher Angestellter und Fachkoordinator für Medizingeschichte am Institut für Geschichte, Theorie und Ethik der Medizin an der RWTH Aachen; *Forschungsschwerpunkte*: Zahnärztliche Professionalisierung nach 1919 (aktuelles historisches Promotionsprojekt), Medizin und Zahnmedizin im Nationalsozialismus, Verteilungsgerechtigkeit im Gesundheitswesen, Professionalisierung der Heil- und Pflegeberufe, Farbe in der Medizin.

Stefanie Westermann, M.A., geboren in Lünen/Westfalen; Studium der Neueren/Neuesten Geschichte und Politikwissenschaft (2005 Magisterprüfung) in Osnabrück; seit 2006 Wissenschaftliche Mitarbeiterin des Instituts für Geschichte, Theorie und Ethik der Medizin an der RWTH Aachen, Geschäftsführerin des Aachener Kompetenzzentrums für Wissenschaftsgeschichte; *Forschungsschwerpunkte*: Deutsche Geschichte des 20. Jahrhunderts, insbesondere Medizin und Nationalsozialismus, Der Umgang mit der nationalsozialistischen Vergangenheit, Visualisierung in den Wissenschaften.