

Die visuelle digitale Darstellung von Körperinnenwelten und Mikrokosmen

MARLENE RAML



MASTERARBEIT

eingereicht am
Fachhochschul-Masterstudiengang

Digital Arts

in Hagenberg

im Juli 2016

© Copyright 2016 Marlene Raml

Diese Arbeit wird unter den Bedingungen der *Creative Commons Lizenz Namensnennung–NichtKommerziell–KeineBearbeitung Österreich* (CC BY-NC-ND) veröffentlicht – siehe <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/at/>.

Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Hagenberg, am 14. Juli 2016

Marlene Raml

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	iii
Kurzfassung	vi
Abstract	vii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Fragestellung und Zielsetzung	2
2 Geschichte der Naturwissenschaft	3
2.1 Geschichte allgemein	3
2.1.1 Anatomie	3
2.1.2 Mikroskopie	6
2.1.3 Fotografie	6
2.1.4 Computertechnologie	7
2.2 Verfahren zur naturwissenschaftlichen Visualisierung	8
2.2.1 19. Jahrhundert	8
2.2.2 20. Jahrhundert	12
3 Wissenschaftsbilder in der Populärkultur	18
3.1 Geschichte der Wissenschaft in der Populärkultur	19
3.2 Das digitale Bild als Referenz	20
3.3 Wissenschaftsdarstellungen als Ikone	21
4 Digitale Visualisierungen	26
4.1 Einsatzgebiete	26
4.1.1 Dokumentationen - Wissen	26
4.1.2 Lehrvideos - Lehre	28
4.1.3 Fiktionale Filme - Unterhaltung	28
4.2 Analyse von Beispielen	29
4.2.1 Rote Blutkörperchen in der Blutbahn	29
4.2.2 DNA Doppelhelix	33
4.2.3 Neuronen	37

4.2.4 Die Körperinnenwelten vom Animationsfilm <i>next</i>	42
5 Ausblick: Die neuen Animationsmethoden für die Wissenschaft	45
5.1 Molekulare Animationen	45
5.2 Vergleich mit den bisherigen Visualisierungen	47
6 Schlussbemerkung	51
Quellenverzeichnis	54
Literatur	54
Filme und audiovisuelle Medien	56
Online-Quellen	56

Kurzfassung

Populäre Wissenschaftsbilder sind fest in unseren Köpfen verankert. Ob nun die Darstellung der DNA-Doppelhelix, das Blut in der Blutlaufbahn, Neuronen in unserem Gehirn oder generell die Körperinnenwelten des Menschen, es werden sofort bestimmte Bilder mit diesen Schlagwörtern assoziiert. Solche, die man in den heutigen Medien antrifft und sofort wiedererkennt. Was die Allgemeinheit jedoch nicht weiß ist, inwieweit diese Darstellungen auch wirklich die Realität widerspiegeln. Können diese Bilder tatsächlich als Repräsentant von wissenschaftlichen Visualisierungen gesehen werden und inwiefern unterscheiden sie sich von den Bildern aus der Medizin und Forschung? Um diese Frage zu beantworten, können wissenschaftlich bildgebende Verfahren reflektiert und mit den heutigen Bildern der Populärkultur verglichen werden. Ebenso interessant ist der Wandel populärer Darstellungskonventionen von der Medienrevolution an bis zum heutigen Tage sowie die Betrachtung aktuellster Animationsverfahren in der Wissenschaft, welche die Unterhaltungsindustrie möglicherweise beeinflussen. Ob Bilder der Forschung oder Bilder der Massenmedien, die Frage der Objektivität stellt sich bei jeder Darstellung und wird von Medientheoretikern stark diskutiert.

Abstract

Popular scientific images are solidly anchored in people's minds. Whether it's the depiction of DNA double helix, red blood cells in their circulatory system, neurons in our brains or the human inner life in general, certain images appear in our heads as soon as we are exposed to any of those keywords: images we encounter in today's media and which we recognize immediately. The general public however doesn't know how far these depictions actually reflect reality. Are these images in fact a representation of science or to what extent do they differ from medical representations and research? In order to answer these questions, scientific imaging methods can be reflected and compared to today's public perception. The transition of popular representation conventions starting from the media revolution up until today as well as the reflection of new animation techniques which might influence the entertainment industry, are of equal interest. Whether research images or those of the mass media, the question of objectivity arises with every depiction and is widely debated among media theorists.

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Das Masterprojekt *nex* [30] für den Studiengang *Digital Arts* an der FH Oberösterreich, Campus Hagenberg handelt von einem Nashornkäfer, der von Pilzsporen getroffen und befallen wird. Das Projekt ist ein Hybridfilm mit gefilmten Material und Computergrafik. Für die Außenwelt wurde ein Miniaturset aus gesammelten pflanzlichen Organismen und Steinen in diversen Größen aufgebaut. Durch diesen Miniaturwald bewegen wir uns mit einer Kamerafahrt auf einen Ast zu, wo wir auf den Käfer treffen. Dort angekommen beobachten wir den Käfer und sehen, wie er von den Sporen getroffen wird und diese einatmet. Wir wechseln nach dem Einatmen ins Innere des Käfers, welches ausschließlich computergeneriert wurde. Dort wird sein Körper von dem Pilz befallen, der in seinem Inneren heranwächst, durch den Panzer an die Oberfläche bricht und dabei den Käfer tötet.

Für das Team war klar, der Käfer, welcher auch computergeneriert ist, sollte von außen so fotorealistisch wie möglich wirken, damit er in die gefilmte Waldumgebung passt. Als optimale Referenz wurden zwei echte Nashornkäfer und ein Käferpräparat organisiert. Nachdem für das Aussehen des Käfers alles abgeklärt wurde, stellte sich die Frage, wie sieht es im Inneren eines Käfers aus? Sofort tauchten bekannte Bilder von etlichen Animationen und Filmen mit Körperinnenwelten in den Köpfen auf. Doch je näher diese Bilder reflektiert wurden, umso schneller wurde klar, dass es sich bei diesen Visualisierungen unmöglich um akkurate Darstellungen handeln konnte. Das stellte das Team vor die Entscheidung, ist es wohl besser es wissenschaftlich korrekt darzustellen oder sollten bereits vorhandene Bilder als Referenz dienen. Wir entschieden uns für Zweiteres, weil es dazu genügend Referenzmaterial gab und es sehr schwer herauszufinden ist, wie es wirklich in einem Käferinneren aussieht. Außerdem waren wir uns sicher, dass eine Darstellung, die bereits in den Köpfen der Menschen und auch in unseren Köpfen verankert ist, für die Zuseher glaubwürdiger wirken würde. Erst hier wurde

dem Team bewusst, wie viele Visualisierungen in Filmen, Dokumentationen oder anderen Medien nicht korrekt sind.

1.2 Fragestellung und Zielsetzung

Das Ziel dieser Masterarbeit ist herauszufinden, warum sind die populären Bilder von Körperinnenwelten so visualisiert wie man sie in den heutigen Medien antrifft? Wie unterscheiden sich wissenschaftliche Bilder von Bildern für die breite Masse und wie haben diese Bilder ihre Darstellungsform im Laufe der Zeit erhalten. Haben sie einen Wandel durchgemacht? Dafür muss der Umgang mit dem menschlichen Körper ab der Zeit vor Christus bis heute beleuchtet werden. Wie haben sich die wissenschaftlichen Bilder gewandelt und was war damals bis heute eigentlich möglich darzustellen? Wie haben sich weiters die Darstellungskonventionen von wissenschaftlichen Bildern für die Populärkultur etabliert? Im Analyse-Kapitel werden drei populäre Wissenschaftsbilder in Filmen und auch die Körperinnenwelten vom Projekt *nex* genauer betrachtet, miteinander und mit akkuraten wissenschaftlichen Abbildern verglichen. Das letzte große Kapitel beleuchtet die neuesten wissenschaftlichen Animationstechniken und ihre mögliche Stellung in der Zukunft, sowie ihren möglichen Einfluss auf die Unterhaltungsmedien.

Kapitel 2

Geschichte der Naturwissenschaft

2.1 Geschichte allgemein

2.1.1 Anatomie

Der Begriff „Anatomie“ stammt vom altgriechischen *anatemnein* und bedeutet „zerschneiden bzw. zergliedern“. Die Geschichte der Anatomie kann in zwei Abschnitte gegliedert werden. Der Erste erstreckt sich von der Vorzeit bis in etwa Mitte des 16. Jahrhunderts und der Zweite beginnt mit der Renaissance [1, S. 2].

Von der Vorzeit sind Darstellungen von Ritualen oder magischen Szenen des Körpers vorhanden, jedoch fehlte anatomisches Wissen. Krankheiten wurden damals noch nicht mit den Organen oder dem Körperinneren in Zusammenhang gebracht. Vor Krankheit konnten Priester, Wunderheiler oder Schamanen schützen. Bei den Ägyptern wurde zwar der tote Körper einbalsamiert, jedoch wurde aus Ehrfurcht gegenüber dem menschlichen Körper nicht weiter eingegriffen oder studiert. Bei den antiken Hochkulturen war der tote Körper etwas Unantastbares. Auch bei den Griechen und Römern war ein unbegrabener Leichnam eine schlimme Strafe aus religiösen Gründen. Später wurden Leichen aus hygienischen Gründen so schnell wie möglich beseitigt. Dennoch wurden Tiere obduziert und somit anatomische Analogien gezogen. Um 450 v. Chr. seziierte Empedokles Totgeborene, welche noch nicht gelehrt hatten und somit nicht verboten war. Er beobachtete bereits Muskeln und Bänder. Ebenso Aristoteles (384–322 v. Chr.), welcher anhand Studien ein Gesamtbild der Anatomie zu erarbeiten versuchte. Die Studien galten jedoch nur der Beobachtung und nicht der Erarbeitung der Anatomie für die Medizin. Im dritten Jahrhundert v. Chr. erreichte die Anatomie ihre Hochblüte. Die griechischen Könige aus Alexandria, welche von Aristoteles Ansichten erzogen wurden, erbauten die ersten wissenschaftli-

chen Institutionen der Welt. Alles von der Natur vorgegebene galt es zu erforschen im Museum und der Bibliothek von Alexandria. Für die Ptolemäer war die Wissenschaft wichtiger als Totenkult und somit bildete sich ein Forschungszentrum mit geförderten anatomischen Forschern. Herophilus (315–250 v. Chr.) und Erasistratos (310–250 v. Chr.) folgten mit genauen Beschreibungen des Gehirns, der klaren Unterscheidung zwischen Arterien und Venen und weiteren Angaben zu Organen des menschlichen Körpers. Nach und nach tauchten Forscher, Wissenschaftler aber auch Skeptiker wie die Empiriker, die nichts für die angewandte Wissenschaft übrig hatten, auf oder verschwanden. Die Werke der Galens waren teilweise bemerkenswert korrekt dargestellt, jedoch enthielten manche ebenso Irrtümer. Diese Irrtümer wurden teilweise nicht in Frage gestellt und falsch abgeschrieben. Somit stagnierte die Entwicklung der Anatomie. Hinzu kommt noch die Sektionsfeindlichkeit der christlichen Frühzeit, wo Anatomen als Metzger verdammt wurden. Die europäische Medizin lebte erst wieder mit der *Schule von Salerno* (ca. 1000–1200) auf. Die ersten detaillierten Darstellungen sind von Henri de Mondeville (1315) und von Mondino di Luzzi (1316) (siehe Abb. 2.1) dokumentiert. Auch die Übersetzung von den griechischen Schriften in das Lateinische, erweckten neues Interesse. Besonders die bildende Kunst förderte das Interesse an der Anatomie. Die immer mehr realistischen Darstellungen vom Körper erforderten genaue Studien. Bereits um 1455 fertigte Andrea Mantegna sehr realitätsgetreue Körper (siehe Abb. 2.2) an, welche erst nach 1500 von Leonardo da Vinci (siehe Abb. 2.3) und Michelangelo ähnlich angefertigt wurden. Anfang des 16. Jahrhunderts bereiteten Künstler den zweiten Abschnitt der Geschichte der Anatomie vor. Besonders Andreas Vesalius (1514–1564), der sich zum wichtigen Kritiker wandelte, als er die abgeschriebenen Irrtümer Galens anhand seiner eigenen Untersuchungen aufdeckte und berichtigte. Es entstanden „Anatomische Theater“, welche es der Öffentlichkeit ermöglichten gegen Entgelt an der Sezierung teilzunehmen (siehe Abb. 2.4) [1, S. 2f.].



Abbildung 2.1: Anatomische Studien von Mondino di Luzzis (1537) [35].



Abbildung 2.2: Studie *Study for a Christ* von Andrea Mantegna (1478–1490) [36].



Abbildung 2.3: Anatomische Skizzen von Leonardo da Vinci (1504) [37].

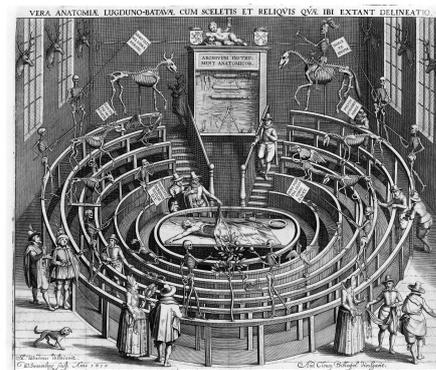


Abbildung 2.4: *The anatomical theatre* von Johannes Woudanus (1610) [38].

2.1.2 Mikroskopie

Der Begriff „Mikroskop“ stammt aus dem Griechischen *mikros*, was „klein“ bedeutet und *skopein*, übersetzt „sehen“ [12, S. 2]. Schon die alten Griechen wussten, dass Glaskugeln mit Wasser gefüllt und gekrümmte Spiegel eine Vergrößerung bewirken. Und im ersten Jahrzehnt des 17. Jahrhunderts, experimentierte man mit diesen Phänomenen. Eine wichtige Erfindung war das von Galileo Galilei 1609 in der Astronomie angewandte Fernrohr [57, S. 1]. Trotzdem entwickelte sich erst Anfang des 19. Jahrhundert das Mikroskop als essentielles Instrument in der Naturwissenschaft und Medizin. Besonders zu Beginn waren die Mikroskope teils aus Holz und Pappe gebaut, welches für das wissenschaftliche Arbeiten nicht geeignet war. Vor allem bei der Herstellung von zusammengesetzten Mikroskopen gab es zu Beginn Schwierigkeiten. So war ihm das einfache Mikroskop für eine lange Zeit überlegen. Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723) untersuchte mit einem einfachen Mikroskop bereits Schimmelpilze, Blut oder Fischschuppen und weitere Objekte. Er fertigte seine Mikroskope selbst an, teilte jedoch seine Erkenntnisse mit niemandem. Trotzdem waren die damaligen Mikroskope nicht von Bildfehlern befreit. Erst 1733 wurde die chromatische und sphärische Aberration beseitigt. Die chromatische Aberration entsteht dadurch, dass Licht unterschiedlicher Wellenlängen und Farbe unterschiedlich gebrochen werden. Auch bei der sphärischen Aberration fallen die Lichtstrahlen nicht auf einen Punkt zusammen und es entsteht ein Schärfefehler. Angewandt wurde diese Fehlerbeseitigung jedoch vorerst bei Fernrohren, erst 1770 wurden die ersten achromatischen Mikroskope gebaut. Wegen Schwierigkeiten bei der Produktion dauerte es noch mehrere Jahrzehnte, bis solche Mikroskope serienmäßig hergestellt wurden. Bis hin zum Mitte des 20. Jahrhunderts wurden Fehler ausgemerzt und an den Mikroskopen gearbeitet. Viele Wissenschaftler sahen die Geschichte der Lichtmikroskopie im 20. Jahrhundert als beendet. Doch auch danach entstanden noch einige Weiterentwicklungen und viele meinen, es ist auch heute noch kein Ende in Sicht [12, S. 2–3].

2.1.3 Fotografie

Bei der Fotografie handelt es sich um ein analoges Verfahren mittels eines optischen Systems wird ein Lichtbild auf ein lichtempfindliches Medium projiziert. Der Vorläufer war die *camera obscura*, dessen Prinzip bereits Aristoteles (384–322 v. Chr.) erkannte. Erst 1839 wird die Erfindung der Fotografie datiert, da wo es Joseph Nicéphore Niepce und Louis J. M. Daguerre gelingt, mithilfe der *camera obscura* dauerhaft Bilder festzuhalten. Parallel fanden auch andere Erfinder ähnliche Methoden [61]. Mit der Entwicklung der Fotografie, erweiterte sich ihr Einsatzgebiet und den Horizont der Darstellbarkeit. Naturwissenschaftler aller Art kamen dem Wunsch nach ihre Forschungsobjekte wirklichkeitsgetreu, detailgenau und objektiv in kurzer

Zeit festzuhalten [11, S. 26]. Talbot folgte 1835 mit seiner Erfindung des Farbnegativs, welches unbegrenzt vervielfältigt werden konnte. Außerdem war er der Vorreiter der Blitzfotografie und der Reisekameras. Um 1840 erreichte man mit zwanzigmal so lichtstarken Objektiven als zuvor eine höhere Lichtempfindlichkeit und kurz danach war es möglich die Aufnahmezeit auf 1.5 bis 2 Minuten zu senken. 1868 entstand schließlich der erste farbige Pigmentdruck durch Louis Duces du Hauron (1837–1920). Bis zu dem Zeitpunkt als die Filmrolle 1888 von Georg Eastmann präsentiert wurde, beruhend auf der Idee von Reverend Hannibal W. Goodwin, war die Fotografie eine teure Angelegenheit. Er wollte sie für die breite Masse zugänglich machen. 1900 begann schließlich die industrielle Produktion von Filmrollen durch AGFA. Es folgten weitere Verbesserungen wie zum Beispiel Verringerung der Körnigkeit, bessere Schärfe, Verkleinerung des Filmformates, die Perforation von 35-mm-Filmen oder die Verbesserung der Farbfotografie. 1963 starteten die ersten Versuche das Bild digital zu speichern. David Paul Gregg (1927–2001) erfand die Videodisk-Kamera, welche Standbilder, wenn auch nur für ein paar Minuten, elektronisch speichern konnte. Nach weiteren Entwicklungen und Forschungen, entwickelte der Kodak Ingenieur Steve J. Sasson 1975 die Digitalkamera. Erst 25 Jahre später brachte Kodak die ersten Digitalkameras in den Verkauf [53, S. 9–19].

2.1.4 Computertechnologie

Die ersten Computer wurden Ende der 1950er Jahre und Anfang der 1960er Jahre in den großen Krankenhäusern und medizinischen Ausbildungsstätten verwendet. Sie wurden anfangs hauptsächlich für die Speicherung der Laborinformationen genutzt. Hierbei handelte es sich noch um riesige Mainframe-Computer, deren Kosten für die meisten unerschwinglich waren. Erst später wurden Computer für bildgebende Verfahren genutzt, welche teilweise über einen ganzen Tag benötigten, um zum Beispiel aus den Daten der Computertomographie (siehe Abschnitt 2.2.2) ein Bild zu rekonstruieren [58]. Heute ist der Umfang der medizinischen Informatik sehr groß und komplex und unterstützt die Medizin in allen Bereichen. Relevant hervorzuheben ist die medizinische Bildverarbeitung, die medizinische Bilder generiert und den Weg zur digitalen Visualisierung von Körperinnenwelten in den verschiedensten Bereichen ebnete.

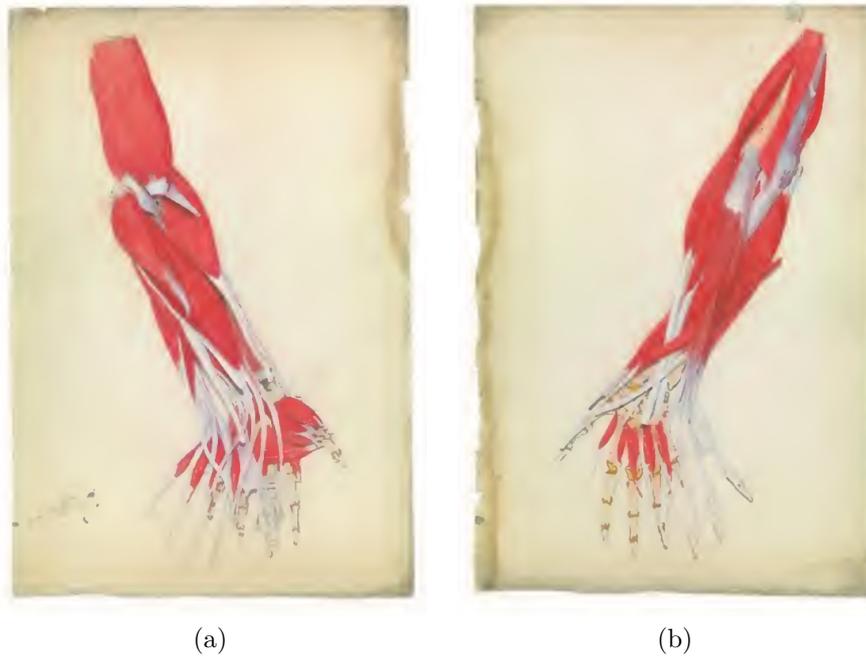


Abbildung 2.5: Klappbilder von Anton Franz Ritter von Perger (1844). Bild (a) zeigt die Muskeln des Vorderarms, innere Ansicht. Bild (b) die Muskeln des Vorderarms, Rückseite [20].

2.2 Verfahren zur naturwissenschaftlichen Visualisierung

2.2.1 19. Jahrhundert

Anatomische Klappbilder

Anton Franz Ritter von Perger (1809–1876), ein Wiener Künstler, fertigte etliche anatomische Skizzen an. Die Besonderheit der anatomischen Studien lag daran, dass es Klappbilder in Mischtechniken (Bleistift, Tusche, Aquarell, weiß gehöht) waren mit dem Augenmerk auf den Muskel- und Knochenaufbau. Dabei befestigte Perger die Muskeln mit Leinenstreifen am Basisblatt mit der Knochenstruktur (siehe Abb. 2.5) [20].

Zeichnen am Mikroskop

Besonders diese Art der Repräsentation eines Untersuchungsobjektes wurde wegen der Objektivität der Darstellung angezweifelt. Die zeichnerischen Fähigkeiten des Mikroskopikers limitierten die Beweiskraft. Vor allem versuchten die Mikroskopiker mittels der Zeichnung eine verzerrungsfreie Wie-

dergabe zu erzielen. Besonders der Weg vom Beobachten bis hin zur zeichnerischen Wiedergabe, eröffnete viele Fehlerquellen. Daher war es bis ins 19. Jahrhundert üblich, mit einem Auge durch das Mikroskop zu blicken und gleichzeitig mit dem zweiten Auge die Zeichnung anzufertigen. Eine komplizierte Praxis, die sehr viel Übung erforderte [2, S. 169]. Zu erwähnen wäre Robert Hookes *Micrographia* (siehe Abb. 2.6). Wie folgt beschreibt es Barbara Wittmann im Band 9.2 von *Bildwelten des Wissens* [21, S. 54]:

[...] die frühe mikroskopische Zeichnung noch selbstverständlich über das ganze kunstvolle Repertoire der europäischen Handzeichnung und Druckgrafik verfügte.

1806 wurde dann die *camera lucida* vom Chemiker, Optiker und Physiologen William Hyde Wollaston patentiert. Die *camera lucida* war ein Hilfsmittel zur mikroskopischen Visualisierung in Form eines viereckigen Prismas. Sie ermöglichte den Mikroskopikern durch ein Guckloch die Umrisse des Objektes auf dem Blatt Papier zu sehen und konnten es somit abzeichnen [2, S. 169]. Durch dieses Verfahren ändert sich der Stil der mikroskopischen Zeichnung. Es entsteht besonders eine Verflächigung durch den Zeichenspiegel und auch durch die Möglichkeit die Konturen nachzuziehen, entsteht ein Zeichenstil mit sehr einfachen Elementen (siehe Abb. 2.7). Wittmann beschreibt es in *Bildwelten des Wissens* wie folgt [21, S. 54]:

[...] Handbücher über das Mikroskopieren aus den 1860er-Jahren lassen das reiche Spektrum von Halbtönen durch verschiedene Modi der Strukturierung und Modellierung gänzlich missen; sie weisen bereits die charakteristische Beschränkung auf Linien und Punkte auf.

Dennoch gewannen die Zeichnungen mit Hilfe der *camera lucida* an Objektivität.

Mikrofotografie

Ende des 19. Jahrhunderts wollte man Nicht-Sichtbares sichtbar machen mit einer absoluten Objektivität, welche die Lücke zwischen dem Objekt und der eigenen Wahrnehmung schließt. Besonders bei der vergrößernden Fotografie [4, S. 153]. Die Mikrofotografie war eines der ersten Einsätze der Fotografie in der Wissenschaft. 1845 veröffentlichten die Franzosen A. Donné und L. Foucault eine Sammlung an mikrofotografischen Aufnahmen, eine der ersten bekannten Publikationen, die ausschließlich Mikrofotografien für die Dokumentation heranzieht (siehe Abb. 2.8). Um 1860 haben viele Forscher Anatomie Mikrofotografien veröffentlicht und sie haben die künstliche Welt der Fotografie als eine eigentliche Repräsentation des Mikrokosmos gesehen. Daraus folgte, dass Wissenschaftler die Fotografien analysierten, anstatt den Prozess mit dem Mikroskop an sich. Es folgte ein derartiger

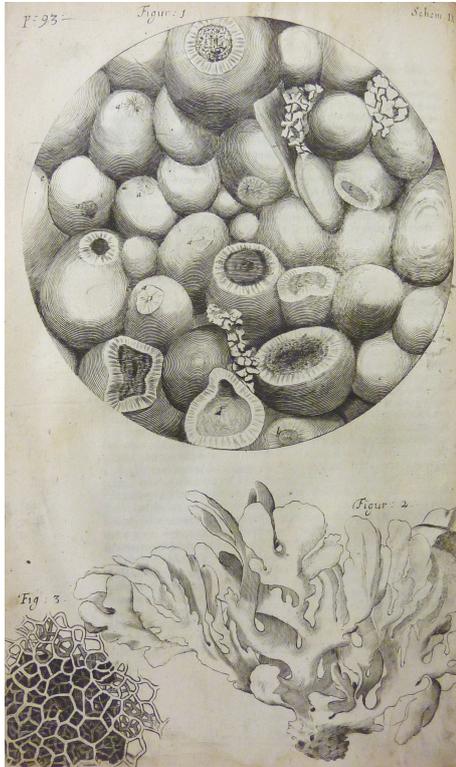


Abbildung 2.6: Mikroskopische Zeichnung aus Robert Hoo-kes *Micrographia* (1665) [39].

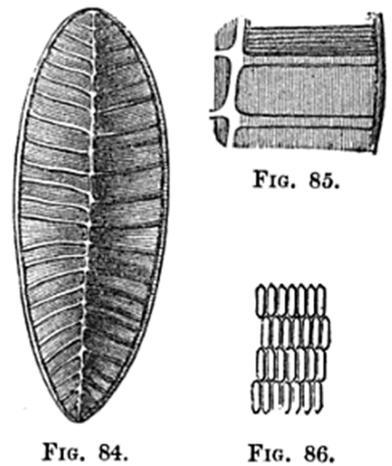


Abbildung 2.7: Mikroskopische Zeichnung von Carl Nägeli aus *Das Mikroskop: Theorie und Anwendung desselben* (1867) [40].

Boom rundum mikrofotografischer Handbücher, die zeigen sollten, was in dieser dokumentarischen Technik steckt. Eine Akzeptanz dieser Technik in der Wissenschaft ging noch nicht einher. Somit verzögerte sich der Durchbruch bis in die 1880er. Er gelang schlussendlich wegen Robert Koch, der die Mikrofotografie als zentrales Instrument für die Bakterienkunde endgültig etablierte. Nachdem etliche Forscher das Foto als Forschungsobjekt hernahmen und den eigenen Blick durch das Mikroskop als nicht mehr nötig empfanden, erklärten Carl Karg und Christian Georg Schmorl in ihrer Veröffentlichung von 1893, dass das Foto als Auffrischung zur eigentlichen Forschung mittels Mikroskop dienen sollte. Sie heben auch heraus, dass das Foto eine Verflachung des dreidimensionalen Objektes sei und somit nicht die persönliche Beobachtungen ersetzen könne [3, S. 221ff.].

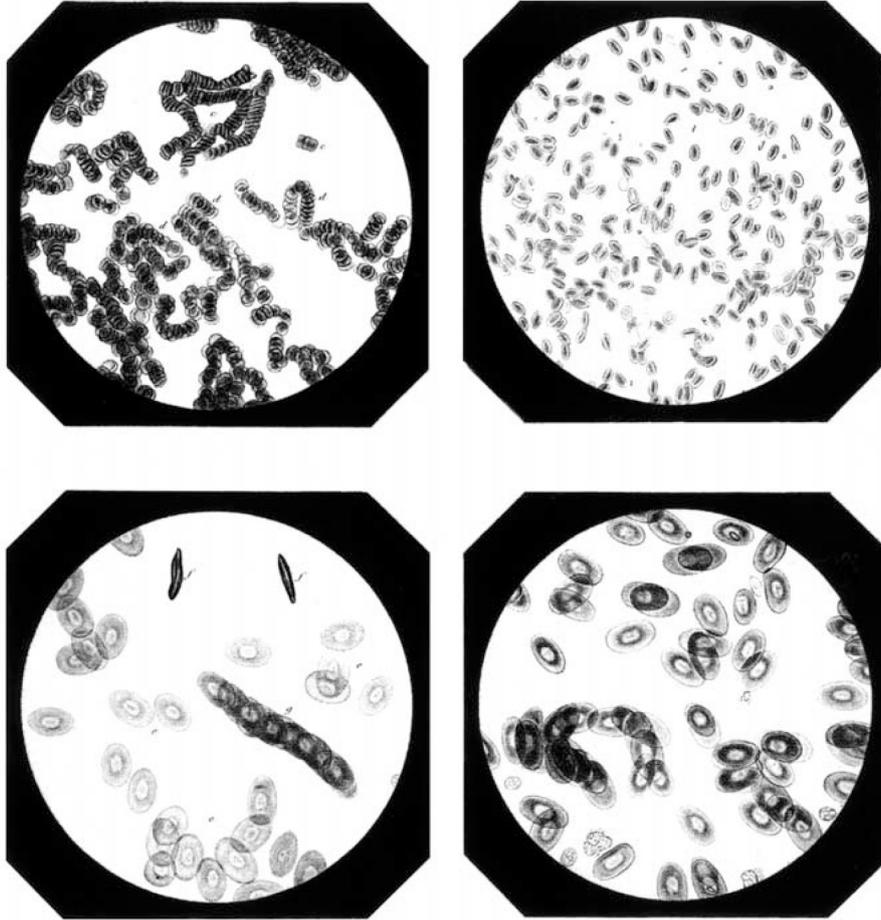


Abbildung 2.8: Mikrofotografien aus *Cours de microscopie complémentaire des études médicales, anatomie microscopique et physiologie des fluides de l'économie*. Atlas exécuté d'après nature au microscope-daguerréotype von A. Donné und L. Foucault (1845) [3].

Röntgenfotografie

Nach der Entdeckung der Fotografie für die Wissenschaft, zum Beispiel der Mikrofotografie, entwickelte sich durch die Verbesserung der Zusammenarbeit von Optik, Licht, Bildträger und Chemie, das Arbeiten mit der Röntgenstrahlung. In diesem Fall wurde die Fotografie ein sehr wichtiges Werkzeug der Forschung. Am 5. Jänner 1896 verkündete die *Neue Freie Presse* in Wien die Entdeckung der Röntgenstrahlen von Wilhelm Konrad Röntgen. Abgebildet war die Hand von Röntgens Ehefrau (siehe Abb. 2.9) [11, S. 26]. Die Röntgenbilder entstanden durch die Röntgenstrahlung, welche sich durch das Objekt hindurch bewegten. Sie hinterließen einen „Schatten“ auf



Abbildung 2.9: Röntgenaufnahme von Anna Bertha Röntgens Hand (1895) [41].

der fotografischen Platte, je nach Strahlungsdurchlässigkeit der Materialien, war dieser dunkler oder heller. Dieses Phänomen wurde von Röntgen *X-Strahlen* genannt, da er die näheren Eigenschaften der Strahlung nicht eindeutig zuweisen konnte. Die Entdeckung verbreitete sich schnell und geriet in öffentliche Diskurse. Die Röntgenbilder schlugen eine Brücke in das mystische Reich des Unsichtbaren auf und löste weltweite Faszination, aber auch die Assoziation mit dem Geisterhaften, aus [10, S. 40ff.].

2.2.2 20. Jahrhundert

Computertomographie

Die jüngste Weiterentwicklung der klassischen Röntgenfotografie ist die Computertomographie. Sie ist in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre eingeführt worden und es werden Körperschichten digitalisiert. Anders als in der Röntgenaufnahme, gibt es hier keine Überlagerungen durch andere Schichten. Der Körper wird aus unterschiedlichen Richtungen durchstrahlt und schichtweise untersucht. Nachdem das Verfahren auf komplizierten mathematischen Rechnungen beruht, war die Entwicklung der modernen Computertechnik in den sechziger Jahren notwendig. 1979 wurden dem Physiker Allan McLeod

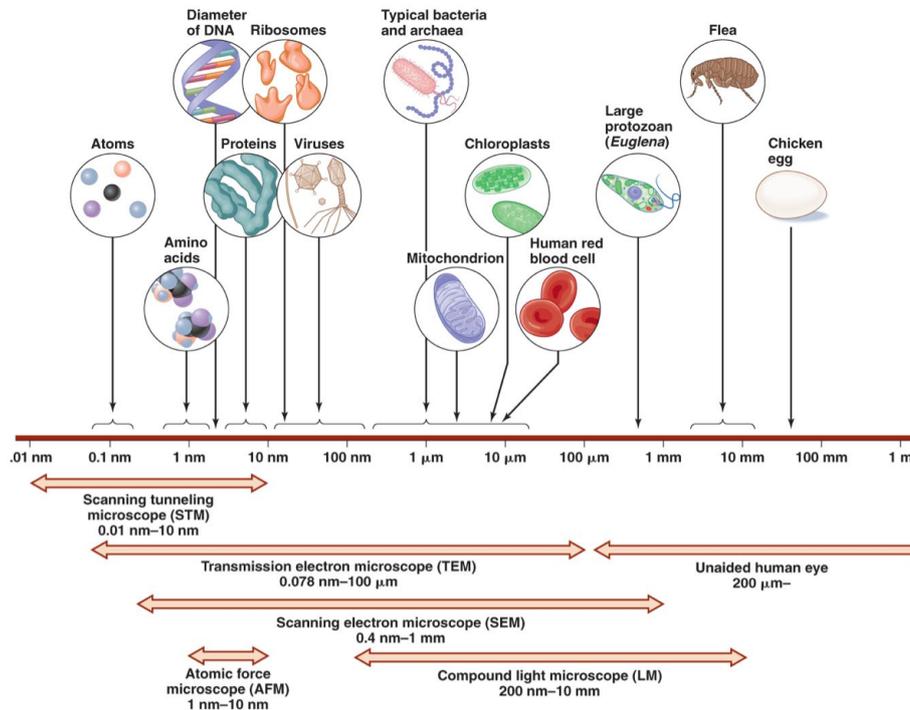


Abbildung 2.10: Übersicht von naturwissenschaftlichen Visualisierungsverfahren und ihrer Auflösung [69].

Cormack (1924–1998) und dem Elektrotechniker Godfrey Hounsfield (1919–2004), wegen Cormacks Vorarbeiten und des Prototypen Hounsfields, der Nobelpreis zugesprochen. Nach den ersten Versuchen an Tieren, wurde 1971 die erste menschliche Aufnahme gemacht [5, S. 293]. Die ersten Aufnahmen war noch sehr körnig und die innere Struktur war sehr schlecht zu erkennen (siehe Abb. 2.11,(a, b)). Erst mit der Entwicklung der moderneren Computertomographen, konnte die Scanzeit verkürzt und somit die Bildauflösung erhöht werden (siehe Abb. 2.11,(c, d)) [42].

Rasterelektronenmikroskopie

Anders als die Lichtmikroskopie, welches sichtbares Licht für die Bilderzeugung einsetzt, verwendet die Elektronenmikroskopie die Elektronen, welche 1897 von Sir J. J. Thomson entdeckt wurden. Wichtig war vor allem auch die Entdeckung, dass Elektronen auch Welleneigenschaften besitzen. Deren Länge definierte L. V. de Broglie 1924. Die nachfolgenden Entdeckungen zeigten, dass sich elektrische und magnetische Felder eine ähnliche Wirkung auf Elektronen haben wie die Glaslinsen und Spiegel auf sichtbares Licht. In den frühen Dreißigern entwickelte M. Knoll und E. Ruska das erste Transmissionselektronenmikroskop (TEM). 1935 präsentierte Knoll die

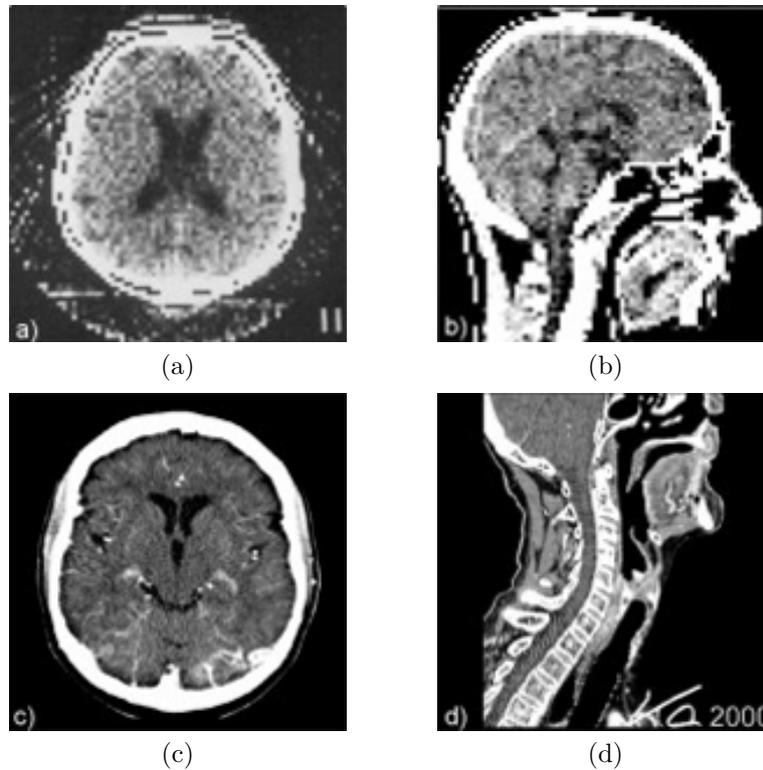


Abbildung 2.11: Bild (a) & (b): CT-Aufnahme des Schädels früher (Bildmatrix mit 80x80 Pixel). Bild (c) & (d): CT-Aufnahme des Schädels heute mit besserer Bildauflösung (Bildmatrix mit 1024x1024 Pixel) [42].

erste Idee für das Rasterelektronenmikroskop (REM). Mitte der Sechziger kamen schlussendlich die ersten kommerziellen REM auf den Markt [12, S. 25–26]. Der Vorteil gegenüber der Lichtmikroskopie ist die höhere Auflösung (siehe Abb. 2.12). Nachdem das Licht eine sehr große Wellenlänge aufweist (380nm), ist die Wellenlänge des Elektrons um einiges kürzer (5nm). Daher ist eine höhere Auflösung und somit eine stärkere Vergrößerung möglich [72, Folie 5]. Ebenso die Schärfentiefe ist bei der REM um sehr viel größer [62, S. 2]. Bei der REM werden Signale der Elektronen ausgesendet und diese zeichnen Höhe, Tiefen, Kanten und Löcher des Objektes nach. Es wird demnach Zeile für Zeile ein dreidimensionales Objekt abgetastet und wiederum von einem Detektor aufgefangen und weitergeleitet zu einem Verstärker. Auf einem Monitor werden die Aufnahmen präsentiert. Die Objekte müssen jedoch auf eine Art vorher fixiert, getrocknet und anschließend mit feinstem atomaren Goldstaub überzogen werden [72, Folie 6].

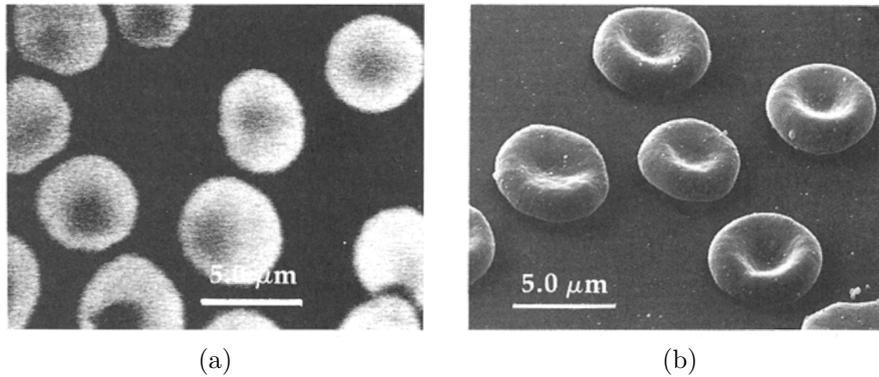


Abbildung 2.12: Bild (a) ist eine lichtmikroskopische, Bild (b) eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Blutkörperchen bei gleicher Vergrößerung [62, S. 2].

Kernspintomographie

Die Kernspintomographie, auch genannt Magnetresonanztomographie, abgekürzt *MRT*, wurde in den achtziger Jahren entwickelt. Der amerikanische Radiologe Paul Christian Lauterbur (1929–2007) und der britische Physiker Sir Peter Mansfield (geb. 1933) erhielten 2003 dafür den Nobelpreis. Es handelt sich dabei um ein tomographisches Schichtbild, welches aus rasterartigen Kernresonanzmessungen besteht. Anders als bei der Rasterelektronenmikroskopie, wird der Patient hierbei mit keiner Strahlung mehr belastet, es wird mit den magnetischen Eigenschaften der Atome gearbeitet. Es werden durch die starken Magnete die Wasserstoffatome im Körper gleich ausgerichtet. Lässt die Wirkung nach, gehen die Atome wieder in ihre Ursprungsposition zurück und geben dabei spezifische Radiowellen ab. Diese unterscheiden sich untereinander in ihrer Frequenz, je nachdem wo sie sich befinden (zB.: im Knochen, in den Weichteilen, ...). Der Computer registriert diese Unterschiede und berechnet diese. Das Verfahren ist besonders in der Neurologie im Einsatz. Es kann damit nicht nur die Struktur, sondern auch die Aktivität des Gehirnes erfasst werden (siehe Abb. 2.13) [5, S. 294].

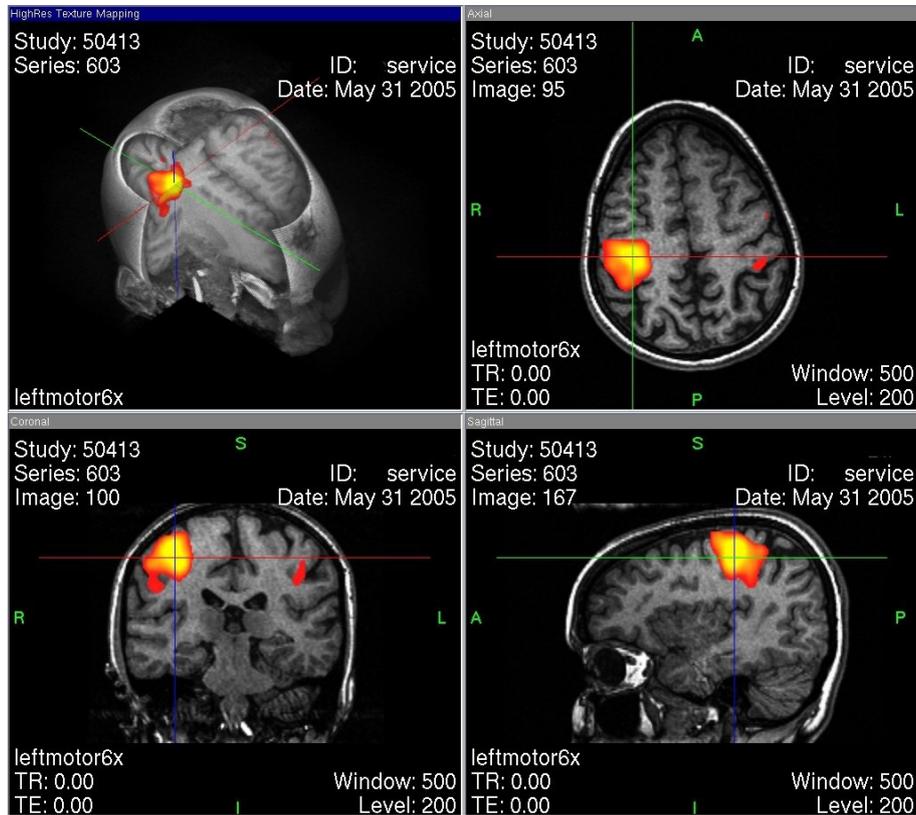


Abbildung 2.13: Übersicht der verschiedenen Betrachtungsebenen einer fMRT-Aufnahme. Die farbig dargestellten Bereiche symbolisieren eine Hirnaktivität [51, S. 2].

The Visible Human Project

The Visible Human Project ist ein Projekt um eine Datenbank zu generieren mit einer Visualisierung der menschlichen Anatomie. Dafür wurden ein männlicher und ein weiblicher Spender eingefroren und in dünne Scheiben geschnitten (siehe Abb. 2.14).

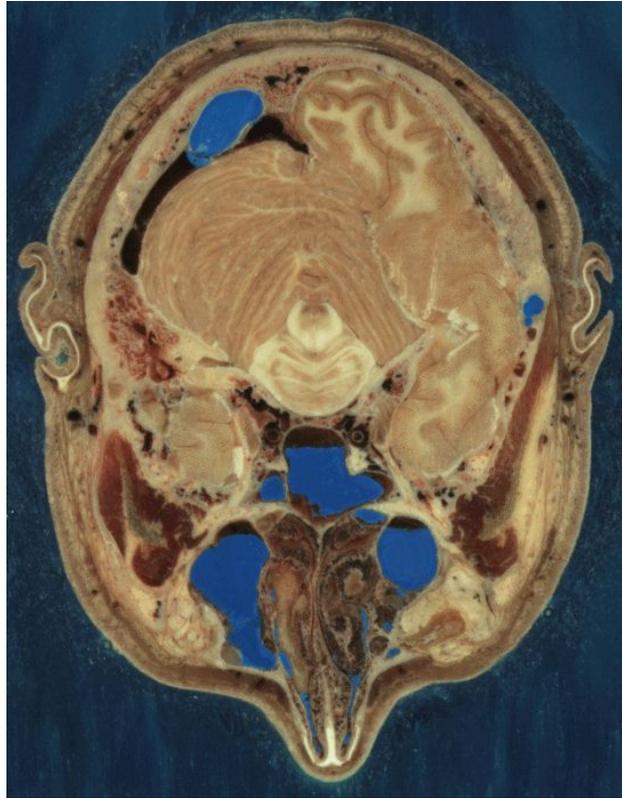


Abbildung 2.14: Gefrierschnitt durch den Kopf eines Mannes vom *The Visible Human Project* [78].

1988 wurde das erste Mal der Bedarf an solch einem Projekt geäußert, obwohl die dreidimensionale Visualisierung in der Medizin bereits möglich war. Der Grund dafür war, dass die bereits vorhandenen Daten von verschiedenen Körpern in Fragmente aufgeteilt waren. Ebenso die Visualisierung passierte von Körper zu Körper durch unterschiedliche Verfahren bezüglich ihrer Registrierungsprotokolle, Tiefe des Schnittbildes und ihrer Auflösung. Die Aufnahmen waren daher nicht genormt und nicht miteinander zu vergleichen. 1991 schließlich wurde das Forschungsteam beauftragt leblose Körper, die gewisse Anforderungen erfüllen mussten, zu finden. Joseph Jernigan, ein zu Tode verurteilter 39-jährige Gefangener aus Texas, gab seine Leiche frei für die wissenschaftliche Forschung [19, S. 11ff.]. Der weibliche Spender war eine 59-jährige Frau aus Maryland, die an einem Herzinfarkt starb. Das Projekt wurde von Michael J. Ackerman geleitet und gehört zur amerikanischen National Library of Medicine (NLM) [78].

Kapitel 3

Wissenschaftsbilder in der Populärkultur

„Diese Bilder aus komplexen Prozessen wissenschaftlicher Visualisierungen finden aufgrund ihres ästhetischen Reizes und ihres unwillentlichen Geheimnisses, in dem sich noch immer ein Zauber der Wissenschaft verbirgt, einen Platz in populären Medien und in der Werbung.“ [8, S. 16]

Erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts, die Zeit der Medienrevolution, hatten Wissenschaftsbilder, wie wir sie heute kennen, ihren Ursprung [8, S. 12f.]. Beginnend mit öffentlichen Vorträgen, besonders von Diavorträgen, in verständlicher Sprache geschriebene Journale und Bücher bis hin zu Film, Fernsehen und allen neuen Medien [8, S. 15]. Ihre Popularität erhöhte sich rasant, ihr Zweck diente nicht mehr nur des wissenschaftlichen Interesses, sondern auch der ästhetischen Anschauung dieser Bilder, sie gewannen eine neue Qualität. Man kann zwischen zwei Typen an Wissenschaftsbildern unterscheiden, das Wissenschaftsbild, welches sich an die Gemeinschaft der Wissenschaft richtet und das Wissenschaftsbild für das breite Publikum. Besonders Zweiteres wird selten unmittelbar von Wissenschaftlern erstellt, sondern sind sehr oft die Produkte von Massenmedien. Viele wissenschaftliche Aspekte übersteigen die Möglichkeiten des Bildes, trotzdem gibt es oft ein repräsentatives Abbild dessen. Selbst Wissenschaftler sind Konsumenten der populären Wissenschaftsvisualisierung und können somit unter Umständen auch von diesen Darstellungen beeinflusst werden [8, S. 12f.]. Wissenschaftsbilder werden für gewöhnlich für eine kleine Zielgruppe, den Wissenschaftlern, erstellt. Die Intention der Produktion solcher Bilder und die Intention der Betrachter unterscheidet sich von derer anderer Bildgattungen, ebenso ist die Erwartungshaltung in jedem Umfeld anders. Geraten jedoch Wissenschaftsbilder durch die Medien an die Öffentlichkeit, werden sie zu anderen Bildern. Bernd Hüppauf und Peter Weingart beschreiben das

wie folgt [8, S. 14]:

Im Blick des Betrachters entstehen interne Bildzusammenhänge und externe Assoziationen, die das Bild als Wissenschaftsbild nicht hat.

Die Massenmedien entscheiden darüber, welches Wissen auf welche Art und Weise popularisiert wird. Dennoch bedeutet der höhere Informationsstand der breiten Masse nicht gleich eine positive Einstellung gegenüber der Wissenschaft [8, S. 16].

3.1 Geschichte der Wissenschaft in der Populärkultur

Ab den späten 1960er Jahren stieg das Interesse an der künstlerischen Darstellung von wissenschaftlichen Bildgebungsverfahren. Ebenso entwickelte sich das Denken über den menschliche Körper hinsichtlich der aktuellen gesellschaftspolitischen Entwicklungen neu. Mit neuen Kunstrichtungen wie Body Art, Performance und Happening sollte der nackte Körper inszeniert werden und so „verkrustete Moralvorstellungen“ lockern. Mitte der 1980er Jahre wandte sich das künstlerische Interesse dem Körper und der Gefährdung durch Krankheiten zu, die künstlerische Reflexion von medizinischen Bildgebungsverfahren miteingeschlossen. In den 1990er Jahren wurden die Visualisierungen vermehrt futuristisch [17, S. 142–144]. Auch die virtuelle Endoskopie wurde ab den 1990er Jahren als medizinisches Verfahren eingesetzt [17, S. 126]. Sie ist ein radiologisches Untersuchungsverfahren, die es ermöglicht Simulationen von Endoskopieaufnahmen, mittels Umrechnung von zweidimensionaler Schnittbilder eines Magnetresonanz- oder Computertomographien in dreidimensionale Endoskopiebilder, zu erzeugen [77]. Sven Stollfuß vergleicht in seinem Buch *Digitale Körperinnenwelten* die Simulation mit einer Erzählung, die in Gang gebracht wird, welche „[...] die Unterhaltungsindustrie nicht hätte besser umsetzen können.“ Er vergleicht den Untersuchungsraum eines Arztes mit einem „[...] hochtechnologisierten Navigationszentrum nach dem Vorbild avancierter Flugsimulatoren.“ [17, S. 127]. Somit spannt sich ein Bogen über die zwei Begrifflichkeiten *Wissenschaft* und *Fiktion*. Ebenso zu erwähnen wäre das *Visible Human Project*, welches in den 1990er Jahren den Beginn eines neuen Jahrhunderts einläuten wollte. Die Wissenschaftler argumentierten mit einer Visualisierung des menschlichen Körperinneren anhand von echten Daten anstatt einer Fiktion mit animierten Bildern. Manche meinen das *Visible Human Project* kann mittlerweile als überholt gelten, andere hingegen weisen auf massive Entwicklungsarbeiten hinsichtlich der 3D-Visualisierungsverfahren hin [17, S. 128f.]. Am Übergang vom 20. ins 21. Jahrhundert wurde geradezu eine Welle über Berichte mit der Reise ins Körperinnere verzeichnet. Dazu gehö-



Abbildung 3.1: Still aus dem Kinderfilm *Auf der Jagd nach dem Nierenstein* von Vibeke Idsøe (1996) [22].

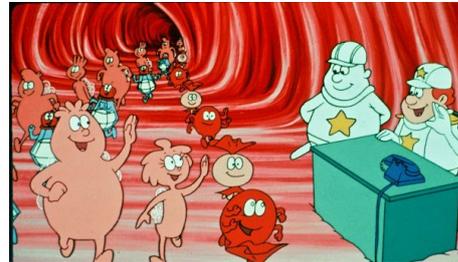


Abbildung 3.2: Still aus der Kinderserie *Es war einmal ... das Leben* mit der Idee von Albert Barillé (1986) [25].

ren Filme wie *Auf der Jagd nach dem Nierenstein* von Vibeke Idsøe (1996) (siehe Abb. 3.1) oder die Serie *Es war einmal ...*, die mehrere Reihen zu unterschiedlichen wissenschaftlichen Themen umfasste. Unter anderem die Reihe *Es war einmal ... das Leben* (siehe Abb. 3.2), welche 1990 in Deutschland ausgestrahlt wurde. Oder die BBC-Serie *The Human Body* von 1998 [33], welche das populäre Bild des Körperinneren durchaus geprägt hat. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts folgten Visualisierungen mit aufwändigen 3D-Animationen, wie zum Beispiel die *Walking With-Reihe* (1999) [34] oder *Fight for Life* (2007) [28] von BBC. Die Visualisierung der Prozesse im Körperinneren für die breite Masse und die Entwicklung der technologischen Möglichkeiten, kann bis heute als eine kontinuierliche Entwicklung betrachtet werden [17, S. 146–152].

3.2 Das digitale Bild als Referenz

Auch wenn wir die digitalen Bilder, die wir in Dokumentationen oder Filmen sehen als einen Repräsentanten der Realität wahrnehmen, sind es dennoch, laut Stollfuß, wie er in seinem Buch *Digitale Körperinnenwelten* schreibt, keine Referenzen, auch keine „Abbilder der Natur“, sondern lediglich eine Sichtbarmachung. Stollfuß zitiert Jörg Rheinberg, der den Begriff Sichtbarmachung wie folgt definiert [17, S. 23]:

Sichtbarmachung kann, muß aber nicht mit Abbilden zu tun haben, braucht Abbildungen nicht notwendigerweise als referentielle Bezugspunkte.

Um es genauer zu definieren, sind digitale Visualisierungen eine Darstellung auf der Basis von errechneten Zahlen und Werten, die im Bildbearbeitungsprogramm justiert werden können. Sie besitzt also kein Original und keine Kopie, es ist das Abbild eines komplexen Transformationsprozesses [17, S.

23]. Aber selbst Abbildungen in der Wissenschaft können unter Umständen nicht als Abbildung der Wirklichkeit gesehen werden. Stollfuß bringt hierzu das Beispiel der Rastertunnelmikroskopie. Die Nano-Bilder, die dabei generiert werden, wo das dargestellte Objekt dem menschlichen Auge gänzlich verschlossen bleibt, können nicht zu hundert Prozent als „Abbilder der Realität“ gelten. Es ist nämlich nicht klar, wie die Gestalt des Objektes im atomaren Maßstab zu definieren wäre. Besonders durch die Eingriffsmöglichkeiten des Wissenschaftlers, der im bildgebenden Programm die Werte wie Farbe, Kontrast, Perspektive etc. manipuliert, um eine bestmöglich sinnvolle Darstellung zu erhalten, die den Darstellungskonventionen entspricht [17, S. 24]. Stollfuß beschreibt das wie folgt [17, S. 25]:

Wissenschaftliche Visualisierungen bilden somit in der Tat nicht einfach Wirklichkeit ab (wobei bezweifelt werden kann, dass dies generell jemals der Fall war), sondern visualisieren, was aus dem Wechselverhältnis zwischen computerrechnerischen Operationsprozessen und auf Darstellungskonventionen beruhenden Gestaltungspraktiken sowie Präsentationserwartungen resultiert.

3.3 Wissenschaftsdarstellungen als Ikone

Manche Bilder der Wissenschaft verkörpern das Bild der Wissenschaft. Für die Medizin gibt es das Bild der Blutkörperchen, für die Physik die Formel $E = mc^2$ oder für die Umwelt das Bild der Sonne oder Erde. Sie sind sogenannte Schlüsselbilder, oder wie manche Medientheoretiker es nennen, *Ikonen*. Ikonen differenzieren sich von Schlüsselbildern hinsichtlich ihrer Abstraktion. Sie stehen nicht für das Objekt an sich, sie repräsentieren Konzepte, wie zum Beispiel einen wissenschaftlichen Fortschritt, weder um etwas zu erklären, noch um etwas zu erläutern oder zu kommentieren [7, S. 291f.].

Laut Martina Heßler ist die Doppelhelix-Struktur, also das Modell der DNA, eine kulturelle Ikone des 20. und 21. Jahrhunderts und das Symbol der Gentechnik [7, S. 293f.]. Es begann mit dessen Veröffentlichung von James Watson und Francis Crick 1953 in der Zeitschrift *Nature*. Die beide waren die Entwickler des DNA-Modells, wobei Rosalind Franklins Röntgenaufnahmen ebenso ein wichtiger Bestandteil der Entdeckung waren. Doch einige Veröffentlichungen wurden erst später populär, wie die Zeichnung von 1953, der erst in den 1990er Jahre Beachtung zuteil wurde, aber auch das Foto von Watson und Crick (siehe Abb. 3.3), welches erst in den 1960er Jahren als Bild für die Entdeckung der Doppelhelix-Struktur galt, nachdem Watson es in seinem Buch erneut anführte. Das Buch *Die Doppelhelix* hatte, wie zu erwarten, das Modell der Doppelhelix als Cover. Doch statt der ursprünglichen filigranen Stäbchen-Darstellung, zierte nun ein farbiges, dreidimensionales Kalottenmodell das Cover (siehe Abb. 3.4). Nach der Veröffentlichung des Buches, wurde die Nachfrage nach der Visualisierung des

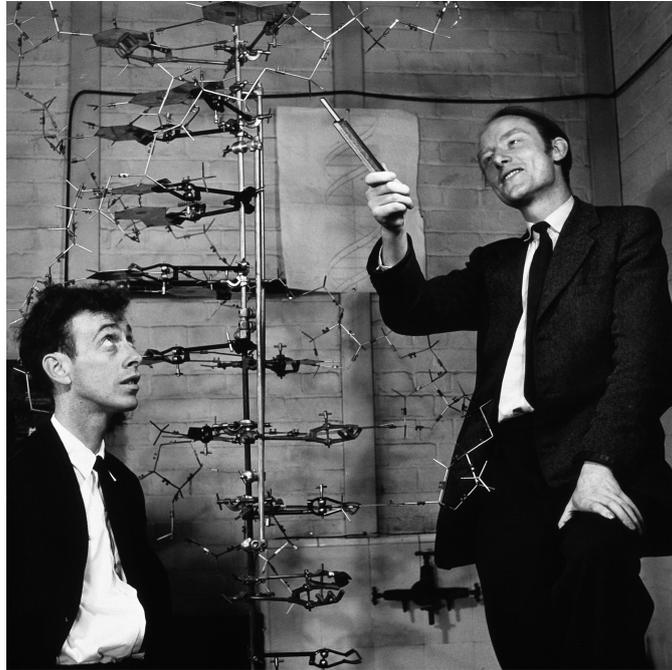


Abbildung 3.3: Foto von James Watson und Francis Crick vor dem DNA-Modell [43].

DNA-Modells immer größer. Gegen Ende des 20. Jahrhunderts, nach einem langwierigen Prozess, wurde die Darstellung der Doppelhelix eine Ikone der Lebenswissenschaften [7, S. 295–297].

Doch auch die Darstellung der Doppelhelix machte bis heute eine Wandlung durch. Die erste Veröffentlichung 1953 im *Nature* Magazin zeigte eine Doppelhelix im einfachen Stil. Es handelte sich um eine schlichte, funktionale Schwarz-Weiß-Zeichnung von Cricks Frau (siehe Abb. 3.5). Heßler zitierte dazu Flach, die auf das moderne Design von 1951 im Festival of Britain auf der Brüsseler Weltausstellung verweist, welches eine Ästhetik der Abstraktion zu dieser Zeit pflegte. Weiters zitiert sie noch Michael Diers, der diesen Stil mit der historischen Sonderstellung der Grauwerte um die 1960er Jahre verglich. Seine These dazu war, dass sich die Darstellung von der damaligen Auseinandersetzung mit der Schwarz-Weiß-Fotografie in den Printmedien ableitete. Dennoch war eine solche wissenschaftliche Darstellung in den 1950er bis in die 1980er Jahre sehr üblich. Es suggerierte Objektivität, Authentizität, Neutralität und Sachlichkeit. Heßler erwähnt dabei einen „Nicht-Stil“ [7, S. 302–304]. In den 1960er Jahren folgte anschließend das Kalottenmodell (siehe Abb. 3.4), welches in wissenschaftlichen Zeitschriften jedoch noch in schwarz-weiß abgebildet wurde. Ab den 1980er Jahren wurde das Schwarz-Weiß-Bild schließlich von Abbildungen mit bunten, verspielten

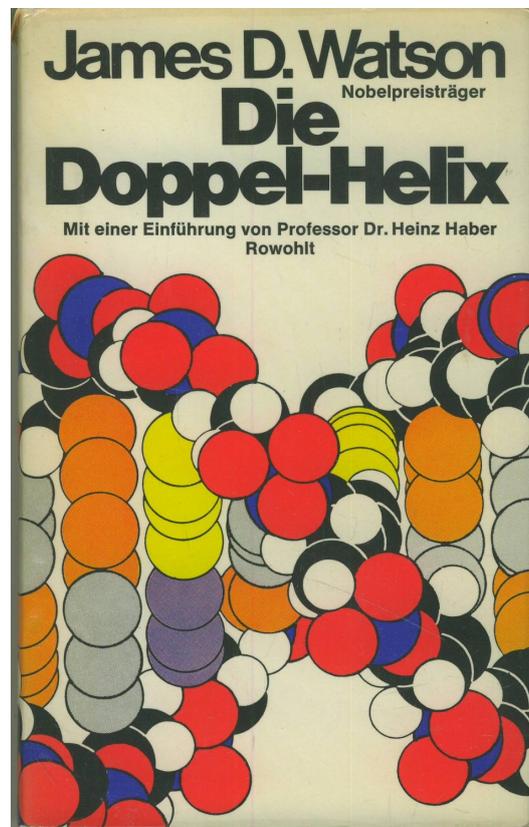


Abbildung 3.4: Buchcover von James Watsons *Die Doppelhelix* (1968) [44].

Farben abgelöst. In Fachzeitschriften wurden oft, besonders beim Kalottenmodell, die Farben der üblichen Farbcodierung gewählt, die Atome wurden blau, weiß oder rot dargestellt und symbolisieren Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff (siehe Abb. 3.6). Im populärwissenschaftlichen Kontext sind die Farben der Darstellungen oft sehr unterschiedlich, meist wird die Farbwahl aus ästhetischen Gründen getroffen. Populäre Stile wären zum Beispiel eine Variation aus Komplementärfarben (siehe Abb. 3.7) oder metallischen Farbtönen (siehe Abb. 3.8) [7, S. 304f.]. Die intensive Farbgestaltung der Bilder ist offensichtlich mit den neuen Drucktechniken und der Computergrafik in Verbindung zu bringen. Der Umgang mit Farbe wurde einfacher, schneller und auch interaktiver. Dieser Wandel, der die Handzeichnung und die analoge Fotografie sehr stark verdrängte, hatte natürlich einen großen Effekt auf die Bildgenerierung in der Wissenschaft. Generell wurde erst die Problematik mit den aufwändig gestalteten Bildern klar, dass jedes Bild mit einer subjektiven, gestalterischen Entscheidung des Künstlers generiert wird. Das gilt natürlich auch für die Schwarz-Weiß-Zeichnungen der 1950er und 1960er Jahre [7, S. 307]. Trotzdem spielen die visuellen Darstellungen von Wissen-

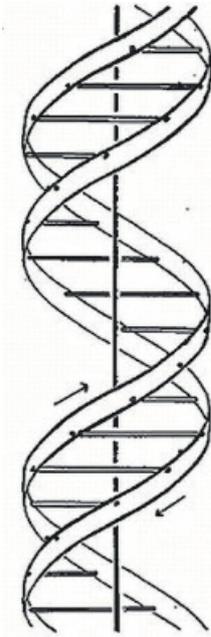


Abbildung 3.5: Eine Zeichnung der Doppelhelix von 1953 [45].

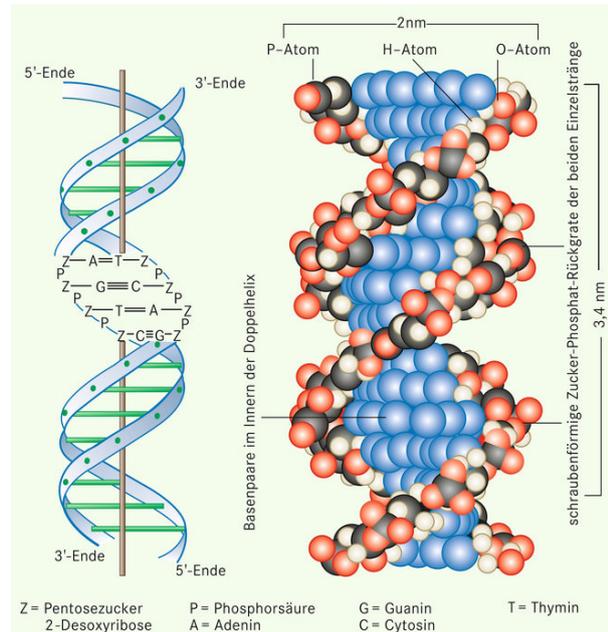


Abbildung 3.6: Kalottenmodell mit der üblichen Farbcodierung in der Wissenschaft [46].

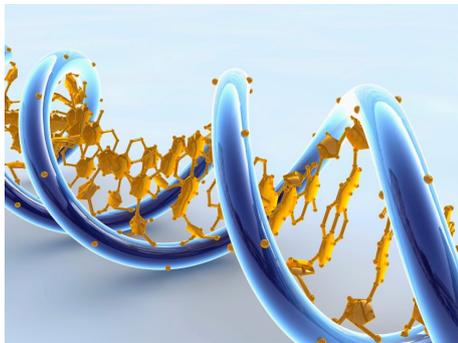


Abbildung 3.7: Abbildung der DNA mit Komplementärfarben [47].



Abbildung 3.8: Eine Darstellung der DNA-Doppelhelix mit metallisch-kühlen Farben [48].

schaft heute eine wichtige Rolle, wenn es darum geht das Image und die Präsenz von Wissenschaft zu definieren. Das öffentliche Bewusstsein ist deshalb von wichtiger Bedeutung, da es die Förderakzeptanz beeinflusst. Auch die Wissenschaftler sind sich dessen bewusst, dass es wichtig ist, medienwirksame Bilder zu erzeugen [7, S. 310]. In Verbindung mit der Doppelhelix als Ikone beschreibt es Heßler wie folgt [7, S. 310]:

Damit ist auch die Frage verknüpft, inwieweit eine „Ikonisie-

rung“, wie sie auch die DNA erfuhr, zur Entleerung des Sinngehalts führt und sich die Ästhetik in unterschiedlichen Bereichen angleicht.

Weiters bemerkte Georg Rehberger, dass vor allem der Mythos der Entdeckung der DNA-Struktur von Watson und Crick, bei der Popularisierung der DNA-Struktur eine bedeutende Rolle spielt. Er vergleicht es mit der Geschichte eines Helden und seines Geniestreiches [14, S. 17].

Kapitel 4

Digitale Visualisierungen

„Kaum mehr ein wissenschaftliches Ergebnis oder Ereignis, das nicht visualisiert wird – unabhängig davon, ob es sich um etwas Sichtbares handelt oder um Phänomene, die per se nicht sichtbar sind. Nichts scheint den Betrachtern zu entgehen, und selbst das, wovon es keine Bilder gab oder gibt, wird ins Bild gebracht. „Visuelle Lücken“, so Ralf Adelman, werden gefüllt.“ [6, S. 291]

4.1 Einsatzgebiete

4.1.1 Dokumentationen - Wissen

Eine mögliche Beschreibung des Dokumentarfilms ist „die abgefilmte Wirklichkeit“ [9, S. 50]. Die Zuseher gehen bei dem Genre Dokumentation von einer objektiven und glaubwürdigen Darstellung aus. Doch Dokumentarfilm heißt nicht gleich die Wiedergabe der Realität, es ist vielmehr die Glaubwürdigkeit insgesamt. Auch hier entscheidet der Filmemacher, was und vor allem wie er etwas zeigt. Trotzdem folgen nonfiktionale Filme den Spuren der Realität [9, S. 51].

Ein Sub-Genre der Dokumentation ist die Wissenschaftsdokumentation und die weitverbreitetste Form um Wissen in filmischer Form zu übermitteln. Die Schwierigkeit bei diesem Genre besteht darin, eine spannende dramaturgische Handlung aufzubauen, welche den Zuseher in seinen Bann zieht. Der Zuseher benötigt etwas, mit dem er sich identifizieren kann und eine Ungewissheit über den Ausgang der Geschichte, die ihn veranlasst weiter zu schauen. Das ist mit wissenschaftlichen Sachverhalten sehr schwer zu erreichen und der Autor muss genau diesen Aspekt bewusst präzisieren. Setzt man diesen Sachverhalt in Bezug zu einer Person, fällt es den Zuseher leichter sich damit zu identifizieren [9, S. 98–100]. Besonders bei der Wissenschaftsdokumentation ist das Verhältnis von Inhalt und Form von großer Bedeutung. Bei diesem Genre geht es oft darum komplexe wissenschaftliche

Kategorie	Problem	Beispiel
Helligkeit	zu hell	Sonnenoberfläche
	zu dunkel	Unterirdischer Vorgang
Größe	zu klein	Kleinstlebewesen
	zu groß	Kontinente
Dauer	zu schnell	Lichtausbreitung
	zu langsam	Geologischer Prozess
Aktualität	Vergangenheit	Ausgestorbene Tierarten
	Zukunft	Szenarium
Abstraktes	nicht greifbarer Vorgang	Evolution
Unzugängliches	schwer zugänglich	Adlerhorst
	Perspektive	Vogelperspektive
	unter Wasser	Tiefsee
	Körperinneres	Organe

Abbildung 4.1: Grenzen der Darstellbarkeit aus *Wissenschaft fürs Fernsehen* von Olaf Jacobs und Theresa Lorenz [9].

Vorgänge verständlich und möglichst authentisch darzustellen. Vor allem, wenn es um Darstellungen geht, die für das menschliche Auge so nicht sichtbar sind. Eine Einteilung möglicher Probleme und Beispiele hat Olaf Jacobs und Theresa Lorenz in ihrem Buch *Wissenschaft fürs Fernsehen* mittels Tabelle zusammengefasst (siehe Abb. 4.1) [9, S. 146f.]. Diese Probleme könnten zum Beispiel mittels computergenerierten Bildern gelöst werden. Bei solchen technischen Lösungen werden sehr oft die aktuellen technischen Mittel verwendet, die sich momentan rasant weiterentwickeln, was dazu führen kann, dass die Bilder sehr schnell als veraltet wahrgenommen werden [9, S. 149f.]. Dennoch hat sich durch die neuen Techniken das Themenspektrum extrem erweitert. Heute sind wir sogar soweit, dass man teilweise nicht mehr erkennen kann, ob zum Beispiel das Bild von einer Raumsonde aufgenommen oder computergeneriert wurde. Weiters werden die Visualisierungen für die Dokumentationen meist mit einer Stimme aus dem Off unterstützt, die zusätzlich die Vorgänge erklärt.

4.1.2 Lehrvideos - Lehre

Lehrvideos sind eines von vielen Mittel um Wissen zu übermitteln. Besonders mit dieser Visualisierungstechnik können Animationen gezeigt werden, die wiederum besonders geeignet sind um Veränderungen zu visualisieren. Das Gezeigte kann einfach oder komplex dargestellt werden oder abstrakt und fotorealistisch. Es können Prozesse und Bewegungsabläufe gezeigt werden. Nebenbei gibt es aber auch Nachteile wie zu hohe Ablenkung durch die Animation oder zu hohe externe kognitive Belastung. Vor allem sollten die Inhalte in den Lehrvideos nicht zu dekorativen Zwecken dienen. Laut Reinmann, wie sie zum didaktischen Design erklärt, sollten die relevanten Informationen leicht zu differenzieren sein mit dynamische Kontrasten. Zusätzlich sollte ein Sprecher den Sachverhalt erklären um somit das Arbeitsgedächtnis zu entlasten und den Aufbau der Modelle zu erleichtern. Ein weiteres Gestaltungsmittel wäre das Fokussieren auf Bewegungsabläufe mittels Verlangsamung oder Beschleunigung der Animation bei zum Beispiel biologischen Bewegungsabläufen. Besonders hilfreich sind interaktive Lehrvideos, wo sich der Rezipient in seinem Tempo durch die Abschnitte klicken kann [70, S. 52f.].

Eine weitere Form des digitalen Lehrens sind Simulationen, welche seit der 1990er Jahre für die Lehre im Einsatz sind. Medizinische Studenten könnten mittels der Simulation in Echtzeit chirurgische und auch diagnostische Eingriffe üben. Anhand von Röntgenaufnahmen oder Magnetresonanztomographien werden aus deren Datensätze 3D-Modelle erzeugt. Es können Farbe oder Grauwerte, Skalierung oder Spiegelungen individuell angepasst und verändert werden, damit es bestmöglich einzelne Bereiche hervorhebt. Teilweise werden Simulationen aus den Daten des *Visible Human Project* (siehe Abschnitt 2.2.2) generiert [17, S. 107f.].

4.1.3 Fiktionale Filme - Unterhaltung

Fantastic Voyage, ein Spielfilm von Richard Fleischer aus dem Jahre 1966, ist der erste erfolgreiche Hollywood-Spielfilm indem die Körperinnenwelten visualisiert und in einen Handlungszusammenhang gebracht werden. Obwohl es sich nicht um einen wissenschaftlichen Dokumentarfilm handelt, inszeniert dieser Film nachvollziehbare wissenschaftliche Vorgänge, welche die Darstellungsweise von Fahrten durch das Körperinnere in den darauf folgenden Visualisierungen prägten (siehe Abb. 4.2) [17, S. 130]. Anders als bei der Lehre und Vermittlung von Wissen, wo Ästhetik nicht unbedingt Schönheit bedeutet, sondern, dass etwas gut sichtbar und in Helligkeit und Kontrast differenzierbar ist [17, S. 19], kann Ästhetik im fiktionalen Film künstlerische, schön anzusehende Bilder bedeuten. Bilder bei fiktionalen Filmen sollen beim Zuseher nicht Wissen vermitteln oder lehren, sondern einen Wow-Effekt erzielen. Geradezu mit der Entwicklung der heutigen Technik

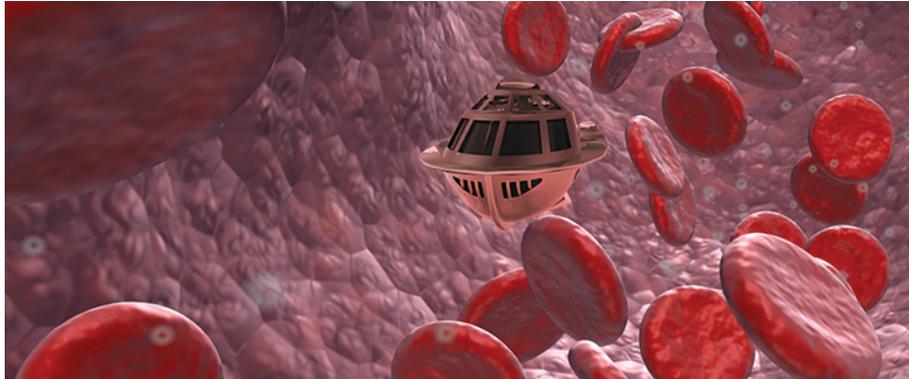


Abbildung 4.2: Still aus dem Film *Fantastic Voyage* (1966) [26].

sind immer fotorealistischere Bilder möglich. Doch erst mit Beginn des 21. Jahrhunderts wurde aus einfachen Darstellungen, komplexe und sehr aufwändige Simulationen innerhalb der Film- und Fernsehindustrie. Stofffuß nennt hierzu in seinem Beitrag *Cyborg Visuality, Popularized. Überlegungen zu einer populären Wissenspraxis des Körperinneren*, die Fernsehserie CSI. Sie soll bezüglich der aufwändigen und spektakulären Visualisierungen von Wissenschaft Standards gesetzt haben. Die Zoom-ins, mit denen sie in das Körperinneren vordringen, nennt man in der fernsehwissenschaftlichen Diskursen bereits „CSI-shots“. Die Kamera tritt über natürliche Körperöffnungen, wie zum Beispiel den Wundkanal, in das Körperinnere ein. Die Narration wird somit von der makroskopische auf die mikroskopische Ebene verlagert [16, S. 399ff.]. Da Spielfilme oder Fernsehserien für die breite Masse produziert werden, zur Unterhaltung dienen und somit die Protagonisten meistens Menschen sind, ist besonders bei dieser Visualisierung der Übergang vom Menschen in das Körperinnere interessant. Neben dem „CSI-shots“ gibt es unter anderem noch abrupte visuelle Sprünge oder Unschärfeüberblendungen. Die wissenschaftlichen Darstellungen können von fotorealistischen bis hin zu abstrakten Stilen variieren, je nachdem welches Ergebnis der Produzent erzielen möchte [18, S. 58ff.].

4.2 Analyse von Beispielen

4.2.1 Rote Blutkörperchen in der Blutbahn

Wie bereits im Abschnitt 3.1 erwähnt, ist die Fahrt durch den Körper sehr stark von der virtuellen Endoskopie beeinflusst. Sehr oft wird die Darstellung von Blutkörperchen im Körper mit dieser Darstellungsweise verknüpft. Rote Blutkörperchen werden laufend im Mark unserer Knochen produziert und transportieren Sauerstoff durch unseren Blutkreislauf. Sie strömen durch

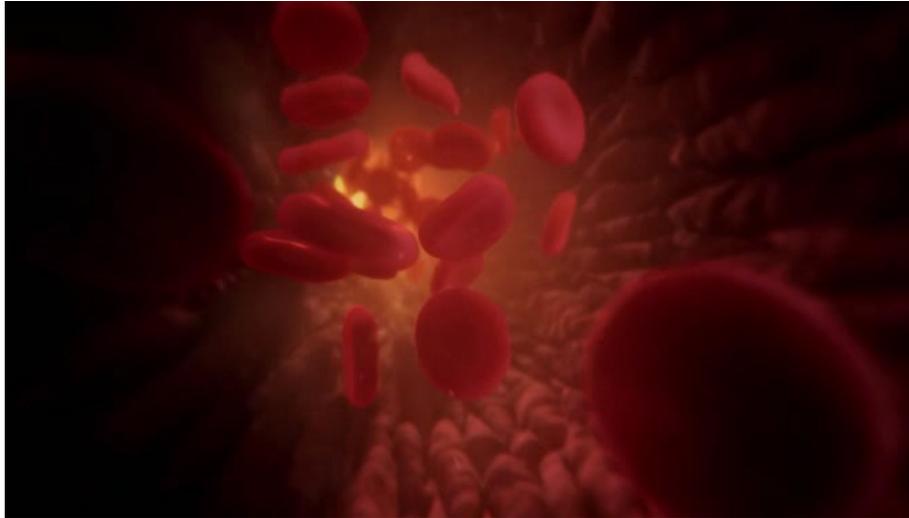


Abbildung 4.3: Still aus dem zweiten Teil der Dokumentationsserie *Inside the Human Body* (2011) [29].

unseren Körper, ihr Weg führt durch breite Arterien, schmalere Arteriolen und durch winzige Kapillaren [29]. Sehr oft begleiten wir bei der Darstellung hautnah die Blutkörperchen bei ihrer Reise. Wir brausen mit ihnen durch unseren Körper, eine sehr populäre Darstellung. Doch besonders bei Lehrvideos oder bei Videos, die vorrangig lehren sollen, wird die Darstellung abstrahiert. Bei Abb. 4.4 und Abb. 4.5 sind bei ersterem die Blutkörperchen als einfacher roter Kreis visualisiert und bei zweiterem eine reduzierte vermenschlichte Darstellung. Die zweite Darstellungsweise, obwohl es sich bei der Informationsserie *W wie Wissen* nicht um eine Kindersendung handelt, wird gerne bei Darstellungen für Kinder eingesetzt wie zum Beispiel bei der bekannten Serie *Es war einmal... das Leben* von 1986 (siehe Abb. 3.2). Es gibt also die unterschiedlichsten Darstellungsweisen, wobei jeder Stil eine Tendenz in Richtung eines bestimmten Einsatzgebietes aufweist. Besonders gelungen ist die Darstellung der Dokumentation *Inside the Human Body* von BBC aus dem Jahre 2011 (siehe Abb. 4.3). Wie im Vergleich mit *Fantastic Voyage* (siehe Abb. 4.2) aus dem Jahre 1966 zu sehen ist, weicht die Darstellungsweise von damals und heute sehr wenig ab. Die Darstellung von Raum, Farbe und Beschaffenheit der Objekte sind, von den qualitativen Unterschieden abgesehen, sehr ähnlich.

Die Dokumentation vermittelt Wissen mittels aufwändig computergenerierten Bildern. Das Studio *Rushes* steckt hinter den faszinierenden Bildern von drei aus vier Episoden und gewannen dafür den *Television's Bulldog Award for Best Digital & Physical FX*. Die computergenerierten Bilder der ersten Episode stammen von *Jellyfish* [79]. Louise Hussey, VFX Producer

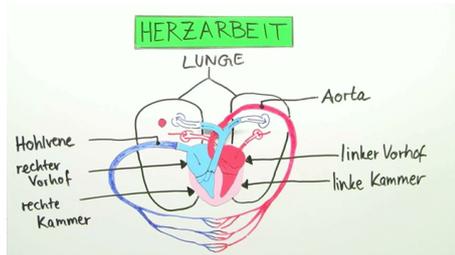


Abbildung 4.4: Still aus einem Lehrvideo der Plattform *sofatutor.at* [73].

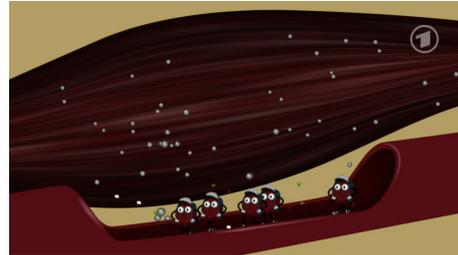


Abbildung 4.5: Still aus der Informationssendung *W wie Wissen* von 2015 auf *Das Erste* [59].

bei *Rushes*, betont die besondere Herangehensweise an den künstlerischen Aspekt der Darstellungen [79]:

The production team was very clear that they wanted to see the visuals in a more unusual and artistic way than human body graphics normally require. The inspiration for the look came as much from paintings and photographs of landscapes as it did from a medical textbook.

Das VFX Team von *Rushes* verwendeten *Autodesk Maya*, wo sie die Sequenzen mit Pixars *Renderman* renderten. Für die organische Modellierung und deren Texturierung arbeiteten sie mit *Zbrush*, vor allem subsurface scattering spielt hierbei eine wichtige Rolle, welches das Licht auch im Objekt streut [79].

Die Form des Blutkörperchens ist dem realen Blutkörperchen (siehe Abb. 2.12) sehr genau nachempfunden. Auch BBC hat es mit einer unebenen Oberfläche dargestellt, welche bei Nahaufnahmen besser zu erkennen ist. Der Raum, also in diesem Fall die Arterien, Arteriolen und Kapillaren sind in rötliche Farben getaucht. Ebenso die Blutkörperchen, dennoch unterscheiden sie sich stark von ihrer Oberfläche. Der Raum, mit der Form einer Röhre, ist sehr uneben mit länglichen Rillen oder anderen Mustern. Die räumliche Änderung definiert sich bei zum Beispiel Arterien, Arteriolen und Kapillaren durch unterschiedliche Rottöne und Beschaffenheit. Der Raum wird von Arterien bis zu den Kapillaren immer kleiner, was auch zu sehen ist, indem wir immer näher und enger an die Blutkörperchen gedrängt werden und somit die Turbulenzen stärker zu spüren sind. Wir befinden uns nämlich mitten drin im Geschehen und sind von anderen Blutkörperchen umgeben. Auch die Kamerafahrt ist leicht turbulent und könnte den Anschein erwecken, dass wir selbst ein Blutkörperchen auf dieser Reise sind. Somit können die Blutkörperchen aus der Nähe gut betrachtet werden. Die Kamera ist meistens jedoch auf das Ende oder den Anfang des Tunnels gerichtet, damit wir sehen, auf was wir uns zubewegen und woher wir kommen. Am En-

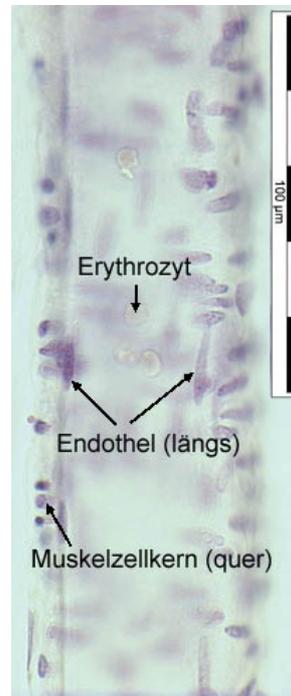


Abbildung 4.6: Schärfebereich durch das Lumen einer Arteriole, Erythrozyten sind zu sehen [52].

de bzw. Anfang des Tunnels ist die einzige Lichtquelle, darauf fahren wir zu/weg. Das orange-gelbe Licht verleiht der Darstellung eine wohlige warme Stimmung. Trotzdem sorgt es für starke Kontraste und einer räumlicheren Darstellung durch Licht und Schatten. Es kommt sogar zu einem schönen Lichtspiel, wenn die schwirrenden Blättchen vor der Lichtquelle auftauchen und wieder verschwinden. Die Blättchen bekommen durch das Licht ein Rim-light, welches die Beschaffenheit des Blättchens schön hervorhebt und um schöne orange Reflexionen ergänzt. Auch das subsurface scattering erzielt hier seine Wirkung. Nach vier Monaten Reise durch den Körper, erklärt die Dokumentation, sieht das Blutkörperchen mitgenommen aus. Das alternde Blutkörperchen wird schrumpelig dargestellt und seine Farben leuchten nicht mehr. Durch diese Darstellung kann der Zuseher nur erahnen wie groß diese Dimensionen in Wirklichkeit sind. Wir können lediglich das Verhältnis von den Arterien, also dem Raum in dem wir uns befinden, zu den Blutkörperchen vergleichen. Somit bekommt man ohne medizinischen Fachwissen ein Gefühl von einer Größe. Der Raum hilft uns, anders wie bei manchen Darstellungen, wo der Raum nicht definiert ist, zu orientieren. Die Darstellung ist von den Größenverhältnissen sehr genau der Wirklichkeit nachempfunden (siehe Abb. 4.6).

Wie bereits erwähnt, ist die Form des Blutkörperchens einem Realen

nachempfunden. Der Raum der Darstellung existiert in der Wissenschaft jedoch nicht. Es ist lediglich mittels Mikroskop möglich Blutropfen zu untersuchen. Die wissenschaftlichen Bilder zeigen ein eher flaches Bild der Blutkörperchen, welche mit dem Mikroskop außerhalb des Körpers aufgenommen wurde (siehe Abb. 2.12). 2012 berichteten Medien, dass ein neues Mikroskop entwickelt wurde, welches sozusagen live einzelne Blutkörperchen im Körper beobachten kann. Vorerst jedoch nur an dünnen Hautstellen, wie etwa bei der Unterlippe, mit dieser Technik würde man sich die giftigen Farb- oder Markierungsstoffe sparen [65]. Mikroskopische Aufnahmen werden ohne weitere Hilfsmittel in Grauwerten dargestellt. Trotzdem werden die Objekte eingefärbt um die Bilder ansprechender zu machen oder um Objekte hervorzuheben. Natürlich ist es für die Blutkörperchen die Farbe Rot, welche sie durch die rote Farbe des Eisenatoms im Hämoglobin erhalten [64]. Auch der Fakt, dass sauerstoffreichere Blutkörperchen ein helleres Rot haben als die Alten, wurde übernommen und korrekt in der Dokumentation wiedergegeben.

Resümee

Die Darstellungsweise von rote Blutkörperchen im menschlichen Körper hat sich seit *Fantastic Voyage* von 1966 bis heute durchgesetzt. Kaum jemand visualisiert diesen Vorgang anders. Es handelt sich um das populärste Bild und wird von den Zusehern akzeptiert und als glaubwürdig wahrgenommen. Besonders in Filmen oder Serien wird darauf Wert gelegt dem Zuschauer eine hohe Qualität zu liefern. Die Dokumentation *Inside the Human Body* von BBC vereint Wissensvermittlung mit einer sehr gelungenen ästhetischen und auch authentischen Darstellung des Themas. Besonders bei der Wissensvermittlung ist es nicht selbstverständlich, dass Wissen ästhetisch visualisiert wird, oft liegt der Fokus auf der Wissensvermittlung. Trotzdem sind die bekanntesten Dokumentationen jene, die dem Zuseher auch einen Wow-Effekt bieten können.

4.2.2 DNA Doppelhelix

Wie bereits schon detaillierter im Abschnitt 3.3 erläutert wurde, hat die Darstellung der Doppelhelix seit dessen Entdeckung einen populären aber auch visuellen Wandel durchgemacht. Von einfachen Schwarz-Weiß-Zeichnung bis über das Kalottenmodell hin zu ausgefalleneren Darstellungen (siehe Abb. 3.5–3.8). Vor allem mit dem heutigen Stand der Technik sind kreative und aufwändige Visualisierungen vor allem im 3D-Bereich möglich. Dem Künstler sind kaum noch Grenzen gesetzt. Vor allem wenn es um die farbliche Komponente geht, variiert diese bei der Doppelhelix sehr stark. Anders als die Darstellung der Blutkörperchen in der Blutbahn. Das kann durchaus daran liegen, dass die Doppelhelix, anders als die roten Blutkörperchen,



(a)



(b)

Abbildung 4.7: Stills aus dem Film *Prometheus* (2012). Bild (a) zeigt die infizierte, Bild (b) die reformierte DNA [31].

keine eindeutig definierte Farbe besitzt. Die Farbauswahl ist oft sehr themenabhängig, die DNA bei *Spiderman* wird in den Farben Rot und Blau präsentiert, in der Dokuserie *Cosmos*, wo die Thematik sehr stark bei dem All und dem Kosmos liegt, könnte man sie mit einem Sternenhimmel vergleichen und die DNA bei *CSI: Cyber* ist sehr technisch gehalten und erinnert an visualisierte Datenströme, die durch das Netz geschickt werden (siehe Abb. 4.8–4.11). Von der Form jedoch bleibt sie in jeder Visualisierung konstant. Bereits ein kurzer Ausschnitt, wie bei dem Intro der zweiten Staffel von *CSI: Cyber*, wo die DNA eine Sekunde lang gezeigt wird, reicht aus um das gezeigte Objekt zu identifizieren.



Abbildung 4.8: Still aus der Dokuserie *Cosmos: A Spacetime Odyssey* (2014) [23].



Abbildung 4.9: Still aus dem Serienintro *CSI: Cyber Season 2* (2015–2016) [24].



Abbildung 4.10: Still aus dem Featurefilm *The Amazing Spider-Man* (2012) [32].

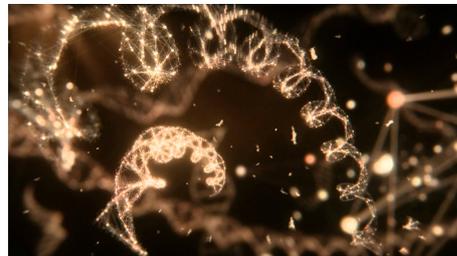


Abbildung 4.11: Still aus der Dokuserie *Cosmos: A Spacetime Odyssey* (2014) [23].

Christopher Campell schreibt in seinem Artikel mit der Überschrift *DNA in Movies: The Science That's Evil In Fiction and Heroic In Documentary* über den Einsatz der DNA im Featurefilm [56]:

We tend to only see the visualization of DNA in fiction, especially where something evil or at least unethical is going on—mad scientists and other villains love to show their nefarious schemes almost as much as they love to tell them. And when it comes to fiction movies, DNA is almost always given a bad reputation.

Besonders beim Superheldengenre kommt die DNA oft zum Einsatz. Ein paar Beispiele wären Marvel Filme wie *X-Men*, *Spider-Man* oder *Captain America* mit deren genetischen Verwandlung [56]. Sehr spannend ist die Verwandlung der DNA von dem Film *Prometheus* zu beobachten. Auch hier macht die DNA, wie in vielen anderen Filmen, eine Wandlung durch.

Für die Visualisierung der DNA bei *Prometheus* war das Studio *Weta Digital* zuständig. Visual Effects Supervisor Martin Hill berichtet in einem Interview über die Herausforderungen. Die DNA im Film macht drei Stadien durch, die Infizierung, die Zerstörung und die Reformation. Die DNA des Engineer sollte grundsätzlich finster und unheimlich werden und die infizierte DNA musste schlussendlich noch verkorkster wirken. Angepasst

an das Aussehen des Engineer wurde die Farbigkeit dessen DNA mit einer hellen Farbpalette gewählt, die Infektion sollte die DNA dann als dunkles, geschmolzenes Etwas verschlingen (siehe Abb. 4.7, (a)). Es sollte wie ein richtiger Kampf aussehen, der Kampf einer DNA, die gerade von einer schwarzen Substanz zerfressen wird. Grundsätzlich versuchten sie in ihren Effekten das maximale an Realität herauszuholen. Für den Look der DNA wählten sie schlussendlich Fischgräten. Für die Infektion schnitzten sie die Venen in Silikonblöcke und ließen alle möglichen Materialien wie schwarze Tinte oder Öle durchfließen. Diese Bewegung wurde abgefilmt und als Basis für den Effekt der Venen und der Infektion herangezogen [49].

Zu Beginn des Filmes infiziert sich eine blasse Gestalt. Schwarze Venen ziehen sich durch seinen Körper, die Kamera zoomt näher an den Körper, bis wir der schwarzen Substanz mit einer kurzen schwarzen Überblendung in den Körper des Protagonisten folgen. Sein Körperinneres wird mit schwarzer Flüssigkeit infiziert. Der Raum muss mit einer Flüssigkeit gefüllt sein, da die schwarze Substanz aussieht als würde man Tinte in Wasser spritzen. Nach einer kurzen Fahrt durch seinen Körper kommen wir bei dem bereits erwähnten DNA-Strang an. Er wird infiziert (siehe Abb. 4.7, (a)) und die DNA bricht auseinander. Nach der Infektion ist die DNA schwarz und sieht verschrumpelt oder verbrannt aus. Mit einer kurzen schwarzen Überblendung durch einen infizierten DNA-Strangs, welcher unscharf unsere Kameralinse verdeckt, gleiten wir wieder von innen nach außen. Nach ein paar nachfolgenden Einstellungen springen wir durch eine schwarze Überblendung mittels der schwarzen Substanz im Wasser wieder in sein Inneres und beobachten die Regeneration seiner DNA (siehe Abb. 4.7, (b)). Diesmal ist das Innere weniger düster, aber dennoch sehr dunkel mit einem rötlich-lila Hintergrund. Die DNA, so sieht es aus, wird mittels den kleinen Bläschen wieder zusammengesetzt. Die DNA sieht jedoch nicht aus wie vor der Infizierung. Die Farben sind sehr dunkel. Die Form der DNA ist so, wie wir sie seit Watson und Cricks Visualisierung kennen. Trotzdem hat sich bei dieser Darstellung ein kleiner Fehler eingeschlichen, wie Campbell in seinem Artikel erwähnt. Sehr oft kommt es vor, dass die Doppelhelix anstatt mit einer Rechtsdrehung mit einer Linksdrehung visualisiert wird. Die Form von *Prometheus* ist also nicht korrekt, was in diesem Fall aber auch nicht störend ist. Die Struktur der Helix hat das Vorbild von Fischgräten, was sehr gut zu erkennen ist. Diese knochige Struktur macht die DNA unheimlich und durch das subsurface scattering auch glaubwürdig organisch. Das Körperinnere zu Beginn hat mit seiner dunklen, schwarz-grünen Farbe einen unnatürlichen, giftigen und gruseligen Anblick (siehe Abb. 4.7, (a)). Der Raum der Erneuerung der DNA macht einen weniger düsteren Anschein. Jedoch ist hier nicht zu hundert Prozent klar, wo wir uns befinden. Die Farbigkeit signalisiert etwas fleischig, organisches, aber wir tauchen diesmal nicht direkt in den Protagonisten ein. Wir befinden uns unter Wasser und die wirbelnden Bläschen werden bei dieser Darstellung der Doppelhelix trotz dunkler Über-

blendung weiter übernommen. Der Raum bleibt hier noch unklar (siehe Abb. 4.7, (b)). Die Kamerafahrt ist sehr kontinuierlich und weich, vor allem die Übergänge von außen in den Körper, sind oft eine Bewegung, mit einer kurzen dunklen Überblendung. Es wird nie hart geschnitten und gibt einem das Gefühl, dass wir wirklich in den Körper eintauchen. Wir wissen, auch wenn es in Wirklichkeit nicht logisch ist, in welchem Raum wir uns befinden, dass wir im Körper des Protagonisten sind. Um vom Körperäußeres auf die Größe der DNA gelangen zu können, müssten wir viel tiefer und weiter eintauchen. Diese Darstellung ist jedoch sehr kurz gehalten. Wissenschaftliche Richtigkeit wird hierbei vom Zuseher nicht hinterfragt, weil es nicht wichtig für die Geschichte des Filmes ist und die Zuseher auch nicht den Film wegen ihres Interesses an der DNA sehen. Eine richtige Vermittlung von Skalierung und Größen ist dabei nicht gegeben und auch nicht notwendig. Anders wie bei der Visualisierung der Blutlaufbahn, wie im Abschnitt 4.2.1 beschrieben, ist der Raum sehr vage definiert, was ein Vergleich der Größenverhältnisse unmöglich macht. Außerdem wissen wir mit unserem Wissen, dass unser Blut in unseren Venen fließt, wir haben also dafür eine vorstellbare Größe. Bei der DNA jedoch, haben wir kein solchen Anhaltspunkt, deshalb liegt die DNA, egal ob bei einer Dokumentation oder bei einem Featurefilm, beim Zuseher weit über seiner Vorstellungskraft. Die Folge davon sind vage Visualisierungen mit undefinierten Räumen.

Resümee

Die Darstellung der Doppelhelix unterscheidet sich sehr stark. Die stufenförmige Spirale bleibt stets gleich, doch dem Künstler sind bei der Gestaltung der Oberfläche und des Looks keine Grenzen gesetzt. Das kann durchaus daran liegen, dass die mikroskopischen oder Röntgenaufnahmen der DNA in Grauwerten zu sehen sind und die DNA an sich keine Farbe besitzt. Ganz im Gegenteil zu den Blutkörperchen, wo die Farbe von Objekt und Raum ziemlich fest in den Köpfen der Menschen verankert ist, weil sie tatsächlich diese Farbe besitzen. Meistens passt sich die Darstellungsform und Farbgebung dem Thema des Filmes oder der Intention an. Die Darstellung reicht von einfachen, flachen Visualisierungen bis hin zu aufwändigen 3D Bilder. Der Raum der Darstellung bleibt meistens, anders wie bei den Blutkörperchen in der Blutbahn, sehr ungenau beschrieben und sehr oft entweder schwarz oder unscharf, daher ist es sehr schwer ein Gefühl für Raum und Größe zu erhalten.

4.2.3 Neuronen

Es gibt mehrere Verfahren um Neuronen aufzuzeichnen. Wie zum Beispiel mikroskopische Aufnahmen mittels Golgi-Färbung (siehe Abb. 4.15). Doch die bekanntesten Bilder von Neuronen stammen von Aufnahmen mit dem

Fluoreszenzmikroskops (siehe Abb. 4.14 und 4.16). Es handelt sich dabei um eine bestimmte Art der Lichtmikroskopie, wo durch Fluoreszenz kurzwelliges Licht absorbiert wird, um dann längerwellige Strahlung zu emittieren. Spezielle Filter sorgen dafür, dass nur das abgestrahlte Licht zu sehen ist [76]. Diese Art von Aufzeichnung ist nicht nur praktisch, weil es die unterschiedlichen Objekte hervorhebt, sondern es entstehen auch ästhetisch ansprechende Bilder, welche zum Vorbild etlicher Visualisierungen wurde (siehe Abb. 4.12–4.14). Einer davon ist der Thriller *Fight Club* von David Fincher (1999). Die Titelsequenz führt uns quer durch das menschliche Gehirn.

Die Titelsequenz von *Fight Club* realisierte das Studio *Digital Domain* unter der Leitung von Kevin Tod Haug. Die Typografie stammte von P. Scott Makela, der Soundtrack komponierte das Produzentenduo *The Dust Brothers*. Die Titelsequenz war vorerst ohne Animation geplant und es funktionierte auch wirklich gut, berichtet David Fincher in einem Interview. Aber diese Idee, dass sie mit elektronischen Impulsen zwischen Synapsen beginnt, die die Angst oder Panik in Edward Norton's Gehirn prophezeien soll, wollte er unbedingt umsetzen und gab dafür \$750,000 bis \$800,000 aus. Er wollte die Credits aufblitzen lassen [68]:

[...] one of the things we tried to do on *Fight Club* was to literally flash the credits. I wanted to burn them, sear them into people's eyes, and have them on screen for like four frames and then let them decay away.

In einem Audio Kommentar erklärt er die Räumlichkeiten und Funktionen der Titelsequenz. Es beginnt im Angstzentrum des Gehirnes, wo Impulse, die auf der Angst des Protagonisten basieren, abgefeuert werden. Während der Fahrt ändern sich die Maßstäbe laufend, sie beginnt innerhalb von Dendriten, wir verlassen diese, fahren durch den Frontallappen, durch einen schwarzen Bereich mit kleinen Teilchen die herumschwirren, wo wir das Gehirn verlassen um zur Schädeldecke zu gelangen. Wenn Arnon Milchans Name auftaucht befinden wir uns in der Schädeldecke, im Knochen selbst, wo sich auch Flüssigkeit befindet, zu David Finchers Überraschung. Von dort aus schießen wir hoch durch Fettzellen und einer Pore von Edward Nortons Gesicht. Für die medizinische Glaubwürdigkeit arbeiteten sie mit Kathryn Jones zusammen, einer Illustratorin für Medizin, die ebenso am *Visible Human Project* beteiligt war. Sie fertigte ein Buch an mit allen möglichen Illustrationen (siehe Abb. 4.17) und einer Karte von den unterschiedlichen Räumen des Gehirnes.

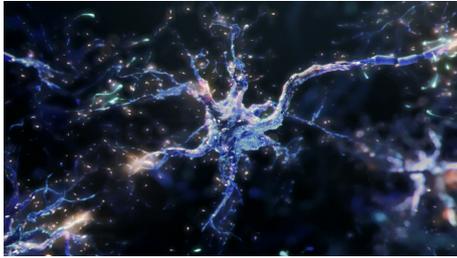


Abbildung 4.12: Still aus einem Werbespot der Firma *Raymond* für sein Produkt *Technosmart* [74].



Abbildung 4.13: Still aus dem Film *Fight Club* (1999), Titelsequenz mit Fahrt durch das menschliche Gehirn [27].

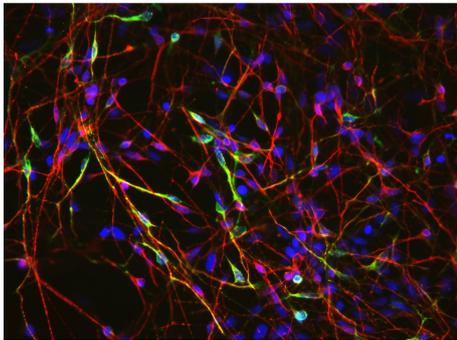


Abbildung 4.14: Fluoreszierende mikroskopische Aufnahme von menschlichen Neuronen [60].

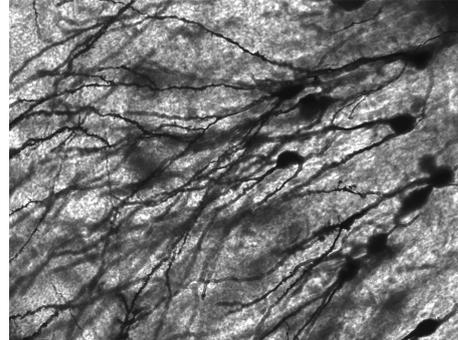


Abbildung 4.15: Neuronen im Hippocampus, gefärbt mit der Golgi-Methode [50].

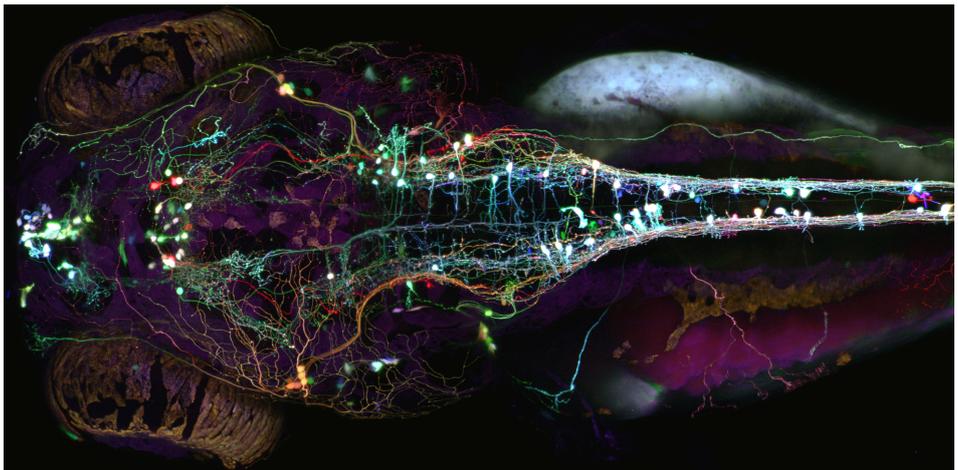


Abbildung 4.16: Neuronen des Zebrafisches, eingefärbt mittels Fluoreszenzmikroskopie [66].

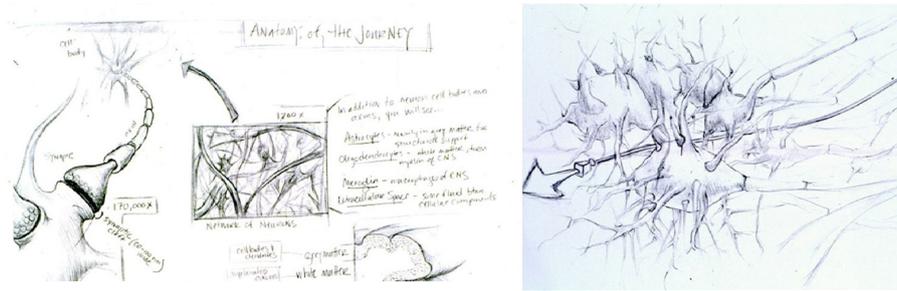


Abbildung 4.17: Zeichnungen aus dem sogenannten *ride book* von *Fight Club* [68].

Sie erwähnte auch die grundsätzliche Farblosigkeit des Gehirnes, was zu David Finchers monochromen Intention gut passte. In einem Interview mit Kevin Tod Haug erklärte er Finchers Vorstellungen des Looks [68]:

While he wanted to keep the brain passage looking like electron microscope photography, that look had to be coupled with the feel of a night dive—wet, scary, and with a low depth of field.

David Fincher wollte es so realistisch wie möglich aussehen lassen. Für weitere visuelle Ideen holten sie sich Dr. Mark Ellisman ins Boot, Professor der Neurowissenschaften und Biotechnik der U.C. San Diego School of Medicine.

Wie bereits im vorherigen Absatz angesprochen wurde, handelt die Titelsequenz von *Fight Club* von einer Fahrt vom Inneren des Gehirnes nach außen. Im Innersten befinden wir uns bei den Neuronen. Zu Beginn sind wir so nahe an den Objekten, dass wir erst nach kurzer Zeit sehen können, worum es sich handelt. Doch hat man erst das Gesamtbild, sind die Formen der Objekte nicht zu verwechseln. Die Form der Neuronen sind der echten Form sehr nahe. Sie sind zwar nicht sehr detailliert dargestellt wie zum Beispiel in dem Spot für Technosmart (siehe Abb. 4.12), aber angesichts des Erscheinungsjahres und der Sichtbarkeit der Dinge, ist das legitim. Es ist ein Gewirr aus glatten aber auch strukturierten Strängen. Gut zu sehen sind sie nur für eine kurze Zeit, wenn ein elektrischer Impuls abgegeben wird, der in Form eines Blitzlichtes auftritt, oder wenn ein Text eingeblendet wird. Die elektrischen Impulse und die Titles sind also alleinige Lichtträger und verändern die Lichtstimmung immer wieder aufs Neue. Die Objekte besitzen keine Farbe und werden nur durch das bläuliche Licht der Blitze eingefärbt. Die blauen Blitze in der schwarzen Umgebung wirken sehr bedrohlich und gefährlich. Der Stil der Bilder ähnelt sehr der Fluoreszenzmikroskopie, schwarzer Hintergrund und leuchtende Farben. So erzielen die Blitze auch ihre volle Wirkung. Der Raum ist jedoch sehr schwer zu definieren und alle Objekte werden in etwa mit der gleichen Größe dargestellt, was in Wirklichkeit nicht der Fall ist. Die Kamera fährt sehr zügig durch das ganze Geschehen, das

schnelle Tempo macht die Szene ebenso gefährlich. Die Kamerafahrt passiert ohne Schnitt, tut der Kontinuität keinen Abbruch und gibt einem das Gefühl nicht eine Aktion nach der anderen zu erleben, sondern einen ausgedehnten einzigen Augenblick. Die Kontinuität erzeugt ebenso Realismus. Auch die Fahrt aus dem Körper ist sehr realistisch gelöst, da viele Ebenen miteingebaut wurden, vor allem die Ebene der Oberfläche der Haut. Die Übergänge außerhalb des Körpers werden teilweise mit Unschärfe und schwarzen weichen Überdeckungen kaschiert. Was jedoch zur unruhigen turbulenten Fahrt innen sehr gut passt. Die Kamerafahrt von innen nach außen ist eher bei fiktionalen Filmen zu finden. Bei Dokumentationen oder bei der generellen Wissensvermittlung soll es jedoch nicht für Verwirrungen sorgen, sondern von Anfang an klar sein, wenn es eine Kamerafahrt gibt, welches Gehirn wir gleich erforschen werden. Dazu ist es besser von außen nach innen zu gehen. Auch bei *Fight Club* wissen wir zwar anhand der Blitze und der Neuronenstruktur, dass es sich um ein Gehirn handeln könnte, aber um wessen ist zu diesem Zeitpunkt noch völlig unklar. Grundsätzlich passiert in dieser Sequenz ein unmöglicher Zoom, er beginnt auf kleinster Größe bei den Neuronen und endet mit der Standardbrennweite eines Filmobjektivs. Mit dieser virtuellen Kamera ist so eine Titelsequenz natürlich möglich, dem Künstler sind keine Grenzen gesetzt, deshalb ist es auch möglich, dass, so beschreibt es Sebastian Richter in seinem Buch *Digitaler Realismus: Zwischen Computeranimation und Live-Action. Die neue Bildästhetik in Spielfilmen* [15, S. 16]:

Ohne Schnitt und immer in Bewegung „wächst“ die virtuelle Kamera von mikroskopischer Winzigkeit zur Größe einer „normalen“ Filmkamera heran. Ihr Blick passt sich den sich verändernden Größenverhältnissen der abgebildeten Strukturen kontinuierlich an.

Resümee

Die Visualisierungen von Neuronen sind von der Farbigkeit her sehr stark an der Fluoreszenzmikroskopie angelehnt. Meist ein schwarzer oder sehr dunkler Hintergrund mit leuchtenden Farben. Auch so kommen die elektrischen Impulse, die größtenteils als Blitze dargestellt werden, auch richtig zur Geltung. Egal wie detailliert oder einfach die Darstellung von einem Neuronennetzwerk ist, die Form wird sofort wiedererkannt. Am Beispiel von der Titelsequenz des Thrillers *Fight Club* kann auch gut nachverfolgt werden, wie man mittels virtueller Kamera durch unterschiedliche Größenverhältnisse in einer Fahrt brausen kann, ohne jeglichen Realitätsverlust.



Abbildung 4.18: Still aus dem Animationsfilm *nec* (2016) [30].

4.2.4 Die Körperinnenwelten vom Animationsfilm *nec*

Der Animationsfilm *nec* handelt von einem Nashornkäfer, der von Pilzsporen infiziert wird. Zu Beginn des Filmes befinden wir uns in der Natur und treffen auf den Käfer (siehe Abb. 4.18). Als er die Sporen „einatmet“, wechseln wir die Umgebung und wir befinden uns im Inneren des Käfers. Dort sehen wir den Prozess der Infizierung und des Wachstums des Pilzes. Am Ende befinden wir uns wieder außerhalb des Käfers, welcher tot und mit dem Pilz überwuchert vor uns liegt. Der Käfer, sowohl Äußeres wie auch sein Körperinneres, sind computergeneriert. Da die Kamerafahrt durch den Wald an einem Miniaturset mit echten Waldutensilien abgefilmt wurde, sollte auch der Käfer dazu passen und fotorealistisch sein. Anhand von Referenzen eines echten Käfers und eines Käferpräparates wurde der Käfer modelliert, gesculptet und texturiert. Für das Körperinnere waren jedoch nur bereits vorhandene Bilder von Körperinnenwelten als Referenz vorhanden. Einen toten Käfer selber aufschneiden, machte dabei wenig Sinn. Vor allem hat sich das Team darauf geeinigt die Gelegenheit zu nutzen und das Körperinnere zwar so zu gestalten, wie es die Zuseher von realistischen Visualisierungen erwarten, jedoch auch die kreativen Möglichkeiten auszuschöpfen. Der Leitfaden war immer folgender, der Käfer von außen sollte so fotorealistisch wie nur möglich wirken, im Inneren kann der Kreativität freien Lauf gelassen werden, solange es noch an den populären Darstellungen angelehnt ist. Ein Beispiel dafür wären die Blutkörperchen des Käfers. Zum einen gibt es die roten Blutkörperchen nicht so, wie wir es vom menschlichen Körper kennen, zum anderen wurde bei der Zerstörung des Blutkörperchens eine etwas abstraktere Methode gewählt. Es durchlebt drei Phasen, das gesunde Blutkörperchen (siehe Abb. 4.19, (a)), die Zerstörungsphase (siehe Abb. 4.19, (b)) und das „tote“ Blutkörperchen (siehe Abb. 4.19, (c)). Für das Aussehen wurde die Form des roten Blutkörperchens gewählt, da jedoch das Blutkörperchen trotzdem so nicht existiert, wurde es weiß koloriert, es sollte



(a)



(b)



(c)

Abbildung 4.19: Stills aus dem Animationsfilm *nex* (2016) [30]. Bild (a) zeigt das intakte Blutkörperchen, Bild (b) den Zerstörungsprozess und Bild (c) das zerstörte Blutkörperchen.

nicht zu hundert Prozent eine Analogie zum menschlichen Blutkörperchen hergestellt werden. Die Umgebung ist rötlich gehalten, was das innere Fleisch darstellen sollte. Das Blutkörperchen verbrennt glühend und die Farbe des Hintergrunds passt sich dem toten infizierten Objekt an, er wird schwarz. Das Blutkörperchen zeigt eine verbrannte und schwarze Oberfläche. Verbrennung, das Verschrumpeln und die dunkler werdende Szene lösen beim Zuschauer ebenso etwas Negatives aus und das richtige Gefühl wird somit dem Zuseher vermittelt. Die Intention des Projektes war, einen Mittelweg zwischen populären, aber auch ästhetisch und kreativen Darstellungen zu finden. Es sollte glaubhaft wirken, aber auch etwas anders sein. Die Formen und Objekte innerhalb des Käfers sind stets organisch. Ebenso wurde der Raum mit Flüssigkeit gefüllt, in dem kleine Artefakte schwimmen, auch

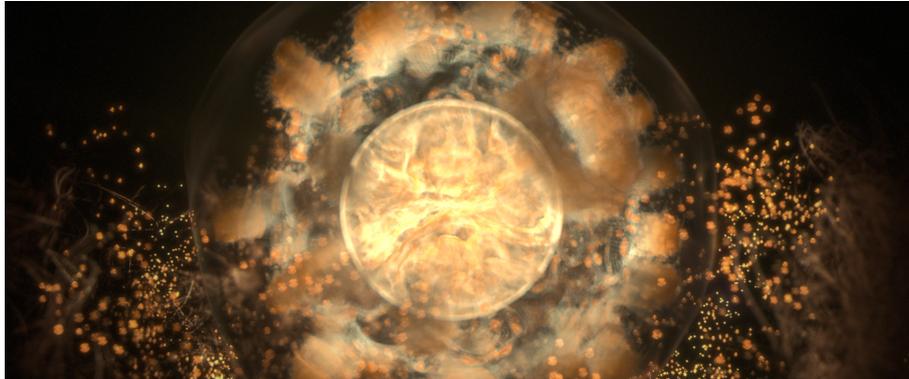


Abbildung 4.20: Still aus dem Animationsfilm *nec* (2016) [30].

das wurde aus diversen Visualisierungen übernommen. Gleichzeitig jedoch verliert der Käfer seine Flüssigkeit nach seinem Tod und sollte sein Verderben unterstreichen. Auch das Aussehen der Spore wurde frei erfunden. Wenn wir uns nahe an der Spore befinden, also im mikroskopischen Bereich, weist die Spore eine fraktale Gestalt auf (siehe Abb. 4.20). Nachdem fraktale Formen häufig in der Natur und auch in der Medizin vorkommen und daher einen organischen Eindruck hinterlassen, ist diese Darstellungsweise, obwohl sie nicht der Realität entspricht, für den Zuseher glaubwürdig. Auch für den Pilzwachstum wurde eine abstraktere Methode gewählt, die wachsenden Stränge, welche eine frei erfundene Optik besitzen, wachsen jedoch wie in einem Kletterpflanzen Timelapse. Was wiederum eine Analogie zu Natur und Organischem herstellt. Bei dem Pilz außerhalb des Käfers, wie bereits erwähnt, wurde darauf geachtet, den Pilz möglichst wirklichkeitsgetreu aussehen zu lassen.

Resümee

Für den Film *nec* und dessen Körperinnenwelten wurde stets darauf geachtet einen Mittelweg von Realem, Glaubwürdigen und Kreativen zu finden. Die Umgebung außerhalb des Käfers wurde fotorealistisch und wirklichkeitsgetreu gehalten. Doch im Inneren des Käfers blieb etwas Spielraum für eigene Vorstellungen und Kreativität. Trotzdem wurde immer versucht eine Analogie zur Natur oder zu populären Darstellungsformen zu finden um die Glaubwürdigkeit des Dargestellten aufrecht zu erhalten.

Kapitel 5

Ausblick: Die neuen Animationsmethoden für die Wissenschaft

5.1 Molekulare Animationen

“Scientists have always done pictures to explain their ideas, but now we’re discovering the molecular world and able to express and show what it’s like down there. Our understanding is just exploding.” [13]

Im Kapitel 4 und dessen Beispielen von Visualisierungen können wir feststellen, dass, egal ob Dokumentation oder fiktionaler Film, die Darstellungen werden von künstlerischen Entscheidungen und populären Visualisierungen stark beeinflusst. Es sind fiktionale Darstellungen, mehr als wirklichkeitsgetreue Umsetzungen von aufgenommenen Daten. *Molecular animators*, wie sie genannt werden, ist eine kleine Gemeinschaft, die mit Datensätzen molekulare Animationen generieren. Sie sind Wissenschaftler und gleichzeitig auch Animatoren. Ihr Fokus liegt auf Animationen anhand von echten Datensätzen von Mikroskopien und Röntgenkristallografien. Es ist ein schnell wachsender Bereich, welcher Kino und Biologie miteinander verbindet. Anhand von riesigen Datenmengen werden die inneren Mechanismen von lebenden Zellen nachempfunden. Wie die *New York Times* berichtet, ist es für Dr. Iwasa, eine Zellbiologin und molekulare Animatorin an der *Harvard Medical School*, eine Möglichkeit diese Momentaufnahmen logisch zusammenzufügen. Dies soll und kann das Verständnis der molekularen Vorgänge erhöhen. Dr. Lue, ein Professor für Zellbiologie und der Direktor der Lehre für Lebenswissenschaften an der Universität Harvard, beschreibt dies als ein Versuch eine Visualisierung der tiefsten Geheimnisse des Lebens an die große Masse zu bringen. Für Erik Olsen ist Drew Berry, ein Zellbiologe der für das *Walter*

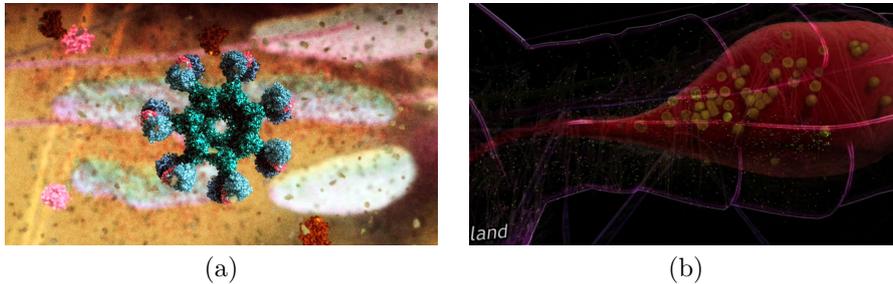


Abbildung 5.1: Stills aus Drew Berrys Filmen. Bild (a) ist aus dem Film *Apoptosis* [13], Bild (b) aus *The Lifecycle of Malaria (Part 2)* [54].

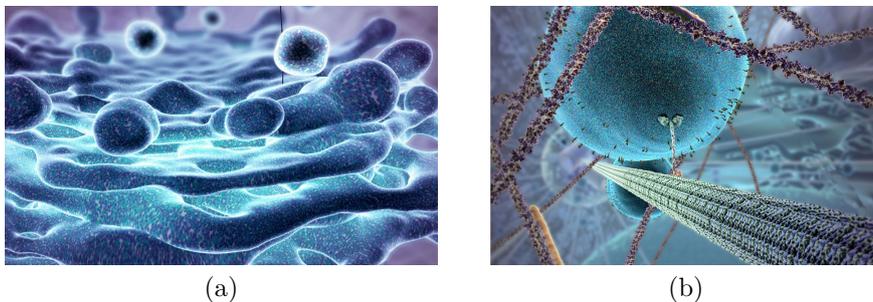


Abbildung 5.2: Stills aus dem Film *The Inner Life of the Cell* (2006). Bild (a) zeigt den Golgi-Apparat, in Bild (b) bewegt ein Motorprotein ein Vesikel entlang eines Mikrotubulus [75].

and Eliza Hall Institute of Medical Research in Melbourne arbeitet, der Steven Spielberg der molekularen Animationen. Seine Animationen (siehe Abb. 5.1) wurden mehrfach anerkannt in Form von Preisen und Ausstellungen in Museen [13]. Erik Olsen bezeichnet das Video *The Inner Life of the Cell* (siehe Abb. 5.2), produziert von *BioVisions*, ein wissenschaftliches Visualisierungsprogramm von Harvards Abteilung für Molekül- und Zellbiologie, und von einem Animationsstudio namens *Xvivo* im Jahre 2006 als “Perhaps the pivotal moment for molecular animations [. . .]” [13]. Die Animation zeigt einen unsichtbaren molekularen Mechanismus und diejenigen, die sie steuern, den Fokus auf weiße Blutkörperchen und ihre Umgebung. John Liebler, der Hauptanimator von *Xvivo* beschreibt sein Erlebnis der Produktion [63]:

I’ve been in the medical animation field for seven years now, so I’m a little jaded, but I still get surprised by things. For instance, in the animation there’s a motor protein that’s sort of walking along a line, carrying this round sphere of lipids. When I started working on that section I admit I was kind of surprised to see that it really does look like it’s out for a stroll, like a character

in a science fiction film or animation. But based on all the data, it's a completely accurate rendering.

Ihre Grundidee war etwas anderes zu machen, etwas sehr wissenschaftliches, aber trotzdem mit einer gewissen Dramaturgie. Sie versuchten das Video so filmisch wie nur möglich umzusetzen ohne die Richtigkeit stark zu beeinflussen. Bei manchen Vorgängen mussten sie jedoch Kompromisse eingehen. Liebler erklärt, sie mussten zum Beispiel bei manchen Objekten Platz schaffen. Das Innere einer Zelle ist sehr vollgepackt, sodass sie nicht jedes Detail im Shot zeigen konnten.

Viele Biologen und Animatoren sehen großes Potential in dieser Animationstechnik. Auf der anderen Seite gibt es jedoch auch Skeptiker, die solche Animationen nicht als Gewinn für die wissenschaftliche Forschung ansehen, weil die Animationen schnell in Fiktion und so von der eigentlichen Intention abdriften können. Viele Animationen sind davon betroffen und so ist es oft schwer zu unterscheiden, was ist richtig und was ist Fiktion. Dennoch ist die Visualisierung, vor allem im Biologieunterricht, laut Gaël McGill, Geschäftsführer vom Animationsstudio *Digizyme*, “[...] the key to the future“ [13]. Liebler erwähnt ebenso die enge Verbindung zwischen Charakter- und Wissenschaftsanimation. Die Prinzipien der Charakteranimation sind zwar nicht in jeder wissenschaftlichen Animation zu finden, aber trotzdem könnte das Miteinbringen in diese Darstellungsform die Qualität der Animation erhöhen. Insbesondere kann es das organische Aussehen steigern oder der Animation mehr Glaubwürdigkeit und Gewicht verleihen [63].

5.2 Vergleich mit den bisherigen Visualisierungen

Die Stärke der molekularen Animationen liegt eindeutig in ihrer Richtigkeit und ihrer Ästhetik zugleich. Die enge Zusammenarbeit mit Wissenschaftler und Animatoren, ob im Team oder beides in einer Person vereint, macht sich bezahlbar. In erster Linie liegt der Fokus jedoch vor allem auf der Verbreitung von Wissenschaft an die breite Masse und die Einbindung in den Unterricht. Wie bereits im Abschnitt 4.1.1 angesprochen, ist es wichtig neben der Wissensvermittlung auch eine gewisse Dramaturgie und Handlung einzubauen um dem Zuseher am Ball zu halten. Anders als bei den Dokumentationen, die Wissen mit teilweise „falschen“ Bildern vermitteln wollen, versuchen die molekularen Animationen wissenschaftlich richtiges Bildmaterial zu zeigen. Besonders am Beispiel von *The Inner Life of the Cell* ist zu sehen, dass sie versucht haben eine Geschichte zu erzählen, die sich nur im Körperinneren abspielt. Dokumentationen hingegen versuchen oft eine Handlung mit Menschen in den Vordergrund zu stellen damit wir mit der Person mitfühlen können (siehe Abschnitt 4.1.1). Die Protagonisten von *The Inner Life of the Cell* sind jedoch einzig und allein die Mechanismen unseres Körpers. Auch die Reaktionen sind hinsichtlich dieser Videos meist sehr

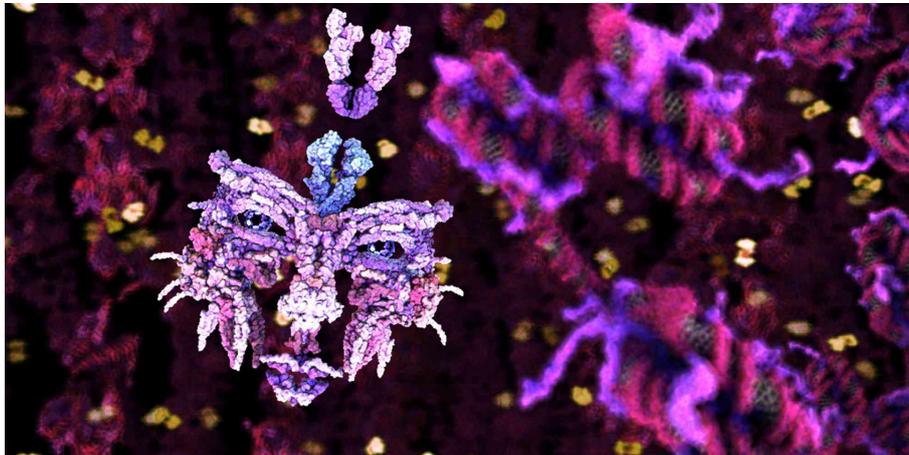


Abbildung 5.3: Still aus Drew Berrys Animation und Björks Musikvideo *Hollow* (2012) [55].

positiv gestimmt. *The Inner Life of the Cell* hat auf *Youtube* beinahe eine Millionen Aufrufe [75] und die Kommentare der Rezipienten schließen darauf, dass sie meist fasziniert sind oder ihnen geholfen hat diese Vorgänge zu verstehen [75]. Eine weitere Idee, diese Videos an die Masse zu bringen ist zum Beispiel das Musikvideo von *Björk* (siehe Abb. 5.1). Ein gut gelungenes Beispiel Dramaturgie mithilfe von Musik in die Erzählung zu bringen. Doch hier stoßen wir auf die Problematik, wie bereits im Abschnitt 5.1 erwähnt, dass wir wissen, dass Drew Berry für seine Richtigkeit in seinen Animationen bekannt ist. Trotzdem berichtet er in einem Interview [67]:

My work is usually defined by goals of didactic science education and accuracy, so this is the first time that I've strayed fully into the world of art, with the opportunity to mess around with the scientific data to create a whimsical and playful journey.

Befasst man sich also nicht stärker mit der Produktion des Videos, könnte man denken, das ganze Video sei eine akkurate Darstellung. Die Maske in diesem Video jedoch (siehe Abb. 5.3) ist angelehnt an *fruit paintings* des 16. Jahrhunderts von Giuseppe Arcimboldo. Es ist ein molekularer Komplex, der aus einem 3D-Scan von Björk modelliert wurde [67]. Trotzdem, wie auch bei *The Inner Life of the Cell*, spielt die Musik eine wichtige Rolle. Anders als bei der Dokumentation gibt es bei diesen Videos keinen Sprecher, der die Vorgänge erklärt. Es werden lediglich kurze Beschriftungen eingeblendet, was es diesen Videos erschweren kann an die breite Masse zu gelangen. Befasst man sich vorerst nicht mit diesem Thema, kann es zwar faszinierend sein den molekularen Maschinen zuzusehen, jedoch kann man die Vorgänge nicht gänzlich nachvollziehen und kann dadurch schneller gelangweilt werden. Daher können sie für den Unterricht überaus passend

sein, für Dokumentationen wären sie jedoch weniger geeignet. Auffällig bei dieser Visualisierungsmethode ist die Eigendynamik der molekularen Vorgänge. Bei den meisten Darstellungen und besonders bei den analysierten in Abschnitt 4.2, ist die Kamerafahrt durch den Körper die Hauptbewegung. Die visualisierten Objekte bleiben meist fast unbewegt. Bei den molekularen Animationen haben die Objekte selbst zusätzlich zur Kamera eine eigene Bewegung. Wird ein Vorgang gezeigt wie zum Beispiel im Film *The Inner Life of the Cell*, wo das Motorprotein ein Vesikel entlang eines Mikrotubulus bewegt (siehe Abb. 5.2), bleibt die Kamera statisch oder bewegt sich höchstens minimal. Sehr akkurat ist dabei die Geschwindigkeit der dargestellten Vorgänge und bietet somit einen interessanten und realistischen Einblick in die molekularen Maschinen des menschlichen Körpers.

Nicht nur die Wissenschaft wird durch molekulare Animationen bereichert, sondern es kann auch die Unterhaltungsindustrie beeinflussen. Wie Janet Iwasa in einem Vortrag erwähnt, ist die Gemeinschaft von Wissenschaftler, die auch das Handwerk der Animation oder ein 3D Programm beherrschen, sehr klein. Sie selbst verbrachte eine lange Zeit um dieses Handwerk zu erlernen. Bei ihren Studenten erlebt sie es selbst, dass sie mit Programmen wie *Autodesk Maya* ohne Übung überfordert sind. Deshalb hat sie eine eigene Software veröffentlicht, die für Wissenschaftler sehr einfach zu bedienen ist und welche eine große Datenbank beinhaltet wo Animationen oder andere Daten hoch- oder runtergeladen werden können. Das Projekt nennt sich *Molecular Flipbook* und sollte Wissenschaftler durch die Benutzerfreundlichkeit anspornen mit Animationen zu arbeiten [71]. Neben dem *Molecular Flipbook* gibt es auch noch die *Protein Data Bank*, eine Datenbank die Unmengen an dreidimensionalen Koordinaten von allen Atomen in einem Protein speichert und für jeden zugänglich ist [13]. Für viele Wissenschaftler in diesem Gebiet sind die molekularen Animationen die Zukunft der wissenschaftlichen Forschung und Lehre. Somit kann es durchaus möglich sein, dass die Unterhaltungsindustrie davon beeinflusst wird. Denn auch bei Dokumentationen oder Featurefilmen werden Wissenschaftler bei der Produktion hinzugezogen. Ob sich so mit der Zeit die populäre Visualisierungsformen von wissenschaftlichen Darstellungen ändern oder nicht, bleibt abzuwarten.

Für den dokumentarischen Einsatz wären die molekularen Animationen besonders wegen ihrer Richtigkeit sehr gut geeignet. Zwar nicht in dieser Form wie zum Beispiel bei *The Inner Life of the Cell*, aber mit den typischen dokumentarischen Konventionen. Eine interessante Frage wäre hierbei natürlich auch, wieweit kann damit das Interesse der breiten Masse geweckt werden. Die molekularen Vorgänge setzen auf jeden Fall ein Basiswissen oder ein Basisinteresse in diesem Gebiet voraus. Das Thema geht schon weiter in die Tiefe. Trotzdem würde es mit dieser Darstellungsweise mehr Interesse wecken. Vor allem die Richtigkeit der Darstellung kann den Zusehern helfen sich darunter etwas vorstellen zu können und den Zuseher mit der Faszina-

tion anspornen es begreifen zu wollen. Es könnte also sehr wohl mit dieser ansprechenden Darstellungsweise das Interesse geweckt werden. Meiner Meinung nach besser als Visualisierungen in wissenschaftlichen Lehrbüchern. Bei Filmen hingegen ist diese Richtigkeit weniger notwendig. Trotzdem ist das Video *Hollow* von Drew Berry einen guten und interessanten Einstieg, wie eine Geschichte mit molekularen Animationen erzählt werden kann, als man im letzten Drittel des Videos auf Björks anzestralen Geist trifft. Er beschreibt es als ihren Geist in der Maschine, der über ihre DNA wacht, wenn sie von einer Generation zur nächsten übergeht [67]. Auch am Beispiel der DNA in *Prometheus*, könnte die Infizierung der DNA und ihre Auswirkung auf den menschlichen Mechanismus genauer visualisiert werden und somit zu mehr Dramatik führen. Trotzdem kann vermutet werden, dass sich besonders auch die Farblichkeiten zu bisherigen molekularen Animationen ändern und andere Dinge so modifiziert werden würde, dass es wiederum weniger der Realität entspricht und den Status einer akkuraten Darstellung verliert.

Kapitel 6

Schlussbemerkung

Durch die Betrachtung der geschichtlichen Entwicklung von dem Interesse an dem menschlichen Körper und dessen Anatomie, der Entwicklung von naturwissenschaftlichen Visualisierungsverfahren und ihre Bilder und dessen Etablierung in der Populärkultur, können gewisse Darstellungskonventionen in den Unterhaltungsmedien erforscht und analysiert werden. Dabei wurden Animationen von drei bekannten wissenschaftlichen Objekten, der Blutkörperchen in der Blutlaufbahn, die DNA-Doppelhelix, Neuronen und dazu die Bilder vom inneren Käfer des Projektes *ncx*, genauer betrachtet. Dabei ist wichtig einzuteilen, für welche Intention werden Bilder generiert. Zum einen können Lehrvideo unterrichten, Dokumentationen Wissen vermitteln und Filme für Unterhaltung sorgen. Hierbei war auffällig, dass sie sich in ihrer Abstraktion und Detailreichtum unterscheiden. Lehrvideos werden sehr oft mit einfachen Grafiken generiert, im Falle des Blutkörperchens durch die Blutbahn, war es als kleiner roter Punkt visualisiert. In Dokumentationen gibt es abstrakte aber auch sehr fotorealistische Ansätze, trotzdem sind die bekanntesten und auch erfolgreichsten diejenigen, die sehr realistisch wirken und beim Rezipienten einen Wow-Effekt auslösen. In Filmen ist es am üblichsten, die Darstellung so fotorealistisch wie möglich anzustreben, sofern es sich um einen Realfilm handelt.

Besonders die realistischen Visualisierungen von den Blutkörperchen in der Blutlaufbahn sind seit den sechziger Jahren und der Veröffentlichung von *Fantastic Voyage* sehr ähnlich geblieben. Natürlich ist die Qualität in der Computergrafik seither kontinuierlich gestiegen, jedoch unterscheiden sie sich von der Raumgestaltung, der Farblichkeit und generell der Darstellungsweise nur sehr gering. Schon damals sind wir durch die Venen des Körpers gereist und haben die Blutkörperchen auf ihrem Weg verfolgt. Der Raum ist meist ein länglicher Tunnel und die roten Blutkörperchen entsprechen ihrer wirklichen Form. Diese Darstellungsform hat sich von den ersten generierten Bildern bis heute sehr wenig geändert und kommt der Realität sehr nahe, aus dem Grund, weil die Größe der Blutkörperchen mit einem

durchschnittlichen Durchmesser von $7\mu\text{m}$ noch in einem leicht darstellbaren Bereich liegt und wir wissen, dass die Blutkörperchen durch das Hämoglobin eine rote Farbe besitzen.

Anders als die DNA-Doppelhelix, die kleiner ist als die Blutkörperchen und die Visualisierungsmöglichkeiten in der Wissenschaft um einiges begrenzter sind. Trotzdem hat sich die Form der DNA-Doppelhelix seit deren Veröffentlichung 1953 von Watson und Crick nicht geändert. Die Darstellungsweise hat sich seither jedoch stark gewandelt, angefangen mit einer einfachen Schwarz-Weiß-Zeichnung, über farbige Kalottenmodelle bis hin zu den kreativsten Bildern, welche durch die Entwicklung der Drucktechnik und Computergrafik möglich waren. Anhand der angeführten Beispiele ist auch gut zu erkennen, dass die Farbigkeit und die generelle Erscheinung sehr stark durch das Thema des Filmes beeinflusst wird. Es gibt sehr viele unterschiedliche Darstellungen, einfach aus diesem Grund, weil anders wie die Blutkörperchen, welche die Farbe Rot durch das Hämoglobin erhalten, die DNA keine Farbe besitzt. Es gibt also keine Farbigkeit, an die sich die Künstler halten können um das Bild realistisch wirken zu lassen. Ebenso der Raum in der sich die DNA befindet, ist bei sehr vielen Darstellungen entweder schwarz oder sehr unscharf und unklar. Raum, Skalierung oder Größenverhältnisse sind somit sehr ungenau dargestellt, im Gegensatz zu den Blutkörperchen, wo die Venen als Anhaltspunkt dienen. Man kann also behaupten, die Darstellung von Räumen hängt oft sehr stark vom Wissen und der Vorstellbarkeit der Wissenschaft und der breiten Masse ab.

Auch die Neuronendarstellung leidet an solcher Ungenauigkeit bezüglich von Raum und Größe. Ebenso wie bei der DNA ist die Form eindeutig und hat einen hohen Wiedererkennungswert. Impulse durch die Neuronen werden wie Blitze durch die Szene geschickt, welche in dunkler Umgebung seine vollste Wirkung erzielen. Anhand der analysierten Beispiel kann man erkennen, dass sie von ihrer Farbigkeit sehr stark an der Fluoreszenzmikroskopie angelehnt sind. Diese Methode ist nicht nur sehr praktisch in der Wissenschaft, sondern ist auch optisch sehr ästhetisch und ansprechend. Das analysierte Beispiel für die Neuronenvisualisierung zeigt auch sehr gut auf, wie man anhand einer virtuellen Kamera durch unterschiedliche Größenverhältnisse in einer Fahrt brausen kann, ohne jeglicher Einbußen der Glaubwürdigkeit.

Angesichts der Reflexion des Masterprojektes *nex*, wurden dem Team erst klar wie sinnvoll es ist, Körperinnenwelten nach ihren populären Vorbildern zu visualisieren. Man kann kreativ arbeiten, jedoch sollten populäre Aspekte immer wieder aufgegriffen werden um die Glaubwürdigkeit der Darstellung nicht einbüßen zu müssen.

Auch neue Animationstechniken von Wissenschaftler werden zurzeit ausgetestet. Die Rede ist von sogenannten *molecular animators*, Animatoren und Wissenschaftler zu gleich, welche es sich zur Aufgabe machen diese neuen Animationsformen unter Wissenschaftler zu verbreiten. Deren größte

Stärke ist die akkurate und zugleich ästhetische Darstellung von molekularen Maschinen. Sie könnten sehr stark die Forschung aber auch den Unterricht beeinflussen. Vorerst ist die Gemeinschaft sehr klein, setzt sich diese Methode des Forschens jedoch durch, wird auch die Unterhaltungsindustrie nicht unbeeinflusst bleiben. Aus dem Grund, weil auch jetzt Filmemacher und Wissenschaftler sehr eng zusammenarbeiten. Datenbanken und spezielle Software fördern das Erstellen von derartigen Animationen und der einfache Zugriff auf akkurate molekulare 3D-Modelle ebnet den Weg in Richtung realitätsgetreuere wissenschaftliche Darstellungen in der Forschung ebenso wie in der Populärkultur.

Quellenverzeichnis

Literatur

- [1] Kurt W. Becker. „Anmerkung zur Geschichte der anatomischen Sektion“. In: *KunstOrt Anatomie - Künstler auf Visite*. Homburg/Saar: Anatomische Institut der Universität des Saarlandes, 2002 (siehe S. 3, 4).
- [2] Horst Bredekamp, Birgit Schneider und Vera Dünkel. *Das Technische Bild: Kompendium zu einer Stilgeschichte wissenschaftlicher Bilder*. Berlin: Akademie Verlag GmbH, 2008 (siehe S. 9).
- [3] Olaf Breidbach. „Representation of the Microcosm: The Claim for Objectivity in 19th Century Scientific Microphotography“. In: *Journal of the History of Biology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002, S. 221–250 (siehe S. 10, 11).
- [4] Franziska Brons. „Mikrofotografische Beweisführungen. Max Lautners Neubau der holländischen Kunstgeschichte auf dem Fundament der Fotografie“. In: *Das Technische Bild: Kompendium zu einer Stilgeschichte wissenschaftlicher Bilder*. Hrsg. von Horst Bredekamp, Birgit Schneider und Vera Dünkel. Berlin: Akademie Verlag GmbH, 2008, S. 152–165 (siehe S. 9).
- [5] Wolfgang Eckart. *Illustrierte Geschichte der Medizin: Von der französischen Revolution bis zur Gegenwart*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2011 (siehe S. 13, 15).
- [6] Alexander Gall. *Konstruieren, kommunizieren, präsentieren. Bilder von Wissenschaft und Technik*. München: Wallstein Verlag, 2007 (siehe S. 26).
- [7] Martina Heßler. „Die ‚Mona Lisa der modernen Wissenschaften‘. Die Doppelhelix-Struktur als kulturelle Ikone.“ In: *Konstruieren, kommunizieren, präsentieren: Bilder von Wissenschaft und Technik*. Hrsg. von Alexander Gall. München: Wallstein Verlag, 2007, S. 291–315 (siehe S. 21–24).

- [8] Bernd Hüppauf und Peter Weingart. „Wissenschaftsbilder - Bilder der Wissenschaft“. In: *Frosch und Frankenstein: Bilder als Medium der Popularisierung von Wissenschaft*. Hrsg. von Bernd Hüppauf und Peter Weingart. Bielefeld: transcript Verlag, 2009, S. 11–44 (siehe S. 18, 19).
- [9] Olaf Jacobs und Theresa Lorenz. *Wissenschaft fürs Fernsehen. Dramaturgie · Gestaltung · Darstellungsformen*. Wiesbaden: Springer VS, 2013 (siehe S. 26, 27).
- [10] Daniel Bürkner M.A. „Fotografie und atomare Katastrophe. Die visuelle Repräsentation der Ereignisse von Hiroshima / Nagasaki und Tschernobyl.“ Diss. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin, 2014 (siehe S. 12).
- [11] Mila Moschik. „Fotografie im Dienste der Wissenschaft: Röntgenstrahlen“. In: *Der naturwissenschaftliche Blick: Fotografie, Zeichnung und Modell im 19. Jahrhundert*. Hrsg. von Simon Weber-Unger. Wien: Simon Weber-Unger, 2009, S. 26–29 (siehe S. 7, 11).
- [12] Maria Mulisch und Ulrich Welsch. *Romeis - Mikroskopische Technik*. 19. Aufl. Heidelberg: Springer-Verlag, 2010 (siehe S. 6, 14).
- [13] Erik Olsen. „Where Cinema and Biology Meet“. *The New York Times* (November 16, 2010), S. D1. URL: <http://www.nytimes.com/2010/11/16/science/16animate.html> (siehe S. 45–47, 49).
- [14] Georg Rehberger. „Die Doppelhelix als Ikone? Ikonisierung und Mythos der DNA-Struktur“. München: LMU, 2009 (siehe S. 25).
- [15] Sebastian Richter. *Digitaler Realismus. Zwischen Computeranimation und Live-Action. Die neue Bildästhetik in Spielfilmen*. Bielefeld: transcript Verlag, 2008 (siehe S. 41).
- [16] Sven Stollfuß. „Cyborg Visuality, Popularized. Überlegungen zu einer populären Wissenspraxis des Körperinneren.“ In: *Methoden der Populärkulturforchung: interdisziplinäre Perspektiven auf Film, Fernsehen, Musik, Internet und Computerspiele*. Hrsg. von Marcus S. Kleiner und Michael Rappe. Berlin: Lit Verlag, 2012 (siehe S. 29).
- [17] Sven Stollfuß. *Digitale Körperinnenwelten.: Endoskopische 3D-Animationen zwischen Medizin- und Populärkultur*. Marburg: Schüren Verlag, 2014 (siehe S. 19–21, 28).
- [18] Dirk Verdicchio. „Vom Außen ins Innere (und wieder zurück): Medialisierung von Wissenschaft in Filmen über den Körper“. In: *Thema: Popularisierung von Wissenschaft*. Hrsg. von Sylvia Paletschek und Jakob Tanner. Köln: Böhlau, 2008, S. 55–74 (siehe S. 29).
- [19] Cathy Waldby. *The Visible Human Project. Informatic Bodies and Posthuman Medicine*. London: Routledge, 2000 (siehe S. 17).

- [20] Simon Weber-Unger. *Der naturwissenschaftliche Blick: Fotografie, Zeichnung und Modell im 19. Jahrhundert*. Wien: Simon Weber-Unger, 2009 (siehe S. 8).
- [21] Barbara Wittmann. „Morphologische Erkundungen. Zeichnen am Mikroskop“. In: *Bildwelten des Wissens: Morphologien*. Hrsg. von Horst Bredekamp, Matthias Bruhn und Gabriele Werner. Berlin: Akademie Verlag, 2013, S. 45–54 (siehe S. 9).

Filme und audiovisuelle Medien

- [22] *Auf der Jagd nach dem Nierenstein*. Film. Regie/Drehbuch: Vibeke Idsøe. 1996 (siehe S. 20).
- [23] *Cosmos: A Spacetime Odyssey*. Wissenschaftsdokumentation. Idee: Ann Druyan, Steven Soter. 2014 (siehe S. 35).
- [24] *CSI: Cyber*. Serie. Idee: Anthony E. Zuiker, Carol Mendelsohn und Ann Donahue. 2015–2016 (siehe S. 35).
- [25] *Es war einmal ... das Leben*. Serie. Idee: Albert Barillé. 1986 (siehe S. 20).
- [26] *Fantastic Voyage*. Film. Regie: Richard Fleischer. 1966 (siehe S. 29).
- [27] *Fight Club*. Film. Regie: David Fincher. 1999 (siehe S. 39).
- [28] *Fight for Life*. Dokumentationsserie. Produktionsfirma: BBC. 2007 (siehe S. 20).
- [29] *Inside the Human Body*. Dokumentationsserie. Regie: Annabel Gilling. 2011 (siehe S. 30).
- [30] *neX*. Film. Regie und Produktion: Philipp Buschauer, Michael Loithaler und Marlene Raml. 2016 (siehe S. 1, 42–44).
- [31] *Prometheus*. Film. Regie: Ridley Scott. 2012 (siehe S. 34).
- [32] *The Amazing Spider-Man*. Film. Regie: Marc Webb. Drehbuch: James Vanderbilt, Alvin Sargent und Steven Kloves. 2012 (siehe S. 35).
- [33] *The Human Body*. Dokumentationsserie. Produktionsfirmen: BBC, The Learning Channel. 1998 (siehe S. 20).
- [34] *Walking With ...*. Dokumentationsreihe. Produktionsfirma: BBC. 1999 (siehe S. 20).

Online-Quellen

- [35] URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mondino_-_Anathomia,__1541_-_3022668.tif (besucht am 20. 04. 2016) (siehe S. 5).

- [36] URL: <http://www.wikiart.org/en/andrea-mantegna/study-for-a-christ-1490> (besucht am 20.04.2016) (siehe S. 5).
- [37] URL: [http://de.wahooart.com/A55A04/w.nsf/O/BRUE-8EWL87/%5C\\$File/LEONARDO-DA-VINCI-ANATOMICAL-STUDIES.JPG](http://de.wahooart.com/A55A04/w.nsf/O/BRUE-8EWL87/%5C$File/LEONARDO-DA-VINCI-ANATOMICAL-STUDIES.JPG) (besucht am 20.04.2016) (siehe S. 5).
- [38] URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/ff/Anatomical_theatre_Leiden.jpg (besucht am 20.04.2016) (siehe S. 5).
- [39] URL: <https://scolarcardiff.files.wordpress.com/2012/08/p1190255.jpg> (besucht am 22.04.2016) (siehe S. 10).
- [40] URL: <https://meegankennedy.files.wordpress.com/2011/11/naegeli-diatom-surirella-gemma.png> (besucht am 22.04.2016) (siehe S. 10).
- [41] URL: <http://images.zeno.org/Fotografien/l/big/PHO03710.jpg> (besucht am 25.04.2016) (siehe S. 12).
- [42] URL: http://217.91.25.33/ger/deeper_insight/medical_technology.htm (besucht am 25.04.2016) (siehe S. 13, 14).
- [43] URL: <http://i.imgur.com/CP0B9Z8.jpg> (besucht am 13.05.2016) (siehe S. 22).
- [44] URL: <https://images.booklooker.de/bilder/0007Se/James-D-Watson-Nobelpreistr%5C%C3%5C%A4ger-Prof-Dr-Heinz-Haber-Einf%5C%C3%5C%BChrung+Die-Doppel-Helix.jpg> (besucht am 14.05.2016) (siehe S. 23).
- [45] URL: <http://www.spektrum.de/fm/912/thumbnails/63121.jpg.309456.jpg> (besucht am 15.05.2016) (siehe S. 24).
- [46] URL: http://www.duden.de/_media_/full/D/Doppelhelix-201020082303.jpg (besucht am 15.05.2016) (siehe S. 24).
- [47] URL: <http://cdn1.spiegel.de/images/image-385094-galleryV9-ysdr-385094.jpg> (besucht am 16.05.2016) (siehe S. 24).
- [48] URL: <http://img.welt.de/img/wissenschaft/crop147338089/248693492-ci3x2l-w900/Genetic-research.jpg> (besucht am 16.05.2016) (siehe S. 24).
- [49] URL: <http://media.fxguide.com/fxguidetv/fxguidetv-ep149.mp4> (besucht am 31.05.2016) (siehe S. 36).
- [50] URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fb/Gyrus_Dentatus_40x.jpg (besucht am 03.06.2016) (siehe S. 39).
- [51] 2005. URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/25/Fmrtuebersicht.jpg> (besucht am 26.04.2016) (siehe S. 16).

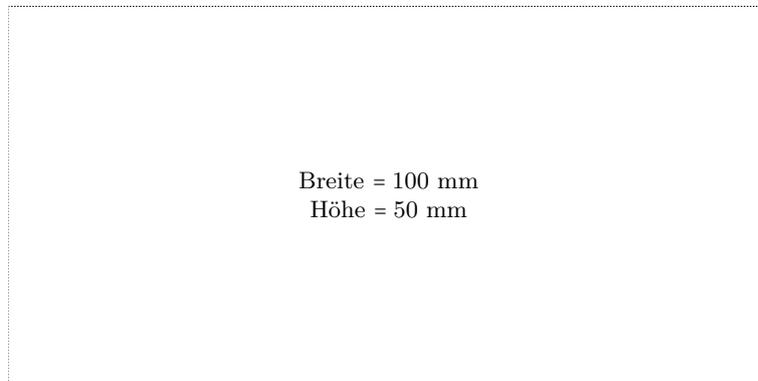
- [52] Institut für Anatomie. *Präparat 46: Isolierte Pia-Arterien (Mensch). Färbung: Haematoxylin-Eosin*. URL: <http://e-learning.studmed.unibe.ch/MorphoMed/htmls/ref.html?morphomed%7Cchisto%7C1161> (besucht am 31.05.2016) (siehe S. 32).
- [53] Andreas Benedix. *Die Geschichte der Fotografie - ein kurzer Abriss der Entwicklung von der Camera obscura bis zur digitalen Fotografie*. 2013. URL: https://ukiudoz.files.wordpress.com/2013/08/benedix_cpd412_geschichte-der-fotografie.pdf (besucht am 22.06.2016) (siehe S. 7).
- [54] Drew Berry. *The Lifecycle of Malaria (Part 2)*. URL: http://molecularmovies.com/movies/berry_malaria_part2.html (besucht am 12.06.2016) (siehe S. 46).
- [55] *björk: hollow*. März 2012. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Wa1A0pPc-ik> (siehe S. 48).
- [56] Christopher Campbell. *DNA in Movies: The Science That's Evil In Fiction and Heroic In Documentary*. Apr. 2014. URL: <https://filmschoolrejects.com/dna-in-movies-the-science-thats-evil-in-fiction-and-heroic-in-documentary-ead0db4301c4#.bfeysgaoe> (besucht am 06.06.2016) (siehe S. 35).
- [57] *Die Geschichte des Mikroskops*. URL: http://tecfaetu.unige.ch/perso/staf/notari/arbeitsbl_liestal/zellenlehre/Die%5C%20Geschichte%5C%20des%5C%20Mikrosko.pdf (besucht am 21.04.2016) (siehe S. 6).
- [58] *Eine Geschichte der Medizininformatik*. URL: <http://de.winesino.com/healthcare-industry/general-healthcare-industry/1001085698.html> (besucht am 22.06.2016) (siehe S. 7).
- [59] Das Erste. *Blut - Was ist das überhaupt?* 2015. URL: <http://www.daserste.de/information/wissen-kultur/w-wie-wissen/videos/blut-was-ist-das-ueberhaupt-100.html> (siehe S. 31).
- [60] John Farndon. *Nerve Signalling: Tracing the Wiring of Life*. Sep. 2009. URL: http://www.nobelprize.org/educational/medicine/nerve_signaling/overview/ (besucht am 03.06.2016) (siehe S. 39).
- [61] *Geschichte und Entwicklung der Fotografie*. Mai 2016. URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_und_Entwicklung_der_Fotografie (besucht am 24.04.2016) (siehe S. 6).
- [62] Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und Technische Fakultät. *Materialanalytik Praktikum. Rasterelektronenmikroskopie*. Nov. 2011. URL: <http://www.tf.uni-kiel.de/servicezentrum/neutral/praktika/anleitungen/b504.pdf> (besucht am 22.06.2016) (siehe S. 14, 15).
- [63] Beth Marchant. *Cellular Visions: The Inner Life of a Cell*. Juli 2006. URL: <http://www.studiodaily.com/2006/07/cellular-visions-the-inner-life-of-a-cell/> (siehe S. 46, 47).

- [64] Martin Mißfeldt. *Warum ist Blut rot?* 2013–2016. URL: <http://www.erythrozyten.net/warum-ist-blut-rot.php> (besucht am 25.05.2016) (siehe S. 33).
- [65] *Neues Mikroskop macht Blutkörperchen durch die Haut sichtbar*. Mai 2012. URL: <http://www.derwesten.de/gesundheit/neues-mikroskop-macht-blutkoerperchen-durch-die-haut-sichtbar-id6683100.html> (besucht am 27.05.2016) (siehe S. 33).
- [66] Albert Pan. 2008. URL: http://www.cellimagelibrary.org/images/41458#download_options_button (besucht am 06.06.2016) (siehe S. 39).
- [67] Dan Raby. *Bjork Explores The World Within For „Hollow“*. März 2012. URL: <http://www.npr.org/sections/allsongs/2012/03/01/147756106/bjork-explores-the-world-within> (siehe S. 48, 50).
- [68] Ben Radatz. *Fight Club (1999)*. Aug. 2014. URL: <http://www.artofthetitle.com/title/fight-club/> (besucht am 04.06.2016) (siehe S. 38, 40).
- [69] Vineetha Raj. Apr. 2015. URL: <http://de.slideshare.net/VineethaRaj1/microscopy-46635302> (besucht am 03.06.2016) (siehe S. 13).
- [70] Gabi Reinmann. *Studientext Didaktisches Design*. 2015. URL: http://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2013/05/Studientext_DD_Sept2015.pdf (besucht am 22.06.2016) (siehe S. 28).
- [71] Emerson Rosenthal. *Visualize Disease On The Microscopic Level With Molecular Flipbook's 3D Animations*. URL: <http://thecreatorsproject.vice.com/blog/visualize-disease-on-the-microscopic-level-with-molecular-flipbooks-3d-animations> (besucht am 14.06.2016) (siehe S. 49).
- [72] Manfred Ruppel. *Rasterelektronenmikroskopie*. URL: <http://www.bio.uni-frankfurt.de/43229358/Einfuehrung.pdf> (besucht am 22.06.2016) (siehe S. 14).
- [73] Nashi Su. *Herz - Bau und Funktion*. URL: <http://www.sofatutor.at/biologie/videos/herz-bau-und-funktion> (siehe S. 31).
- [74] *Technosmart*. 2016. URL: <https://vimeo.com/165276022> (siehe S. 39).
- [75] *The Inner Life of the Cell*. 2011. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=wJyUtbn0O5Y> (besucht am 11.06.2016) (siehe S. 46, 48).
- [76] Spektrum Akademischer Verlag. *Fluoreszenzmikroskopie*. 1999. URL: <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/fluoreszenzmikroskopie/25361> (besucht am 03.06.2016) (siehe S. 38).
- [77] *Virtuelle Endoskopie*. URL: http://flexikon.doccheck.com/de/Virtuelle_Endoskopie (besucht am 10.05.2016) (siehe S. 19).

- [78] *Visible Human Project*. Apr. 2016. URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Visible_Human_Project (besucht am 13.06.2016) (siehe S. 17).
- [79] Jennifer Wolfe. *Rushes Wins VFX Award for "Inside the Human Body"*. Mai 2012. URL: <http://www.awn.com/news/rushes-wins-vfx-award-inside-human-body> (besucht am 24.05.2016) (siehe S. 30, 31).

Messbox zur Druckkontrolle

— Druckgröße kontrollieren! —



— Diese Seite nach dem Druck entfernen! —