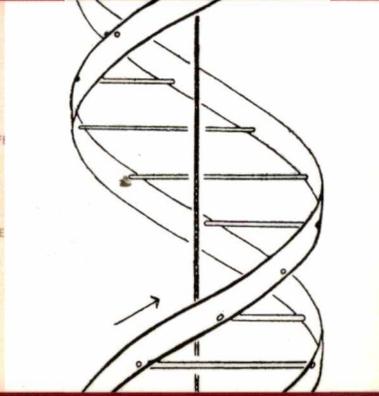
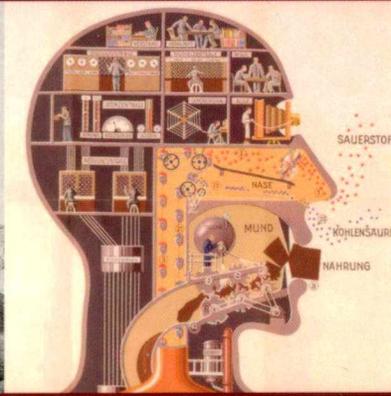
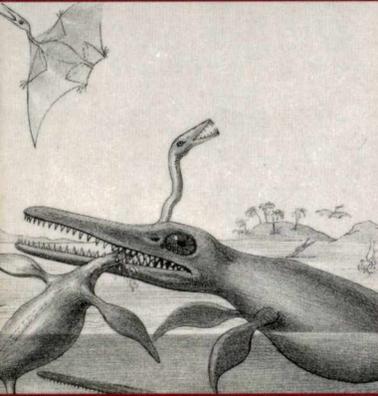


Alexander Vögli, Beat Ernst

Wissenschaftliche Bilder

Eine kritische Betrachtung



Mit einem Vorwort von Gerd Folkers

Schwabe



Alexander Vögtli und Beat Ernst

Wissenschaftliche Bilder Eine kritische Betrachtung

Mit einem Vorwort von Gerd Folkers

Schwabe Verlag Basel

Publiziert mit freundlicher Unterstützung
der Freiwilligen Akademischen Gesellschaft, Basel.

Bildausschnitte auf dem Umschlag

Vorderseite: *Duria antiquior – A more ancient Dorset* (Abb. 21),

Der Mensch als Industriepalast (Abb. 2), Struktur der DNA (Abb. 13)

Rückseite: Replikationszyklus des HI-Virus (Abb. 32), Frösche in Bauch- und Rückenlage,
Röntgenaufnahme (Abb. 9), Bindungstasche eines Proteins (Abb. 1)

Klappen: Frösche in Bauch- und Rückenlage, Röntgenaufnahme (Abb. 9),
Darstellung eines Nanoroboters (Abb. 34)

© 2007 by Schwabe AG, Verlag, Basel

Lektorat: Marianne Wackernagel

Gesamtherstellung: Schwabe AG, Druckerei, MuttENZ/Basel

Printed in Switzerland

ISBN 978-3-7965-2313-7

www.schwabe.ch

In bunten Bildern wenig Klarheit,
Viel Irrtum und ein Fünkchen Wahrheit,
So wird der beste Trank gebraut,
Der alle Welt erquickt und auferbaut.

Goethe, *Faust*, Vorspiel auf dem Theater

Für meine Familie

Alexander Vögli

Für Lenah und Thomas

Beat Ernst

Inhaltsverzeichnis

Vorwort: Die Abbildung des Udenkbaren Gerd Folkers	11
Einleitung	14
I. Die Verbildlichung des Unsichtbaren	18
1. Sprachliche Bilder	20
Metaphern als Interaktion zwischen zwei Subjekten	21
Zeitliche und kulturelle Abhängigkeit	24
Simile und Analogie	25
Explizite und implizite Wahrnehmung von Metaphern	26
Heuristische Funktionen von Metaphern	28
Eine Art «Machtübernahme durch die Ausserirdischen»	30
Visuelle Metaphern	34
Fallbeispiel I: <i>Der Mensch als Industriepalast</i>	35
Fallbeispiel II: Pacman und Schere, visuelle Metaphern für Enzyme	38
Fazit	41
2. Modelle	42
Gegenständliche Modelle	42
Beispiel: Gegenständliche Modelle von Molekülen	43
Gegenständliche Modelle und wissenschaftliche Bilder	47
Theoretische Modelle	49
Beispiel: Ein mathematisches Modell des radioaktiven Zerfalls	49
Theoretische Modelle und wissenschaftliche Bilder	50
Das Tier als Modell: Der durchsichtige Frosch	54
Eigenschaften von Modellen – Zusammenfassung	56
Fazit	58

3. Instrumente	59
PET-Gehirnbilder: Über viele Umwege zum Regenbogen	59
Das moderne instrumentelle Bild ist digital und gerastert	67
Die Manipulation des digitalen Beweises	72
Fazit	74
II. Die Entwicklung des wissenschaftlichen Bildes	76
1. Kanonische Bilder	76
Kanonischer Inhalt, kanonische Darstellungsform	79
Proteindarstellungen als Beispiele von kanonischen Darstellungsvarianten ..	84
Entstehung und Entwicklung kanonischer Bilder	90
Fazit	92
2. Der Prozess des Kopierens	93
Die Struktur des HI-Virus	93
Das Kopieren wissenschaftlicher Bilder	98
Die Problematik des Kopierens	100
Fazit	101
3. Die Entstehung und Entwicklung wissenschaftlicher Tatsachen	104
Die Struktur des wissenschaftlichen Denkkollektivs	105
Fallbeispiel zur Populärwissenschaft: Das doppelte COX	111
Paradigma und wissenschaftliche Revolutionen	116
Fazit	117
III. Der Einfluss der Darstellung	118
1. Schematische Bilder	118
Aspekthaftigkeit	118
Typisierung	120
Fallbeispiel: Die botanische Darstellung der Brombeere	121
Der weisse Hintergrund	122
«Gullivers Reisen im HIV-Land»	124
Fazit	126

2. Zeichen	127
Wissenschaftliche Zeichen	127
Einfachheit und Abstraktion	127
Beziehung des Zeichens zum Objekt	128
Erkennen der Zeichen	131
Metazeichen	133
Kombination wissenschaftlicher Zeichen	134
Visualisierung von Kontinua	136
Fazit	140
3. Naturalistische Bilder	141
Science – Fiction	141
Bilder als Überzeugungsmittel: Das Dinosaurier-Genre	149
Fazit	154
IV. Zusammenfassung und abschliessende Bemerkungen	156
1. Praktische Anwendung: Ein wissenschaftliches Bild des Geruchsinnns	156
Die Verbildlichung des Unsichtbaren: Metaphern	158
Modelle	159
Kanonische Bilder	159
Der Prozess des Kopierens	159
Die Entstehung und Entwicklung wissenschaftlicher Tatsachen	160
Schematische Bilder	161
Zeichen	161
Konklusion	162
2. Abschliessende Bemerkungen	163
Liste der Abbildungen	165
Literaturverzeichnis	169

Vorwort:

Die Abbildung des Udenkbaren

Die angeblich chinesische Weisheit «Einmal sehen ist besser als 1000mal hören» trägt nur dann zum Verständnis eines Sachverhalts bei, wenn das, was man sieht, auch relevant für die Beurteilung dieses Sachverhalts ist. Wie der geneigte Leser bemerkt, vermeide ich Ausdrücke wie «wahr», «richtig» oder «wirklich» im Zusammenhang mit Bildern. Das hat seinen Grund. Mit Bildern wird kräftig Meinung gemacht. Natürlich sind wir das von der Werbung gewöhnt und haben uns oft auf ironische Distanz begeben. Keine Frau erreicht die Idealmasse ihrer virtuellen Schwester auf dem Plakat, wenn nicht chirurgische Eingriffe erfolgen. Keine Palme wiegt sich über einem so leeren und sauberen Strand, wenn er nicht privat gepflegt und von den Security Guards eines Popstars geschützt wird. Und doch tragen wir diese Bilder mit uns herum und ziehen sie zu Vergleichen heran. Meist verliert die Wirklichkeit.

Das, so sagt die stolzgeschwellte Brust der Wissenschaft, gibt es in meinem Reiche nicht. Hier herrscht Objektivität. Was nicht mehr und nicht weniger heisst, als dass man die Dinge so darstellt, wie sie wirklich sind. Hier bereits schwächt die Wissenschaft ab. «So objektiv wie möglich», «soweit erkennbar», «soweit darstellbar». Die Physik der Elementarteilchen, die Physik des Weltalls und die moderne Biologie haben uns, die Objektivierbarkeit der Dinge betreffend, etwas bescheidener werden lassen. Es fehlen uns in unseren Beschreibungen 95 Prozent der Masse des Universums, und wie eine Zelle funktioniert, können wir nicht sagen. Die Komplexität dessen, was Wissenschaft untersucht, ist jedoch dergestalt, dass grafische Darstellung unabdingbar ist, dass reine Beschreibung durch Worte, bedingt durch den sequentiellen Charakter der Sprache, einen komplexen Sachverhalt zu langatmig beschreibe, um noch klar und verständlich zu sein. Hier erscheinen «Un-Worte», wie undenkbar, unvorstellbar, unbeschreibbar und unfassbar.

Mit der Unvorstellbarkeit verhält es sich ähnlich wie mit der Udenkbarkeit. In dem Moment, in dem ich versuche, mir eine Vorstellung zu machen, habe ich bereits eine Klassifizierung vorgenommen und eine Vorstellung gemacht. Beide, Udenkbarkeit wie Unvorstellbarkeit, sind

aber Ergebnisse eines individuellen Denk- resp. Vorstellungsvermögens. Hier endet die Überlappung der Begriffe. Ich kann mir noch weniger «nicht denken» als «nicht vorstellen». Viele Dinge scheinen einem «denkbar», aber nicht «vorstellbar». Es ist durchaus denkbar, dass es Ausserirdische gibt, aber sie sind nicht vorstellbar. Korrekter gesagt, die Annahme, dass es Ausserirdische geben könnte (denkbar), muss nicht mit einer Vorstellung über sie verknüpft sein. Tatsächlich jedoch erscheint in meinem Inneren eine Vorstellung, und zwar ein Bild. Das macht die Sachlage verzwickelt. Diese Vorstellung in meinem Inneren ist wesentlich geprägt von meinem Vorwissen. Ist die Basis meines Wissens ein *Utopia*-Heft der fünfziger Jahre, werden vor meinem inneren Auge Jungfrauen raubende, vornehmlich grüne, von Schleim triefende, vielgliedrige Drachenmonster erscheinen. Habe ich Stanislaw Lem gelesen, ist ein lebender Ozean eine Alternative. Alle diese Vorstellungen haben als Bilder keine Entsprechung in der Wirklichkeit. Es sind Phantasieobjekte, Bilder, ausgelöst durch Beschreibung oder ein Bild selbst.

Alle diese Undinge unterscheiden sich natürlich drastisch bezüglich Subjektivität und Objektivität. Objektiv «unbeschreibbar» hiesse dann, dass ich mit dem der Menschheit zur Verfügung stehenden Instrumenten der Beschreibung wie Sprache, Mathematik oder Symbolik ein Objekt nicht beschreiben kann. Dies gilt beispielsweise für das Universum. Oder für die Liebe. Subjektiv sind beide Dinge problemlos beschreibbar. Nur wird, wie oben ausgeführt, jede Beschreibung von derjenigen eines anderen abweichen.

Werden diese subjektiven Beschreibungen, beispielsweise innerhalb einer Scientific Community, durch ein Regelwerk objektiviert, lassen sich gemeinsame Vorstellungen in einer sozialen Gruppe als Basis für die Weiterentwicklung von Vorstellungen über das Objekt entwickeln. Damit werden dann alle Undinge in ihr Gegenteil verkehrt. Vorher Unberechenbares wird berechenbar, Unsichtbares wird sichtbar, Unvorstellbares erhält eine bildliche Darstellung. Einen solchen Prozess nennen wir Modellierung. Und dafür machen wir uns in der Regel ein «Abbild». Sei es eine Zeichnung oder eine dreidimensionale Konstruktion.

Warum beschreiben wir alle diese Undinge so gern als Abbildungen? Tun wir das wirklich? Man würde argumentieren können, ein mathematisches Modell sei eine sprachliche oder symbolische, nicht bildnerische Modellierung.

Letztendlich befinden wir uns auf einem Marktplatz. Die Hypothese wird angeboten, und die Nachfrage steigt oder fällt, je nachdem, ob die steigende Anzahl der Experimente die Hypothese stützt oder nicht. «I don't buy that» ist gängiger Jargon während naturwissenschaftlicher Diskussionen im angelsächsischen Raum. So vermag sich jede Hypothese genau so lange zu halten, wie sie ihre Nützlichkeit für die Erklärung der uns umgebenden Phänomene beweist. Die Frage, die sich heute besonders stellt, ist: Wie bringe ich meine Hypothese auf eine möglichst gute Marktposition, und wie nütze ich die Zeit, die sie überlebt?

Und hier schliesst sich der Kreis. Ein Konglomerat unserer entwicklungsgeschichtlichen Vorliebe für Bilder, der extrem perfektionierten Technologie ihrer Produktion, des ausserordentlich preisgünstigen Zugangs zu Bildern über moderne Informationstechnologie und – wie oben ausgeführt – der Notwendigkeit herausragender optischer Erscheinung für eine Marktposition, die gesellschaftlich überzeugend ist, bringt uns zurück zum Schattenwurf der Moleküle und zu der Darstellung des Udenkbaren.

Das vorliegende Buch untersucht dankenswerterweise das Phänomen der Karriere von wissenschaftlichen Abbildungen. Es demonstriert, wie sehr wir den Abbildungen Glauben schenken möchten, besonders wenn sie unseren Modellen der Welt entsprechen. Modellen, die vorgeblich objektiver Natur sind, sich in der Regel aber durch einen ästhetischen Reiz auszeichnen, der emotionelle Komponenten nicht verbirgt.

Prof. Gerd Folkers
Collegium Helveticum, Zürich

Einleitung

(...) looking at recent issues of *Nature*, even set beside some of the glossier art periodicals, we are regularly presented with a visual feast which seems to speak of an undiminished aesthetic excitement about acts of observation, analysis, visualizing, modelling and representation.

Martin Kemp, 1998, S. 26

Die Kehrseite des distanzlosen Vertrauens ist die nicht minder abstandslose Nutzung von Bildern. (...) Was auch und gerade in naturwissenschaftlichen Vorführungen vorherrscht, ist das Vergnügen an eindimensionalen, textlich gebändigten «Illustrationen».

Horst Bredekamp und Franziska Brons, 2004, S. 378

Das Bild in der Naturwissenschaft ist ein widersprüchliches Thema. Einerseits sind Wissenschaftler und wissenschaftliche Illustratoren Produzenten faszinierender Bildwelten mit einer bestechenden Ästhetik. Wissenschaftliche Instrumente verbildlichen als Sehhilfen unsichtbare und unzugängliche Welten. So zeigen sie die Struktur von Molekülen, orten die Gehirnaktivität oder senden Bilder von fremden Planeten. Zeichnungen veranschaulichen die Struktur der Erbsubstanz, die Anatomie eines Flohs und die Entwicklung eines Embryos. Als Erkenntnisinstrumente verdichten sie tausend Datenpunkte in ein einziges Diagramm oder ermöglichen als Modelle die Beschreibung wissenschaftlicher Sachverhalte. Den Studierenden erklären sie den Vermehrungszyklus eines Virus und dem medizinischen Laien einen Krankheitsverlauf (Beispiele für ästhetische Bildwelten in der Wissenschaft bei Bader, Janser, Kwint 2005; Volkswagen-Stiftung, 1998; Ford 1992).

Andererseits beschäftigen wir uns als Wissenschaftler trotz der vielzitierten Bilderflut, welche die Wissenschaft in den letzten Jahren überschwemmt, wenig mit der Form und der Herkunft unserer Bilder. Manchmal stellen wir uns Fragen: Wie sieht dieses Molekül wohl in Wirklichkeit aus? Oder wir wundern uns über die sprachlichen Bilder in der

Wissenschaft: Ein Protein wird «geschnitten», «gefaltet» und durch einen «Kanal» transportiert. Die «Information» zu seinem «Bau» ist auf der DNA (einem «Code» in Form einer «Wendeltreppe») «gespeichert» und wird davon «abgelesen». Sind das wörtliche Beschreibungen? Sind es Analogien oder Metaphern? In der Regel beschäftigen wir uns mit dem wissenschaftlichen Inhalt eines Bildes und nur sehr selten mit seiner Form.

Bilder werden fast uneingeschränkt mit dem dargestellten Objekt identifiziert (Bredenkamp, Brons, 2004). Gerne wird das Bild entschuldigt, wir sagen, es handle sich «nur um eine Illustration», das Dargestellte sei «nur schematisch». Für Vorlesungen und Vorträge wird das wissenschaftliche Bild oft zu unkritisch verwendet: Für die Bildersuche wird bei Google ein Suchbegriff eingetippt, und sofort steht ein riesiges Angebot zur Verfügung. Oder man liest schnell ein Bild aus einem Lehrbuch mit einem Scanner ein. Woher und aus welchem Kontext das Bild stammt, wann und von wem es gezeichnet wurde, ob es sich um ein Original oder eine Kopie handelt, wird dabei völlig ausser Acht gelassen.

Mit diesem Buch versuchen wir, uns den wissenschaftlichen Bildern zu nähern und solche Fragen zu beantworten. Wir verwenden dazu als Grundlage die Literatur zum Thema. Die Bilderflut und das wissenschaftliche Bild sind in den letzten Jahren Gegenstand einer Vielzahl empirischer und philosophischer Untersuchungen in einer Reihe von sehr unterschiedlichen Disziplinen geworden. Dazu gehören zum Beispiel die Soziologie (Michael Lynch), die Kognitionspsychologie (Richard Mayer), die Sprachgeschichte (Uwe Pörksen), die Paläontologie (Stephen J. Gould), die Geologie (Martin Rudwick) oder die Geschichte (Michael Hagner, Philipp Sarasin), um nur wenige Gebiete und Protagonisten dieser Wissenschaftsdisziplinen zu nennen. Insbesondere die Kunstgeschichte hat sich unter dem Stichwort Pictorial Turn resp. Iconic Turn vermehrt dem Thema des wissenschaftlichen Bildes angenommen (Maar, Burda, 2004). Bekannte Vertreter sind W. J. T. Mitchell, Gottfried Boehm und Horst Bredenkamp.

Einerseits wollen wir einen Überblick über die verstreut vorliegenden Erkenntnisse dieser Disziplinen geben. Andererseits verbinden und erweitern wir diese mit unseren eigenen Erfahrungen, Fallbeispielen, Überlegungen und Untersuchungen. Das Buch ist unser Versuch, die wissenschaftlichen Bilder in einigen Aspekten zu verstehen, sie zu beschrei-

ben und kritisch zu hinterfragen. Es soll Studierenden, Wissenschaftlern und Interessierten das Thema einfach zugänglich machen und in den Naturwissenschaften die Auseinandersetzung damit fördern.

Das Buch ist in vier Kapitel gegliedert. Im ersten Kapitel beschreiben wir, mit welchen Mitteln dem Auge verborgene Strukturen in wissenschaftlichen Bildern sichtbar gemacht werden. Im zweiten Kapitel beschäftigen wir uns mit der Frage, wie wissenschaftliche Bilder entstehen und sich entwickeln und weshalb derselbe Sachverhalt – selbst bei zunehmender wissenschaftlicher Erkenntnis – immer wieder fast identisch dargestellt wird. Das dritte Kapitel ist dem Einfluss der Darstellung gewidmet: Worin unterscheiden sich schematische von naturalistischen (wirklichkeitsnahen) Bildern? Im vierten Kapitel wenden wir die gewonnenen Erkenntnisse an einem konkreten Beispiel zusammenfassend an und diskutieren schliesslich die Frage der visuellen Bildung. Wir sind davon überzeugt, dass es während des naturwissenschaftlichen Studiums von grosser Bedeutung ist, dass sich Studierende mit wissenschaftlichen Bildern auseinandersetzen.

Bei der Erstellung dieses Buchs wurden wir von vielen Freunden und Kollegen hilfreich unterstützt. Prof. Gerd Folkers vom Collegium Helveticum danken wir für seine Anregungen und das Vorwort. Von Prof. Uwe Pörksen haben wir in persönlichen Gesprächen, seiner Vorlesung in Basel und seinen Veröffentlichungen wertvolle Hinweise für das zweite Kapitel erhalten. Dr. Martina Dittler danken wir für das kritische Durchsehen des Manuskripts. Die Diskussionen mit Maria Maier und die gemeinsame Arbeit *virusvermehrung* waren für die Entstehung des Buchs sehr wichtig. Bedanken möchten wir uns auch bei Dr. Georg Maier für Hinweise und Inspiration. Speziell danken wir den Verlagen, Illustratoren, Wissenschaftlern und Firmen, die uns wissenschaftliche Bilder zur Verfügung gestellt und mit uns diskutiert haben. Insbesondere danken wir dem Klartext Verlag für die Erlaubnis zur Reproduktion des Posters *Der Mensch als Industriepalast*, MeteoSchweiz für das Radarbild, dem Deutschen Röntgen-Museum für die Röntgenaufnahme der Frösche von Eder und Valenta, Daniela Stokmaier für Bilder der konfokalen Mikroskopie, Dr. Karin Johansson für die Fotografie eines SDS-Gels, Tally Weijl für die *Verkehrte Evolution*, René Leutenegger und der Edinburgh University Press für die Stammbäume, Prof. Jane Richardson für ihre Handzeichnung eines Proteins, Dr. Ebbe Sloth Anderson für den Replikationszyklus

des HI-Virus und David Goldman für den Brontosaurus. Schliesslich bedanken wir uns herzlich beim Schwabe Verlag für die Aufnahme des Buchs in sein Verlagsprogramm und die professionelle Betreuung und bei der Freiwilligen Akademischen Gesellschaft für die grosszügige Unterstützung der Buchproduktion.

Dr. Alexander Vögtli und Prof. Beat Ernst
Institut für Molekulare Pharmazie der Universität Basel

I. Die Verbildlichung des Unsichtbaren

Every ten seconds we will look from ten times farther away and our field of view will be ten times wider.

Powers of Ten, 1977

Im Kurzfilm-Klassiker *Powers of Ten* von Charles und Ray Eames unternimmt der Zuschauer zwei Reisen, ausgehend von einem Mann, der in einem Park am See beim Picknick döst. Zu Beginn des Films wird ein Ausschnitt von einem Quadratmeter Grösse gezeigt. Bei der folgenden Reise in den Makrokosmos fliegt die Kamera der Erde zugewandt hinaus in den Weltraum. Alle zehn Sekunden sieht der Zuschauer einen zehnfach vergrösserten Ausschnitt. Er sieht den Park am Lake Michigan, den Mittleren Westen der USA, später die Erde, er zieht vorbei an den Planeten, am Sonnensystem, an der Milchstrasse und an Galaxien, bis die Reise schliesslich bei einer Vergrösserung von 10^{24} Metern am Rande des Universums endet (10^{24} : eine 1 mit 24 Nullen). Die zweite Reise führt hinein in den Mikrokosmos. Jetzt wird der Ausschnitt alle zehn Sekunden um den Faktor zehn verkleinert. Die Reise beginnt an der Hand des liegenden Mannes und führt in die Oberfläche der Haut, durch die Hautschichten, in ein Blutgefäss, eine Zelle, hinein in den Zellkern zur DNA, zu einem Kohlenstoffatom, dessen Elektronenschale, in den Atomkern und das Innere eines Protons und endet bei einer Verkleinerung von 10^{-16} Metern. Der Film ist aufschlussreich. Er zeigt, wie eingeschränkt das menschliche Auge bei der Betrachtung des Makro- und Mikrokosmos ist. Nur ein kleiner Teil der Phänomene, mit denen sich die Naturwissenschaften beschäftigen, sind dem blossen Auge ohne Hilfsmittel zugänglich. Das Auge sieht in den Mikrokosmos nicht weiter als etwa zur Breite eines Haares hinein. Alles, was darunter liegt, bleibt unsichtbar, wie zum Beispiel die Atome und Moleküle in der Chemie, Strukturen von der Grösse eines milliardstel Meters. Wir sehen sie nur makroskopisch, etwa als weisses Pulver, wenn unvorstellbar viele davon dicht zusammen vorliegen. Wird das Pulver in einer Flüssigkeit gelöst, wie Zucker oder Salz in Wasser, dann ver-

schwindet es wieder. Zurück bleibt eine farblose, durchsichtige, geruchlose Flüssigkeit. So wird der Chemiker zu einem blinden Handwerker, der mit Schrauben arbeitet, die er nicht sieht. Die Mikrobiologie steht vor einem ähnlichen Problem. Ein einzelnes Bakterium (oder eine einzelne Zelle) wird das blosse Auge nie sehen können. Die Grösse ist aber nur ein hinderlicher Aspekt. So sind magnetische Felder aufgrund der Ausrüstung des menschlichen Auges und des Gehirns nicht sichtbar. Ein Untersuchungsobjekt kann auch versteckt sein, wie etwa das Auge selbst in seiner Höhle, es kann vergangen sein oder in der Zukunft liegen oder ganz einfach nicht zugänglich sein.

Die Wissenschaft verwendet verschiedene Ansätze, um Unsichtbares sichtbar zu machen und als wissenschaftliches Bild zu verbildlichen. Etwas Unbekanntes beschreibt man zunächst gerne mit einer *Metapher*, einer *Analogie* oder einem *Vergleich*. Dabei wird dem Unsichtbaren das Gewand des Alltäglichen und Bekannten übergestreift. Moleküle werden als Billardkugeln mit reflektierenden Oberflächen und Schattenwurf dargestellt, grössere Moleküle als Farbbänder. Das Auge ist eine Kamera, die DNA ein Bauplan, der Mensch eine Maschine. Sachverhalte werden nicht wörtlich genannt oder beschrieben, sondern durch einen Begriff oder ein Bild aus einem anderen Gebiet ersetzt. *Modelle* beschreiben Phänomene vereinfacht und abstrakt und erlauben es, Aussagen und Vorhersagen aus ihnen abzuleiten. Wissenschaftliche *Instrumente* schliesslich sind visuelle Hilfen, Erweiterungen der Sinnesorgane, mit denen Daten von kleinsten bis zu den grössten Strukturen gewonnen und ausgewertet werden können. In den folgenden Kapiteln werden diese drei Ansätze ausführlich diskutiert. Wir werden sehen, dass alle drei in enger Beziehung zu den wissenschaftlichen Bildern stehen.

1. Sprachliche Bilder

Wie funktioniert die lebendige Zelle? Wie ist dieses Fließband, diese chemische Fabrik organisiert, wie wird sie gesteuert und von welcher Art sind ihre Werkzeuge?

John Kendrew, 1967, S. 18

Um ein Bild zu gebrauchen, will ich sagen, dass Enzym und Glucosid wie Schloss und Schlüssel zu einander passen müssen, um eine chemische Wirkung auf einander ausüben zu können.

Emil Fischer, 1894, S. 2992

Die Chromosomenstrukturen tragen gleichzeitig dazu bei, die Entwicklung, welche sie ahnen lassen, hervorzubringen. Sie sind zugleich Gesetzbuch und ausübende Gewalt, Plan des Architekten und Handwerker des Baumeisters.

Erwin Schroedinger, 1946, S. 34

Sprachliche Bilder sind uns aus der Poesie vertraut, so heisst es etwa bei Shakespeare (*Much Ado About Nothing*, Akt V, Szene 2): «I will live in thy heart, die in thy lap, and be buried in thy eyes (...).» Die wissenschaftliche Sprache und ihre Bilder hingegen würde man naiv als objektiv, präzise und frei von solcher Emotion beschreiben. Tatsächlich genügt es jedoch, eine wissenschaftliche Fachzeitschrift aufzuschlagen, um die Fülle der Metaphern in der Wissenschaft zu erkennen. Wissenschaftliche Texte und Bilder sind durchdrungen von Metaphern, Analogien und Vergleichen. Die Zitate zu Beginn dieses Kapitels illustrieren die Bedeutung der sprachlichen Bilder in der Wissenschaft. Insbesondere die Beschreibung und Darstellung des Unsichtbaren, des Ungegenständlichen und des Nicht-Alltäglichen verlangt nach dem Gebrauch von Metaphern, die aber sehr häufig impliziten Charakter haben und deshalb gerne übersehen oder überlesen werden. Bei wörtlicher Interpretation würden Metaphern denn auch keinen Sinn ergeben. «Das Mitochondrium ist das Kraftwerk der Zelle.» Der eifrige Schüler wird unter dem Mikroskop vergeblich nach

kleinen Kraftwerken mit rauchenden Kaminen suchen. Was ist also gemeint? Könnte dasselbe nicht auch wörtlich ausgedrückt werden?

Metaphern als Interaktion zwischen zwei Subjekten

In der Literatur gibt es verschiedene Ansätze, Metaphern zu erklären. Max Black hat eine interessante und einflussreiche Betrachtung präsentiert, gemäss der die Bedeutung einer Metapher aus einer Interaktion zwischen zwei Subjekten resultiert, nämlich einem primären und einem sekundären Subjekt (Black, 1962; Black, 1979). Das sekundäre Subjekt ist in der Regel konkreter, stammt aus einem bekannten Gebiet und ist visualisierbar, das primäre Subjekt ist häufig abstrakter und stammt aus einem fremden Gebiet. Black verwendet als Beispiel die bekannte Metapher «Der Mensch ist ein Wolf». Das sekundäre Subjekt, der Wolf, impliziert etwas Wildes, Karnivores und Verräterisches. Der Begriff ist nicht scharf definiert, aber genügend definitiv, um bei vielen Menschen ähnliche Empfindungen auszulösen. Die Vorstellungen, welche der Hörer vom sekundären Subjekt hat, nennt Black ein «System von assoziierten Allgemeinplätzen». Es sind Binsenwahrheiten, vorherrschende Meinungen, Vorurteile, Ansichten oder Mythen einer Sprachgemeinschaft zu einem Sachverhalt. Ob diese der Wahrheit entsprechen, ob der Wolf tatsächlich verräterisch ist, ob diese Ansichten einer exakten wissenschaftlichen Definition entsprechen, ist nebensächlich. Die Bezeichnung des Menschen als Wolf evoziert ein System von assoziierten Allgemeinplätzen. Infolgedessen wird der Mensch als wild, hungrig, in dauerndem Kampf, als Aasfresser und wildes Tier verbildlicht. Jede dieser Behauptungen wird dem Menschen angepasst und angeglichen. Black spricht von einer Projektion der Implikationen auf das primäre Subjekt. Der Hörer der Metapher konstruiert einen Implikationskomplex, der nicht aus den normalen Allgemeinplätzen zum Begriff Mensch besteht, sondern gemäss den Wolf-Implikationen *organisiert* ist. Mit anderen Worten: Die Metapher unterdrückt einige Implikationen zum Begriff Mensch und hebt andere hervor: «The wolf-metaphor suppresses some details, emphasizes others – in short, organizes our view of man» (Black, 1962, S. 41).

Die Präsenz des primären Subjekts animiert den Hörer dazu, einige Eigenschaften des sekundären Subjekts auszuwählen und einen parallelen Komplex zu konstruieren, der auf das primäre Subjekt passt. Diese Interaktion geht über eine reine Substitution oder einen Vergleich hin-

aus. Sie induziert reziprok parallele Veränderungen im sekundären Subjekt: Der Wolf wird durch die Metapher vermenschlicht. Dies kann zu einer wechselseitigen Verwendung der Metaphern führen: Das Gehirn ist ein Computer und der Computer ein Elektronengehirn; der Krieg gegen Krebs und das Krebsgeschwür Krieg; das Computervirus und das HI-Virus (HIV), das «neue Kopien von sich selbst herstellt» (Sontag, 2003, S. 130).

Versuchen wir nun, Blacks Ansatz auf wissenschaftliche Metaphern anzuwenden. In der Molekularbiologie werden zahlreiche Begriffe der Informationstheorie und der Kybernetik verwendet. Die DNA beispielsweise ist mit zahlreichen skripturalen Metaphern belegt: Information, Code, Text, Buch des Lebens, universale Sprache und so fort. Lily Kay hat die Geschichte dieser Begriffe ausführlich dargelegt (Kay, 1997; Kay 2005). John Kendrews Einführung in die Molekularbiologie aus dem Jahr 1967 (Kendrew, 1967) ist ein gutes Beispiel für einen populärwissenschaftlichen Text mit den gängigsten Metaphern der Molekularbiologie: Proteine sind Ketten, Mutationen Druckfehler, die DNA ein Text, eine Enzyklopädie, die Zelle eine chemische Fabrik und so fort (vergleichbar auch: Luria, 1974). In der Populärkultur wird die DNA gar als Programm, Orakel von Delphi, Zeitmaschine, eine Reise in die Zukunft oder als medizinische Kristallkugel bezeichnet (Nelkin, Lindee, 1995). Betrachten wir etwa das Beispiel «Die DNA ist der Plan des Architekten», das vor allem in populärwissenschaftlichen Texten verwendet wird. Nach Blacks Schema ist die DNA hier das primäre, abstrakte Subjekt und der Plan des Architekten das sekundäre, konkrete Subjekt. Der Plan enthält Instruktionen zum Bau eines Gebäudes. Übertragen auf die DNA wird durch die Metapher somit hervorgehoben, dass die DNA Instruktionen zum Bau eines Organismus enthält. Nun gibt es neben den Eigenschaften und Assoziationen, die durch die Metapher ausgewählt und hervorgehoben werden (entsprechende Eigenschaften), auch solche, die nicht übertragen werden (nichtentsprechende Eigenschaften).

Tabelle 1

Assoziationen zu den zwei Subjekten der Metapher
«Die DNA ist der Plan des Architekten».

<i>Sekundäres Subjekt</i>	<i>Primäres Subjekt</i>
Plan des Architekten	DNA (Chromosomenstrukturen)
Instruktion zum Bau eines Gebäudes besteht aus Papier	Instruktion zum Bau eines Organismus besteht aus Atomen, Molekülen
enthält Text und Zeichnungen	wie ist die Instruktion codiert?
wurde vom Architekten erstellt	wer ist der Architekt der DNA?

Eine nichtentsprechende Eigenschaft und für die Metapher unwesentlich scheint hier zum Beispiel, dass der Plan des Architekten Text und Zeichnungen enthält. Die Versuchung besteht aber, hier ebenfalls Entsprechungen zu entdecken und die beiden Subjekte auch in dieser Eigenschaft zur Deckung zu bringen. Der Text und die Zeichnungen «codieren» die Instruktionen. Wie sind die Instruktionen in der DNA «codiert»? Metaphern haben die Eigenschaft, unsere Gedanken anzuregen.

Der Zusatz «des Architekten» wirft ebenfalls Fragen auf. Er wäre nicht notwendig, die DNA wurde auch schon als «Konstruktionsplan» bezeichnet (z.B. Kendrew, 1967, S. 62). Die Formulierung regt dazu an zu fragen: Wer ist der Architekt der DNA? Die Deutung der Metapher hängt dabei sehr stark vom Hörer ab. So ist hier unklar, ob ein Architekt der DNA (ein irdischer oder göttlicher) impliziert werden soll oder ob seine Erwähnung nur das Bild des Plans verdeutlichen soll. Metaphern haben die Eigenschaft, bei unterschiedlichen Hörern unterschiedliche Assoziationen oder Allgemeinplätze zu evozieren, sowohl hinsichtlich des primären wie des sekundären Subjekts. Der Hörer versteht nicht immer nur das, was vom Autor intendiert wurde.

Mit einer Metapher wird also offenbar absichtlich oder unabsichtlich ein bestimmter Standpunkt vertreten. Die Wahl einer Metapher schliesst eine gewisse Sichtweise, eine festgelegte Interpretation eines Sachverhalts mit ein. Metaphern unterdrücken gewisse Eigenschaften und heben andere hervor, sie organisieren die Ansicht eines Sachverhalts. Black (1962, S. 41) drückt es metaphorisch so aus:

“Suppose I look at the night-sky through a piece of heavily smoked glass on which certain lines have been left clear. Then I shall see only the stars that can be made to lie on the lines previously prepared upon the screen, and the stars I do see will be seen as organized by the screen’s structure. (...) We can say that the principal [primary] subject is ‘seen through’ the metaphorical expression.”

Durch die Hervorhebung einiger Merkmale werden andere unterdrückt. Philipp Sarasin hat dazu bemerkt, dass «Sichtbarkeit immer mit einem Stück Unsichtbarmachung erkauft werden muss» (Sarasin, 2004b, S. 259). Daraus folgt auch, dass eine andere Metapher einer anderen Anschauung entspricht und anderes sichtbar werden lässt, da sie das primäre Subjekt in einer anderen Art und Weise organisiert. Coen hat die DNA und die Entwicklung eines Organismus als künstlerischen Prozess wie das Malen eines Bildes dargestellt (Coen, 1999). Diese Metapher wirft ein völlig anderes Licht auf den Sachverhalt. Coen vertritt durch die Metapher den Standpunkt, dass die Entwicklung nicht nach einem detaillierten, festgelegten Plan verläuft, sondern als ein kreatives, allmähliches Fortschreiten.

Zeitliche und kulturelle Abhängigkeit

Metaphern unterliegen als Bilder einer kulturellen und zeitlichen Abhängigkeit. Draaisma hat dies eindrücklich am Beispiel von Metaphern für Gehirn und Gedächtnis dokumentiert (Draaisma, 1999). Das Aufkommen neuer Entdeckungen, Erfindungen und Technologien führte jeweils zu einer neuen und veränderten Metaphorik. Wenn John William Draper um 1878 seine Erinnerungen an eine Szene in Mexiko mit einer Fotografie vergleicht oder die Gedächtnispsychologie im 20. Jahrhundert sich der Metapher des Computers bedient, so beziehen sich beide auf technische Neuerungen der jeweiligen Epoche. Einige Metaphern für Gehirn und Gedächtnis sind zum Beispiel: Archiv, Bibliothek, Computer, Honigwabe, Lagerraum, Palast, Schatzkammer, Schrift, Taubenschlag oder Zaubertafel (Auswahl aus Draaisma, 1999, S. 264). Aber auch der entlehnte Begriff selbst kann sich wandeln. «Der Plan des Architekten» sieht heute anders aus als vor sechzig Jahren.

Simile und Analogie

Im Zusammenhang mit Metaphern sind weitere Begriffe von Bedeutung, die hier nicht detailliert ausgeführt werden. Ein Simile ist ein direkter Vergleich von zwei Subjekten, der häufig durch das Wort wie gebildet wird: «Ein Atom ist wie eine Kugel.» Diese Aussage unterscheidet sich von der metaphorischen Aussage «Das Atom ist eine Kugel».

Analogien werden wie Metaphern sehr unterschiedlich definiert. Der Begriff Analogie wurde zum Beispiel als Überbegriff für Metaphern, Similes und Modelle verwendet (Gentner, 1982). Wir wollen hier Analogien als Entsprechungen definieren. Analogien sind in der Regel Teil einer Metapher: Die Eigenschaften des primären und sekundären Subjekts einer Metapher können sich analog entsprechen.

Bei *strukturellen* Analogien wird von Systemen aus zwei oder mehreren Elementen ausgegangen, wobei zwischen den Elementen dieser Systeme entsprechende Beziehungen bestehen. So wird das Sonnensystem mit der Sonne, um die sich die Planeten in bestimmten Bahnen bewegen, in Analogie gesetzt zu einem Atom mit einem zentralen Kern, um den sich die Elektronen auf Umlaufbahnen bewegen. Die Beziehungen zwischen den Elementen entsprechen sich, es brauchen jedoch keine Entsprechungen zwischen den Elementen selbst vorzuliegen. Im Rutherford-Bohr-Modell spielen die Unterschiede zwischen Elektronen und Planeten keine Rolle. Wenn sich die Elemente selbst entsprechen, wird die Beziehung als Ähnlichkeit bezeichnet. Bei der Aussage «Das Heliumatom ist wie das Neonatom» beispielsweise handelt es sich um einen Vergleich über direkte Ähnlichkeit, bei dem keine Analogie vorliegt (Gentner, 1982, S. 110). Als *funktionale* Analogien werden Analogien bezeichnet, bei denen eine bestimmte Aufgabe in zwei Systemen gleichermaßen wahrgenommen wird, so lenkt der Steuermann ein Schiff oder einen Staat (Iding, 1997).

Fassen wir zusammen: *Metaphern* werden hier als Projektionen von assoziierten Allgemeinplätzen oder Implikationen eines sekundären Subjekts auf ein primäres Subjekt verstanden. Metaphern können Analogien und Similes beinhalten. *Analogien* sind Entsprechungen von Beziehungen zwischen Elementen zweier unterschiedlicher Domänen. *Similes* sind direkte Vergleiche mit dem Wort wie. Im Folgenden wollen wir die Metaphern noch etwas genauer beleuchten.

Explizite und implizite Wahrnehmung von Metaphern

In Bezug auf die Wahrnehmung können Metaphern in zwei Typen eingeteilt werden. Der erste Typ wird explizit als Metapher bezeichnet oder wahrgenommen. Zu den expliziten Metaphern gehört zum Beispiel die Aussage «Das Arzneimittel ist ein Schlüssel, der genau in sein Schloss, den Rezeptor, passt» (abgeändert nach Fischer, 1894, S. 2992). Das primäre Subjekt ist das Arzneimittel (der Rezeptor), das sekundäre Subjekt der Schlüssel (das Schloss). Es besteht eine strukturelle Analogie zwischen den Beziehungen Schlüssel–Schloss und Arzneimittel–Rezeptor. Hier ist es für den Hörer in der Regel offensichtlich, dass es sich um eine Metapher handelt.

Der zweite Typ wird vom Leser oder Betrachter unbewusst, implizit wahrgenommen: Beispiele sind Begriffe wie «Proteinfaltung» oder «Knospung von Viren». In den Naturwissenschaften wie im Alltagsleben gibt es viele inhärente, unbewusste, implizite Metaphern, die wörtlich verstanden und überlesen werden, ohne dass über ihre metaphorische Bedeutung weiter nachgedacht wird. Dabei kommt allerdings dem Vorwissen des Lesers oder Betrachters eine wichtige Rolle zu. Dem Fachmann sind die Begriffe derart vertraut, dass er über ihre metaphorische Bedeutung oft nicht weiter reflektiert. Der wissenschaftliche Anfänger oder Laie hingegen könnte von derartigen Begriffen überrascht oder belustigt sein.

Unter die impliziten Metaphern fallen auch die konstitutiven Metaphern (Boyd, 1979, S. 486), die auch als verblasste Metaphern bezeichnet wurden (Gipper, 1969, S. 76). Dabei handelt es sich um Metaphern für Sachverhalte, für die es keine wörtliche Umschreibung gibt; die Metapher selbst ist die Umschreibung und wird zum Fachbegriff. Dabei kann ein Begriff seine metaphorische Bedeutung fast oder ganz verlieren. Verblasste Metaphern sind dann keine Metaphern mehr. Der Begriff Zelle für die kleinste biologische Einheit ist heute der wörtliche Fachbegriff für die detailliert charakterisierte kleinste biologische Einheit. Der Ursprung des Begriffs gilt jedoch als metaphorisch: Robert Hooke soll bei seiner Prägung 1665 an die kleinen Zellen gedacht haben, in denen die Mönche lebten (Brown, 2003, S. 146). Die metaphorische Bedeutung wird nur noch sichtbar, wenn jemand, wie Black es ausdrückt, die Naivität hat, die Metaphern wörtlich zu nehmen, oder die Naivität vorgibt, sie wörtlich zu nehmen (Black, 1979, S. 22). Bei anderen konstitutiven Metaphern in der Wissenschaft ist die metaphorische Eigenschaft stärker ausgeprägt als

beim Beispiel der Zelle. Wenn sich in der Biologie für Transportproteine Begriffe wie «Kanal», «Carrier» oder «Pumpe» eingebürgert haben, dienen sie dazu, Phänomene zu bezeichnen, die oft nicht wörtlich beschrieben werden können. Gemeint sind Strukturen, die Substanzen über die Membran einer Zelle transportieren, zum Beispiel von aussen in eine Zelle hinein. Allerdings ist über die strukturellen und funktionellen Mechanismen heute viel mehr bekannt als zu der Zeit, als diese Begriffe geprägt wurden. Damals waren die Metaphern noch viel expliziter. Der Begriff der Natrium-«Pumpe» etwa stammt von R. B. Dean aus dem Jahr 1941 (Dean, 1941, zitiert aus Skou, 1997, S. 156):

“(…) the muscle can actively move potassium and sodium against concentration gradients (...) this requires work. Therefore there must be some sort of a pump possibly located in the fiber membrane, which can pump out sodium or, what is equivalent, pump in potassium.”

(...) der Muskel kann aktiv Kalium und Natrium gegen einen Konzentrationsgradienten bewegen (...) das erfordert Arbeit. Deshalb muss in der Membran der Faser eine Art Pumpe lokalisiert sein, die Natrium herauspumpen oder, was äquivalent ist, Kalium hineinpumpen kann.

Dean hat die Metapher der Pumpe deshalb gewählt, weil ein aktiver, energieabhängiger Transport von Substanzen beschrieben werden sollte. Die Formulierung «some sort of a pump» deutet auf eine explizite Wahrnehmung. Zur Zeit der Bildung des Begriffs waren weder die Struktur, die Funktionsweise noch die genaue Lokalisation der Pumpe bekannt. Im Laufe der Jahre wurde das Bild kanonisiert, es bildete sich ein Fachbegriff heraus, der heute einen fast impliziten Charakter hat. Dasselbe gilt übrigens auch für den Begriff des «Kanals», der von Hodgkin und Keynes 1955 geprägt wurde (Hodgkin, Keynes, 1955, S. 84):

“A different way of explaining the anomalous flux ratios is to imagine that K^+ ions cross the membrane through narrow tubes or channels.”

Die Mutmassung ist herauszuhören: Aufgrund der Experimente könne man sich vorstellen, da sei so etwas wie eine Röhre oder ein Kanal in der Zellmembran. Mittlerweile hat sich die Bezeichnung «Ionenkanal» als Fachbegriff etabliert. Die ursprüngliche Metapher verblasst zusehends.

Diese Beispiele deuten an, dass sich die wissenschaftlichen Metaphern im Verlauf ihres Gebrauchs von expliziten zu impliziten Metaphern wandeln können. Gemäss Helmut Gipper ist der Metaphernreichtum ein Merkmal der jungen Wissenschaften (Gipper, 1969, S. 75f.). Mit fortschreitender Entwicklung einer Wissenschaft geht eine Entmetaphorisierung einher.

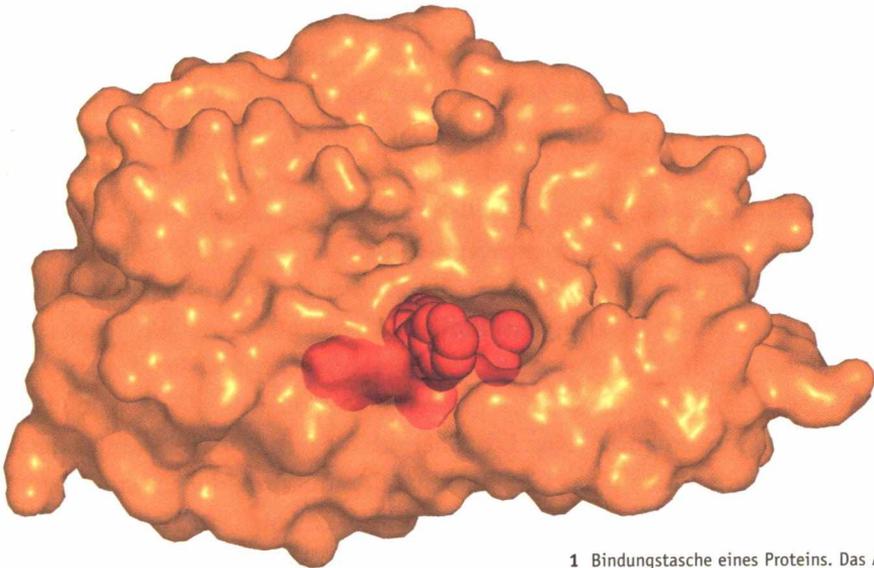
Heuristische Funktionen von Metaphern

Metaphern haben in den Naturwissenschaften heuristische Funktionen. Sie sind «ein hervorragendes Mittel, um wissenschaftliches Neuland zu erobern» (Gipper, 1969, S. 75). Sie dienen dazu, neue Fragestellungen aufzuwerfen, Erkenntnisse zu gewinnen und zu ordnen (Draaisma, 1999, S. 27–32). Die Metapher wird zu einem Modell, von dem Aussagen und Vorhersagen abgelesen werden können. Wird etwa ein «Wasserkanal» (als Fachbegriff Aquaporin) in einer Zellmembran als zylinderförmige Röhre angesehen, der in eine Membran eingefügt ist, eröffnet das die Möglichkeit, hydrodynamische Gesetze aus der Physik anzuwenden und so zum Beispiel den Radius der «Röhre» zu berechnen (Benga, 2003).

Beim Design neuer Arzneimittel werden visuelle Metaphern zum Erkenntnisgewinn und zur Herstellung von Modellen verwendet. Diese stehen im Kontext eines einfachen, reduktionistischen Paradigmas, das wir kurz mit der gebräuchlichen sprachlichen Metaphorik erläutern möchten. Eine Krankheit wird auf wenige molekulare, nanometergrosse «Targets» reduziert. Bei den Targets handelt es sich häufig um Proteine, die das Arzneimittel ins Visier nimmt und in ihrer Funktion hemmen oder fördern soll. Eine bakterielle Infektion kann zum Beispiel auf das Protein und Enzym Transpeptidase reduziert werden. Die Transpeptidase ist ein wichtiger Bestandteil bei der Bildung der bakteriellen Zellwand. Die Zellwand ist für das Bakterium in vieler Hinsicht überlebensnotwendig. Wenn es gelingt, die Funktion der Transpeptidase mit einem Arzneistoff zu hemmen, werden die Zellwandbildung und damit das Wachstum des Bakteriums gestört, was das Bakterium abtötet oder schwächt und somit die Krankheit beendet. Das Enzym kann dadurch gehemmt werden, dass seine funktionell essenzielle Bindungstasche, die sogenannte Active Site, durch Arzneimittel blockiert wird. Mit diesem Ansatz kann also die Krankheit auf die Bindungstasche, einige wenige Aminosäureseitenketten, reduziert werden. Eine enorme Reduktion! Die Darstellungen von

Bindungstaschen sind heuristische Metaphern. Sie werden im Computer unter anderem als höhlenartige Einbuchtungen visualisiert, die aussehen wie ein Stück erstarrtes Plastik (Abbildung 1). Die Aufgabe der Arzneimittelspezialisten besteht darin, einen Arzneistoff zu konstruieren, der entgegengesetzte Eigenschaften zu denen der Bindungstasche aufweist oder «wie eine Hand in einen Handschuh passt». Die Sprache der Molekülmodellierer entspricht dem metaphorisch-mechanistischen Modell: Taschen sollen ausgefüllt und der Wirkstoff eingepasst werden. Der Wirkstoff wird an den Rezeptor angedockt. Auf flachen Oberflächen haftet der Wirkstoff jedoch schlechter.

Diese Darstellungsformen sind in der Wissenschaft zu einer Selbstverständlichkeit geworden, und es wird leicht vergessen, dass es sich dabei um unsichtbare Strukturen handelt, die erst durch die Brille des Makrokosmos und des Alltäglichen betrachtet sichtbar werden.



1 Bindungstasche eines Proteins. Das Arzneimittel blockiert die Funktion des Proteins durch Bindung an dessen Active Site, eine höhlenartige Einbuchtung. Es ist schön erkennbar, wie der Wirkstoff die Active Site wie eine Hand einen Handschuh ausfüllt und so die Funktion des Proteins blockiert. Das Bild wurde ausgehend von den dreidimensionalen Koordinaten des Proteins erstellt (Koordinaten aus Chen et al., 1994).

Eine Art «Machtübernahme durch die Ausserirdischen»

Metaphern sind der Wissenschaft in vielen Beziehungen hilfreich. Sie vermitteln einen Zugang zu Unbekanntem durch das Bekannte, sie ermöglichen die Visualisierung von Unsichtbarem, sie erweitern die Gedanken durch Analogie und erlauben als Modelle Vorhersagen. Die Verwendung von Metaphern birgt aber auch Probleme. Dazu gehört die unglückliche Wahl des sekundären Subjekts – der Domäne, aus der die metaphorischen Begriffe stammen. In der Mikrobiologie und Immunologie ist seit der Entdeckung der Bakterien als Krankheitserreger die Kampf- und Kriegsmetaphorik gebräuchlich (zum Thema existiert eine umfangreiche Literatur, siehe etwa Fleck, 1980, S. 155f.; Sontag, 2003; Mayer, Weingart, 2004; Sarasin, 2004a, Sarasin 2004b). Ein Beispiel zum Thema AIDS aus dem *TIME Magazine* verdeutlicht die Problematik (*TIME Magazine* 1986, zitiert aus Sontag, 2003, S. 88f.):

«Der Eindringling ist sehr, sehr klein, nicht grösser als der sechzehntausendste Teil eines Stecknadelkopfs (...) Späher des körpereigenen Immunsystems – grosse Zellen, die man Makrophagen nennt – wittern die Gegenwart des winzigen Feindes und alarmieren unverzüglich das Immunsystem. Das Immunsystem mobilisiert ein Truppenaufgebot von Zellen, die u.a. Antikörper zur Bekämpfung der Gefahr produzieren. Das Aids-Virus ignoriert zielstrebig viele der Blutzellen, die sich ihm in den Weg stellen, entkommt den rasch vorrückenden Verteidigern und steuert automatisch den Hauptkoordinator des Immunsystems an, die Helferzelle (...).»

Die Kriegsmetaphorik (Feind, Späher, alarmieren, mobilisieren, Truppenaufgebot, bekämpfen, Gefahr, vorrückende Verteidiger) wird kombiniert mit einer Beseelung der Viren und Zellen: Das Virus wird als Eindringling und Feind, die Makrophagen werden als Späher, die Zellen des Immunsystems als Truppen und Verteidiger bezeichnet. Dies deutet auf intelligentes und bewusstes Handeln auf zellulärer Ebene (vgl. Abbildung 35, S. 148). Die Assoziation mit Krieg deutet auf einen böartigen Feind, der mit allen Mitteln bekämpft werden soll, selbst wenn der Patient dabei einen «Kollateralschaden», etwa durch unerwünschte Wirkungen der Medikamente, erleidet (Sontag, 2003, S. 57). Der Feind kommt von «ausen». Krankheiten werden «eingeschleppt», sie dringen

in einer «Invasion» ein, in ein Land, einen Organismus, das gesunde Gewebe, die Zelle (siehe dazu Sarasin, 2004b). Sontag ortet in den Kriegsmetaphern ein Misstrauen gegen eine pluralistische Welt und in der parasitären Einnistung des Virus in die Zelle Sciencefiction: eine Art «Machtübernahme durch die Ausserirdischen». Der Gebrauch dieser Kriegsmetaphern führt zu einem verzerrten und vereinfachten Bild des Vorgangs und täuscht ein falsches Verständnis der Sache vor.

Auch gegen Krebs wird Krieg geführt: *Nano-Bombe gegen Krebs* betitelt etwa das Magazin *Der Spiegel* einen kurzen Beitrag über ein neues Verabreichungssystem für zytostatische Arzneimittel (*Der Spiegel*, 1.8.2005, S. 127). Der Text basierte auf einer Pressemitteilung des Massachusetts Institute of Technology mit dem Titel *MIT engineers an anti-cancer smart bomb* (<http://web.mit.edu/newsoffice/2005/nanocell.html>). Gemeint war ursprünglich also nicht irgendeine Bombe, sondern die aus den Golfkriegen bekannten (bunkerbrechenden) Präzisionslenkwaffen, mit denen eben jene unerwünschten Kollateralschäden vermieden werden sollen. Mit der Metapher wird auf die Fähigkeit des Arzneimittels angespielt, den Tumor gezielt zu erreichen, im pharmazeutischen Fachjargon wird wie bereits erwähnt militärisch konsistent vom «Targeting» des Tumors gesprochen. Dies steht im Gegensatz zu den traditionellen zytostatischen Medikamenten, die wenig selektiv den ganzen Körper mit der Arznei überfluten, was zu vielen unerwünschten Wirkungen führt. Diese werden im Jargon auch als «Dirty Bombs», schmutzige Bomben, bezeichnet. Zum Ziel gelangt die Bombe wie ein Tarnkappenbomber: «A «stealth» surface chemistry allows the nanocells to evade the immune system (...)» Das Prinzip der Bombe wurde in der Pressemitteilung so zusammengefasst: «Imagine a cancer drug that can burrow into a tumor, seal the exits and detonate a lethal dose of anti-cancer toxins, all while leaving healthy cells unscathed.» (Stellen Sie sich ein Krebsmittel vor, das sich in einen Tumor eingraben kann, die Ausgänge abdichtet und eine tödliche Dosis Antikrebs-Gift zum Detonieren bringt, während es gesunde Zellen unversehrt lässt.) Hier verändert sich die Präzisionswaffen-Metapher in Richtung des Einsatzes einer militärischen Spezialeinheit. Man ist gar versucht, von einem «chirurgischen Eingriff» zu sprechen – womit die medizinische Sprache wieder Eingang in die militärische Ausdrucksweise findet!

Die Pressemitteilung wurde veröffentlicht, um auf eine Fachpublikation über das Arzneimittel in *Nature* aufmerksam zu machen

(Sengupta et al., 2005). Erst beim Lesen dieses Fachartikels wird einem klar, dass es sich bei dem Verabreichungssystem in keiner Weise um eine explodierende Mini-Bombe handelt, die den Tumor in die Luft sprengt. In Kontrast zur verwendeten militärischen Metaphorik kann das neue Arzneimittel sehr einfach beschrieben werden: Es handelt sich um ein Partikel, das aus einer Hülle und einem Kern besteht. Das Partikel wird im Tumor selektiv angereichert und entlässt zunächst aus der Hülle ein erstes Medikament, welches das Wachstum der Blutgefäße unterbindet, und anschliessend aus dem Kern ein zweites, zelltoxisches Medikament, welches gegen den Tumor wirkt. Interessant ist hier der Unterschied zwischen Fachpublikation und populärwissenschaftlicher Darstellung. Der wissenschaftliche Artikel beschreibt den Sachverhalt ohne Bombenmetapher. Diese entstand erst beim Versuch, den durch die Fachsprache verschlüsselten Inhalt des Artikels für die Öffentlichkeit zu übersetzen. Die Kriegsmetaphorik erweist sich aber auch bei diesem Beispiel als ungeeignet und kontraproduktiv. Sie weckt Assoziationen mit militärischen Konflikten in der Golfregion und verschleiert die wirkliche Funktion des Systems durch die Implikation einer detonierenden Bombe.

Die «Smart Bomb» ist übrigens seit dem ersten Golfkrieg eine aktuelle Variante der Metapher von Paul Ehrlich, der zu Beginn des 20. Jahrhunderts Arzneimittel als «Zauberkekeln», im Englischen als «Magic Bullets» bezeichnet hatte. Damit gemeint waren Arzneimittel, die wie «Freikugeln» in Carl Maria von Webers *Freischütz* ihr Ziel selbst finden. Ehrlich hatte den Begriff 1906 zum ersten Mal anlässlich der Eröffnung des Georg-Speyer-Hauses verwendet (Ehrlich, 1960, S. 49):

«Wenn wir bedenken, dass der Organismus von einer bestimmten Bakterienart infiziert ist, so wird es leicht sein, den Organismus zu heilen, wenn Stoffe aufgefunden sind, die nur zu den Bakterien Beziehungen haben und nur auf diese schädigend oder abtötend wirken, die aber zu gleicher Zeit zu den normalen Bestandteilen des Körpers gar keine Beziehungen haben und ihn daher auch nicht im mindesten beeinflussen oder schädigen können. Derartige Substanzen würden also ausschliesslich ihre volle Wirkung auf den im Organismus hausenden Schädling ausüben können und sie stellen sozusagen Zauberkekeln vor, die ihr Ziel selbst aufsuchen.»

In den letzten Jahren liefen die Bestrebungen der Arzneimittelhersteller in diese Richtung: Ein einziger pharmazeutischer Wirkstoff sollte möglichst spezifisch ein einziges Target «angreifen». Neuerdings wird aber auch diskutiert, ob nicht bei einigen Krankheiten die Anwendung einer magischen Schrotflinte («Magic Shotgun») Vorteile bringen könnte, also der Angriff auf verschiedene Targets gleichzeitig (Roth, Sheffler, Kroeze, 2004).

Sowohl bei der Invasion des HI-Virus als auch bei der Nano-Bombe handelt es sich um Texte der Populärwissenschaft. Sie zeigen eindrücklich deren Metaphernreichtum und sind nicht repräsentativ für die wissenschaftliche Fachliteratur. In der esoterischen Fachliteratur werden, wenn auch weniger häufig, ebenfalls problematische Metaphern verwendet. In der Ökologie etwa jene des «natürlichen Feindes» (Chew, Laubichler, 2003). Die Populärwissenschaft hat zudem eine starke Rückwirkung auf die Fachleute, deren Sprache und Bilder. Derartige Metaphern können nur vermieden werden, wenn Metaphern bewusst verwendet und wissenschaftliche Texte sorgfältig analysiert werden.

Metaphern dienen auch der Überzeugung des Lesers oder Betrachters. Eric Drexler, einer der Vordenker der Nanotechnologie, hat in seinem Buch *Engines of Creation* die wichtigsten Ideen der Nanotechnologie formuliert (Drexler, 1990; zur Nanotechnologie zwischen Wissenschaft und Sciencefiction siehe Milburn, 2002). Drexlers Ideen gründen auf der Vorstellung, Atome und Moleküle einzeln zu manipulieren und zusammensetzen zu können. Die Idee ist sehr einfach: Makroskopische Objekte wie «reife Erdbeeren oder Diamanten» bestehen aus Atomen, die in einer bestimmten Weise miteinander verbunden sind. Wäre es nicht fantastisch, wenn es kleine Maschinen gäbe, die solche und andere Objekte von Grund auf aus ihren Atomen aufbauen könnten? So könnte beispielsweise ein Baum auseinanderggebaut und als Diamant wieder zusammengesetzt werden. Drexler zeichnet dabei das Bild von Atomen als Kugeln, die sich mit Verbindungsstücken zusammensetzen lassen wie Kinderspielzeug (Drexler, 1990, S. 5):

“We can picture atoms as beads and molecules as clumps of beads, like a child’s beads linked by snaps. In fact, chemists do sometimes visualize molecules by building models from plastic beads (some of which link in several directions, like the hubs in a Tinkertoy set).”

Die Synthese von Molekülen wird zu einem Kinderspiel. Man greift nach den Kügelchen und steckt sie beliebig zusammen. Das Buch weist im ersten Kapitel eine der höchsten Dichten an Metaphern, Analogien, Vergleichen auf, die uns aus einer populärwissenschaftlichen Veröffentlichung bekannt sind. Drexler entwirft in seinem Buch wie Fritz Kahn in seinem Bild *Der Mensch als Industriepalast* (Abbildung 2, S. 37) ein durchgängig konsistentes Bild von makroskopischen Regeln und Strukturen der Alltagswelt auf molekularer Ebene. Wenn der Leser die Metaphern unbewusst wahrnimmt und sich auf die Beschreibung einlässt, kann er sehr leicht von der einfachen Machbarkeit der Technik überzeugt werden, auch wenn die Verhältnisse in Wahrheit viel komplizierter sind.

Visuelle Metaphern

Während es sich bei den sprachlichen Bildern um wissenschaftliche Denkbilder handelt, sind die visuellen Metaphern (Visual Metaphors, Pictorial Metaphors; zum Beispiel Brown, 2003) materielle wissenschaftliche Bilder, etwa auf Papier oder Leinwand. Die visuellen Metaphern haben im Gegensatz zu anderen wissenschaftlichen Bildern die Eigenheit, eine Sache nicht direkt abzubilden, sondern durch ein Bild einer anderen Domäne zu ersetzen. An die Stelle eines Auges tritt eine Kamera (Abbildung 2, S.37), statt eines Enzyms wird eine Schere (Abbildung 3, S.39), statt eines Atoms eine Kugel abgebildet (Abbildung 5, S.46). Die visuellen Metaphern sind Sehhilfen, indem sie abbilden, was nicht direkt darstellbar ist. Modellen gleich dienen sie als heuristisches Mittel zur Vorhersage, als (populäre) Veranschaulichung sind sie eine Erklärungs- und Verständnishilfe.

Zwischen sprachlichen und visuellen Metaphern gibt es Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Auch die visuellen Metaphern können nach dem Schema von Black interpretiert werden. Wenn ein Auge bildlich durch eine Kamera ersetzt wird, kann ebenfalls vom primären und sekundären Subjekt gesprochen werden. Die Übersetzung von Text in Bild geht oft mit einer Konkretisierung und Festlegung einher: Irgendeine Art, irgendein Typ von Kamera wird gezeichnet. Was in der Vorstellung dem Hörer überlassen wird, ist dann viel stärker bildlich definiert. Eine visuelle Mensch-Wolf-Metapher könnte einen Wolf mit blutiger Schnauze und einem grimmigen Ausdruck zeigen. Dadurch wird die Wahrnehmung expliziter. Der Ausdruck «Das Enzym schneidet die DNA» ist implizit-

metaphorisch. Die Darstellung einer Schere, die den Schnitt durchführt, ist in der Wahrnehmung explizit. Aus dieser expliziten Darstellung resultiert auch eine zeitliche Abhängigkeit. Während das Wort Kamera über unsere Vorstellung ein aktuelles Bild eines Fotoapparats erzeugt, ist eine gezeichnete Kamera zeitlich fixiert. Die Kamera, die Fritz Kahn in seinem Bild verwendet, ist heute veraltet (Abbildung 2). Ähnlich verhält es sich mit weiteren Komponenten seines Bildes. Das liegt daran, dass sich der Zeichner beim Bild auf eine bestimmte Kamera festlegen muss, was für einen Text nicht gilt. Das Wort kann seine Bedeutung frei über die Vorstellung entfalten. Obwohl das Bild ebenfalls über die Vorstellung gedeutet wird, wirkt es als Abbild doch immer auch direkt über die Ähnlichkeit zu einem Gegenstand. Auch bei der visuellen Metapher gilt die Einteilung in explizite und implizite Metaphern. Visuelle Metaphern enthalten häufig implizite, versteckte Metaphern. Dies gilt beispielsweise für die Metapher des «Stammbaums» oder die Einfärbung von Atomen (Rot für Sauerstoff, Weiss für Wasserstoff usw.).

Fallbeispiel I: *Der Mensch als Industriepalast*

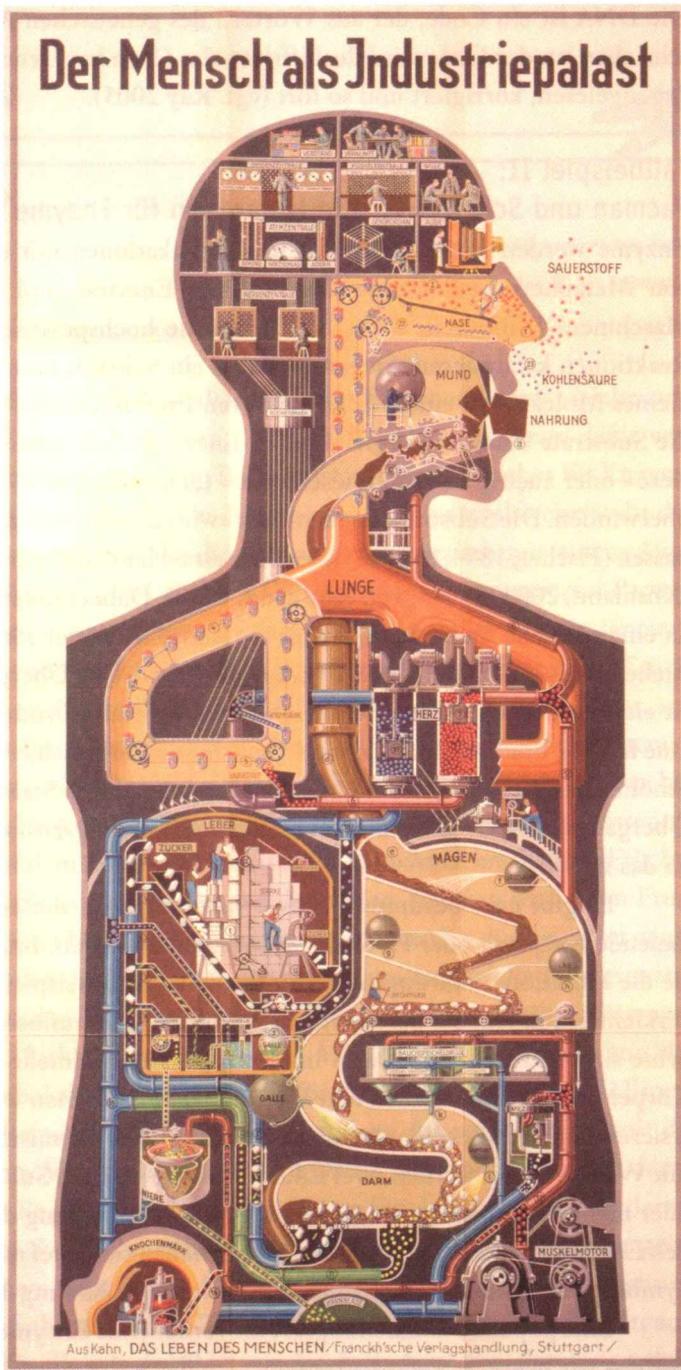
Das Bild überwältigt, fasziniert, irritiert. *Der Mensch als Industriepalast* (Abbildung 2, S. 37) ist die bekannteste Darstellung aus Fritz Kahns Lehrbuch *Das Leben des Menschen*; sie lag dem vierten Band des Buchs in Plakatformat bei. Der Arzt und Schriftsteller Fritz Kahn (1888–1968) hat seine populärwissenschaftlichen Lehrbücher zu Themen der Physiologie, Anatomie, Chemie und Biologie mit zahlreichen expliziten Metaphern und Analogien bebildert. Kahn war ganz offensichtlich davon überzeugt, dass Metaphern die beste Möglichkeit darstellten, Wissen anschaulich zu vermitteln. Das Bild erinnert an Jacques de Vaucansons mechanische Ente aus dem 18. Jahrhundert, die Getreide fressen und verdauen konnte. Gezeigt wird ein maschinell betriebener Mensch, der aus Zahnrädern, Röhren, Pumpen, Schaltkreisen, Düsen und Motoren besteht. Und doch funktioniert diese Maschine nicht vollautomatisiert: 21 Homunculi (strikt männlich) betreiben die Maschine. Vor allem im phrenologisch aufgeteilten Gehirn werden sie benötigt. Ob diese Helfermännchen wohl auch selbst Industriepalästchen sind, welche ihrerseits wieder Homunculi enthalten (und so weiter)?

Die Abbildung besteht aus einer Sammlung expliziter visueller Metaphern. Das Auge ist eine Kamera, die Speicheldrüse eine Düse, die

Leber ein Lagerraum, das Herz eine Pumpe. Und das nicht sprachlich, sondern tatsächlich. Die grosse Anzahl widerspiegelt Kahns verspielte Vorliebe für explizit-anschauliche Metaphern und Analogien. Die explizite Darstellung durch visuelle Metaphern hat die interessante Eigenschaft, uns eindrücklich die vielen Metaphern zu Teilbereichen des Körpers vor Augen zu führen, die in der Wissenschaft Verwendung finden. Die explizite Darstellung führt dazu, die Metaphern kritisch zu betrachten: Sollen alle diese Prozesse derart mechanistisch und reduktionistisch erklärt werden? Ist der Mensch eine Maschine? Die impliziten, konventionalisierten Metaphern haben diese Eigenschaft nicht und regen uns viel weniger dazu an, unsere Vorstellungen zu hinterfragen.

Der Mensch als Industriepalast eignet sich hervorragend, um die zeitliche Abhängigkeit von visuellen Metaphern und ganz allgemein von wissenschaftlichen Bildern zu zeigen. Die altertümliche Kamera als Auge, die analogen Anzeigetafeln, die manuelle Bedienung der Schalttafeln, die aus der Mode gekommene Kleidung der Männchen und die Sprechanlagen demonstrieren dies eindrücklich. Gäbe man heute einem Künstler den Auftrag, einen Menschen als Industriepalast (oder Maschine) darzustellen, müsste mit einem anderen Resultat gerechnet werden. Das Auge wäre dann vielleicht eine digitale Kamera, die Erinnerung eine Harddisk mit neuronalem Netz, die Nerven Glasfaserkabel – man vergleiche mit James Camerons *Terminator*. Kahns Metaphern sind jedoch nicht alle veraltet. Das Herz als «Pumpe» und der Kreislauf als «Röhrensystem» sind beide seit William Harvey geläufig und werden auch heute verwendet. Während der Inhalt der visuellen Metapher der Pumpe für das Herz konstant blieb, hat sich jedoch die Form seit Harvey verändert. Heute könnte man sich unter einer Pumpe ein miniaturisiertes, prozessorgesteuertes, batteriegetriebenes System vorstellen, früher benutzte man als Bild eine manuell betriebene Wasserpumpe. Die Metapher ist mittlerweile sogar zur technischen Wirklichkeit geworden: Kunstherzen werden herzkranken Menschen eingepflanzt, auch wenn sie das menschliche Herz noch nicht dauerhaft zu ersetzen vermögen.

Das Bild führt uns noch eine weitere Eigenschaft von Metaphern vor Augen, ihre Konsistenz. Metaphorische Konsistenz liegt vor bei einem in sich abgeschlossenen System von Metaphern, die alle in einem semantischen Rahmen zusammenpassen. Sie ist weitverbreitet. Ein Paradebeispiel ist wiederum die Textmetaphorik in der Molekularbiologie:



2 Der Mensch als Industriepalast (Kahn, 1923).

Die DNA ist ein Code, der aus Wörtern des genetischen Alphabets geschrieben ist, der Code wird dechiffriert, der Code hat Druckfehler, wird gegengelesen, korrigiert und so fort (vgl. Kay 2005).

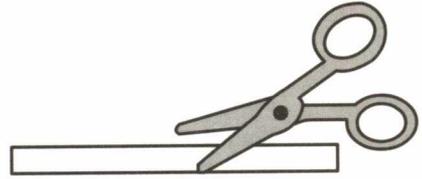
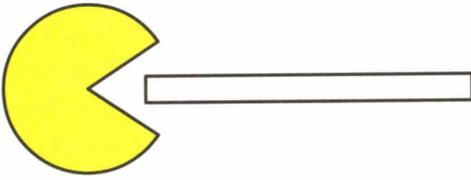
Fallbeispiel II:

Pacman und Schere, visuelle Metaphern für Enzyme

Enzyme werden in wissenschaftlichen Publikationen mit einer Vielfalt von Metaphern und Vergleichen erklärt: Enzyme sind «molekulare Maschinen» (Goodsell, 1994, S. 15), welche hochspezifisch chemische Reaktionen katalysieren. Sie setzen dabei ein Substrat (zum Beispiel ein kleines Molekül) zu einem oder mehreren Produkten um. Dazu müssen die Substrate einen «Energiehügel», «Energieberg», eine «Energiebarriere» oder auch eine «Energieschwelle» (Schroedinger, 1946, S. 88–89) überwinden. Die Substrate müssen dazu «wie ein Schlüssel in ein Schloss» passen (Fischer, 1894, S. 2992) oder «wie eine Hand in einen Handschuh» (Koshland, 2004, S. 447; vgl. Koshland, 1958). Dabei bindet das Substrat an eine spezielle Stelle des Enzyms, die Active Site oder Bindungstasche (siehe oben), und bildet einen Übergangszustand. Der Übergangszustand ist ein energetischer Zustand zwischen Substrat und Produkt und weist eine höhere Energie auf. Enzyme setzen diese Energieschwelle herab und erhöhen damit die Geschwindigkeit der Reaktion durch Stabilisierung des Übergangszustands. Das Substrat bindet im Übergangszustand am besten an das Enzym.

Es gibt eine bestimmte Klasse von Enzymen, die auch als «verdauende Enzyme» oder Hydrolasen bezeichnet werden. Im Darm haben sie die Funktion, Nahrungsmittelbestandteile, zum Beispiel Proteine, zu zerkleinern, indem sie deren chemische Bindungen auflösen. Diese Enzyme sind nicht auf den Darm limitiert, sie sind vielmehr ubiquitär im Körper verteilt und nehmen eine Vielzahl von Funktionen wahr. Sie katalysieren die Hydrolyse, das heißt die Spaltung einer chemischen Substanz mit Wasser. Dabei werden zwei Edukte, Wasser und ein Substrat, zu zwei oder mehreren Produkten umgesetzt. Für die Darstellung der verdauenden Enzyme in wissenschaftlichen Bildern haben sich zwei metaphorische Symbole etabliert, der Pacman und die Schere (Abbildung 3).

Eine populäre Darstellungsart für verdauende Enzyme ist das Symbol, das wir heute als Pacman kennen, eine der weltweit wohl bekanntesten Computerspielfiguren. Dabei wurde das Symbol bereits vor der Er-



3 Pacman und Schere, visuelle Metaphern für Enzyme.
Beide sind im Begriff, ein Substrat zu «zerschneiden».

findung von *Pacman* zur Visualisierung von Enzymen benutzt (siehe zum Beispiel bei Spector, Baltimore, 1975, S. 31). Wenn es heute dafür verwendet wird, dann als Pacman; Pacman ist zu einer Metapher für Enzyme geworden. In einem Artikel in *Nature* von 2004 beispielsweise steht der Pacman für ein verdauendes Enzym und ist zusätzlich mit einem Auge versehen (Tollervey, 2004, S. 457). Das legendäre Computerspiel *Pacman* wurde 1979 vom japanischen Spielautomatenhersteller Namco lanciert. Die Figur besteht aus einem gelben Kreis, aus dem ein dreieckiges Stück, das Maul symbolisierend, herausgeschnitten wurde. Der Erfinder soll dabei an eine Pizza gedacht haben. Im Spiel öffnet und schliesst Pacman sein Maul unablässig. Der Spieler hat die Aufgabe, ihn durch ein begrenztes Spielfeld zu steuern und ihn alle kleinen Rechtecke fressen zu lassen, die auf dem Spielfeld verteilt sind. Manchmal erscheinen Früchte im Spielfeld, die auch gefressen werden sollen. Pacman wird beim Fressen durch Geister behindert, die nicht berührt werden dürfen, es sei denn, er hat zuvor eine der magischen Kugeln gefressen, welche in begrenzter Anzahl vorhanden sind. Diese Beschreibung macht es deutlich: Pacmans auffälligstes Merkmal ist das Fressen. Was bedeutet es nun, wenn das Pacman-Symbol als visuelle Metapher für Enzyme verwendet wird? Einerseits steht Pacman für Fressen und Verdauen. Er verkörpert damit die Funktion eines Verdauungsenzyms im Darm, das Nahrungsmittel durch wiederholtes Beissen oder Fressen in kleine Stücke zerkleinert. Andererseits wird das Symbol aber auch dann verwendet, wenn es darum geht, einen einzelnen, spezifischen Schnitt zu symbolisieren. Das Maul schneidet dann das Substrat in zwei Teile und führt eigentlich einen Schnitt aus, eine Symbolik, die wie erwähnt vor die Erfindung von *Pacman* zurückreicht. Es besteht also eine Diskrepanz zwischen den Assoziationen des

auffressenden Pacmans und der ursprünglichen Intention der Figur, die eher die Funktion einer Schere vermitteln wollte. Streng genommen hinkt nämlich der Vergleich der Funktion von Pacman und Enzym, weil Pacman seine «Substrate» nicht auseinanderbeisst, sondern auffrisst und ohne Überreste verschwinden lässt, während das Enzym aus einer Einheit zwei oder mehrere hervorbringt. Auch der Vergleich mit dem Maul hinkt, welches das Substrat durch die Bewegung der Kiefer auseinander-schneidet. Ein Enzym stabilisiert einen Übergangszustand und ermöglicht so eine chemische Reaktion. Es findet keine mechanische Bewegung statt, bei der das Peptid aktiv durch zwei Untereinheiten des Enzyms auseinander-geschnitten würde.

Eine weitere visuelle Metaphern für verdauende oder «schneidende» Enzyme ist die Schere (eines von vielen Beispielen findet sich bei Waugh, 2005, S. 319). Scheren bestehen aus zwei Blättern, die sich durch Bewegung an einer Schraube oder an einem anderen Verbindungsstück gegeneinander verschieben lassen. Die Bewegung wird mit den Fingern einer Hand ausgeführt, welche sich in den sogenannten Augen der Schere befinden. In der Regel ist eines der Blätter geschliffen, eines ungeschliffen. Scheren dienen dazu, Dinge zu zerschneiden oder etwas auszu-schneiden. Das Bild einer Schere ruft deshalb primär die Assoziation des «Schneidens» hervor. Die Schere zerteilt eine Einheit in zwei oder mehrere Teile, sie führt in der Regel einen definierten, klaren, spezifizierten Schnitt an einer bestimmten Stelle aus. Als Metapher für Enzyme zeigt die Schere die Funktion des Enzyms, das Substrat an einer definierten Stelle zu zerteilen. Scheren können sogar wie Enzyme für ihre Substrate spezifisch sein (Papier, Haare, Plastik usw.). Die Analogie betrifft allerdings auch hier nicht den Vorgang des Schneidens: Die sich zueinander bewegenden Scherenblätter reflektieren in keiner Weise den Mechanismus des Übergangszustandes einer enzymatischen Reaktion.

Der Vergleich zweier visueller Metaphern für Enzyme zeigt, wie unterschiedliche Metaphern unterschiedliche Eigenschaften eines Sach-verhalts hervorheben, Pacman das unspezifische Fressen, die Schere den spezifisch teilenden Schnitt. Darüber hinaus wird deutlich, dass Meta-phern nicht in allen Eigenschaften stimmig sein müssen und dass dies sogar für zentrale Elemente gilt. So funktioniert der Mechanismus des «Schneidens» beim Enzym in ganz anderer Weise als bei der Schere oder beim Pacman. Schliesslich ist die Qualität einer Metapher auch von äus-

seren Faktoren abhängig. Die Belegung des Kreissymbols durch die Spielfigur Pacman hat die Bedeutung des sekundären Subjekts so verändert, dass sich die Metapher vom Schneiden zum Fressen verschoben hat.

Fazit

Unserer Ansicht nach erfordern die sprachlichen Bilder in der Wissenschaft eine bewusste Wahrnehmung und Anwendung. Wir haben gesehen, dass Metaphern einen Sachverhalt organisieren, also einiges hervorheben und anderes unterdrücken. Die bewusste Auswahl einer Metapher ermöglicht es, einen Sachverhalt so darzustellen, wie wir es beabsichtigen, und unterstützt uns bei seiner Kommunikation. Wechseln wir die Metapher, hilft es uns, unsere Ansichten zu überprüfen, indem wir einen Sachverhalt aus einer anderen Perspektive betrachten.

Metaphern sind ein hervorragendes Überzeugungsmittel, insbesondere dann, wenn sie innerhalb eines konsistenten metaphorischen Visualisierungssystems verwendet werden. Häufig lässt sich die Populärwissenschaft an ihrer Metaphernfülle erkennen. Dass etwas bildlich einleuchtend und stimmig präsentiert wird, bedeutet allerdings nicht, dass es auch wahr ist. Eine bewusste Wahrnehmung ermöglicht es uns, Scheinargumente zu erkennen und zu hinterfragen. Zugleich werden wir unsere eigenen Metaphern überprüfen. Soll zum Beispiel «Krieg» gegen Mikroben geführt werden? Mit sprachlichen Waffen aus dem Golfkrieg? In solchen Fällen ist es trotz der wichtigen Funktionen der Metaphern in der Wissenschaft besser, etwas wörtlich und sachlich zu beschreiben.

2. Modelle

Vorsicht, macht blind.

Titel einer Skulptur eines molekularen Modells von Methanol an der Hochschule für Gestaltung und Kunst in Basel.

Der Begriff Modell hat in der Wissenschaft unterschiedliche Bedeutungen. Das Molekülmodell aus Plastik gestattet Schülern und Studierenden den einfachen Zugang zu unsichtbaren chemischen Strukturen und hilft beim Erkunden struktureller Eigenschaften. Eine mathematische Formel beschreibt den Zerfall einer Tablette im Darm und erlaubt Vorhersagen über neue Arzneiformen. Die Sonnensystem–Atom-Analogie hilft beim Verständnis des Aufbaus der Atome. Allen diesen Modellen ist gemein, dass sie interpretierende Beschreibungen eines Phänomens oder Objekts sind und den Zugang zu diesem Phänomen erleichtern (Definition nach Bailer-Jones, 2002a, S. 108). Zur Einteilung werden Modelle mit vielerlei Adjektiven versehen. So wird in der Literatur zum Beispiel von massstäblichen, gegenständlichen, wörtlichen, mathematischen, formalen, analogen oder metaphorischen Modellen gesprochen. Zu einer besseren Übersicht können sie in *gegenständliche* und *theoretische* Modelle unterteilt werden, die sich weiter klassifizieren lassen. Dabei ist zu beachten, dass häufig Überschneidungen vorliegen. So kann ein gegenständliches Modell in der Regel auch theoretische Aspekte umfassen.

Gegenständliche Modelle

Manche Modelle sind Objekte, zum Beispiel das Modellhaus aus Karton im Architekturbüro oder die vergrösserte Stechmücke zu Demonstrationzwecken beim Facharzt für Reisemedizin. Solche Modelle sind in der Regel massstäblich, das heisst, ihre Grössenverhältnisse sind proportional skaliert. Das Modellhaus ist ein Beispiel für eine Verkleinerung des Originals, die Stechmücke ein Beispiel für eine Vergrösserung. Dazwischen liegt der Spezialfall: Modelle können identisch gross sein wie das Original, zum Beispiel ist dies bei anatomischen Modellen aus Plastik der Fall.

Wie hinsichtlich der Grösse gibt es auch bei der Funktion und den Eigenschaften eines gegenständlichen Modells in Bezug auf das Original Unterschiede. Modelle können dem Original sehr nahe kommen, bisweilen sind sie bis auf wenige Unterschiede identisch: Als der Mars Exploration Rover *Opportunity* im Mai 2005 auf dem Mars im Sand steckenblieb, benutzte die NASA ein gleichartiges Fahrzeug auf der Erde, um in umfangreichen Tests in einer Modellumgebung eine Lösung des Problems zu finden (die auch gefunden wurde). Allein die örtliche Differenz zwischen dem Rover auf dem Mars und demjenigen auf der Erde war der Grund, in diesem Fall von einem Modell zu sprechen.

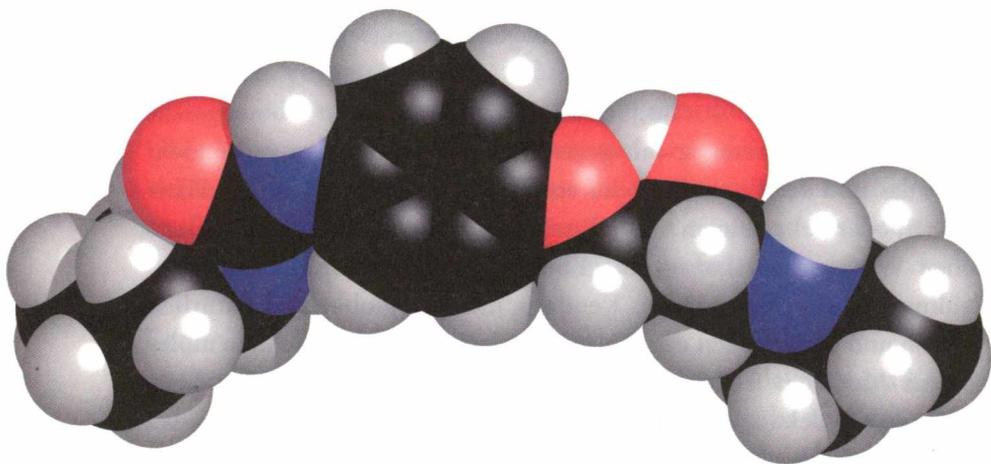
Meist sind Modelle jedoch einfacher oder abstrakter als die Originale, weil gerade dies die Voraussetzung ist, um ein komplexes wissenschaftliches Problem zu lösen. Ein Modell ist meist von geringem Nutzen, wenn es von der gleichen Komplexität wie das Original ist.

Die Unterschiede zwischen Modell und Original haben weitreichende Konsequenzen: Das Modellhaus kann nicht bewohnt werden, die grosse Stechmücke kann nicht fliegen, und das Organ aus Plastik lebt nicht. Wenn es aber das Ziel ist, vom Modell auf das Original Rückschlüsse zu ziehen, müssen diese Unterschiede berücksichtigt werden. Wir werden noch sehen, wie sie einbezogen werden.

Beispiel: Gegenständliche Modelle von Molekülen

Chemiker sind untrennbar mit gegenständlichen Modellen verbunden. So ist das Bild des Chemikers, der ein molekulares Modell in den Händen hält oder neben einem Modell steht, ein zentrales Element der westlichen Wissenschaftsikonografie. Einige bekannte Beispiele sind etwa Pauling mit der Alpha-Helix, Kendrew mit Myoglobin und natürlich Watson und Crick neben der DNA (eine detaillierte Übersicht zu molekularen Modellen findet sich bei Francoeur, 1997). Unterschiedliche Typen von molekularen Modellen, welche als Metaphern unterschiedliche Eigenschaften der Moleküle hervorheben, haben sich durchgesetzt (Abbildung 5, S. 46). Beim Kugel-Stab-Modell werden die Atome durch kleine Kugeln ersetzt und die Bindungen zwischen den Atomen durch Stäbe. Die Radien der Kugeln sind nicht direkt proportional zu den Atomradien, sondern kleiner. Die Betonung liegt hier vor allem auf der Geometrie der Bindungen. Werden die Kugeln weggelassen, so dass nur die Stäbe, die die Bindungen darstellen, übrig bleiben, wird von Wireframe

Model (Drahtgittermodell) oder Skeletal Model gesprochen. Bei CPK-Modellen (auch Kalottenmodelle, Scale Models, Space-Filling Models genannt) werden die Atome durch Kugeln ersetzt, die direkt proportional zu den Radien der Atome sind. Die Kugeln bestehen in der Regel aus Holz oder Plastik und sind nach bestimmten Konventionen eingefärbt. So ist zum Beispiel Kohlenstoff schwarz, Sauerstoff rot und Wasserstoff weiss. Atome in einem Molekül sind miteinander mit einer oder mehreren Bindungen verbunden. Bestimmte Elemente gehen gemäss ihrer Valenz unterschiedlich viele Bindungen ein. Wenn ein Kohlenstoffatom über vier einfache Bindungen mit umliegenden Atomen verknüpft ist, geht es vier Bindungen mit einer tetrahedralen Anordnung der Bindungspartner ein. Im Kalottenmodell wird die Verbindung so erreicht, dass die Kugeln dort, wo die Atome Bindungen eingehen, abgeschragt werden. So treffen zwei Flächen aufeinander, die miteinander mittels eines Verbindungsstücks verbunden werden können. Das verwendete Verbindungsstück ist beim fertigen Modell dann kaum oder gar nicht mehr sichtbar.



4 CPK-Modell des blutdrucksenkenden Medikaments

Talinolol. Die Elemente sind wie folgt eingefärbt:

Kohlenstoff schwarz, Wasserstoff weiss, Sauerstoff rot,

Stickstoff blau. Dieses Bild ist computergeneriert

und hält sich an die Darstellungskonventionen gegen-

ständlicher Modelle.

Die Ursprünge der Kalottenmodelle liegen in den dreissiger Jahren des 20. Jahrhunderts. Herbert Arthur Stuart und Joseph Hirschfelder hatten die ersten Bausätze entworfen. Bekannter sind heute vor allem die CPK-Modelle, benannt nach Robert Corey, Linus Pauling und Walter Koltun (Corey, Pauling, 1953; Koltun, 1965). Corey und Pauling begannen mit der Arbeit an den ersten, sogenannten CP-Modellen nach dem Zweiten Weltkrieg am California Institute of Technology. Die Modelle begleiteten ihre Untersuchungen zur Struktur der Proteine. 1950 und 1951 publizierten Corey und Pauling insgesamt neun Artikel mit den Resultaten zur Proteinstruktur – insbesondere der Alpha-Helix und des Beta-Faltblatts (die Struktur der Proteine wird im Kapitel II.1 genauer erläutert). Ihre CP-Modelle spielten bei der Aufklärung der räumlichen Anordnung der Proteine eine wichtige Rolle: «In this study our molecular models have been of great assistance, especially in the recognition of sterically probable configurations of the polypeptide chain and the rejection of sterically improbable ones» (Corey, Pauling, 1953, S. 621). Die CP-Modelle wurden vor allem durch Pauling selbst popularisiert, der gerne mit ihnen auf Fotografien posierte oder sie in Vorlesungen vorzeigte. Pauling hatte die Grundidee für die Struktur der Alpha-Helix schon Ende der vierziger Jahre, als er mit einer Erkältung einige Tage im Bett verbrachte. Er kolportierte folgende Geschichte über diese bahnbrechende Entdeckung (Pauling, zitiert aus Eisenberg, 2003, S. 11209):

“I didn’t have any molecular models with me in Oxford but I took a sheet of paper and sketched the atoms with the bonds between them and then folded the paper to bend one bond at the right angle, what I thought it should be relative to the other, and kept doing this, making a helix, until I could form hydrogen bonds between one turn of the helix and the next turn of the helix, and it only took a few hours of doing that to discover the α -helix.”

Paulings und Coreys erfolgreiche Verwendung von Modellen bei der Aufklärung molekularer Strukturen beeinflusste auch Watson und Crick bei der Strukturaufklärung der DNA entscheidend (Struktur der DNA vgl. Abbildung 13, S. 77). Dazu die vielzitierte Aussage von Watson (Watson, 1969, S. 78):

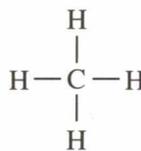
«Der Schlüssel zu Paulings Erfolg war sein Vertrauen auf die einfachen Gesetze der Strukturchemie. Die Alpha-Spirale war nicht durch ewiges Anstarren von Röntgenaufnahmen gefunden worden. Der entscheidende Trick bestand vielmehr darin, sich zu fragen, welche Atome gern nebeneinander sitzen. Statt Bleistift und Papier war das wichtigste Werkzeug bei dieser Arbeit ein Satz von Molekülmodellen, die auf den ersten Blick dem Spielzeug der Kindergarten-Kinder glichen. Wir sahen also keinen Grund, warum wir das DNS-Problem nicht auf die gleiche Weise lösen sollten.»

Wie für Pauling war das Modell auch für Watson und Crick ein Mittel, um mit gegenständlichen Objekten auf molekularer Ebene zu experimentieren. Damit konnte ausgekundschaftet werden, welche Strukturen sterisch möglich und sinnvoll waren. Wie bei einem Puzzle konnten modulare Bausteine gemäss bestimmten experimentellen und theoretischen Regeln miteinander kombiniert werden. Als Watson schliesslich zur Erkenntnis der Basenpaarung über Wasserstoffbrücken gelangte und damit den Schlüssel zur Aufklärung der Struktur in der Hand hielt, stellte er fest: «Wir wussten jedoch beide, dass wir nicht am Ziel waren, bevor wir nicht ein vollständiges Modell gebaut hatten, in dem alle stereochemischen Kontakte einwandfrei waren» (Watson, 1969, S. 244). Das Modell war für die Untersuchung der Struktur nicht nur Illustration, sondern ein not-

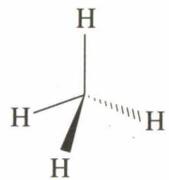
5 Molekulare Modelle von Methan. Die Bilder der unteren Spalte verwenden die Darstellungskonventionen gegenständlicher Modelle.



Summenformel



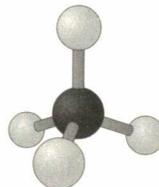
Strukturformel



Keilstrich-Zeichnung



Wireframe-Modell



Kugel-Stab-Modell



CPK-Modell

wendiges Werkzeug. Dies galt allerdings nur so lange, bis es stimmig zusammengesetzt, berechnet und vermessen war. Wie beim Puzzle, das richtig zusammengesetzt ein schönes Bild ergibt, stand nun die Anschauung im Vordergrund. Nach dem Stadium des Experimentierens und Theoretisierens verwendeten Watson und Crick das Modell vor allem zum Zweck der Demonstration und als Überzeugungshilfe.

Den Bausteinen kommt bei den molekularen Modellen eine wichtige Rolle zu. Sie bestimmen, welche Atome in welcher Geometrie und in welchen Grössenverhältnissen miteinander verknüpft werden können. Sie beruhen auf experimentellen Befunden und theoretischen Schlussfolgerungen. Die resultierenden Modelle sind Hypothesen, Annahmen und Theorien, die zu konkreten Gegenständen geworden sind. Einiges an ihnen mag falsch oder widersprüchlich sein. Diese Tatsache geht sehr einfach vergessen, wenn man ein gegenständliches, reales Objekt in den Händen hält. Zwischen der Realität des Objekts und der Realität des Originals besteht zuweilen eine grosse Kluft. Die ersten Modelle von Corey und Pauling zum Beispiel waren alles andere als perfekt: Sie wiesen fachliche und technische Mängel auf und waren sehr teuer (Platt, 1960; Koltun, 1965). Im Jahr 1960 trat eine Expertengruppe unter der Leitung des National Institute of Health zusammen, der auch der Biophysiker Walter Koltun angehörte. Ziel dieser Expertengruppe war die Modifikation und Standardisierung der bestehenden CP-Modelle sowie die verbilligte Produktion. Die neuen Modelle wurden von Koltun 1965 beschrieben und erhielten den Namen New Corey-Pauling Space-Filling Models with Koltun Connectors oder abgekürzt Corey-Pauling-Koltun-/CPK-Modelle (Koltun, 1965). Um die fachliche Richtigkeit waren führende Wissenschaftler besorgt (Francoeur, 1997).

Gegenständliche Modelle und wissenschaftliche Bilder

Wissenschaftliche Illustratoren benutzen gegenständliche Modelle als Hilfsmittel oder Vorlage zur Erstellung von Bildern (Chase, 2003). Teils werden dafür eigens Modelle aus verschiedenen Materialien konstruiert, zum Beispiel aus Ton, Wachs, Plastik oder Metallen. Ein Modell kann auch durch das Abgiessen eines Objekts erzeugt werden. Teils greift man auf bestehende Modelle, zum Beispiel in Museen, zurück. Die Verwendung von Modellen bringt verschiedene Vorteile. Wird ein Modell entsprechend positioniert und beleuchtet, erleichtert es das naturalistische

Zeichnen resp. Malen. Die Licht-Schatten-Verhältnisse, die Perspektive und die Grössenverhältnisse können so vom Modell übernommen werden. Modelle werden aber auch häufig verwendet, wenn komplizierte Strukturen oder Unsichtbares gezeichnet werden soll, wie zum Beispiel in der Molekularbiologie. Der wissenschaftliche Illustrator George V. Kelvin, der in der achtziger Jahren unter anderem zwei einflussreiche Illustrationen des HI-Virus (HIV, Human Immunodeficiency Virus) erstellt hat, machte häufig Gebrauch von Modellen und hat ihre Verwendung auch in einem Buch beschrieben (Kelvin, 1992). Weiss man von diesem Umstand, so erkennt man in seinen Bildern die verwendeten Hilfsmittel: gebogene Drähte für die Nukleinsäuren und Ping-Pong-Bälle für Proteine (siehe Abbildung 23, S. 95).

Die diskutierten Molekülmodelle der Chemie, zum Beispiel das Kugel-Stab-Modell oder das CPK-Modell, dienen oft als Vorlagen für Bilder. Besonders erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang der Illustrator Irving Geis. Geis prägte über Jahrzehnte die naturalistische Darstellung von Proteinen und Nukleinsäuren. Er arbeitete ab 1948 beim *Scientific American* als Illustrator und wurde schnell dafür bekannt, dass er sich an schwierige Projekte wagte, vor denen andere Illustratoren zurückschreckten. Aus diesem Grund wurde Geis angefragt, als es darum ging, einen Artikel von John Kendrew über Myoglobin zu illustrieren (Gaber, Goodsell, 1997). John Kendrew hatte die Struktur dieses Proteins nach jahrelanger Forschung 1959 aufgeklärt und ein Drahtmodell davon gebaut. Myoglobin ist ein Protein mit ähnlicher Funktion und Struktur wie das Hämoglobin der roten Blutkörperchen und für die Sauerstoffversorgung von Muskeln verantwortlich. Es besteht aus 153 Aminosäuren oder circa 2500 Atomen, die auf bestimmte Weise im Raum angeordnet und miteinander verbunden sind. Geis fertigte seine Illustration nach Fotografien von Kendrews Modell 1961 an. Für die Fertigstellung der Illustration benötigte er sechs Monate und schuf einen Meilenstein in der Visualisierung von Proteinen. Geis' Darstellungsform von Myoglobin und Hämoglobin (dessen Illustration er später ebenfalls von einem gegenständlichen Modell ausgehend schuf) sind heute immer noch in Lehrbüchern in Gebrauch. Es ist interessant, den Weg von der damaligen Illustration zur heutigen Lehrbuchdarstellung nachzuvollziehen: Die «neuen» Lehrbuchdarstellungen sind Nachzeichnungen von Geis' Gemälden, für die eine Fotografie eines gegenständlichen Modells als

Vorlage diene. Das gegenständliche Modell seinerseits war aus instrumentellen Messungen und Berechnungen gewonnen worden. Während Geis' Bilder von chemischen Strukturen und Proteinen von Hand zeichnete und malte, werden heute solche Bilder vor allem mit Hilfe des Computers berechnet, wie zum Beispiel jenes des pharmazeutischen Wirkstoffs in Abbildung 4 (S. 44). Damit ist die zweite Möglichkeit aufgezeigt, wie aus gegenständlichen Modellen wissenschaftliche Bilder entstehen können. Die Darstellungsformen der berechneten Modelle am Computer sind keineswegs neu: Es werden die alten Darstellungsformen der ehemals gegenständlichen Modelle weiterverwendet.

Wir haben versucht zu verdeutlichen, dass gegenständliche Modelle einen grossen Einfluss auf die Erstellung von wissenschaftlichen Bildern und die Entstehung von Darstellungskonventionen hatten und haben. Viele Bilder der Molekularbiologie und der Chemie, die in wissenschaftlichen Publikationen Verwendung finden, sind eigentlich direkte oder indirekte Abbilder gegenständlicher Modelle oder verwenden deren Darstellungskonventionen.

Theoretische Modelle

Nun ist die Mehrzahl der Modelle in der Wissenschaft nicht gegenständlich, sondern theoretisch-abstrakt. Zu diesen werden unter anderem die metaphorischen, die analogen und die mathematischen Modelle gezählt. Auch hier bestehen unter den verschiedenen Kategorien Verbindungen und Überschneidungen. So können etwa mathematische Modelle Analogien beinhalten. Welches sind die Eigenschaften von theoretischen Modellen und wie unterscheiden sie sich von den gegenständlichen? Wie stehen die theoretischen Modelle mit den wissenschaftlichen Bildern in Zusammenhang?

Beispiel: Ein mathematisches Modell des radioaktiven Zerfalls

Ein Beispiel eines theoretischen Modells liefert uns der radioaktive Zerfall von Isotopen. Isotope sind chemische Elemente, die sich in der Anzahl Neutronen im Atomkern unterscheiden. Die Anzahl an Protonen und Elektronen von verschiedenen Isotopen eines Elements ist identisch. Von Kohlenstoff existieren beispielsweise die Isotope ^{12}C und ^{14}C , die sich lediglich durch zwei Neutronen unterscheiden. Die erhöhte Anzahl Neutronen hat Auswirkungen auf die Stabilität: Das radioaktive Isotop ^{14}C

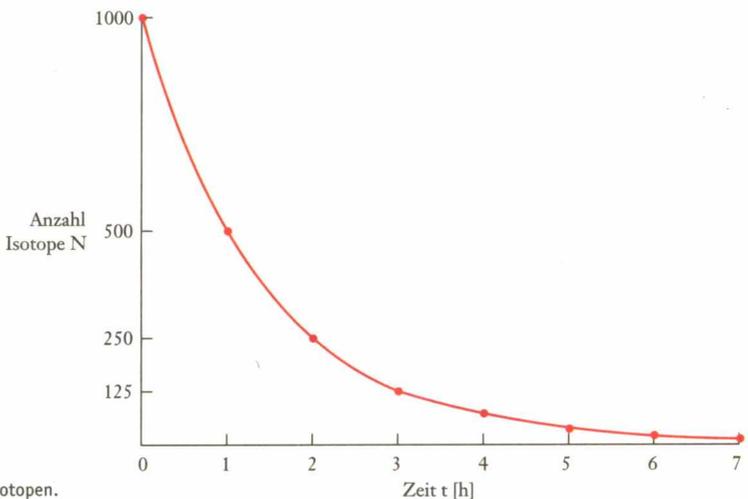
zerfällt unter Abgabe von Energie in ein anderes Element, nämlich Stickstoff ^{15}N .



Im Falle von ^{14}C verläuft dieser Prozess relativ langsam. Die vorhandene Menge Kohlenstoff-14 wird ungefähr alle 5500 Jahre halbiert. Man spricht deshalb von einer Halbwertszeit ($t_{1/2}$) von 5500 Jahren. Diese kann bei anderen Isotopen nur Sekunden oder aber Milliarden von Jahren betragen. Ein Beispiel für ein Isotop mit einer sehr langen Halbwertszeit ist Uran-238. Sie beträgt etwa 4,5 Milliarden Jahre. Der radioaktive Zerfall wird mit einem mathematischen Modell beschrieben, das auf Ernest Rutherford und seinen Assistenten Frederick Soddy zurückgeht (Rutherford, Soddy, 1902). Sie hatten den Zerfall von radioaktiven Elementen gemessen und die Intensität der Radioaktivität grafisch dargestellt. So wurde deutlich, dass die Radioaktivität unabhängig von äusseren Einflüssen in Funktion der Zeit abnahm. Jedes Isotop hat zu jedem Zeitpunkt dieselbe Wahrscheinlichkeit zu zerfallen. Daraus liess sich das folgende einfache mathematische Modell gewinnen:

$$N(t) = N_0 e^{-kt}$$

Das Modell geht von einer initialen Anzahl Isotope N_0 aus. Bei fortschreitender Zeit t nimmt die Anzahl Isotope durch radioaktiven Zerfall ab. Die Menge der Isotope, die in einer bestimmten Zeitspanne zerfallen,



6 Radioaktiver Zerfall von Isotopen.

ist zu jeder Zeit der Menge der noch nicht zerfallenen Isotope proportional. Daraus resultiert eine exponentielle Abnahme der Anzahl Isotope (Abbildung 6). Die Geschwindigkeitskonstante k determiniert die Geschwindigkeit des Zerfalls. Aus k kann auch die Halbwertszeit $t_{1/2}$ berechnet werden (und umgekehrt):

$$t_{1/2} = \ln 2 / k = 0.693 / k$$

In der ersten Halbwertszeit zerfällt die Hälfte der initialen Anzahl Isotope N_0 . Mit jeder weiteren Halbwertszeit zerfällt die Hälfte der noch vorhandenen Isotope. Beim Beispiel in Abbildung 6 beträgt die Halbwertszeit eine Stunde und die initiale Anzahl Isotope N_0 1000. Nach einer Stunde enthält die Probe noch 500 Isotope, nach zwei Stunden (= zwei Halbwertszeiten) noch 250 Isotope und so fort.

Welche Eigenschaften hat ein solches mathematisches Modell? Zunächst eröffnet es die Möglichkeit zu *Vorhersagen* hinsichtlich des originalen Sachverhalts. Wenn die Halbwertszeit bekannt ist, können wir am Modell ablesen, wie lange es dauern wird, bis eine bestimmte Menge eines radioaktiven Materials zerfallen ist. Dazu muss das Modell allerdings *valid* sein, das heisst, das Modell muss dieselben oder vergleichbare Aussagen wie das Original liefern. Dies kann mittels einer *Validierung* getestet werden. Im Fall des Modells des radioaktiven Zerfalls können Vorhersagen direkt an einem Original mit kurzer Halbwertszeit getestet werden. Rutherford hatte solche Validierungen durchgeführt und experimentelle und berechnete Werte miteinander verglichen. Diese Werte lassen sich mit statistischen Methoden analysieren. So wird eine Aussage über die Validität des Modells möglich.

Das mathematische Modell des radioaktiven Zerfalls ist höchst abstrakt und konzentriert sich auf wenige Teilaspekte der Isotope und ihrer Radioaktivität, während eine ganze Reihe anderer Aspekte ignoriert werden. Das Modell macht keinerlei Aussagen über den nuklearen Mechanismus des Zerfalls, die Art der freigesetzten Energie oder deren Folgen für die Gesundheit des Menschen. Ja, es ist sogar unabhängig vom Isotop selbst! Mit einem derartigen Modell können daher auch alle Prozesse beschrieben werden, die nach demselben Prinzip funktionieren. In der Pharmakologie zum Beispiel wird exakt dasselbe Modell verwendet, um den Prozess der Aufnahme (der Absorption) von Arzneimitteln aus dem Darm ins Blut zu beschreiben. Hier wird von einer bestimmten initialen Anzahl

Moleküle im Darm ausgegangen, die mit einer bestimmten Geschwindigkeit vom Darm ins Blut transportiert werden. Es liegt eine Analogie auf der Ebene der Geschwindigkeit vor, obwohl oberflächlich betrachtet die zwei Domänen Radioaktivität und Arzneimittelabsorption nicht unterschiedlicher sein könnten. Mit der Abstraktion geht auch eine gewisse *Idealisierung* einher. Das Modell wurde ausgehend von instrumentellen Messungen erstellt, bei denen einzelne Punkte der Kurve gewonnen und mathematisch idealisiert beschrieben wurden. Die mathematische Funktion ist eine Annäherung an die Messergebnisse – oder umgekehrt: «The activity (...) decreases very approximately in a geometrical progression with the time» (Rutherford, Soddy, 1902). Eine Messung des radioaktiven Zerfalls oder der Arzneimittelabsorption wird selten oder nie eine idealtypische Abbildung wie in Abbildung 6 ergeben. Das liegt daran, dass durch die Abstraktion nicht alle Parameter berücksichtigt werden.

Theoretische Modelle und wissenschaftliche Bilder

Welchen Zusammenhang gibt es zwischen theoretischen Modellen und wissenschaftlichen Bildern? Etablierte theoretische Modelle sind verknüpft mit bestimmten kanonischen Bildern¹, sie sind sozusagen von einer kanonischen Bildsphäre umgeben (Tabelle 2).

Im Falle des radioaktiven Zerfalls ist das am häufigsten verwendete Bild das errechnete Diagramm der mathematischen Funktion (Abbildung 6). Von diesem Diagrammtypus existieren zahlreiche Varianten, die in den Grundzügen immer sehr ähnlich bleiben. In der Regel wird die exponentiell absinkende Kurve in Halbwertszeiten gegliedert. Bei der Kurve handelt es sich um eine Idealisierung. Diagramme von Messergebnissen werden hingegen seltener dargestellt. Neben den logischen Bildern wie den Diagrammen finden auch schematische und naturalistische Bilder Verwendung. Um die mathematische Funktion anschaulich – ohne Formeln und Diagramme – verständlich zu machen, werden die Isotope als eine Anzahl Kreise dargestellt, die ihre Farbe von Bild zu Bild – dem Zerfall während der Halbwertszeit entsprechend – ändern, so dass am Schluss nur noch wenige oder keine der ursprünglichen Isotope vorhanden (eingefärbt) sind, sondern nur noch die aus ihnen entstandenen Produkte.

¹ Dieser Begriff für Standardbilder der Wissenschaft wird in einem späteren Kapitel näher erläutert.

Tabelle 2

Die kanonische Bildsphäre des radioaktiven Zerfalls

-
1. Logische Bilder
 - 1.1 Diagramme
 - errechnete Diagramme der mathematischen Funktion (Zerfallskurve)
 - Rutherfords Messergebnisse
 - erweitert: Stabilität der Isotope in Abhängigkeit von Anzahl Protonen und Neutronen
 - 1.2 Charts
 - Zerfallskarten
 - erweitert: Radiocarbon-Methode
 2. Schematische und naturalistische Bilder
 - didaktische Darstellungen des Zerfalls: quantitative Darstellungen des Zerfalls
 - Rutherfords Messgeräte
 - erweitert: Atomkern mit Strahlung und Partikeln
 3. Fotografien
 - Personen: Ernest Rutherford, Henri Bequerel, Marie und Pierre Curie
 - Labors, Laborgeräte
 - erweitert: Atomkraftwerk, Atombombe, Tschernobyl
 4. Chemische Strukturen und Reaktionen, Formeln
 - Umsetzung der Isotope in Zerfallsprodukte
 - Formeln
 5. Kombinationen
 - Kombinationen aus Diagramm und schematischem Bild
-

Genauso wie eine mathematische Funktion statt mit einer Formel auch mit Worten beschrieben werden kann, kann ein Diagramm auch mit einem schematischen Bild erklärt werden. Diese Art der Darstellung findet sich naturgemäss vor allem in Lehrbüchern oder in der Populärwissenschaft. In Lehrbüchern sind auch Fotografien (zum Beispiel ein Porträt Rutherfords), Darstellungen chemischer Formeln und Reaktionen oder Kombinationen dieser Bildtypen gebräuchlich.

Alle diese Bilder gehören zum inneren Kreis der kanonischen Darstellungen des Modells radioaktiver Zerfall. Dazu kommt ein erweiterter

Kreis von Bildern, bei denen sich wiederum logische, schematische und naturalistische Bilder, Fotografien, Darstellungen chemischer Strukturen und deren Kombinationen unterscheiden lassen. Zu diesem erweiterten Kreis gehören zum Beispiel schematische Bilder, die den Mechanismus des Zerfalls zeigen, aber auch Bilder von Atomkraftwerken.

Es lässt sich allgemein zeigen, dass theoretische Modelle von einer *kanonischen Bildsphäre* umgeben sind. Diese umfasst Bilder, die sich in unterschiedlich starkem Ausmass auf das Modell beziehen. Dabei haben die Bilder eine ganze Reihe unterschiedlicher Funktionen, nicht zuletzt auch emotionale.

Das Tier als Modell: Der durchsichtige Frosch

In der Schweiz werden jedes Jahr über eine halbe Million Tiere für Tierversuche verwendet, davon etwa neunzig Prozent Mäuse und Ratten. Mit gemischten Gefühlen werden sich einige von uns daran erinnern, selbst einmal einen Tierversuch durchgeführt zu haben. Im Biologieunterricht liess man die Schüler früher häufig Frösche sezieren, um ihnen ein Gefühl für die Anatomie zu vermitteln. Man kann sich fragen, weshalb für diesen Zweck immer wieder der Frosch, ein Amphibium, gewählt wurde. Weshalb nicht ein Säugetier, das dem Mensch evolutionär nähersteht?

Ein Grund liegt in der geschichtlichen Bedeutung des Froschs als Versuchstier. Er war im 19. Jahrhundert das wichtigste Versuchstier in der Physiologie. Weil er so vielen qualvollen Experimenten unterworfen wurde, bezeichnete ihn Hermann von Helmholtz als «den alten Märtyrer der Wissenschaft» und Claude Bernard als «den Hiob der Physiologie» (Holmes, 1993; zu Fröschen in der Wissenschaft siehe auch Hüppauf, 2003).

Die wohl bekanntesten Froschexperimente führte der Arzt und Anatomieprofessor Luigi Galvani Ende des 18. Jahrhunderts in Bologna durch (Pera, 1992). Er benutzte dazu die Schenkel eines toten Froschs mit den freigelegten Beinnerven. Als einer von Galvanis Assistenten mit einem Skalpell die Nerven des Präparats berührte, begannen die Schenkel heftig zu kontrahieren. Die Zuckungen traten aber nur dann auf, wenn sich gleichzeitig von der Elektriziermaschine auf dem Tisch ein Funken löste. Offenbar wurde das Tier durch die indirekte Einwirkung der Elektrizität auf Nerv und Muskel reanimiert.

Galvani war wie elektrisiert und untersuchte dieses Phänomen in unzähligen Experimenten. Dabei entdeckte er die sogenannte tierische Elektrizität, das heisst die Fähigkeit des Organismus, Elektrizität selbst zu bilden und zu leiten. Dies begründete die Elektrophysiologie und erklärt heute zum Beispiel, wie Nerven Signale leiten. Die Erfindung der Batterie durch Alessandro Volta im Jahr 1800 basiert in direkter Analogie auf einem solchen Froschexperiment.

Die Malträtierung des Froschs in der Wissenschaft widerspiegelt sich auch in der Populärkultur, wo er gerne als armer Tölpel dargestellt und gequält wird. Zum Beispiel in einer Bildergeschichte von Wilhelm Busch, in welcher der Frosch nach Höherem strebt, auf einen Baum kriecht und sich wie ein Vogel fühlt. Jedoch: «Wenn einer, der mit Mühe kaum gekrochen ist auf einen Baum, schon meint, dass er ein Vogel wär, so irrt sich der.» Der Frosch breitet seine Flossen zum Fluge aus, fällt und schlägt sich den Kopf auf.

In Jean de La Fontaines Fabel *La Grenouille qui veut se faire aussi grosse que le boeuf* begegnet der Frosch einem Ochsen. Der Frosch, selbst nicht grösser als ein Ei, bläst sich eifersüchtig auf, fortwährend, bis er zerplatzt.

In der bekannten interaktiven Internetanimation *Frog in a Blender* (Joe Cartoon Co., 1999) finden wir den Frosch in einen Mixer eingesperrt. Der Benutzer kann die Drehgeschwindigkeit des Mixers auf einer Skala von 1 bis 10 regulieren. Während der Frosch bei langsamer Geschwindigkeit noch selbst von diesem Spiel belustigt ist, wird es ihm bei höherer Geschwindigkeit zusehends unheimlich. Wer die Stufe 10 einstellt, muss beobachten, wie er ins Messer gesogen und aufs Brutalste zerschnitten wird.

Sehr häufig tritt der Frosch in solchen Geschichten als kleines Männchen auf. Etwa auch in Hayao Miyazakis Trickfilm *Sen to Chihiro no kamikakushi* (*Spirited Away*, *Chibiros Reise ins Zauberland*, Studio Ghibli, Japan, 2001), wo der Frosch japanisch gekleidet ist.

Eine andere Rolle, die ihm gerne auferlegt wird, ist die des Entertainers. Das bekannteste Beispiel hierfür ist natürlich Kermit der Frosch, der Conférencier der *Muppet Show*. In dem Computeranimationsfilm *Meet the Robinsons* (Disney, 2007), einer Verfilmung von William Joyces Bilderbuch *A Day with Wilbur Robinson*, spielen die typischen Frosch-Homunculi beanzugt und krawattiert in einer Swing Band. Der Zuschauer

erfährt, dass es sich um genmanipulierte Tiere handelt, «genetically enhanced frogs». Der Bandleader Frankie, offensichtlich Sinatra, wird vom Bösewicht mit einem Gerät gedankenmanipuliert und ferngesteuert. Hier tritt der Frosch also sogar in seiner dualen Rolle als malträtiertes Versuchstier und als Entertainer auf. Er ist sowohl physisch wie auch psychisch dem Menschen Untertan. Der Bösewicht zum Frosch: «You are now under my control.»

Die Popularität des Froschs in Wissenschaft und Populärkultur lässt sich auch darauf zurückführen, dass der Frosch dem Menschen, vor allem wegen seiner langen Beine, oberflächlich ähnlich sieht (Holmes, 1993; vgl. Abbildung 9, S. 66). Wenn dem Versuchstier elektrische Stimuli oder pharmazeutische Wirkstoffe appliziert werden, interessiert vorrangig die Übertragung der Ergebnisse auf den Menschen. Der Frosch ist deshalb ein durchsichtiges Wesen, durch das wir immer wieder uns selbst sehen, ein metaphorisches und strukturell analoges Modell. Aufgrund seiner Menschenähnlichkeit könnte er sogar als ikonisches Zeichen gelten (s. unten).

In der Populärkultur tritt der Frosch erstaunlich konsistent auf. Er wird meist als grüner Laubfrosch mit weißem Bauch dargestellt, der auf zwei Beinen geht, Kleider trägt, spricht und musiziert. Wie in der Wissenschaft ist dieser anthropomorphisierte Frosch ein durchsichtiges Wesen. Genauso wenig wie Medikamente für Frösche entwickelt werden, gilt also auch die Moral der Geschichten nicht für das Tier selbst, sondern für uns, die wir uns am Ende immer die Nächsten sind.

Eigenschaften von Modellen – Zusammenfassung

Unabgänglich davon, ob Modelle gegenständlich oder theoretisch sind, stehen sie in einer bestimmten Beziehung zur realen Welt (empirischen Wirklichkeit). Häufig werden sie als «Repräsentationen» oder «Spiegel» der Wirklichkeit oder eines Originals bezeichnet. Bailer-Jones definiert sie als interpretierende Beschreibungen eines Phänomens (s. oben). Welche Beziehungen liegen vor? Es werden metaphorische oder analoge Beziehungen diskutiert; entsprechend wird von *metaphorischen* und *analogen* Modellen gesprochen (so u.a. Bhushan, Rosenfeld, 1995, S. 578). Ein Beispiel für ein metaphorisches und analoges Modell ist das Tier im Tierversuch, hier wird der unschöne Begriff Tiermodell verwendet. Die Ansichten von Wissenschaftlern zur Beziehung von Modellen zur Wirk-

lichkeit unterscheiden sich stark (Bailer-Jones, 2002b, S. 25): Einige sprechen den Modellen eine enge Beziehung zur Realität zu, andere sehen überhaupt keine Beziehung.

Modelle haben *visualisierende* Eigenschaften. Sie erleichtern den Zugang zu einem abstrakten, unsichtbaren oder unzugänglichen Phänomen. Ein Molekül ist unsichtbar – das CPK-Modell erlaubt es, das Molekül zusammensetzen, zu berühren und zu betrachten. Das Modell muss dazu nicht gegenständlich sein. Auch eine mathematische Formel visualisiert und zeigt Zusammenhänge auf. Eng mit dieser Eigenschaft ist auch die *erklärende* Funktion des Modells verbunden. Modelle haben didaktische Funktionen in der Lehre und in wissenschaftlichen Publikationen. Mit Hilfe eines Wasserbads können etwa die Eigenschaften von Schallwellen verständlich gemacht werden.

Die meisten Modelle erlauben, etwas von ihnen «abzulesen», das heisst, Informationen zu gewinnen oder Vorhersagen zu machen. Diese Informationen interessieren primär nicht in Bezug auf das Modell, sondern in Bezug auf das Original. Es wird das Ziel verfolgt, Aussagen über das Original mit Hilfe des Modells zu gewinnen. Am CPK-Modell kann beispielsweise direkt abgelesen werden, ob bestimmte räumliche Anordnungen der Atome möglich sind oder nicht. In diesem Zusammenhang ist wichtig, dass Modelle immer nur Aspekte des Originals wiedergeben. Man spricht deshalb auch von Aspekthaftigkeit der Modelle. Sie geben keine vollständige Beschreibung eines Phänomens, sie sind *selektiv* und *abstrahierend*, vereinfachend und reduzierend. Welche Aspekte weggelassen und welche betrachtet werden, ist schwierig zu beantworten. Normalerweise wird versucht, «relevante» oder «essenzielle» Aspekte mit einzubeziehen. Es ist aber durchaus möglich, dass durch Ignoranz etwas weggelassen wird, was durchaus relevant wäre. Damit können Modelle in gewissen Aspekten sogar im Widerspruch zu anerkannten Prinzipien und bekannten Tatsachen stehen.

Trotzdem wird von Modellen gefordert, dass sie gegen empirische Daten, also Daten, die vom Original oder aus der realen Welt stammen, getestet und validiert werden. Wir finden hier zwei vordergründig widersprüchliche Eigenschaften von Modellen: Einerseits haben sie manchmal «nichts mit der Wirklichkeit zu tun», andererseits erwartet man von ihnen, dass sie zutreffende Aussagen über die Wirklichkeit liefern.

Validität bedeutet, dass ein Modell identische Aussagen liefert wie das Original. Ein proportionales, massstäbliches Modell des Sonnensystems, bei dem die Planeten und die Sonne aus unterschiedlich grossen Styroporbällen bestehen, dient zwar dem Zweck, die relative Lage und die Abstände der Planeten und der Sonne zu visualisieren. Aufgrund der fehlenden Masse und damit der Gravitationskraft kann es jedoch keine direkten, ablesbaren Aussagen zur Bewegung der Himmelskörper liefern. Der Grund für die fehlende Validität liegt hier im Grössenunterschied zwischen Original und Modell. Die Validierung eines Modells ist deshalb nur dann möglich, wenn das Original auf dieselben Aussagen getestet werden kann. Häufig sind dafür aber die gewünschten Daten nicht zugänglich.

Fazit

Wir halten es für wichtig, dass gegenständliche und theoretische Modelle als solche benannt und diskutiert werden. Irving Geis' Illustration des Myoglobins ist dafür ein gutes Beispiel. Besonders in der Lehre herrscht die Neigung, solche Bilder von Modellen als die «Sache an sich», in diesem Beispiel als Myoglobin selbst, zu präsentieren: «Das ist Myoglobin.» Ein wichtiger Grund dafür ist die hohe Glaubwürdigkeit von gegenständlichen Modellen aufgrund ihrer Präsenz als konkrete Objekte. Bei einer kritiklosen Identifizierung von Sachverhalt und Modell bleiben aber wichtige Fragen unbeantwortet: Ist das Modell valide? Woher stammt es, wann wurde es entwickelt? Gibt es alternative Modelle? Welche Aspekte werden beschrieben, welche ignoriert? Die Diskussion der Modelle als solche erlaubt, diese Fragen zu beantworten und den Sachverhalt differenzierter zu diskutieren.

3. Instrumente

Hält man die Hand zwischen den Entladungsapparat und den Schirm, so sieht man die dunkleren Schatten der Handknochen in dem nur wenig dunklen Schattenbild der Hand.

Wilhelm Konrad Röntgen, 1896, S. 4

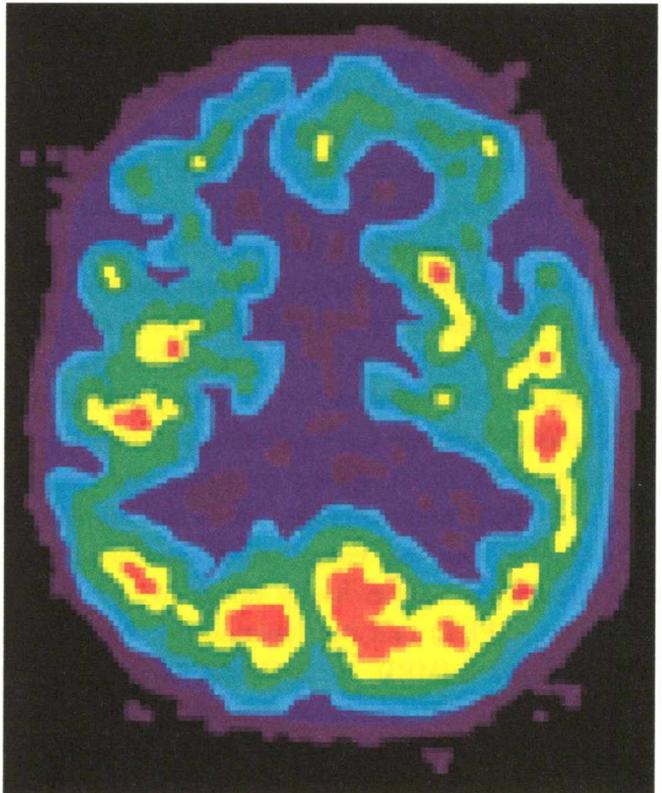
In Bezug auf ihre Herstellung ist man versucht, die wissenschaftlichen Bilder in zwei Typen zu unterteilen, in *manuelle* und *instrumentelle* Bilder. Die manuellen Bilder werden von Hand, von einer Person mit Stiften oder mit Pinsel entworfen oder am Computer mit der Maus gezeichnet. Die instrumentellen Bilder hingegen werden von einer Maschine, einem Apparat, einem wissenschaftlichen Instrument registriert oder aufgenommen. Solche Instrumente sind zum Beispiel Fotoapparate, Videokameras, Röntgenapparate oder Spektrometer. Im folgenden Kapitel sollen die instrumentellen Bilder anhand einiger Fallbeispiele diskutiert werden, die zur Sichtbarmachung von Unsichtbarem dienen. Wir wollen dabei einerseits die Unterscheidung in manuelle und instrumentelle Bilder prüfen und andererseits populäre, moderne instrumentelle Bilder mit der traditionellen Röntgenfotografie vergleichen.

PET-Gehirnbilder: Über viele Umwege zum Regenbogen

Instrumentell gewonnene Gehirnbilder sind in den letzten Jahren vermehrt in das Blickfeld der Kunstgeschichte und der Medienkunst gerückt (Hagner, 2004; Internationaler Medienkunstpreis 2005 zum Thema «Denkbilder – von den Vorstellungsbildern bis zur Gehirnforschung»). Diskutiert werden dabei häufig Bilder aus der Positronen-Emissions-Tomografie (PET) und der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT, englisch fMRI). Diese Gehirnbilder sind spektakuläre Visualisierungen der Neurowissenschaften. Es sind instrumentell gewonnene, digitale Bilder, die das Unsichtbare über eine höchst komplizierte Black Box sichtbar werden lassen. Neben der Gehirnaktivität können auch Proteinverteilungen, metabolisch-chemische Abläufe, Verteilungen von pharmazeutischen Wirkstoffen, anatomische Ansichten und Tumore

ohne die Anwendung von invasiven Techniken sichtbar gemacht werden. Die Bilder finden vor allem bei der Diagnose einer Krankheit und bei der Überwachung der Therapie, aber auch in der Pharmaindustrie bei Mensch- und Tierversuchen und bei der Gehirnforschung Verwendung.

Hirnforschung findet breites öffentliches Interesse, und die bunten Gehirnbilder tauchen deshalb seit einiger Zeit regelmässig in den Medien auf. Beinahe wöchentlich wird berichtet, dass eine neue Hirnregion für eine bestimmte physiologische oder pathophysiologische Funktion verantwortlich gemacht werden kann. Den Meldungen beigelegt sind jeweils die instrumentell gewonnenen Hirnbilder, bei denen ein Schnittbild eines Gehirns auf schwarzem Grund dargestellt ist und die Aktivität im entsprechenden Zentrum mit gelben bis roten Farben symbolisiert wird (Abbildung 7). Die Hirnaktivität wird nämlich in einer konventionali-



7 Regionen der Aktivität im Gehirn, Positronen-Emissions-Tomografie (PET).

sierten Darstellung der PET-Bilder in den Regenbogenfarben codiert: von der niedrigsten Aktivität aufsteigend schwarz, violett, blau, grün, gelb, rot, manchmal bis weiss als höchste Aktivität. Diese Bilder erwecken, wie Michael Hagner es ausdrückt, den Eindruck, dem Gehirn «durch ein geöffnetes Fenster beim Denken zuzusehen» (Hagner, 2004, S. 303). Es wird uns suggeriert, dass wir das Ergebnis einer fotografischen Aufzeichnung der Aktivität des Gehirns vor uns haben, beinahe so, als sähen wir bei einem Geistesblitz die Glühbirne im Kopf aufleuchten. Es ist diese scheinbare Direktheit der Beobachtung, welche die Faszination dieser Bilder ausmacht.

In Wahrheit kann die Aktivität bei dieser Methode weder direkt gesehen noch gemessen werden, ihre Aufzeichnung und Verbildlichung sind das indirekte Resultat mehrerer komplizierter physikalischer und rechnerischer Transformationen (siehe dazu auch Hagner, 2004, S. 204). Bei der Aufnahme des PET-Bildes wird dem Patienten ein radioaktiv markiertes Molekül, ein sogenannter Tracer (englisch to trace: aufspüren, ausfindig machen), injiziert, zum Beispiel ein Glukosederivat, das sich im Gewebe, etwa im Gehirn, anreichert. Wir haben bereits diskutiert, wie radioaktive Moleküle unter Aussendung von Teilchen zerfallen. Die beim PET-Scan verwendeten Tracer haben eine kurze Halbwertszeit und zerfallen relativ schnell unter Aussendung sogenannter Positronen, Teilchen von gleicher Masse wie Elektronen, aber mit einer positiven Ladung. Ein erzeugtes Positron kann im Gewebe mehrere Millimeter wandern, bevor es auf ein Elektron trifft. Dieses Zusammentreffen führt zum Zerfall der beiden Teilchen und zur Erzeugung von zwei Photonen, die orthogonal zur Flugbahn von Positron und Elektron und in entgegengesetzter Richtung (180°) ausgestrahlt werden. Das Photoemissionsspektrometer verfügt über Hunderte kreisförmig angeordneter Koinzidenz-Detektorpaare, welche die Messung registrieren, wenn auf beiden Detektoren Photonen leicht zeitverschoben auftreffen. Über die Messung dieser Zeitdifferenz kann der Ort des Zusammentreffens von Positron und Elektron lokalisiert werden. Die Messung lässt sich auch quantifizieren, die Konzentrationen des Tracers können also berechnet werden.

Eine Aktivitätsmessung des Gehirns beruht auf der experimentell bestätigten Annahme, dass Glukose vermehrt dort verbraucht wird, wo die Nervenzellen des Gehirns aktiv sind. Sowohl der regionale zerebrale Blutfluss als auch der Metabolismus (Stoffwechsel) von Glukose sind des-

halb mit der neuronalen Aktivität gekoppelt. Wir können auf diese komplexe Technologie hier nur sehr verkürzt eingehen, Tatsache ist: Die PET-Gehirnbilder zeigen über eine indirekte Messung mit anschließender Transformation basierend auf mathematischen Modellen die Konzentration der radioaktiven Substanzen im Gehirn. Die Sichtbarmachung der Aktivität erfolgt also über zahlreiche Umwege (umfassende Übersicht zur PET bei Valk, Bailey, Townsend, Maisey, 2003).

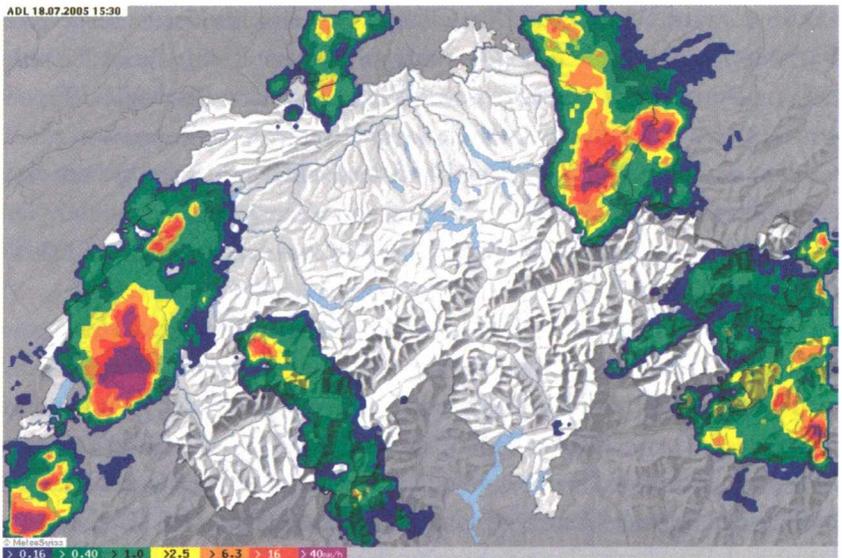
Ist das PET-Gehirnbild ein Abbild des Gehirns? Man ist versucht, von einem solchen zu sprechen, weil das Dargestellte oberflächlich Ähnlichkeiten mit einem anatomischen Schnittbild durch Kopf und Gehirn aufweist. Bei genauerer Betrachtung wird jedoch klar, dass diese Interpretation nicht zutreffen kann, weil das Dargestellte – die metaphorischen farbcodierten Aktivitäten – bei einer anatomischen Untersuchung im Gehirn nicht zu finden ist. Diese Hirnbilder gleichen vielmehr einer anderen Art von Bildern, die ebenfalls Konzentrationen und Merkmale in räumlicher Anordnung wiedergeben, nämlich Karten. In der Kartografie gibt es einen bestimmten Kartentypus, der als thematische Karte oder als Choropleth bezeichnet wird (Übersicht bei Robinson, 1982). Die thematische Karte zeichnet sich dadurch aus, dass sie vor dem Hintergrund einer geografischen Karte (meist nur den Umrisslinien eines Landes und seiner Regionen) nur ein einziges oder einige wenige Merkmale hervorhebt. Meistens zeigt sie eine Verteilung und Variation, damit ein Muster oder eine Struktur eines Merkmals erkennbar wird. Dieses Muster dient als Erkenntnisinstrument: Im Vergleich mit den Mustern anderer Merkmale und der Korrelation zu diesen entfaltet sich die eigentliche Stärke der thematischen Karte. Die Darstellung mittels thematischer Karten wurde zwischen Mitte des 17. und Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelt und verfeinert. Aus dem 19. Jahrhundert sind einige berühmte Beispiele von John Snow, Charles Dupin oder Charles Minard bekannt. Heute sind uns thematische Karten beispielsweise von der Darstellung politischer Wahlergebnisse vertraut, bei denen die Farben der Parteien auf Landkarten abgebildet und politischen Regionen zugewiesen werden.

Eine thematische Karte könnte beispielsweise die Vorkommen von Öl auf einer Weltkarte darstellen. Keine Vorkommen wären weiss codiert, die höchsten Vorkommen schwarz, dazwischen lägen verschiedene Graustufen. Zwischen einer solchen Karte und dem Gehirnbild aus dem PET-Scan besteht eine Analogie. Bei beiden Bildern handelt es sich um eine

zweidimensional-räumliche Darstellung von Konzentrationen respektive Vorkommen. Beim Gehirnbild sind sie durch unterschiedliche Farben, bei der Karte durch Helligkeitsabstufungen codiert. Bei beiden Typen entsteht eine Art Abbild durch die rechnerische Darstellung über einen Computer. Bei der Karte ist das Abbild der Erde bereits vorgegeben, und es werden lediglich die Ölvorkommen darauf eingezeichnet. Beim Gehirnbild wird das Abbild hingegen ebenfalls aus den gemessenen Daten abgeleitet.

Es ist aufschlussreich, die Farbcodierung der Gehirnbilder etwas ausführlicher zu diskutieren. Die Farbcodierung mit den Spektralfarben, ausgehend von Violett-Blau bis Rot als höchster Intensität, ist insbesondere in der Physik und der Technik eine ubiquitäre kanonische Darstellungsform. Sie wird häufig bei der Darstellung der Druckverteilung in Materialien oder von Fahrzeugen im Windkanal verwendet. Die Darstellung einer Druckverteilung sieht mitunter verblüffend einem Gehirnbild ähnlich. Auch die Meteorologen brauchen diese Farbcodierung (Abbildung 8, S. 64).

Das Hirnbild ist ein technisches Bild, und die Regenbogenfarben sind künstlich und kein Designelement. Die Farbcodierung mittels der Spektralfarben ist indessen bei einigen Kartografen und Grafikdesignern offenbar wenig beliebt (Tufté, 1997, S. 77). So schreibt der Geografieprofessor Mark Monmonier: «Among the worst offenders are novice mapmakers seduced by the brilliant colors of computer graphics systems into using reds, blues, greens, yellows, and oranges to portray quantitative differences. Contrasting hues, however visually dramatic, are not an appropriate substitute for a logical series of easily ordered gray-tones. Except among physicists and professional <colorists>, who understand the relation between hue and wavelength of light, map users cannot easily and consistently organize color into an ordered sequence. And those with imperfect color vision might not even distinguish reds from greens» (Monmonier, 1991, S. 21). Monmonier befürchtet, der Betrachter verstehe die Farbcodierung nicht, weil er die Verbindung zu den Spektralfarben nicht herstellen oder aufgrund von Farbenblindheit die Farben nicht auseinanderhalten kann. Anstatt nach verschiedenen Farben zu ordnen, schlägt er deshalb vor, unterschiedliche Regionen mit der unterschiedlichen Helligkeit von Grau oder einer einzigen Farbe zu codieren, wie das übrigens bei funktionellen MRT-Scans mit der Verwendung von



8 Niederschlagsradarbild der Schweiz. In der Meteorologie werden häufig Regenbogenfarben zur Darstellung verwendet. In diesem Beispiel stehen die Farben für die Niederschlagsintensität (Regen, Schnee, Hagel), die mit einer Radarmessung von drei Wetterradarstationen in der Schweiz gemessen wurde. Die höchste Intensität ist hier nicht wie bei der PET rot, sondern violett.

Gelb bis Orange geschieht. Passenderweise ähnelt dann die Aktivität einem Feuer, das im Gehirn lodert.

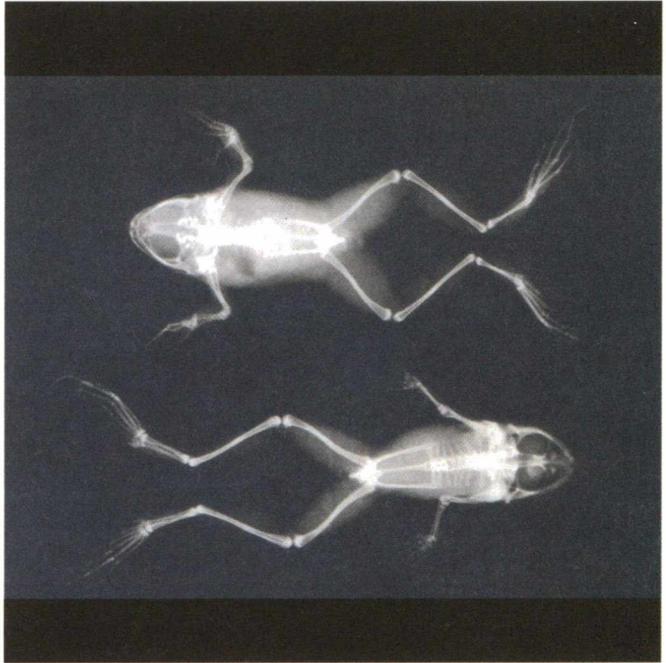
Bezüglich der Direktheit der Messung und ihrer Darstellung ist ein Vergleich des PET-Scans mit der Bilderzeugung bei der analogen Röntgenfotografie interessant. Wilhelm Konrad Röntgen (1845–1923) entdeckte 1895 die «X-Strahlen» (später Röntgenstrahlen, engl. X-rays), die ermöglichten, instrumentell und nichtinvasiv einen Blick in das Innere des Körpers zu werfen. Die Röntgenstrahlen hatten die Fähigkeit, Materialien wie Papier, Bücher oder lebendes Gewebe problemlos zu durchdringen (Röntgen, 1896). Einige Materialien wie Knochen oder Metalle vermochten die Strahlung jedoch ganz oder mindestens teilweise zu absorbieren. Röntgen war es möglich, die unsichtbaren Strahlen nachzuweisen, weil sie auf einem «mit Bariumplatinocyanür angestrichenen Papierschirm» im abgedunkelten Zimmer lebhaft leuchtende Fluoreszenz hervorriefen (Röntgen, 1896, S. 3). Auch fotografische Platten zeigten

sich empfindlich für Röntgenstrahlen, selbst wenn sie von Papier oder Holz umhüllt waren: «Man kann die Aufnahmen mit der in der Cassette oder in einer Papierumhüllung eingeschlossenen photographischen Platte im beleuchteten Zimmer machen» (Röntgen, 1896, S. 6). Die Fotografie war deshalb sehr nützlich, weil sie den vergänglichen Schatten auf dem fluoreszierenden Schirm für die weitere Untersuchung zu fixieren vermochte. Objekte, die sich zwischen dem Apparat und der fotografischen Platte befinden, wurden durchleuchtet, das Unsichtbare sichtbar: «So besitze ich z.B. Photographien von den Schatten der Profile einer Thüre, welche die Zimmer trennt, in welchen einerseits der Entladungsapparat, andererseits die photographische Platte aufgestellt waren; von den Schatten der Handknochen; von dem Schatten eines auf einer Holzspule versteckt aufgewickelten Drahtes; eines in einem Kästchen eingeschlossenen Gewichtsatzes (...)» (Röntgen, 1896, S. 11).

Wenn beispielsweise Frösche von der Röntgenstrahlung bestrahlt werden und sich hinter ihnen eine fotografische Platte befindet, wird die Platte abhängig von der Intensität überall dort aktiviert, wo die Strahlung auftrifft. Man könnte hier also im weitesten Sinn auch von einer Intensitätsmessung sprechen. Da etwa die Knochen der Frösche die Strahlung absorbieren, bleibt die Aufnahme an dieser Stelle weiss (Abbildung 9, S. 66; Eder und Valenta, 1896). Eine solche Aufnahme entspricht fotografisch einem Negativ, weil die Schwärzung nach der Entwicklung dort am grössten ist, wo die Intensität der Strahlung am höchsten war. Röntgenfotografien werden manchmal auch als Positive entwickelt, die Knochen erscheinen dann grau bis schwarz.

In Abhängigkeit der Durchlässigkeit entsteht bei der Röntgenfotografie eine fotografische Aufnahme mit einem fast direkten, kausal-physikalischen Bezug zum Objekt, ähnlich einem Fussabdruck im Sand. Röntgens Formulierung des «Schattens» deutet auch auf diese Direktheit der Aufnahme hin. In der Semiotik wird diese Beziehung vom Zeichen zum Objekt *indexikalisch* genannt. Als Einschränkung soll hier allerdings noch angeführt werden, dass die fotografische Aufnahme erst bei der Entwicklung des latenten Bilds sichtbar wird.

Der Weg zum PET-Bild ist indirekter und komplizierter als bei der Röntgenfotografie. Das PET-Bild kommt über mehrere physikalisch-technische und rechnerische Umwege zustande und verwendet konventionelle metaphorische Elemente zur Darstellung.



9 Frösche in Bauch- und Rückenlage, Röntgenaufnahme (Eder, Valenta, 1896).

Auch weitere moderne instrumentelle Visualisierungstechniken verwenden diese metaphorischen und konstruktiven Elemente zur Verbildlichung. Dazu gehört unter anderem das Rastertunnelmikroskop im neuen Forschungsgebiet der Nanotechnologie (Heckl, 2004), die Röntgenkristallografie zur Visualisierung molekularer Strukturen (Abbildung 19, S. 87) und die modernen medizinischen bildgebenden Instrumente. Die Volkswagen-Stiftung präsentierte im Bildband *Ansichten Einsichten Modelle* aktuelle Bilder aus der Forschung (Volkswagen-Stiftung, 1998). Von den 56 Abbildungen zeigen fast zwei Drittel das Dargestellte über den Umweg der mathematischen Berechnung, der visuellen Metapher, der aktiven Bearbeitung und der digitalen Manipulation und nicht «direkt», etwa als Fotografie eines Objekts. Die wissenschaftliche Fotografie hatte sich im 19. Jahrhundert im Vergleich mit der Zeichnung als ideales Mittel zur mechanisch-objektiven Darstellung etabliert. Der Sachverhalt prägte sich scheinbar ohne menschliche und subjektive Eingriffe des Wissenschaftlers in die lichtempfindliche Schicht ein. Im Falle der modernen instrumentellen Bilder vermischt sich Manuelles und Instru-

mentelles jedoch wieder. Die zu Beginn postulierte Trennung zwischen manuellen und instrumentellen wissenschaftlichen Bildern wird somit unscharf. Die neuen digitalen Bilder «kehren kategorial in den Rahmen der Malerei zurück, aus dem sich die wissenschaftliche Fotografie scheinbar gelöst hatte» (Bredekamp, 2004, S. 21; vgl. Mitchell, 1992, S. 7).

Das moderne instrumentelle Bild ist digital und gerastert

Bei den wissenschaftlichen Instrumenten hat in den letzten Jahren ein grundlegender Wandel stattgefunden. Ein Beispiel ist die Spektroskopie. Bis vor wenigen Jahren wurden Geräte benutzt, bei denen sich ein eingespannter Filzstift auf einem vorbeiziehenden Papier mechanisch auf und ab bewegte und so eine Messkurve registrierte. Heute ist an diesen Geräten ein Computer angeschlossen, der die Werte automatisch registriert; die Kurve ist am Bildschirm zu sehen oder wird ausgedruckt. Das moderne instrumentelle Bild ist digital. Digital bedeutet hier auch gerastert: An die Stelle der kontinuierlichen Linie des Filzstifts tritt ein kartesisches Netz. Die Bilder sind aufgeteilt in diskrete Bildpunkte (Pixel).

Ein Schachbrett kann als vereinfachte Veranschaulichung hierfür dienen. Es besteht aus vierundsechzig quadratischen Feldern, die in je acht Reihen und acht Spalten angeordnet sind. Die Felder sind alternierend eingefärbt, zum Beispiel schwarz und weiss. Zur Codierung des Musters können wir den weissen Feldern eine 0 und den schwarzen Feldern eine 1 zuordnen. Abgelesen von links oben nach rechts unten, beginnend mit Weiss, lautet der Code für das Schachbrettmuster also:

```

0 1 0 1 0 1 0 1
1 0 1 0 1 0 1 0
0 1 0 1 0 1 0 1
1 0 1 0 1 0 1 0
0 1 0 1 0 1 0 1
1 0 1 0 1 0 1 0
0 1 0 1 0 1 0 1
1 0 1 0 1 0 1 0

```

Dieser Code lässt sich auch ohne Zeilenumbrüche und Abstände schreiben: 0101010110101010010101011010101001010101101010100101010110101010. Diese Konventionen vorausgesetzt, können wir das Schach-

brett als einfachen analogen «Bildschirm» verwenden, auf dem, basierend auf unserem Bildformat aus vierundsechzig Zeichen, beliebige Muster darstellbar sind. Dabei nehmen wir an, schwarze und weisse Felder seien austauschbar. Zum Beispiel wird mit dem folgenden Ausdruck ein schwarzes Kreuz aufweissem Hintergrund erzeugt. Es ist aufgrund der Anordnung hier bereits im Code erkennbar:

```

0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0

```

Das entstehende Bild wird als Rastergrafik bezeichnet, die einzelnen Felder heissen Bildpunkte (Pixel). Als Pixel wird sowohl der Punkt im Datenformat (1/0) als auch der Punkt auf dem Bildschirm definiert. Die Speicherung digitaler Bilder im Computer und ihre Darstellung am Bildschirm funktionieren nach diesem einfachen Prinzip. Die entsprechenden Bildformate (JPEG, GIF, BMP, PNG usw.) enthalten zu jedem Pixel noch zusätzliche Informationen, etwa zu Farbe, Helligkeit oder Transparenz.

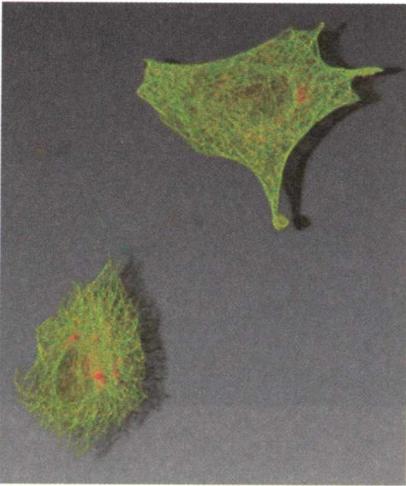
Hier zeigen sich grundsätzliche Unterschiede zum traditionellen Bild, zum Beispiel zu einem Gemälde auf Leinwand (siehe auch Mitchell, 1992).

- Das digitale Bild lässt sich sehr einfach kopieren. Es genügt, den zugrundeliegenden Code zu duplizieren, um eine exakte Kopie zu erhalten, die sich vom Original nicht unterscheidet.

- Es ist im Kern ein «Zahlenbild» und mathematischer Berechnung und Transformation zugänglich. So könnte zum Beispiel bei unserem Schachbrettcode jede 0 durch eine 1 und jede 1 durch eine 0 ersetzt werden, um ein Negativ zu erhalten.

- Es ist durch den Austausch der Zahlen sehr leicht veränderbar.

- Es ist ein «potenzielles Bild», das ein System zu seiner Darstellung benötigt. Es wird erst durch Transformation und Interpretation sichtbar.



10 Konfokale Mikroskopie.

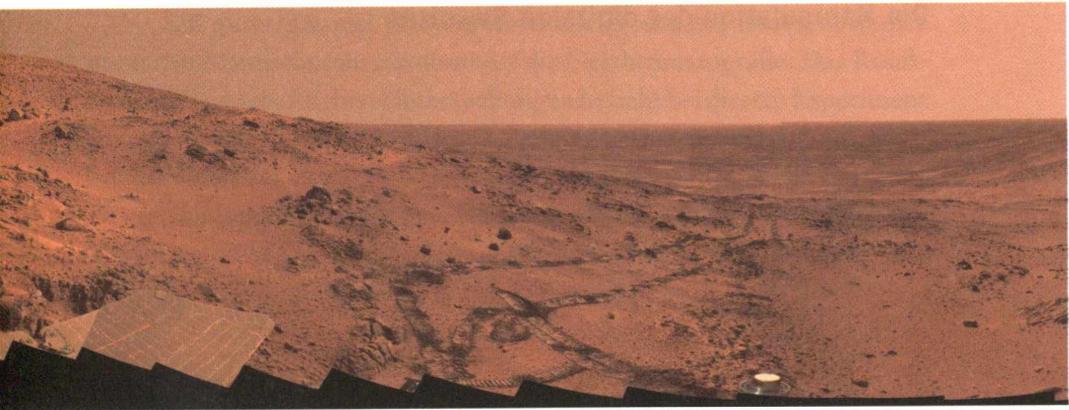
Ein leuchtendes Beispiel für die neuen digitalen instrumentellen Techniken ist die konfokale Mikroskopie mit Fluoreszenzfärbung (Abbildung 10). Bei dieser Variante der Mikroskopie werden Strukturen in einer lebenden oder toten Zelle mit Fluoreszenzfarbstoffen angefärbt. Bei der Bestrahlung mit dem Licht eines Lasers senden die Farbstoffe Licht aus, welches von einem Detektor gemessen wird. Die Färbung des Objekts erfolgt wenn möglich selektiv. Das bedeutet, dass nur diejenigen Strukturen, welche beobachtet werden sollen, auch angefärbt werden, zum Beispiel durch Bindung von Antikörpern, die an Fluoreszenzfarbstoffe gekoppelt sind. So kann zum Beispiel visuell beobachtet werden, ob ein Arzneimittel in eine Zelle aufgenommen wird oder nicht. Ein weiteres Beispiel ist der Ablauf der Zellteilung, der durch selektive Beobachtung der beteiligten Proteine studiert werden kann (Übersicht über die Technik zum Beispiel bei Pawley, 1995). Die Bilder der konfokalen Mikroskopie sind meist klar und sehr gut aufgelöst. Im Gegensatz zur traditionellen Fluoreszenzmikroskopie wird bei dieser Apparatur eine Lochblende verwendet. Damit wird erreicht, dass nur Licht der aktuell beobachteten Brennebene gesammelt wird. Unfokussiertes Licht ausserhalb der Brennebene wird hingegen ausgeblendet. Das instrumentelle Bild entsteht nicht als ganzes, sondern durch Abtastung. Das eingestrahlte Licht stammt von einem Laser, der Punkt für Punkt und Linie für Linie die Brennebene be-



strahlt. Die dabei entstehende Fluoreszenz strahlt durch die Lochblende und wird vom Detektor gemessen und digital als ein Pixel (oder Voxel, ein dreidimensionales Pixel) gespeichert. Die Maschine «sieht» oder registriert somit zu keinem Zeitpunkt das ganze Bild, sondern immer nur einen einzigen Punkt, ein einzelnes Steinchen des Mosaiks.

Die Bilderfassung beschränkt sich dabei nicht auf eine einzelne Ebene, sondern wird in den dreidimensionalen Raum erweitert. Indem die Brennebene (Schnittebene) räumlich in einer Richtung verschoben wird, kann das Objekt von vorne nach hinten, Ebene für Ebene, abgetastet werden. So erhält man beispielsweise einen dreidimensionalen Quader oder Würfel, der aus einer grossen Anzahl von Pixeln (Voxeln) besteht, zum Beispiel aus je 600 in Höhe, Breite und Tiefe. Auch hier ist die mathematische Berechnung wieder von Bedeutung: Der Computer ermöglicht dem Benutzer, dieses dreidimensionale Modell aus der gewünschten Perspektive zu betrachten. Durch Positionierung einer virtuellen Kamera und eines virtuellen Lichts entstehen abhängig von den Einstellungen des Benutzers bildliche Rekonstruktionen (Rendering). Und auch hier zeigt sich eine Vermischung von Instrumentellem mit Manuell-Konstruktivem. Bei Abbildung 10 handelt es sich um ein Beispiel dafür. Was aussieht wie eine direkte Fotografie eines beleuchteten Objekts ist in Wahrheit eine Rekonstruktion mit virtueller Kamera, virtuellem Licht und virtuellem Schatten.

In gewisser Weise sind die Mars-Panoramen, die vom Mars Rover Spirit aufgenommen wurden (Abbildung 11), damit zu vergleichen. Auch



11 Marspanorama (NASA, 2005).

hier ist der Fotograf lediglich vorgetäuscht und das Bild manuell bearbeitet. Das abgebildete Panorama wurde an vier Marstagen zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen und besteht aus 108 Einzelbildern, die aus unterschiedlichen Einstellungen der Kamera auf Rädern gewonnen und digital zusammengesetzt wurden. So entsteht der Eindruck, als handle es sich bei dem Panorama um eine einzige Fotografie. Dies war auch das Ziel der NASA. Man versuchte, die Bildübergänge so nahtlos wie möglich zu gestalten: «These seams have been smoothed out from the sky parts of the mosaic in order to simulate better the vista that a person would have if they were viewing it all at the same time on Mars.» Nur die unterschiedliche Beleuchtung und die abgeschnittenen Bilder am unteren Rand zeigen, dass es sich in Wirklichkeit um eine manuell-digitale Komposition handelt.

Die Manipulation des digitalen Beweises

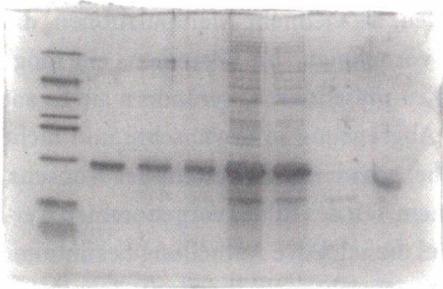
So wie Maler, die ein schönes Gesicht zeichnen, jeden möglichen Makel im Bild korrigieren, um so dem Porträt zu grösserer Schönheit zu verhelfen, so wurden die weniger vollkommener Dinge in der Darstellung ausgebessert, um so die perfekten Muster zu zeigen.

Bernhard Albinus, 1749, zitiert aus Daston und Galison, 2002, S. 46

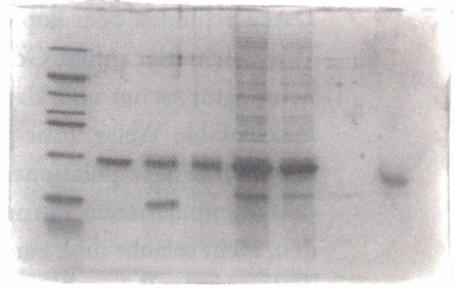
Wissenschaftliche instrumentelle Bilder haben in der wissenschaftlichen Forschung die Funktion des visuellen Beweises. Sie werden als Stellvertreter benötigt, um wissenschaftliche Resultate den Publikationen (Fachzeitschriften, Lehrbüchern, Internet-Zeitschriften) beizufügen, sie zu vervielfältigen und der wissenschaftlichen Gemeinschaft zugänglich zu machen. Die Leser der Fachzeitschriften vertrauen dabei der Entsprechung von Bild und Beobachtung. Eine hohe Glaubwürdigkeit hat traditionell die Fotografie: «Eine Photographie gilt als unwiderlegbarer Beweis dafür, dass ein bestimmtes Ereignis sich tatsächlich so abgespielt hat» (Sontag, 2004, S. 11). Die modernen instrumentellen Bilder stellen diese Objektivität jedoch zunehmend in Frage. Einerseits werden die instrumentellen Bilder vermehrt mit manuellen Mitteln erstellt (siehe oben). Es ist deshalb eigentlich erstaunlich, wie hoch das Vertrauen in diese metaphorischen Malereien ist, vereinfacht die Digitalisierung bildlicher Forschungsergebnisse eine Manipulierung oder Fälschung doch enorm. Obwohl es von jeher möglich war, instrumentell gewonnene Bilder wie Fotografien zu verändern, war dies noch nie so einfach wie heute mit der digitalen Bildbearbeitung und den entsprechenden Bildbearbeitungsprogrammen zu bewerkstelligen. Die Veränderbarkeit ist eine inhärente Eigenschaft der digitalen Bilder und erfolgt sehr einfach über den Austausch von Nullen und Einsen (siehe oben).

Ein Beispiel für die Fälschung eines wissenschaftlichen Bildes ist das PET-Gehirnbild in Abbildung 7 (S. 60). Das Bild wurde von den Autoren mit einem Malprogramm und einer Palette bunter Farben auf dem Computer erstellt. Dabei ist der Inhalt fiktiv, die Darstellungskonventionen sind hingegen von echten PET-Bildern übernommen.

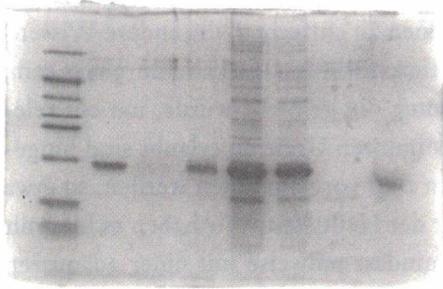
Ein gutes Beispiel für instrumentelle Bilder, bei denen es immer wieder zu Manipulationen kommt, ist die Gelchromatografie. Das Resultat der wissenschaftlichen Untersuchungen besteht bei diesem Experiment in einem Gel halbester Konsistenz, das eingefärbte Banden unterschiedlichen Helligkeit aufweist, welche das eigentliche Resultat der Untersuchung darstellen (Abbildung 12). Aussagen lassen sich dabei vor allem über die relative Position und das Vorhandensein/Nicht-Vorhandensein der Banden gewinnen.



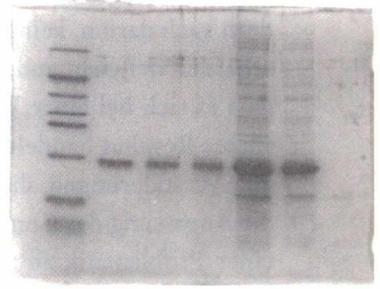
a.



b.



c.



d.

12 Manipulation einer Gelchromatografie. Die Gelchromatografie unter Abbildung a (Original) wurde zu Demonstrationszwecken in den Abbildungen b, c und d mit einem Bildbearbeitungsprogramm digital manipuliert. Bei b wurde eine zusätzliche Bande eingefügt, bei c eine Bande stark abgeschwächt (beide: dritte Spalte von links). Bei Abbildung d wurde der rechte Rand abgeschnitten und durch einen neuen ersetzt. Es handelt sich hier um ein fiktives Beispiel, entsprechende Manipulationen sind aber in der Literatur dokumentiert.

Das Gel wird fotografiert und digital gespeichert. Mit dem entsprechenden Computerprogramm ist es nun möglich, unerwünschte Verunreinigungen aus den Bildern zu entfernen, Banden auszuschneiden und zu verschieben oder sogar Banden in ein anderes Bild zu kopieren. Das Problem der unerwünschten Bildbearbeitung betrifft zunehmend wissenschaftliche Fachzeitschriften, die heute vor allem digitale Bilder erhalten. Einige der Zeitschriften haben inzwischen damit begonnen, Richtlinien aufzustellen und Bilder vor der Veröffentlichung einer genauen Untersuchung zu unterwerfen (Rossner, Yamada, 2004; Pearson, 2005). Das Problem sind im Allgemeinen weniger echte Fälschungen, bei denen die Daten erfunden oder kopiert werden, als vielmehr Manipulationen, die Wissenschaftler guten Gewissens vornehmen. Im Bestreben, ein möglichst ästhetisches und klares Bild zu präsentieren, verändern sie es auf inakzeptable Weise. Eine genaue Abgrenzung in erwünschte und nicht erwünschte Manipulationen ist dabei schwierig. Es besteht der Konsens, dass Manipulationen, die nur an einem Teil des Bildes vorgenommen werden, nicht erlaubt sind, zum Beispiel die selektive Aufhellung bestimmter Teile oder das Retouchieren von unerwünschten Bildbestandteilen. Dabei geht es nicht nur um die wahrheitsgetreue Darstellung der Resultate, sondern auch darum, keine Informationen zu entfernen, die andere Wissenschaftler vielleicht anders interpretieren würden. Es kann durchaus sein, dass es sich bei einer Verunreinigung, die gelöscht wurde, um ein relevantes Resultat handelt. Bis zu bestimmten Grenzen erlaubt sind hingegen Veränderungen, die am ganzen Bild vorgenommen werden, so etwa die Anpassung des Kontrastes oder der Helligkeit. Wir haben es hier mit einer Problematik zu tun, die zumindest teilweise mit einer adäquaten Ausbildung hinsichtlich wissenschaftlicher Bilder im Studium der Naturwissenschaften gelöst werden könnte.

Fazit

Beim Vergleich von neuen instrumentellen Bildern mit der analogen Röntgenfotografie zeigen sich Unterschiede. Während sich Röntgens «Schatten» als latentes Bild direkt auf der fotografischen Platte einprägt und durch die fotografische Entwicklung erscheint, wird das moderne Bild mathematisch berechnet, digital gerastert, metaphorisch dargestellt, modelliert und beliebig manipuliert. Es nähert sich somit wieder dem

manuellen Bild, von dem sich die Wissenschaft einst mit der scheinbar objektiven Fotografie zu lösen glaubte.

Es liegt somit an uns, den Betrachtern, Zwischenschritte genauer zu untersuchen, um zu verstehen, was im Bild tatsächlich dargestellt ist, und Manuelles und Instrumentelles zu trennen. Wir müssen versuchen, hinter das ästhetische Bild zu blicken und zwischen den Pixelzeilen zu lesen.

II. Die Entwicklung des wissenschaftlichen Bildes

1. Kanonische Bilder

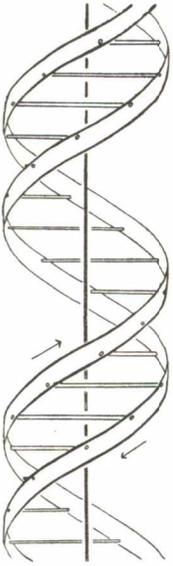
Ist ein ausgebautes, geschlossenes Meinungssystem, das aus vielen Einzelheiten und Beziehungen besteht, einmal geformt, so beharrt es beständig gegenüber allem Widersprechenden.

Ludwik Fleck, 1980, S. 40 (1. Ausgabe 1935)

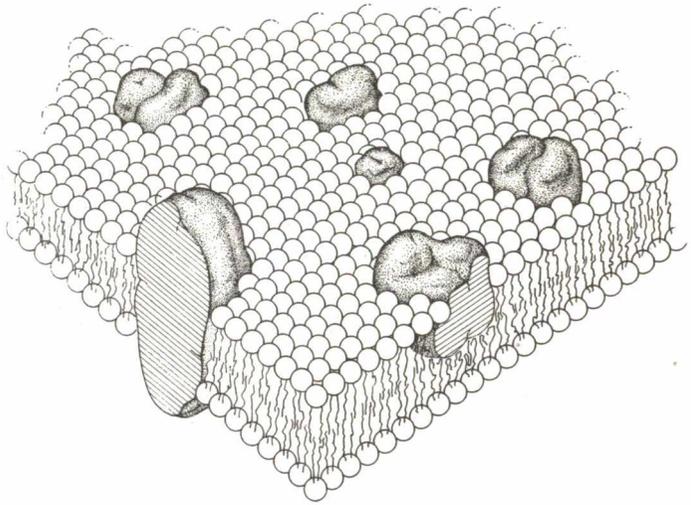
Beim Lesen wissenschaftlicher Veröffentlichungen sticht ins Auge, dass ein und derselbe Sachverhalt immer wieder auf eine sehr ähnliche Art und Weise bildlich wiedergeben wird. Bekannte derartige Bilder in der Molekularbiologie sind die Darstellung der DNA von Watson und Crick (Watson, Crick, 1953, S. 737; Abbildung 13), die Darstellung der Zellmembran nach dem Modell von Singer und Nicolson (Singer, Nicolson, 1972, S. 723; Abbildung 14) oder das HI-Virus (zum Beispiel in Gallo, 1987, Titelbild; Abbildung 22, S. 94).

Neben diesen populären Ikonen gibt es zahlreiche weitere Beispiele, darunter auch viele sprachliche Bilder. In der Literatur der meisten Forschungsgebiete können kanonische Bilder identifiziert werden. Es ist deshalb wichtig zu untersuchen, wie die konventionellen Bilder in der Wissenschaft entstehen und welche Auswirkungen sie auf den dargestellten Inhalt haben. Der Paläontologe und Wissenschaftshistoriker Stephen J. Gould (1941–2002) hat für diese Bilder den Begriff *Canonical Icon* eingeführt (Gould, 2000, S. 326; englisches Original: Gould, 1996):

«Die Macht der Bilder als Beispiele oder Zusammenfassungen zentraler Begriffe unserer Kultur kann man am besten einschätzen, wenn man sich mit dem befasst, was ich gern als «kanonische Darstellungen» [canonical icons] bezeichne, jenen Standarddarstellungen, die im Zusammenhang mit einer wichtigen Theorie oder Institution unseres Lebens eine Fülle von Assoziationen auslösen.»



13 Struktur der DNA (Watson, Crick, 1953).



14 Fluid-Mosaic-Modell der Zellmembran
(Singer, Nicolson, 1972).

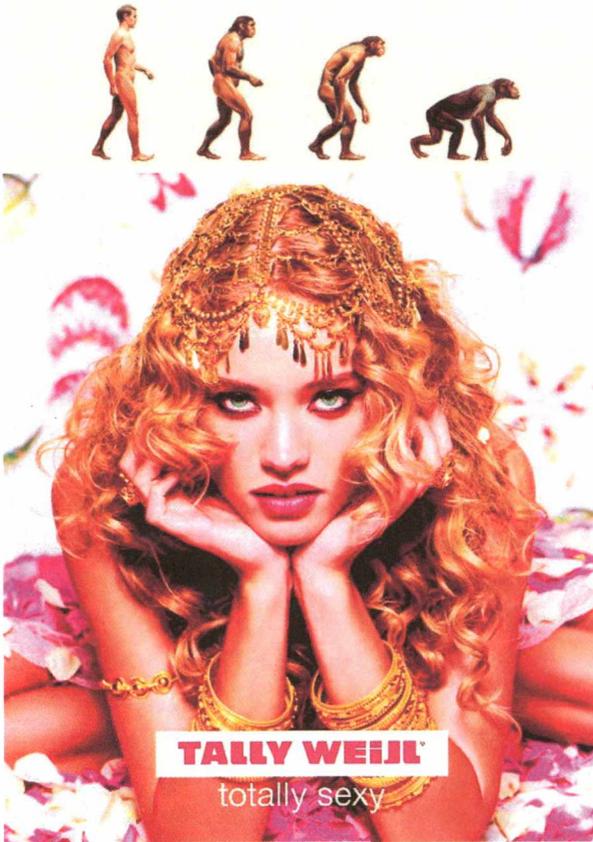
Wir übersetzen den Begriff zur Verwendung in diesem Buch als kanonisches Bild. Goulds bevorzugtes Beispiel für kanonische Bilder stammt aus dem Gebiet der Evolution. Es ist die Entwicklung des Menschen ausgehend vom gebückten, primitiven Vorfahren hin zum Homo sapiens. Dabei wird eine unterschiedliche Anzahl Männer – aber nie Frauen – in einer Abfolge von links nach rechts dargestellt. Der erste dieser Männer ist ein Affe oder zumindest sehr affenähnlich und geht auf allen vieren. Es folgen mehrere Entwicklungsstadien, bei denen die Männer zum aufrechten Gang übergehen und die meiste Körperbehaarung verlieren. Die Evolution endet beim modernen glattrasierten, aufrecht gehenden Menschen (manchmal in Anzug und mit Aktenkoffer). Diese Abfolge wird in wissenschaftlichen, populär-, aber auch in nichtwissenschaftlichen Medien (zum Beispiel in Cartoons oder in der Werbung) sehr häufig verwendet. Eine interessante Variante aus der Werbung zeigt Abbildung 15 (S. 79). Das Bild stammt aus der Werbekampagne einer Bekleidungsline für junge Frauen, gezeigt wird die typische Abfolge, aber invertiert in der Richtung, statt einer Evolution vom Affen zum Menschen findet eine Involution statt, der Mensch wird zum Tier (der Titel des Bildes lautet denn auch *Verkehrte Evolution*). Die Ursache für diesen geistigen und morpho-

logischen Abstieg des Mannes ist eine junge Frau mit verführerischem Blick (sie trägt Kleider der entsprechenden Marke). Die Aussage ist klar: Wenn Frauen diese Kleidung tragen, verlieren die Männer den Verstand. Die Werbung wird nur deshalb begriffen, weil es sich bei dem populärwissenschaftlichen Bild um ein kanonisches Bild handelt, das inzwischen zu einem derartigen Standard geworden ist, dass es auch von Nicht-Wissenschaftlern sofort verstanden und mit der Evolution assoziiert wird – obwohl die Assoziationen nicht mit dem übereinstimmen, was Fachleute unter der Evolution des Menschen verstehen.

Die normalerweise von links nach rechts dargestellten Evolutionschritte des Mannes implizieren eine Reihe von Aussagen: Die Abfolge deutet auf einen klar definierten, linearen, vorhersehbaren, nicht aufzuhaltenden Fortschritt in einer Richtung hin. Gould hat diese Sicht der Evolution immer wieder stark kritisiert. Wenn die Evolution noch einmal beim «primitiven» Vorfahren beginnen würde, wäre das Ergebnis wahrscheinlich ein vollkommen anderes. Die Evolution ist keine logische Abfolge, bei der sich eine definierte Spezies in eine nächste verwandelt.

Kanonische Bilder haben die Eigenschaft, einen wissenschaftlichen Sachverhalt in einer bestimmten Darstellungsform festzuhalten. Sie sind festgelegt auf einen bestimmten Blickwinkel und auf eine einzige Interpretation. Sie transportieren den Inhalt deshalb nicht neutral und objektiv, sondern steuern die Interpretation des Inhalts durch Festlegung der Konvention. Durch diese Beeinflussung des Sehens üben sie einen wesentlichen Einfluss auf das Denken von Wissenschaftlern und Studierenden aus. Gould argumentiert, dass eine neue Theorie in der Wissenschaft deshalb häufig ein neues Bild benötigt, um sich von der konventionellen Sichtweise zu befreien. Diese scheinbare Lösung des Problems ist aber in Wahrheit nur eine Verschiebung: Das «neue», «verbesserte» Bild ist das nächste kanonische Bild und wie das «alte», «schlechte» mit denselben Eigenschaften eines kanonischen Bildes behaftet.

Canonical Icon wird mit kanonisches Bild oder kanonische Darstellung übersetzt. Dabei impliziert der Begriff Icon mehr, unter anderem spielt er auf den Piktogrammcharakter kanonischer Bilder an. Piktogramme sind einfache Bilder aus wenigen Grundformen, die sofort eine Assoziation oder eine Handlung auslösen. Genauso verhält es sich bei der Wahrnehmung kanonischer Bilder. Sie sind alte Bekannte, die in verschiedenen Kleidern auftreten und dennoch ohne Zögern erkannt werden.



15 Verkehrte Evolution (Tally Weijl, 2005).

Kanonischer Inhalt, kanonische Darstellungsform

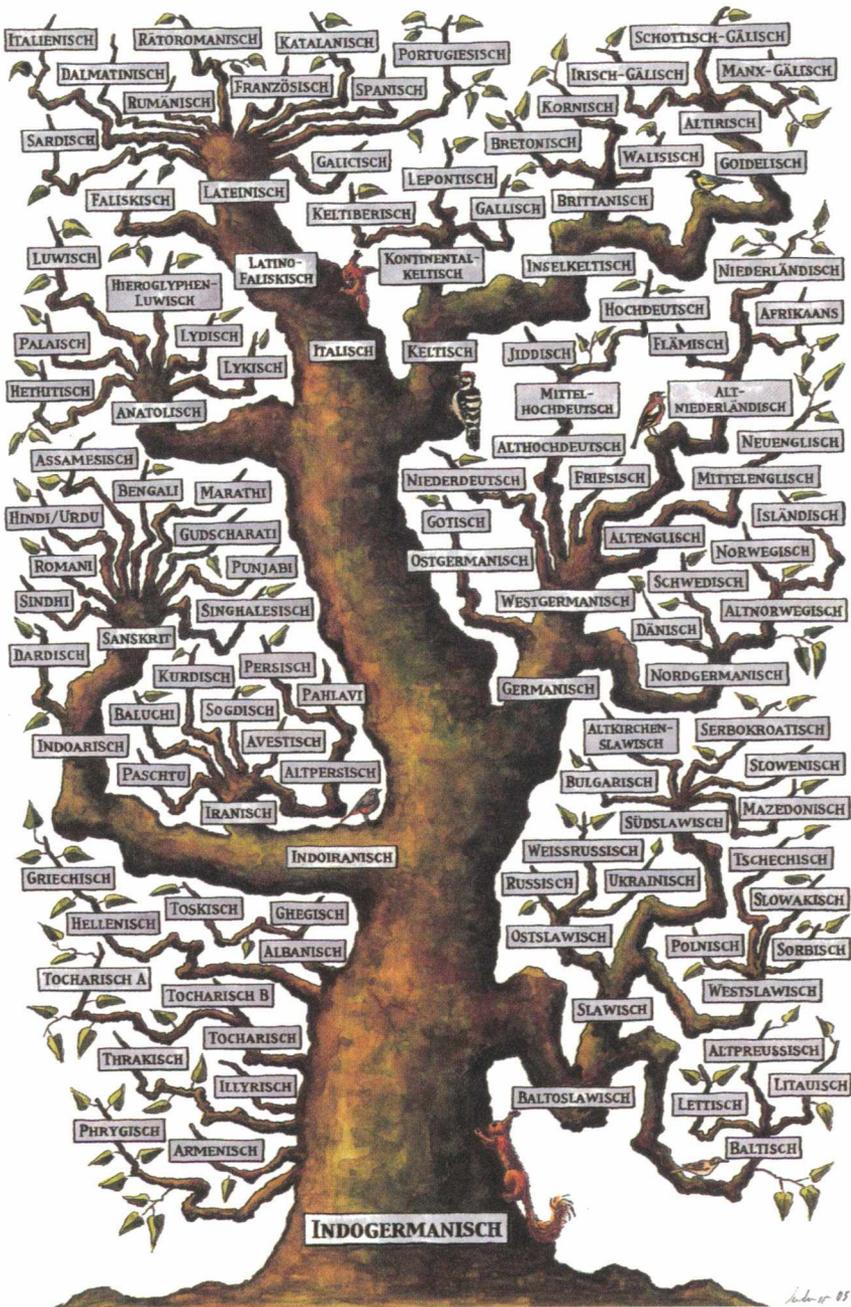
Bei den kanonischen Bildern lassen sich Inhalt und Darstellungsform unterscheiden. Aus unserer Sicht zeichnet sich das kanonische Bild gerade dadurch aus, dass es aus kanonisiertem Inhalt und kanonisierter Form besteht.

Form und Inhalt können auch unabhängig voneinander verwendet werden. Kanonische Formen werden auf verschiedene Inhalte übertragen. Die Evolution des Menschen kann nicht nur mit unterschiedlich gebückt gehenden Männern, sondern auch als Stammbaum visualisiert werden. Der Stammbaum oder der Baum in Allgemeinen kann als kanonische Darstellungsweise wiederum zur Visualisierung anderer wissenschaftlicher Inhalte verwendet werden (Bäume in der Wissenschaft: siehe Bader, Janser, Kwint, 2005).

Ein besonders prächtiges Exemplar eines Stammbaums erschien im Februar 2005 in der Schweizer Sonntagszeitung *NZZ am Sonntag* als Abbildung zu einem Bericht über die indogermanischen Sprachen (Abbildung 16). Die grossformatige Illustration von René Leutenegger zeigt den Stammbaum explizit als knorrige alte Eiche, die von Eichhörnchen und Vögeln bewohnt wird. Die Basis des Stamms steht für die ursprüngliche indogermanische Sprache. Aus dem Stamm wachsen dickere Hauptäste (Baltoslawisch, Indoiranisch, Germanisch, Anatolisch, Italisch und Keltisch), die sich weiter in kleinere und grössere Nebenäste und Sprachen verzweigen. Baltoslawisch verzweigt sich beispielsweise in Slawisch und Baltisch, Germanisch in Ost-, West- und Nordgermanisch. Kleinere Seitenäste zweigen auch direkt vom Stamm ab. Bei diesem Bild kann sehr gut zwischen dem kanonischen Inhalt und der kanonischen Darstellungsform unterschieden werden. Der *kanonische Inhalt* des Bildes stammt aus einer schematischen Darstellung in einem Standardwerk der Linguistik (Campbell, 1998, S. 168, vgl. Abbildung 18, S. 85). Die *Darstellungsform* stammt von Ernst Haeckel aus dem Jahr 1874 (Abbildung 17, S. 83). Haeckel war der wichtigste Verfechter der Darwin'schen Evolutionstheorie in Deutschland in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts; seine Darstellung eines Stammbaums als Eiche diente in seinem Buch *Anthropogenie* zur Visualisierung der menschlichen Evolution (Haeckel, 1874, Tafel XII). Bei Leuteneggers Darstellung handelt es sich um eine Kombination von Campbells Diagramm und Haeckels Illustration.

Die Verwendung der kanonischen Darstellungsform des Baums als visuelle Metapher für die Entwicklung der Sprachen oder des Menschen organisiert die Wahrnehmung des Inhalts. Eine zentrale Eigenschaft der Metapher bei diesen Beispielen ist die Orientierung in oben und unten (vgl. Lakoff, Johnson, 1980, S. 14). Oben wird häufig gleichgesetzt mit besser, wichtiger, glücklicher, unten bedeutet das Gegenteil: schlechter, unwichtig, unglücklich.

Bei Haeckels Baum ist der ganze obere Teil des Baums den Säugtieren zugerechnet. Die Anthropoiden sind die eigentliche Spitze des Baums. Instinktiv wird deshalb der Mensch ganz oben als die eigentliche «Krone der Schöpfung» wahrgenommen. Haeckel hingegen distanziert sich im zugehörigen Text von einer solchen Interpretation: «Die menschliche Eitelkeit und der menschliche Hochmuth haben seit dem Erwachen des Menschenbewusstseins sich besonders in dem Gedanken gefallen, den



16 Stammbaum der indogermanischen Sprachen
(René Leutenegger, 2005).

Menschen als den eigentlichen Hauptzweck und das Ziel alles Erdenlebens, als den Mittelpunkt der irdischen Natur anzusehen, zu dessen Dienste und Nutzen das ganze übrige Getriebe der letzteren von einer <weisen Vorsehung> von Anfang an vorher bestimmt oder praedestiniert sei» (Haeckel, 1874, S. 355). Da die menschliche Spezies erst auf eine kurze Existenz zurückschauen kann, bezeichnet er es als «lächerliche Anmassung», deren Kulturgeschichte als «Weltgeschichte» zu bezeichnen (Haeckel, 1874, S. 355). Dieser Aspekt ist denn auch im Stammbaum in der Dicke und dem Alter der Äste wiederzufinden. Die Menschen befinden sich an sechs jungen, dünnen Ästen, welche der «Baum des Lebens» erst vor kurzem gebildet hat. Junge Äste einer Eiche sind flexibel, anpassungsfähig und haben eine lange Entwicklung vor sich – sie sind aber auch anfällig und scheinen weniger wichtig zu sein als dickere. Die dickeren Äste hingegen sind alt (innen schon tot?), schwerfällig, aber auch wichtig und geben dem Baum seine grobe Form und seine Widerstandsfähigkeit.

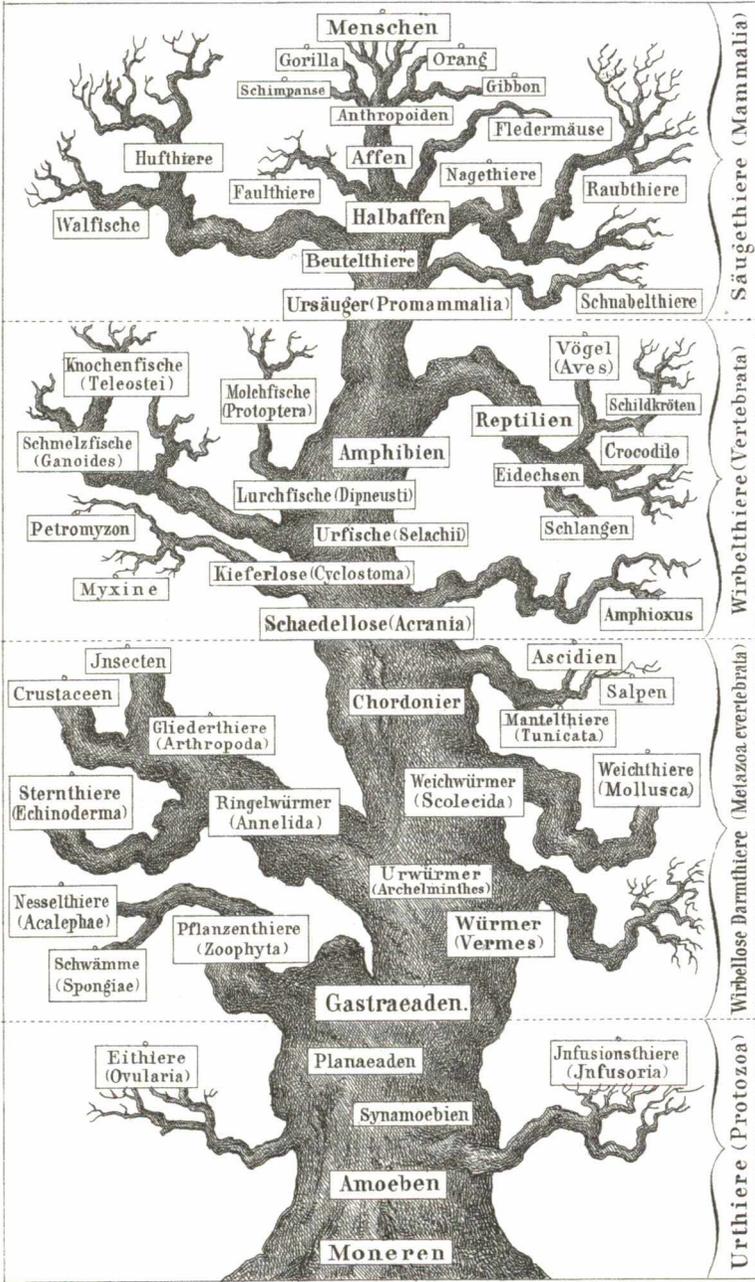
Beim Stammbaum der Sprachen ist etwa das Lateinische als dicker Ast in der Baumkrone, das Griechische hingegen als dünner, kleiner Seitenast an der Basis des Baums dargestellt. Daraus könnte der Betrachter unbewusst Schlüsse ziehen. Das Lateinische scheint viel wichtiger zu sein als das Griechische.

Ist eine solche Deutung des Bildes aber überhaupt zulässig? Da es sich um eine Illustration in einer Sonntagszeitung handelt, sollte es nicht überinterpretiert werden. Es kommen ihm andere Funktionen zu als der trocken-fachlichen Schemazeichnung in einem wissenschaftlichen Handbuch. Der Kontext eines wissenschaftlichen Bildes beeinflusst seine Darstellung. Die Illustration dient als Blickfang und fasziniert durch die konsequente Umsetzung der Metapher. Vielmehr als Campbells langweilige Zeichnung regt sie zur Auseinandersetzung mit ihrem Inhalt an. Auch galt es, die Schwierigkeit zu bewältigen, alle 114 Sprachen im Hochformat auf einer einzigen Seite unterzubringen. Der Illustrator bemerkt denn auch auf Anfrage: «Dass z.B. die lateinischen Sprachen in der Baumkrone zu finden sind, hat weniger eine wissenschaftliche Bedeutung, sondern ergab sich nicht zuletzt durch das Hochformat.»

Der Einfluss der Darstellungsform auf den Inhalt offenbart sich eindrücklich, wenn die einfache Schemazeichnung von Campbell (1998, Abbildung 18) betrachtet wird, welche als Vorlage für die Illustration des Stammbaums der Sprachen gedient hat. Sie besteht nur aus Wörtern, die

Stammbaum des Menschen.

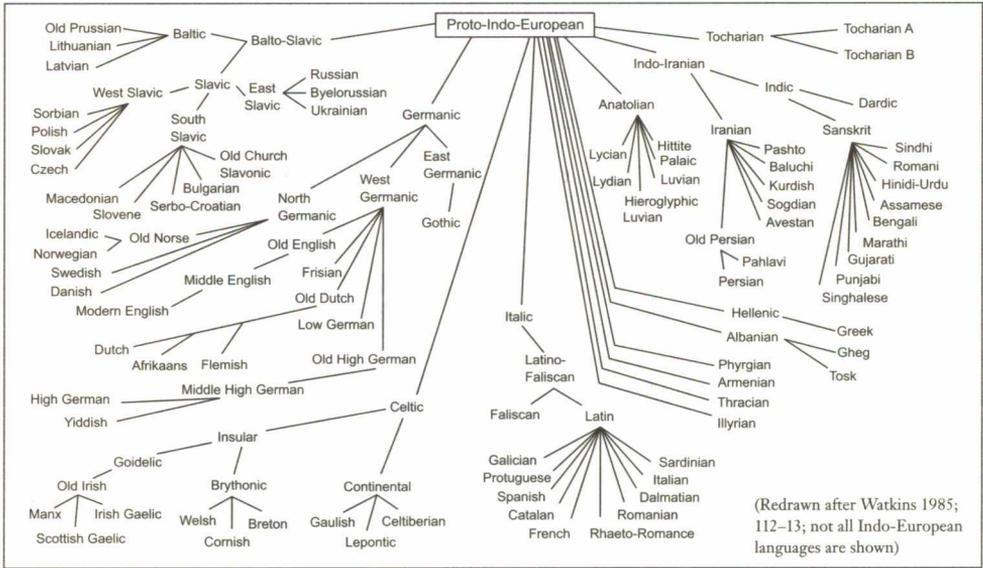
Taf. XII.



E. Haeckel del.

Lith. Ansp. v. J. G. Bach, Leipzig.

17 Stammbaum des Menschen (Haeckel, 1874).



18 Stammbaum der indogermanischen Sprachen aus einem wissenschaftlichen Handbuch (Campbell, 1998).

untereinander durch identisch dicke Linien verknüpft sind – von einem Baum kann hier gar nicht mehr die Rede sein. Im Gegensatz zum «Stammbaum» wird dieses Bild von oben nach unten gelesen. Das Indogermanische ist hier «oben» zentral lokalisiert. Da nur identische Linien verwendet werden, werden die Sprachen weder nach ihrer Wichtigkeit noch nach dem Alter organisiert (für ein ähnliches Beispiel siehe auch Pörksen, 1997, S. 119–122).

Kanonisierter Inhalt kann also in verschiedenen Formen dargestellt werden. Wir wollen diese als *Varianten* bezeichnen. Wir haben bereits die unterschiedlichen Molekülmodelle der Chemie kennengelernt (Abbildung 5, S. 46). Die Chemiker haben eine ganze Reihe von Darstellungsformen geschaffen, mit denen sie die unsichtbaren Atome und Moleküle visualisieren können. Am Computer erlauben es interaktive Programme, durch Mausklick die Darstellungsform zu wechseln und eine nächste Variante zu betrachten. Dabei können nicht nur die Form, sondern auch die Oberflächentexturen und die Farben der Atome beliebig verändert werden. Aus der multiplen Darstellung des Selben ergibt sich die Frage, die sich auch Roald Hoffmann und Pierre Laszlo in ihrem

Artikel über Repräsentationen in der Chemie stellen: «Welche ist das Molekül?» (Hoffmann, Laszlo, 1991, S. 5). Sie geben die Antwort: «Nun, alle sind es und keine. (...) Alle sind Modelle, nützliche Darstellungen für bestimmte Zwecke, nicht für alle.»

Die Eigenschaften solcher Darstellungsvarianten und die Entstehung von kanonischen Darstellungsformen wollen wir genauer am Beispiel der Proteindarstellungen diskutieren.

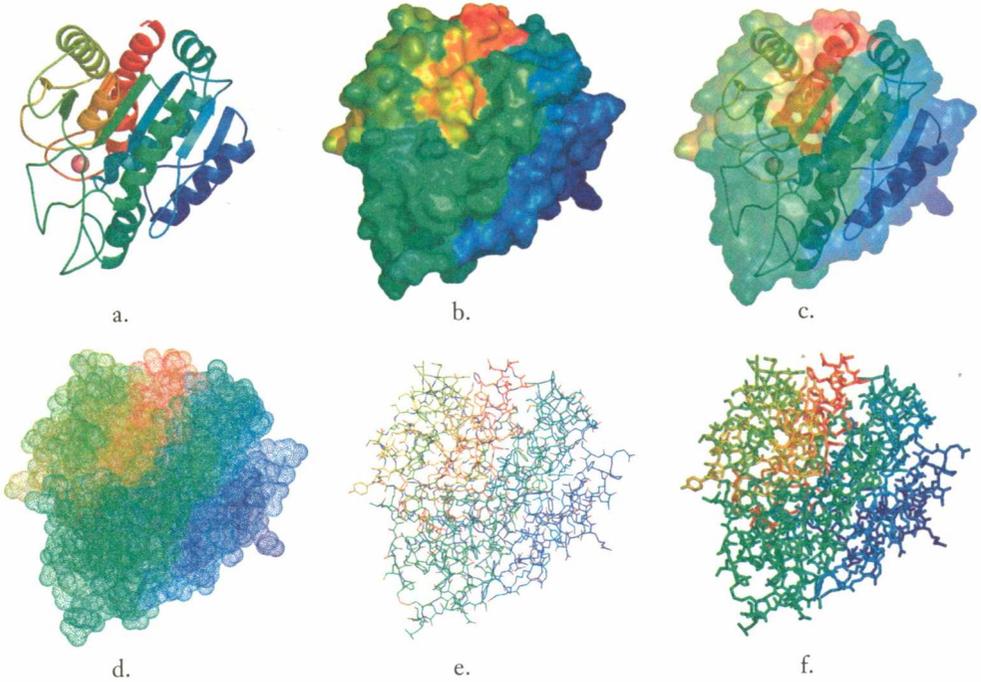
Proteindarstellungen als Beispiele von kanonischen Darstellungsvarianten

Alle lebenden Organismen sind zu einem grossen Anteil aus Proteinen (Eiweissen) aufgebaut, die an allen Lebensprozessen funktionell beteiligt sind. Das Protein Hämoglobin etwa transportiert Sauerstoff in den roten Blutkörperchen; die Alkohol-Dehydrogenase baut Alkohol ab; die Klasse der Lipasen verdaut Fette im Darm; Myosin und Aktin ziehen den Muskel zusammen. Proteine sind unvorstellbar klein: Hämoglobin etwa misst fünf Nanometer (der fünfmilliardste Teil eines Meters). Wie sehen Proteine aus? Um diese Frage zu beantworten, müssen wir uns zuerst kurz mit ihrem Aufbau auseinandersetzen. Proteine bestehen aus zwanzig Aminosäuren, organischen Molekülen, die über einen einheitlichen Grundkörper und variable Seitenketten verfügen. Der Grundkörper ermöglicht jeder Aminosäure, sich mit zwei weiteren Aminosäuren zu verbinden. In Proteinen sind die Aminosäuren linear ohne Verzweigungen miteinander verbunden und werden deshalb metaphorisch gerne als «Ketten» bezeichnet und abgebildet. Dabei entspricht jede Kugel einer Aminosäure und die ganze Kette dem Protein. Dieser modulare Aufbau führt zu einer sehr hohen Variabilität, welche durch unterschiedliche Kettenlängen noch vergrössert wird. Die lineare Sequenz der «Kette» wird als Primärstruktur bezeichnet. Nun liegen die Proteine aber nicht als lange, gerade Fäden vor, sondern nehmen eine für das jeweilige Protein charakteristische dreidimensionale Struktur, die sogenannte Tertiärstruktur, an, die durch einen Prozess entsteht, der als «Faltung» bezeichnet wird. «Es ist gleichsam, als würde der Ton auf dem Arbeitstisch des Bildhauers sich selbst spontan zu einem Kunstwerk formen» (Luria, 1974, S. 119). Bei der Faltung nehmen einzelne Abschnitte der Kette von selbst typische Strukturen an. Zum Beispiel die Form einer sogenannten Alpha-Helix oder die Form eines sogenannten Beta-Faltblattes. Wie sieht nun

also ein Protein aus? Aufgrund der kleinen Grösse ist es unmöglich, einzelne Proteine direkt oder unter dem Mikroskop zu sehen. Instrumentell können jedoch die Koordinaten der einzelnen Atome der Aminosäuren gewonnen und daraus auch die chemischen Bindungen und die Struktur abgeleitet werden.

Die Struktur von Proteinen wird meist mit der Röntgenkristallografie ermittelt. Für diese Methode werden Röntgenstrahlen verwendet, weil sichtbares Licht eine zu grosse Wellenlänge hat, um einzelne Atome sichtbar zu machen. Das Prinzip besteht darin, Röntgenstrahlen auf einen Proteinkristall zu richten. Die Strahlen werden von den Elektronen umgelenkt und treffen auf einen Detektor; dieser misst das Beugungsmuster, das von einem Computer gespeichert wird. Aus diesem Muster kann der Computer mit Hilfe eines komplizierten mathematischen Verfahrens eine Elektronendichtekarte berechnen. Bei dieser Karte handelt es sich aber noch nicht um die Struktur des Proteins. Im letzten Schritt wird die Aminosäurekette vielmehr am Computer in diese Karte eingepasst. Daraus resultiert ein virtuelles Modell, welches mit symbolischen und metaphorischen Darstellungskonventionen zu Bildern wie in Abbildung 19 umgesetzt wird. Das instrumentelle «Sehen» des Proteins ist wie im Falle der Gehirnbilder ein indirektes und metaphorisches. Die Frage, wie ein Protein «wirklich» aussieht, ist damit nicht zu beantworten.

Für die Darstellung der Proteine haben sich bestimmte Darstellungsformen etabliert. Einige davon, die mit dem Computer erzeugt worden sind, zeigt Abbildung 19. Konventionell wird wieder – wie bei den Gehirnbildern – die technische Regenbogenfärbung verwendet, die sich mit der Einführung des Computers durchgesetzt hat. Der Zweck dieser Färbung liegt darin zu zeigen, wo die Kette durch die dreidimensionale Struktur verläuft. Auch der Anfang (violett) und das Ende (rot) der Kette können aus der Färbung abgelesen werden. Eine der geläufigsten Darstellungsformen der dreidimensionalen Struktur ist die sogenannte Ribbon-Darstellung in Abbildung 19-a und in Abbildung 20. Diese wird heute als internationaler Standard weltweit in wissenschaftlichen Publikationen verwendet. Dass es sich dabei um eine erfundene Darstellungskonvention mit metaphorischen und symbolischen Mitteln handelt, wird gerne vergessen; der Mensch ist ja nicht aus farbigen Pfeilen und Farbbändern aufgebaut. Die kanonische Ribbon-Darstellung stammt von Jane Richardson und wurde von ihr 1981 detailliert in einem Artikel beschrie-



19 Proteinstrukturen. Die Abbildung zeigt verschiedene computererzeugte Darstellungsvarianten des Proteins Carboxypeptidase, konventionell eingefärbt in den Regenbogenfarben. Abbildung a zeigt die Ribbon-Darstellung nach Jane Richardson, b die Darstellung der Oberfläche, c eine Kombination von a und b mit transparenter Oberfläche, d eine Variante des Kalottenmodells, e die Wireframe-Darstellung und f die Wireframe-Darstellung mit dickeren Linen, sogenannten Sticks (Koordinaten aus Rees, Lewis, Lipscomb, 1983).

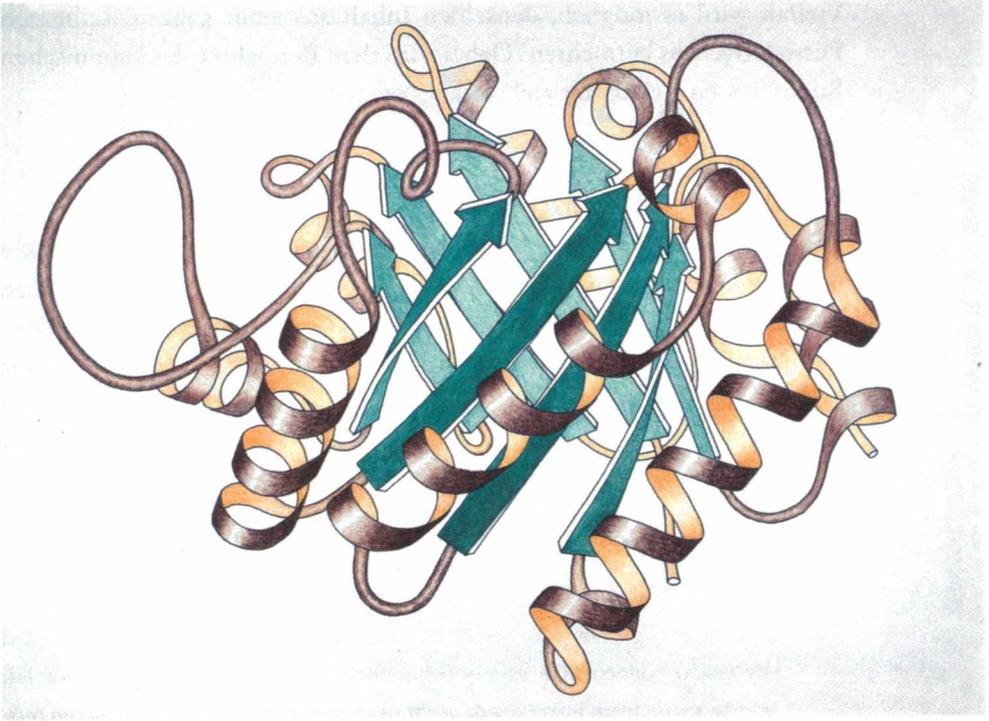
ben (Richardson, 1981; 2000). Richardson hat diese Darstellungsform nur zum Teil neu erfunden. Zum einen basierte sie auf den Wireframe-Darstellungen, die von Pionieren der Computergrafik entwickelt wurden, zum anderen haben Wissenschaftler und Illustratoren wie Dick Dickerson und Irving Geis bereits in den sechziger Jahren die Tertiärstrukturen von Proteinen schematisch dargestellt und zumindest einen Teil der Symbole für Helix und Faltblatt eingeführt. Jane Richardson schuf aber in Zusammenarbeit mit ihrem Mann David innerhalb eines Jahres ein kon-

sistentes Visualisierungssystem, mit dem die Tertiärstrukturen der damals bekannten 75 Proteinstrukturen mittels einer neuen, klareren Symbolik dargestellt werden konnten. Das System ist so konzipiert, dass auch alle neu entdeckten Proteine damit visualisiert werden können. Die unterschiedlichen Strukturelemente werden in der Ribbon-Darstellung symbolisch so dargestellt: Alpha-Helices werden als flache, spiralförmige Bänder gezeichnet. Beta-Faltblätter als gerade oder gebogene Pfeile einer bestimmten Dicke und Richtung, die flexiblen, nichtrepetitiven Strukturen als «Seile» und die Disulfidbrücken als «Blitze». Kreise stehen für Metallionen, kleinere Moleküle, die an das Protein gebunden sind, werden als Wireframe gezeichnet (Richardson, 1981, S. 259):

“ β strands are shown as arrows with thickness, helices as spiral ribbons, and nonrepetitive structure as ropes. Disulfides are shown as ‘lightning bolts’. Circles represent metals, and some prosthetic groups are shown as atomic skeletons (...)”

Die Koordinaten der dreidimensionalen Struktur entnahm Richardson dem Computerprogramm von Richard Feldmann. Sie druckte dessen Wireframe-Darstellungen der Proteinstrukturen aus und übertrug mit Pauspapier ihre neuen Konventionen auf diese Strukturen. Sie zeichnete also – heute im Zeitalter der Computergrafik nicht mehr denkbar – die Strukturen damals alle von Hand. Eine solche frühe Handzeichnung von Jane Richardson gibt Abbildung 20 wieder. Obwohl es sich bei diesen Darstellungen eigentlich um technische Bilder handelt, zeichnen sie sich durch eine hohe Ästhetik aus.

Weitere kanonische Darstellungsvarianten für Proteine sind der Chemie entliehen: etwa die Wireframe-Darstellung (Abbildung 19-e), das Kalottenmodell (Abbildung 19-d) oder die Oberflächendarstellung (Abbildung 19-b). Die verschiedenen Varianten zeigen das Protein aus unterschiedlichen Perspektiven und betonen unterschiedliche Eigenschaften. Keine Darstellung kann alle Eigenschaften sinnvoll repräsentieren, keine ist auch für alle Zwecke in gleichem Mass geeignet (Goodsell, 2003). Die Darstellungsform von Richardson eignet sich für eine Übersicht über die Tertiärstruktur und zeigt, wo welche strukturellen Motive (Sekundärstrukturen) vorkommen. Sie versteckt aber die Information, wo die einzelnen Aminosäuren lokalisiert sind, und gibt keine



20 Protein in der Ribbon-Darstellung. Diese Handzeichnung von Jane Richardson aus den 1980er Jahren zeigt das Protein Triosephosphat-Isomerase.

Auskunft über die Ausmasse des Proteins. Die Wireframe-Darstellung macht hingegen deutlich, wo welche Aminosäure lokalisiert ist, zeigt aber die Tertiärstruktur nicht und ist sehr unübersichtlich. Vom Kalottenmodell lassen sich der Aufbau aus den unterschiedlichen Atomen, deren Grösse sowie die Form und die Ausmasse des Proteins ablesen. Doch das Kalottenmodell liefert keine Informationen zur Sekundärstruktur.

Proteindarstellungen sind typische Beispiele für kanonische Bilder und Darstellungsformen, allerdings mit der Besonderheit, dass hier mehrere Darstellungsformen gebräuchlich sind. Zusammen ermöglichen diese eine differenzierte Darstellung des Unsichtbaren. Mit diesen unterschiedlichen Varianten haben die Chemie und Strukturbiologie einen interessanten Ausweg aus der Einengung der Perspektiven durch die kanonisch-metaphorischen Darstellungsformen gefunden. Durch die

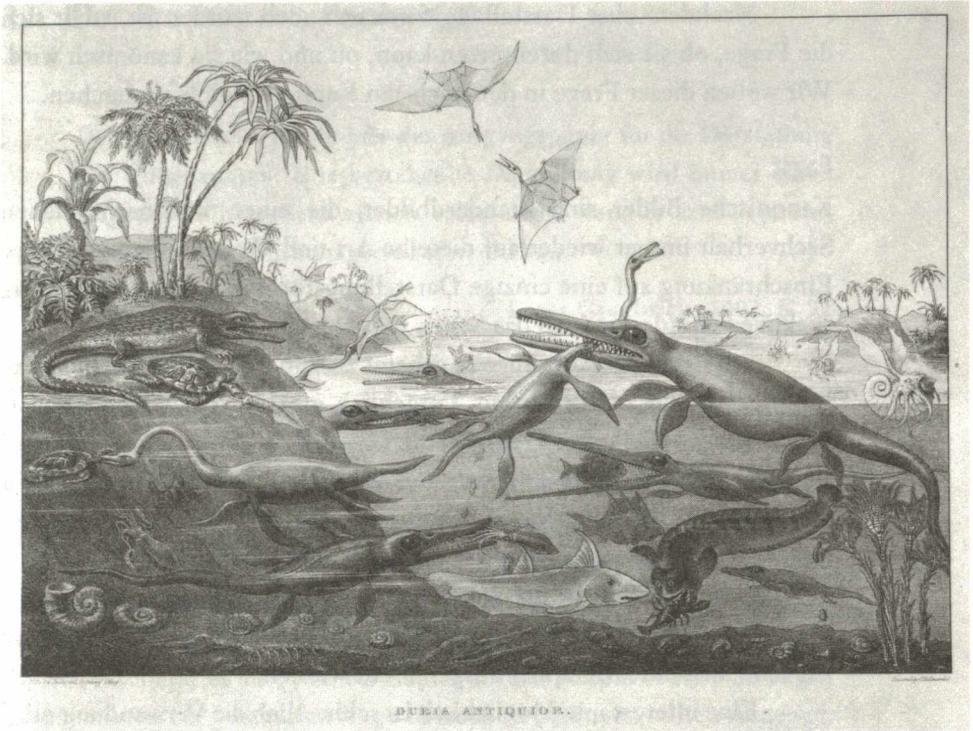
Vielfalt wird es möglich, denselben Inhalt aus einer ganzen Reihe von Perspektiven zu betrachten. Dabei wird dem Betrachter des kanonischen Bildes dessen Relativität viel stärker bewusst.

Entstehung und Entwicklung kanonischer Bilder

Wir haben gesehen, dass ein konsistentes Visualisierungssystem im Falle der Proteinstrukturen innerhalb eines Jahres von zwei Wissenschaftlern geschaffen wurde. Die Entwicklung dieser inzwischen kanonischen Darstellungsweise baute indessen auf Erkenntnissen auf, die während drei bis vier Jahrzehnten gewonnen worden waren. Darstellungskonventionen bilden sich vielfach erst über eine längere Zeit heraus. Zu diesem Schluss kommt auch Martin Rudwick, der die Entstehung der Darstellungsformen der sogenannten Tiefenzeit (Deep Time) untersucht hat (Rudwick, 1992, S. viii):

“Such scences from deep time are clearly a pictorial genre, as much ruled by visual conventions as any other. But artistic conventions do not fall ready-made from heaven, nor are they concocted or decreed at a given moment. They are products of historical development; they are constructed in the course of artistic practice in specific historical circumstances. In this particular case, the practice is not only artistic but also scientific.”

Bei den Tiefenzeit-Darstellungen geht es darum, fossile Tiere wie Dinosaurier in ihrer natürlichen Umgebung wiederzugeben. Ein wichtiger Schritt bei der Herausbildung dieses Genres war gemäss Rudwick die Erfindung der Unterwasseransicht im 19. Jahrhundert (Rudwick, 1992, S. 232f.). Bei der Rekonstruktion des Lebensraums von fossilen Organismen stellte sich das Problem, dass viele dieser Lebewesen im Wasser lebten. Wie sieht die Unterwasserwelt aus? Heute sind Unterwasseraufnahmen Allgemeingut, wir kennen solche Aufnahmen aus Fernsehdokumentationen oder vom Tauchen. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts standen keine Fernseher zur Verfügung, noch weniger war das Tauchen eine verbreitete Freizeitbeschäftigung. Das Problem der Darstellung wurde zunächst umgangen, indem an Land gespülte Organismen gezeichnet wurden oder das Wasser eines Meers oder eines Sees von oben, aus der Sicht des Betrachters an Land, gezeigt wurde. Der englische Geologe Henry



21 *Duria antiquior* – A more ancient Dorset,
Lithografie von Henry De La Beche, 1830.

De la Beche (1765–1855) fertigte 1830 mit der Hilfe eines Illustrators die erste Lithografie einer wissenschaftlichen Unterwasserszene an, die einen wirklichen Einblick in einen urzeitlichen See erlaubt, *Duria antiquior* – *A more ancient Dorset* (Abbildung 21). Diese innovative Unterwasseransicht hat die naturalistische Darstellung fossiler Organismen stark beeinflusst, zunächst vermochte sie sich jedoch nicht durchzusetzen. Offenbar überforderte das ungewohnte Bild, das einen Blick in die Vergangenheit und zugleich in die fremde Unterwasserwelt eröffnete, die Betrachter. Rudwick und Gould nehmen an, das Aquarium habe dieser Darstellungsweise schliesslich zum Durchbruch verholfen (Rudwick, 1992, S. 232f.; Gould, 1998). De la Beches neue Bildform konnte sich nämlich solange nicht etablieren, bis mit dem Aquarienboom in der Mitte des 19. Jahrhunderts der Blick in die Welt unter Wasser eine Selbstverständlichkeit wurde, also sich die Betrachter an diese Sicht der Unterwasserwelt gewöhnt hatten.

Nachdem eine Darstellungsform erfunden worden ist, stellt sich die Frage, ob sie sich durchsetzen kann, ob und wie sie kanonisch wird. Wir wollen dieser Frage in den nächsten Kapiteln weiter nachgehen.

Fazit

Kanonische Bilder sind Standardbilder, die einen wissenschaftlichen Sachverhalt immer wieder auf dieselbe Art und Weise darstellen. Diese Einschränkung auf eine einzige Darstellungsform und eine fixierte Perspektive behindert jedoch das Sehen und Denken.

Ein naheliegender Ausweg scheint zu sein, das «alte», «schlechte» kanonische Bild zu verwerfen. Tatsächlich gibt es in der Wissenschaft Bilder von zweifelhafter Qualität, die besser durch neue ersetzt werden sollten. Die Darstellung der Evolution mit den gehenden Männern ist ein naheliegendes Beispiel. Es zeigt sich aber, dass ein solcher Ausweg bisweilen nur zu einem weiteren kanonischen Bild führt.

Unter Beibehaltung des kanonischen Inhalts kann selektiv die kanonische Darstellungsform verändert werden, also zum Beispiel die zugrundeliegende Metapher ausgetauscht werden.

Eine interessante Möglichkeit ist schliesslich die Verwendung multipler Darstellungen, wie wir es bei den Proteindarstellungen kennengelernt haben.

2. Der Prozess des Kopierens

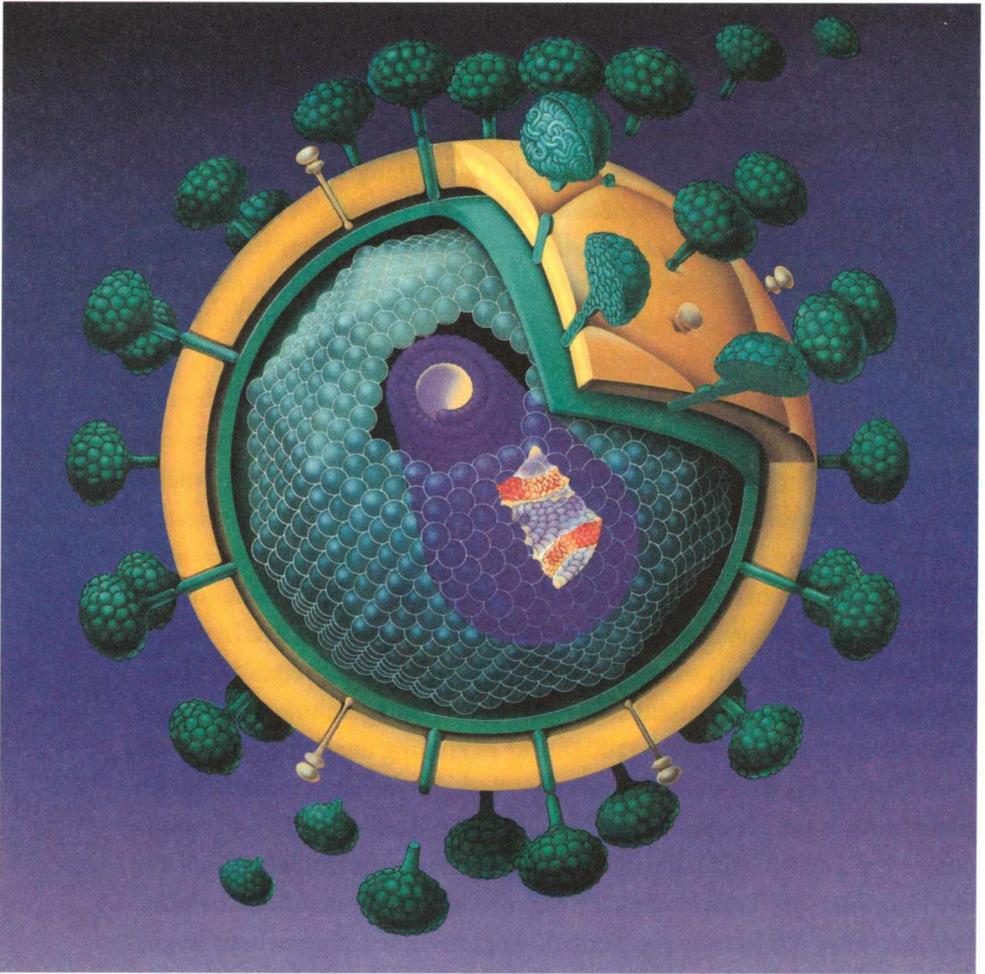
Das Bekannte ist fast immer der Ausgangspunkt für die Darstellung des Unbekannten; eine bestehende Darstellung wird immer einen Künstler in ihren Bann ziehen, selbst dann, wenn er danach strebt, das Gesehene wahrheitsgetreu festzuhalten.

Ernst Gombrich, 2002, S. 72

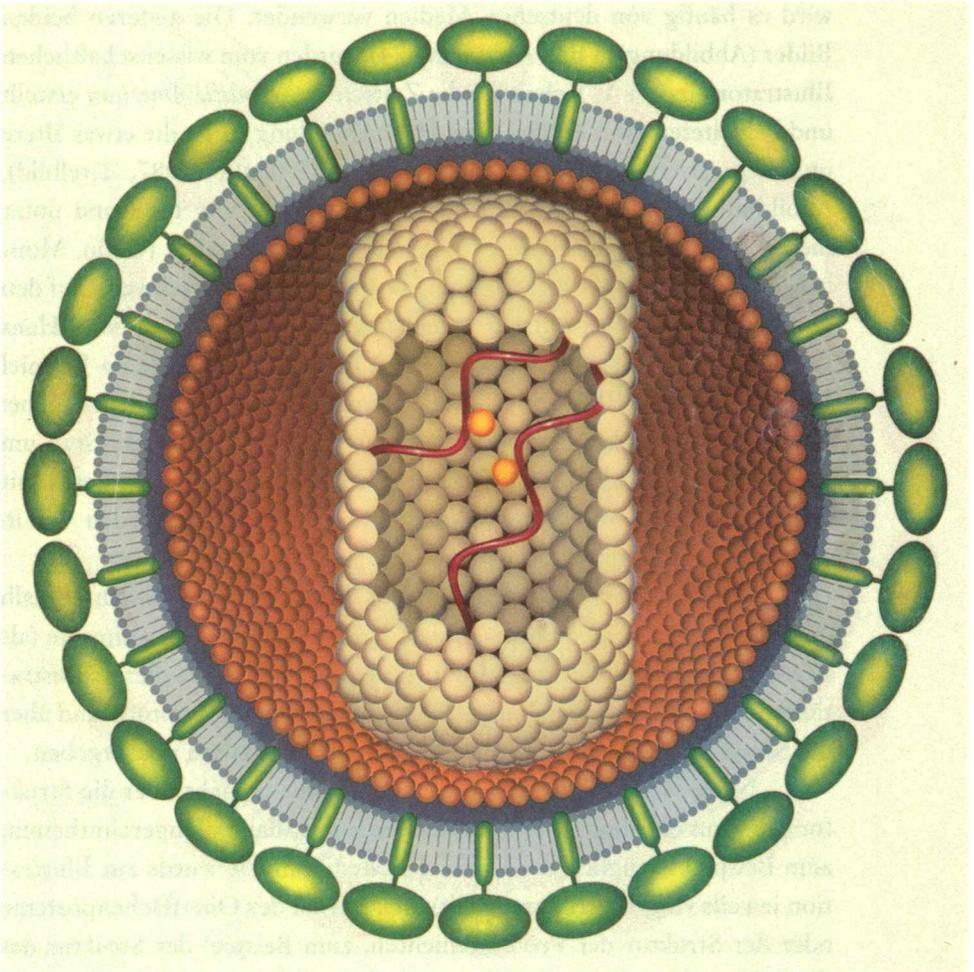
Die Struktur des HI-Virus

HIV, das Human Immunodeficiency Virus, welches die Immunschwäche AIDS auslöst, weist einen Durchmesser von etwa hundert Nanometern auf. Es ist damit zwar etwa zwanzig Mal grösser als ein Protein, aber immer noch zehn bis zwanzig Mal kleiner als ein Bakterium. Es kann deshalb nur mit Elektronenmikroskopen sichtbar gemacht werden. In diesen Bildern erscheint es als ovale bis runde, diffuse, schwarzweisse Struktur, die nur mit einem geschulten Auge zu lesen ist (zum geschulten Auge vgl. Fleck, 1983; Daston, Galison, 2002). Zur Erklärung der Struktur und des Vermehrungszyklus des Virus werden deshalb meistens schematische Illustrationen verwendet, wie sie Abbildung 22, Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen (S. 94 ff.). Bei diesen drei Illustrationen handelt es sich um die Originale der kanonischen Bilder, die in wissenschaftlichen Publikationen aller Art verwendet werden. Kopien dieses allgemeinen Typus finden sich heute in den wichtigsten Lehrbüchern der Biologie oder der Biochemie (Campbell, 2003; Stryer, 2002 u.a.), in E-Learning-Angeboten, in Printmedien, Nachrichtenmagazinen und auf dem Internet. Eine Übersicht über die Verbreitung im Internet kann über eine Bildersuche mit Google (<http://images.google.com>), zum Beispiel mit den Schlagworten «AIDS Virus», gewonnen werden. In unserer Untersuchung war jedes dritte Suchresultat, das ein schematisches Bild des HI-Virus zeigte, eine Variante dieses allgemeinen Typus und eine (modifizierte) Kopie oder die Kopie der Kopie dieser Bilder.

Alle drei Originale stammen aus den achtziger Jahren. Bei Abbildung 22 handelt es sich um das Titelbild von Michael Kochs Buch über AIDS (Koch, 1987; grafische Umsetzung: Graphico, Hamburg); heute



22 HI-Virus. Diese Illustration zeigt den Wissensstand zur Struktur des HI-Virus aus dem Jahr 1987. Dennoch wird sie weiterhin in zahlreichen Publikationen und insbesondere von den Nachrichtengagenturen häufig kopiert und verwendet (Koch, 1987).

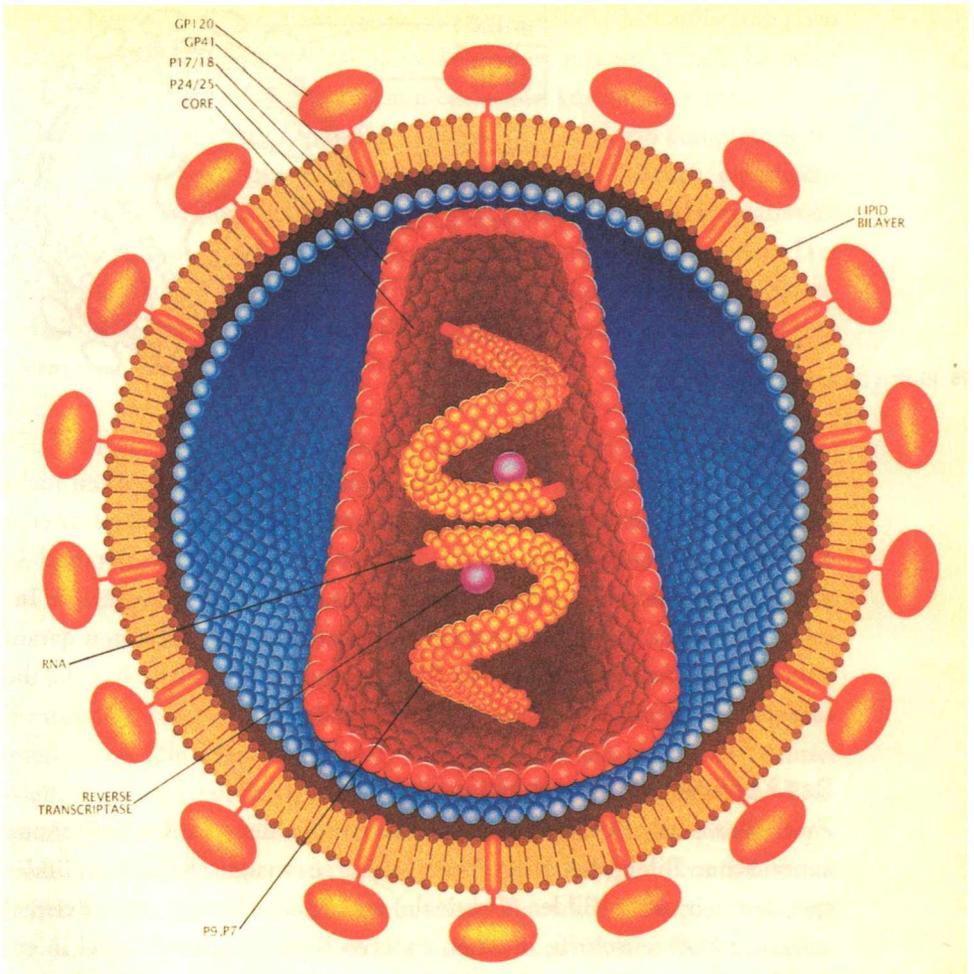


23 HI-Virus. Kelvins erste Illustration des HI-Virus aus dem Jahr 1987 ist aus heutiger wissenschaftlicher Sicht nicht mehr aktuell. Die Zahl der Oberflächenproteine ist zu gross, die Membran zu dick, die Form des Capsids untypisch. Auch fehlen essenzielle Bestandteile des Virus. Kopien dieser Abbildung werden aber weiterhin verwendet, zum Beispiel in einem namhaften Lehrbuch der Biochemie (Gallo, 1987).

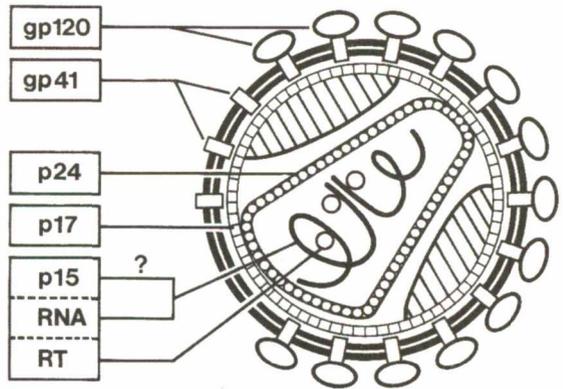
wird es häufig von deutschen Medien verwendet. Die anderen beiden Bilder (Abbildung 23 und Abbildung 24) wurden vom wissenschaftlichen Illustrator George V. Kelvin für die Zeitschrift *Scientific American* erstellt und begleiteten zwei Artikel über HIV. Abbildung 23 ist die etwas ältere und unpräzisere Variante aus dem Jahr 1987 (Gallo, 1987, Titelbild), Abbildung 24 die modifizierte Variante aus dem Jahr 1988 und unter diesen Bildern wissenschaftlich gesehen die zutreffendste (Gallo, Montagnier, 1988, S. 27). Wir vermuten, dass Kelvins Bilder teilweise auf den einfachen zweidimensionalen schematischen Zeichnungen von Hans Gelderblom aus Fachzeitschriften der Virologie basieren (zum Beispiel Gelderblom et al., 1987, S. 175, Abbildung 25, S. 98). Es handelt sich bei diesen Originalen also letztlich selbst bis zu einem gewissen Grad um Kopien. Kelvins Bilder sind grafisch «aufgepeppt». Die Frage, was mit Bildern bei einer solchen «Verschönerung» geschieht, werden wir in einem späteren Kapitel diskutieren.

Alle drei HIV-Bilder sind zwanzig Jahre alt. Es stellt sich deshalb die Frage, ob sie wissenschaftlich weiterhin gültig sind und weiterhin (als Kopien) verwendet werden sollten. Eine genaue Analyse dieser Illustrationen zeigt, dass sie den heutigen wissenschaftlichen Kenntnisstand über die Struktur des Virus unvollständig und teilweise falsch wiedergeben.

Nach zwei Jahrzehnten Forschung ist heute mehr über die Struktur des Virus bekannt. Alle drei Abbildungen enthalten Ungereimtheiten, zum Beispiel bezüglich der Dicke der Membran (sie wurde zur Illustration jeweils vergrößert dargestellt), der Anzahl der Oberflächenproteine oder der Struktur der Proteinschichten, zum Beispiel der Struktur des Capsids, von dem heute detaillierte Modelle vorliegen. Insbesondere fehlen aber bei allen Illustrationen zwei wichtige Enzyme. Die Illustrationen zeigen die Struktur des reifen Virus. Nachdem sich das HI-Virus von der Zelloberfläche abgelöst hat und gereift ist, enthält es drei wichtige Enzyme, die sogenannte reverse Transkriptase, die Integrase und die Protease. In den Illustrationen aus den achtziger Jahren ist nur jeweils ein Enzym (in zwei Kopien) dargestellt, nämlich die reverse Transkriptase. Das Enzym Integrase, welches eine wichtige Funktion in der Replikation des Virus spielt und im reifen Virus vorhanden ist, fehlt. Auch die Protease, die nach der Ablösung bei der Reifung des Virus involviert ist, fehlt. Nach unserer Erfahrung führt dies bei Studierenden regelmässig zu Missverständnissen.



24 HI-Virus. Bei Kelvins zweiter Illustration des HI-Virus handelt es sich um eine überarbeitete Variante der Illustration von 1987. Auch hier ist die Membran aus Gründen der Visualisierung vergrößert gezeichnet, Details sind ungenau, und essenzielle Bestandteile des Virus fehlen aus heutiger Sicht (Gallo, Montagnier, 1988).



25 HI-Virus (Gelderblom et al., 1987).

Es muss betont werden, dass die Bilder aus den achtziger Jahren nicht «falsch» oder «schlecht» sind. Sie repräsentieren aber einen veralteten Kenntnisstand und sollten heute durch neue Modelle ersetzt und in wissenschaftlichen Veröffentlichungen nicht mehr verwendet werden. Interessanterweise machten sowohl Koch als auch Kelvin seinerzeit darauf aufmerksam, dass es sich bei den Illustrationen um Modelle handle, die sicher überarbeitet und ergänzt werden würden.

Das Kopieren wissenschaftlicher Bilder

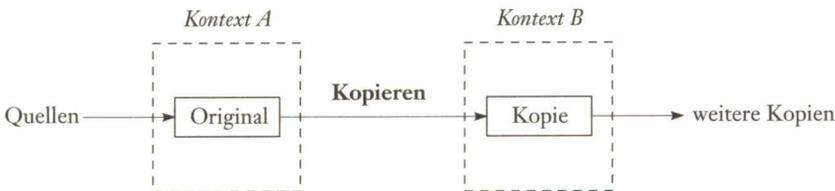
Zweifellos ist der Prozess des Kopierens entscheidend an der Entstehung kanonischer Bilder beteiligt. Vom Kopieren wissenschaftlicher Bilder sprechen wir, wenn Bilder (Originale) aus einem Kontext, zum Beispiel aus einer Fachzeitschrift, in einen anderen Kontext, zum Beispiel in ein Lehrbuch, übertragen werden. Wir bezeichnen damit also sowohl das Kopieren mit technischen Mitteln (Fotografie, Fotokopie, digitale Kopie u.Ä.) wie auch mit manuellen Mitteln (Pausen, Nachzeichnungen aller Art). Dieser Prozess ist in Abbildung 26 schematisch dargestellt.

Das Kopieren wissenschaftlicher Bilder hat eine lange Tradition. Bekannte Beispiele aus der Geschichte der Naturwissenschaften sind Dürers Rhinoceros-Holzschnitt (vgl. Gombrich, 2002, S. 71) oder Hookes Zeichnung eines Flohs (Ford, 1992, S. 167–202). Beide wurden häufig manuell kopiert, im Fall von Dürers Rhinoceros mit allen bekannten Ungereimtheiten, die das Bild enthält (Dürer selbst hatte das Tier nie gesehen, er schuf seine Darstellung nach Augenzeugenberichten und der Skizze eines unbekanntenen Künstlers).

Die Gründe dafür, ein wissenschaftliches Bild nicht vollständig neu selbst zu erstellen, sondern das ganze Bild oder zumindest Teile davon zu übernehmen, sind vielfältig. Es kann einfacher, kostengünstiger und weniger zeitaufwendig sein, ein Bild zu kopieren, anstatt ein komplett neues Bild zu entwerfen. Unter Umständen ist es gar nicht möglich, ein gleichwertiges Bild zu produzieren, weil die zugrundeliegenden Informationen oder die technischen und künstlerischen Mittel nicht gegeben sind. Der Wissenschaftshistoriker Brian Ford, der die Geschichte von wissenschaftlichen Bildern untersucht hat, äussert sich zum Kopieren folgendermassen (Ford, 1992, S. 3):

“Plagiarism has been a rife in science since the discipline emerged. (...) Each generation of copying takes one further from reality. A living specimen, well portrayed, becomes wooden and stiff as it is copied and re-copied. Scientific realities mutate. (...) there are ‘icons’ that stand out in scientific literature: illustrations to attract respect for learning, but which cannot be intended to represent reality.”

Er weist auf den Verlust der Bildqualität bei mehrmaligem manuellem Kopieren hin. Die Ähnlichkeit eines Bildes zum Objekt wird dabei immer kleiner, bis am Ende das Bild nur noch als Icon für das Objekt steht. Während Ford vor allem ältere wissenschaftliche Bilder bis ins 19. Jahrhundert untersuchte, haben wir viele repräsentative Beispiele von schematischen wissenschaftlichen Bildern aus dem Bereich der Biologie aus dem 20. Jahrhundert auf den Prozess des Kopierens analysiert. Dabei konnten



26 Prozess des Kopierens. Es ist dargestellt, wie ein Bild (ein Original) durch den Prozess des Kopierens von einem Kontext A in einen Kontext B übertragen wird. Die Kopie kann wiederum dazu verwendet werden, weitere Kopien herzustellen.

wir nachweisen, dass er auch heute noch einen grossen Einfluss auf die Darstellung wissenschaftlicher Bilder und ihre wissenschaftliche Qualität hat.

Die Problematik des Kopierens

Am Beispiel der Illustrationen des HI-Virus wird deutlich, dass sich die wissenschaftliche Qualität des Originals unmittelbar auf die Qualität der Kopie auswirkt. Wissenschaftliche Bilder beruhen auf Quellen, auf Modellen, Theorien, Hypothesen, Experimenten oder publizierten Daten. Auch die Bilder selbst werden als Modelle bezeichnet. Sie sind bestenfalls auf dem Kenntnisstand der Zeit, zu der sie publiziert wurden. Verändert sich dieser Kenntnisstand, so reduziert sich damit auch die wissenschaftliche Qualität des wissenschaftlichen Bildes (des Originals).

Die Verwendung von Bildern als Vorlagen für Kopien erweist sich aus diesem Grund als höchst problematisch. Abzuklären, wann ein Bild ursprünglich entstanden ist, kann aber, gerade weil Bilder so häufig kopiert werden, sehr schwierig sein, zumal bei Bildern in Lehrbüchern häufig auf die Quellenangabe verzichtet wird. Damit entsteht der Eindruck, ein Bild sei neu, repräsentiere den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand und sei speziell für das Lehrbuch erstellt worden. Eine genaue Analyse deckt aber häufig auf, dass es sich um eine Kopie eines viel älteren Originals handelt. Die Fallstudie zur Illustration des HI-Virus zeigt, dass etwa in Lehrbüchern oder auf dem Internet Illustrationen des Virus verwendet werden, die den aktuellen Kenntnisstand nicht mehr repräsentieren. Sie wurden nicht basierend auf aktuellen Forschungsergebnissen neu erstellt, sondern aus unterschiedlichen Motiven aus Publikationen der achtziger Jahre kopiert und nachgezeichnet. Weil sich der Kenntnisstand nicht zwangsläufig verändert, ist die Neuheit eines Bildes allein natürlich kein Mass für seine Qualität. Es muss betont werden, dass ein kopiertes oder ein altes Bild nicht per se von einer schlechten wissenschaftlichen Qualität ist.

Auch grafische oder ästhetische Aspekte eines Bildes geben keinerlei Aufschluss über die wissenschaftliche Qualität. Häufig trägt der Schein: Die veralteten Illustrationen des HI-Virus aus den achtziger Jahren sind von einer hohen grafischen Qualität. Dies ist sicher mit ein Grund, weshalb sie auch heute noch gerne verwendet werden. Die hohe Ästhetik impliziert eine hohe wissenschaftliche Qualität. Aber hier be-

steht keine Korrelation. Aufschluss über die wissenschaftliche Qualität eines Bildes kann nur eine fundierte Literaturrecherche geben, welche die geschichtliche Entwicklung der wissenschaftlichen Fakten mit einbezieht.

Die bereits erwähnten Probleme beim Kopieren werden durch die Dekontextualisierung der Originale noch verstärkt. Wird die Bildbeschriftung oder der Haupttext, auf den sich ein Bild bezieht, beim Kopieren nicht oder nur unvollständig übernommen, ist das Bild aus seinem ursprünglichen Kontext herausgelöst. Dabei können wichtige Informationen verloren gehen. Bowen und Roth (2002) haben in ihren Untersuchungen zu Lehrbüchern (Stufe High School und College) und Fachzeitschriften der Ökologie Beispiele, Diagramme etwa, identifiziert, die verändert in neuere Lehrbücher übernommen wurden. Die Veränderungen am Kontext und an den Bildern sollten eigentlich dazu dienen, die Bilder grafisch oder inhaltlich an das neue Lehrbuch anzupassen oder sie lesbarer zu machen. Dabei wurde aber der *gegenteilige* Effekt erreicht. Gerade diese Veränderungen erschwerten die Interpretation der Bilder und erhöhten die Anzahl der möglichen Deutungen. Die Autoren der Studie führen dies unter anderem darauf zurück, dass die Lehrbücher paradoxerweise kürzere Erklärungen, zum Beispiel in Form von Bildbeschriftungen, enthielten als die Originale in den Fachpublikationen. Im Extremfall stand ein Bild nach der Dekontextualisierung für sich allein. Weil Bilder von Natur aus vieldeutig sind und keine eindeutige Aussage machen, ging die intendierte Aussage des Autors der Originalpublikation verloren.

Eine progressive Modifikation eines wissenschaftlichen Bildes kann folgendermassen zustande kommen: Zunächst wird ein Bild aus einer Fachzeitschrift in ein Lehrbuch übernommen, grafisch an das Layout des Lehrbuchs angepasst und inhaltlich leicht verändert. Anschliessend wird das Bild für Vorlesungsunterlagen kopiert, erneut verändert und angepasst. Das Vorlesungsskript bildet den Ausgangspunkt für ein E-Learning-Modul. Dabei wird das Bild an das Layout der Lernumgebung angepasst. Es ist absehbar, dass das letzte Bild dieser Reihe nur noch eine Verzerrung des ursprünglichen Bildes darstellt.

Fazit

Wie sollten wir vorgehen, um die Probleme zu vermeiden, die beim Kopieren von wissenschaftlichen Bildern auftreten können? Das Fallbeispiel

HIV hat aufgezeigt, dass eine Bildersuche mit Hilfe von Google nicht der richtige Weg ist. Wer auf diese Weise nach einem Bild der Struktur von HIV sucht, wird mit grosser Wahrscheinlichkeit letztlich eine Illustration aus den achtziger Jahren erhalten. Auch Lehrbücher weisen eine hohe Dichte an kopierten Bildern auf.

Die erwähnten Probleme könnten eigentlich einfach gelöst werden. Beim Kopieren eines wissenschaftlichen Bildes aus der Literatur, das mit oder ohne Modifikation wiederverwendet werden soll, ist es zunächst wichtig, die wissenschaftliche Qualität des Bildes zu evaluieren. Diese kann mittels einer Recherche in der Fachliteratur beurteilt werden. Ist ein Bild von guter Qualität, kann es unter Berücksichtigung der Dekontextualisierung weiterverwendet werden. Falls es sich bei dem Bild um eine Kopie eines viel älteren Originals handelt, ist besondere Vorsicht geboten. Wenn das Bild damals auch dem Kenntnisstand entsprach, könnte es inzwischen veraltet sein. Um die Entwicklung eines Bildes über die Zeit nachvollziehen zu können, müssen Vorläufer in älteren Publikationen untersucht werden. Das Studium der Originalpublikationen ermöglicht es, wissenschaftliche Bilder einzuordnen und zu datieren. Die Literaturrecherchen führen schliesslich unter Umständen auch dazu, dass ein neues Bild von hoher Qualität erstellt werden kann oder dass die Darstellungsform überdacht wird.

Es wurde gezeigt, dass die Dekontextualisierung von Bildern problematisch ist. Grafische und inhaltliche Anpassungen, etwa an ein Lehrbuch, können die ursprüngliche Aussage und Funktion eines Bildes verzerren. Veränderungen an Kontext und Bild müssen daher sehr sorgfältig geplant und überdacht werden. Unter Umständen ist die Dekontextualisierung gar nicht notwendig. Im Gegenteil: Durch Präsentation der Originalpublikation werden die Probleme vermieden, die beim Kopieren entstehen. Gleichzeitig lernen zum Beispiel Studierende, die statt mit artifiziell-didaktischen Bildern mit Illustrationen aus Originalpublikationen konfrontiert werden, nicht nur etwas über den dargestellten Sachverhalt, sondern auch über Bildinterpretation und Quellenkritik.

Neben der wissenschaftlichen Qualität eines Bildes sind weitere Arten der Qualität beim Kopieren für die praktische Verwendung zu diskutieren.

Eine erste ist die rechtliche Qualität. Hier ist insbesondere das Urheberrecht zu berücksichtigen. Wissenschaftliche Bilder, wie etwa die

Illustrationen von HIV, sind als «geistige Schöpfungen mit individuellem Charakter» urheberrechtlich geschützt². Im Gegensatz zum Patentrecht gilt das Urheberrecht sofort nach der Erschaffung des Werks und erfordert keinerlei Registrierung. Es erlischt im Allgemeinen erst siebenzig Jahre nach dem Tod des Urhebers. Veröffentlichte Werke (zum Beispiel wissenschaftliche Bilder) dürfen für den Eigengebrauch im persönlichen Bereich und durch eine Lehrperson für den Unterricht in der Klasse verwendet werden. Die Publikation eines urheberrechtlich geschützten Bildes in einer Zeitschrift, einem Buch oder auch auf dem Internet erfordert hingegen die Einwilligung des Urhebers. Wer geschützte Bilder kopiert, nachzeichnet oder modifiziert und diese in irgendeiner Form veröffentlichen möchte, sollte die Einwilligung dazu beim Urheber einholen.

Eine zweite ist die grafische Qualität. Diese kann sich beim Kopieren wesentlich verschlechtern, sowohl bei einer technischen Reproduktion wie auch bei einer manuellen Nachzeichnung. Für Vorlesungen werden zum Beispiel Bilder aus Lehrbüchern oder Fachzeitschriften eingescannt, was häufig zu einer Qualitätseinbusse führt. Dies lässt sich vermeiden, wenn das Bild in digitaler Form kopiert wird. Einige Lehrbuchverlage stellen CDs oder Internetseiten für das Lehrpersonal zur Verfügung, auf denen alle Bilder eines Lehrbuchs digital in hoher Auflösung abrufbar sind. Viele Fachpublikationen liegen heute digital vor, zum Beispiel als PDF. Daraus lassen sich ebenfalls hochaufgelöste digitale Bilder gewinnen. Generell sollte auf eine hohe Auflösung für den Druck (zum Beispiel eines Vorlesungsskripts) geachtet werden, da sonst Informationen verloren gehen können. Bei Textverarbeitungs- und Präsentationsprogrammen lassen sich bessere Resultate erreichen, wenn ein Bild in doppelter Grösse eingefügt und auf die normale Grösse skaliert wird. Manchmal lässt sich die grafische Qualität eines Bildes beim Kopieren auch verbessern. Wenn ein Original in schlechter Qualität vorliegt, kann es zum Beispiel mit einem Vektorgrafikprogramm nachgezeichnet werden. Dies ist allerdings meist nur bei einfachen, schematischen Bildern möglich.

Eine dritte Art ist die didaktische Qualität. Diese bezieht sich auf die Frage, wie effizient mit einem Bild gelernt werden kann. Zu diesem

² Wir beziehen uns hier auf das Schweizerische Bundesgesetz über das Urheberrecht, http://www.admin.ch/ch/d/sr/231_1/.

Thema existiert eine umfangreiche Literatur (u.a. Goldsmith, 1984; Weidenmann, 1993; Ballstaedt, 1997; Mayer, 2001). Wir werden uns mit einigen Aspekten dieses Themas noch auseinandersetzen.

Weitere Arten der Qualität lassen sich anführen, etwa die ästhetische Qualität. Entscheidend ist jedoch, dass nicht jede Art der Qualität in jedem Fall möglichst hoch sein muss. In einem Kontext kann etwa die wissenschaftliche, in einem anderen Kontext die grafische Qualität im Vordergrund stehen.

3. Die Entstehung und Entwicklung wissenschaftlicher Tatsachen

Wissenschaftliche Studien haben gezeigt, dass sportliche Menschen seltener krank sind als Couch Potatoes, denn ihr Immunsystem ist 30 bis 50 Prozent stärker.

Gesundheits-Magazin *Vista*, 6/2005, S. 20

Beim Fallbeispiel des HI-Virus haben wir gesehen, dass die bunten dreidimensionalen Strukturen im *Scientific American* auf einer einfachen Strichzeichnung basieren, die in *Virology*, einer Fachzeitschrift der Virologie, veröffentlicht wurde. Sie entstanden, um die Bedürfnisse einer populärwissenschaftlichen Zeitschrift zu befriedigen. Wir haben auch gesehen, wie der Stammbaum der Sprachen im Wissenschaftsteil einer Sonntagszeitung veranschaulicht wurde und dass diese Darstellung ganz anders gestaltet ist als die inhaltlich identische in einem wissenschaftlichen Handbuch der Linguistik. Ganz offensichtlich beeinflusst der Kontext, in den ein wissenschaftliches Bild gestellt wird, die Gestaltung und den Inhalt des Bildes.

In diesem Kapitel gehen wir der Frage nach, welche Unterschiede zwischen den wissenschaftlichen Bildern in Fachzeitschriften, Lehrbüchern und populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen bestehen. Die Antwort auf diese Frage kann uns auch Hinweise darauf geben, wie der

Prozess des Kopierens die Entstehung kanonischer Bilder beeinflusst. Der Linguist Uwe Pörksen hat zur Klärung dieser Frage einen entscheidenden Beitrag geleistet, als er 1997 in seinem Buch *Weltmarkt der Bilder* (Pörksen, 1997) Ludwik Flecks Erkenntnistheorie bezüglich ihrer Relevanz für das wissenschaftliche Bild diskutierte. Der Bakteriologe Ludwik Fleck (1896–1961) beschreibt im vierten Kapitel seines Buchs *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache* die Entwicklung wissenschaftlicher Sachverhalte von der Fachwissenschaft zur Populärwissenschaft (Fleck, 1980, 1. Ausgabe 1935). Wie Pörksen zeigt, geht dieser Prozess mit einer unterschiedlichen Verbildlichung einher. In diesem Kapitel zeichnen wir die Erkenntnisse von Fleck und Pörksen nach und ergänzen sie mit einigen weiteren Beispielen und Gedanken.

Die Struktur des wissenschaftlichen Denkkollektivs

Fleck unterscheidet grundsätzlich zwei Arten der wissenschaftlichen Denkkollektive, die er als konzentrische Kreise unterschiedlicher Radien beschreibt und weiter unterteilt. Im Mittelpunkt des ersten Kreises, der *esoterischen* Wissenschaft, stehen die Fachleute eines Fachgebiets. Bei diesen handelt es sich um schöpferisch an einem Problem arbeitende und gründlich unterrichtete Forscher. Diese Fachleute veröffentlichen ihre Untersuchungen, Beobachtungen und Experimente in Zeitschriften; Fleck nennt dies die *Zeitschriftwissenschaft*. Charakteristisch für die Artikel in Fachzeitschriften ist, dass sie in ihren Standpunkten und Experimenten persönlich gefärbt sind. Gleichzeitig versuchen diese persönlichen Berichte an das allgemeine Fachgebiet, von dem sie ein Teil sind, anzuknüpfen: Einleitend werden stets allgemein akzeptierte Erkenntnisse, der jeweilige Stand der Forschung und ungelöste Probleme referiert (zur Geschichte und Form wissenschaftlicher Artikel siehe auch Gross, Harmon, Reidy, 2002). Die Sprache der esoterischen Zeitschriftwissenschaft ist hypothetisch und persönlich gefärbt. Geschrieben wird vorsichtig und häufig im Konjunktiv: «wir haben nachzuweisen *versucht* ...», «es scheint möglich zu sein, dass ...», «es konnte nicht nachgewiesen werden, dass ...».

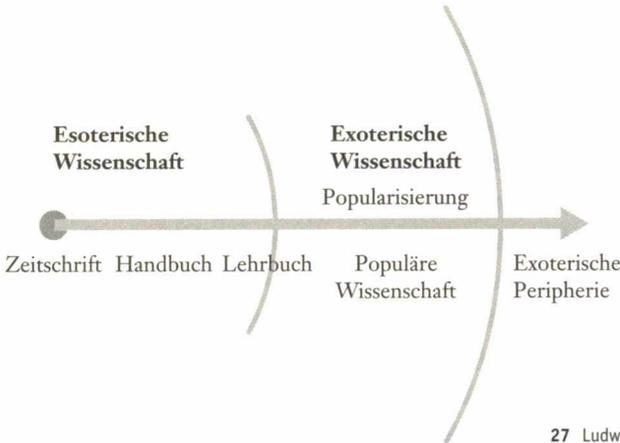
Die *Handbuchwissenschaft* gehört nach Fleck ebenfalls zum inneren Kreis der esoterischen Wissenschaft, ist aber etwas weiter vom Zentrum entfernt. Handbücher entstehen nicht durch Addition von Zeitschriftenartikeln, sondern durch Auswahl und eine ordnende Zusammenstellung.

Sie sind in der Sprache unpersönlicher und vermitteln mehr Gewissheit: «es existiert das und das nicht», «es gibt so und so etwas». Die Handbuchwissenschaft lässt den Sachverhalt stärker belegt, sicherer und kohärenter erscheinen. Aus dem ungeordneten System der Zeitschriftwissenschaft entsteht durch Auswahl, Vermengung und Anpassung ein geschlossenes System, das verbindliche und allgemeingültige Erkenntnisse vorlegt.

Schliesslich kann die *Lehrbuchwissenschaft* als Einweihung in die Wissenschaft nach speziellen pädagogischen Methoden ebenfalls zur esoterischen Wissenschaft gerechnet werden. Fleck geht nicht im Detail auf sie ein.

Entfernt man sich noch weiter vom esoterischen Mittelpunkt der Fachleute, gelangt man zum zweiten Kreis, der *exoterischen* Wissenschaft und damit zur *Populärwissenschaft*. Dazu zählen nicht mehr die Fachleute, sondern die mehr oder weniger gebildeten «Dilettanten». Der Begriff ist nicht abwertend gemeint, sondern bezeichnet Nicht-Fachleute, Wissenschaftler, die selbst nicht im Fachgebiet tätig sind, gleichermassen wie gebildete Laien. Populär heisst, dass etwas auch für den Nicht-Fachmann verständlich ist.

Populärwissenschaft unterscheidet sich von der fachspezifischen esoterischen Wissenschaft durch Vereinfachung, grössere Anschaulichkeit und Apodiktizität (apodiktisch: unumstösslich geltend, unbedingt richtig). Charakteristisch für sie ist die Unterdrückung von Einschränkungen, Komplikationen oder widersprechenden Befunden und Meinungen: Durch Vereinfachung und Wertung des Fachwissens entsteht ein anschauliches Bild. Fleck nennt die Diagnose eines bakteriellen Erregers als Beispiel: Der Fachmann (der esoterischen Wissenschaft) beschreibt die bakterielle Kultur mit einer komplizierten, vielleicht widersprüchlichen und hypothetischen Fachsprache. Für die Mitteilung an den Allgemeinarzt wird er jedoch eine allgemeinverständliche, einfachere, anschauliche Sprache wählen. Beim Patienten schliesslich wird die Diagnose zur Gewissheit: «Es wurde Diphtherie festgestellt.» «Gewissheit, Einfachheit, Anschaulichkeit entstehen erst im populären Wissen» (Fleck, 1980, S. 152). Je weiter man sich von der Wissenschaft der Fachleute entfernt, desto weniger sind Beweise gefragt. Die Populärwissenschaft beeinflusst die öffentliche Meinung und die Weltanschauung. Sie beschränkt sich aber nicht nur auf die gebildeten und ungebildeten Dilettanten, sie wirkt auch



27 Ludwik Flecks Unterteilung der Denkkollektive.

auf die Fachleute zurück. Abbildung 27 fasst Ludwik Flecks Erkenntnisse zusammen und zeigt die Entwicklung des Wissens von der Hypothese bis zur gesicherten Tatsache.

Uwe Pörksen hat untersucht, ob diese Abstufung auch auf sprachlicher und visueller Ebene zu finden ist (Pörksen, 1997, S. 108–135). Die sprachlichen Aspekte wurden bereits diskutiert: Die anfänglich hypothetische Ausdrucksweise («es könnte sein») der esoterischen Wissenschaft wandelt sich zur Beschreibung fester Tatsachen («es ist») der Handbuchwissenschaft und besonders der populären Wissenschaft. Auf der visuellen Ebene diskutiert Pörksen zwei Beispiele: die Darstellung des Stammbaums in der Evolutionstheorie und die Darstellung der DNA. Diese und weitere Beispiele zeigen, dass eine Entwicklung der Bilder parallel zur Veränderung der Sprache stattfindet und dass sich die Bilder fünf Stufen zuweisen lassen (Pörksen, 1997, S. 133):

- | | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| 1. Hypothetische Skizze | Esoterische Wissenschaft |
| 2. Hypothetisches Schema | Zeitschrift-, Handbuchwissenschaft |
| 3. Lehrbuchzeichnung | Lehrbuchwissenschaft |
| 4. Populäre Veranschaulichung | Populärwissenschaft |
| 5. Universeller Visiotyp | Populärwissenschaft |

In der esoterischen Wissenschaft steht zu Beginn die *hypothetische Skizze*. Sie dient dem Wissenschaftler als heuristisches Instrument. Uwe Pörksen hat solche Skizzen zum Beispiel bei Darwin (Skizze der Evolution) und bei Watson (Skizze der Basenpaarung der DNA) gefunden. Bei solchen

Skizzen handelt sich nicht um perfekte Zeichnungen, sondern um einfache Strichzeichnungen, welche zum Beispiel in ein Notizbuch, ein Laborjournal, auf ein Stück Papier oder eine Serviette gekritzelt werden. Diese Skizzen sind der Konjunktiv im visuellen Bereich, Hypothesen und visuelle Gedankenexperimente. Sie sind nicht zur Veröffentlichung bestimmt und daher im Allgemeinen weniger gut zugänglich.

Nach der detaillierten Ausarbeitung der Skizze, zum Beispiel für die Kommunikation mit Kollegen oder für die Veröffentlichung in einer Fachzeitschrift, gelangen wir im Rahmen der esoterischen Wissenschaft zu einem *hypothetischen Schema*. Dieses trägt noch Züge der Skizze, es ist aber zeichnerisch ausgereifter, stärker gegliedert und beschriftet. Ab dieser Stufe, insbesondere bei der Veröffentlichung von Erkenntnissen, werden auch andere Personen aus dem Umfeld des Wissenschaftlers oder wissenschaftliche Illustratoren mit der zeichnerischen Umsetzung der Schemata beauftragt. Für solche einfache, schwarzweisse, hypothetisch-schematische Zeichnungen finden sich etwa in der Biologie viele Beispiele:

- Watson und Crick, Struktur der DNA (Watson, Crick, 1953, Abbildung 13, S. 77)
- Singer und Nicolson, Fluid-Mosaic-Modell der Zellmembran (Singer, Nicolson, 1972; Abbildung 14, S. 77)
- Hans Gelderblom, HI-Virus (Gelderblom et al., 1987; Abbildung 25, S. 98)
- Charles Darwin, Schema der Abstammung der Arten (Darwin, 1859)
- David Lack, Stammbaum der Darwinfinken (Lack, 1947)

Es lassen sich auch in anderen Fachgebieten zahlreiche entsprechende Beispiele anführen. Die schematischen Zeichnungen sind in ihrer Darstellung unterschiedlich hypothetisch. Einige sind beinahe zaghaft, mit gestrichelten Linien und Fragezeichen gezeichnet (zum Beispiel bei Gelderblom), andere haben definitiven Charakter (zum Beispiel die Zellmembran bei Singer, Nicolson; die DNA von Watson, Crick; vgl. auch Pörksen, 1997, S. 123).

Im dritten Schritt entsteht die *Lehrbuchzeichnung*. Sie ist Teil der Handbuch- und Lehrbuchwissenschaft, zu der auch die Übersichtsartikel, die *Reviews*, zählen. Hier kommt der Prozess des Kopierens zum Tragen: Die Lehrbuchzeichnung ist nämlich in der Regel eine modifizierte

Kopie des hypothetischen Schemas. Der Übergang vom Originalbild aus dem Zeitschriftenartikel in das Lehrbuch und ähnliche Publikationen markiert den ersten Schritt des Prozesses, der schliesslich zum kanonischen Bild führt. Aus dem Lehrbuch wird das Bild weiterkopiert – als Kopie einer Kopie, von Lehrbuch zu Lehrbuch, von Übersichtsartikel zu Übersichtsartikel, bis schliesslich ein kanonisches Bild entstanden ist, das weltweit verwendet wird.

Der Übergang vom hypothetischen Schema zur Lehrbuchdarstellung geht einher mit einer Modifikation des Originals. Die Lehrbuchzeichnung enthält *didaktisierende Elemente*. Aufgrund psychologischer Erkenntnisse wird etwa gefordert, Text und Bild sollten möglichst nahe zusammen kombiniert werden: «Spatial Contiguity Principle: Students learn better when corresponding words and pictures are presented near rather than far from each other on the page or screen» (Mayer, 2001, S. 81). In einem bekannten amerikanischen Biologielehrbuch werden zum Beispiel in den Bildern Sprechblasen verwendet, um das Dargestellte zu beschriften und zu beschreiben (Purves et al., 2001). Weitere didaktische Elemente sind Sequenzierungen, Vergrößerungsansichten mit Pfeilen und Lupen, detaillierte Beschriftungen und so weiter.

Verändern kann sich auch der *Darstellungstypus*. Häufig entsteht erst auf der Stufe der Lehrbuchzeichnung ein konkretes Bild im Sinn eines Abbilds. In Fachzeitschriften werden eher Diagramme verwendet, die Messergebnisse zeigen. Im Zusammenhang mit dem Beispiel des radioaktiven Zerfalls haben wir diskutiert, wie eine mathematische Funktion und Messergebnisse im Lehrbuch verbildlicht werden können.

Der Übergang von der Hypothese zur handfesten Realität wird am besten aus *stilistischen Veränderungen* ersichtlich. Ursprünglich schwarz-weise, zweidimensionale Schemazeichnungen werden im Lehrbuch zu naturalistischen Darstellungen, die ein dreidimensionales, fassbares Objekt wiedergeben. Dabei werden Unsicherheiten, die im Original durch Fragezeichen oder gestrichelte Linien ausgedrückt wurden, eliminiert.

Die Lehrbuchzeichnung dient Dozierenden und Lehrern zur Vermittlung der herrschenden Lehre in Lehrbüchern, Vorlesungen oder an der Schule. Häufig ziehen wir in der Lehre gefestigte, sichere und unpersönliche Fakten bei der Vermittlung vor. Der geschichtliche Hintergrund, wann, wo und über welche Irrwege eine wissenschaftliche Erkenntnis gewonnen wurde, interessiert weniger. Der Lehrende bleibt den

Studierenden die Beweise schuldig. «Die Studierenden akzeptieren Theorien wegen der Autorität des Lehrers oder des Lehrbuchs, nicht aufgrund von Beweisen» (Kuhn, 1976, S. 93f.).

Die Wissenschaft selbst benötigt kanonische Darstellungsformen zur Präsentation ihrer Resultate. Wir haben Beispiele bereits bei der Darstellung der Proteine kennengelernt. Diese Darstellungsformen dienen zur Präsentation und Publikation wissenschaftlicher Untersuchungen, in diesem Fall etwa zur Publikation einer neu aufgeklärten Proteinstruktur. In der Kladistik, die sich mit der evolutionären Verwandtschaft zwischen den Organismen befasst, haben sich die standardisierten phylogenetischen «Stammbäume» durchgesetzt. Das sind die kanonischen Bilder der Evolutionstheorie. Jedes Fachgebiet verwendet einen kleineren oder grösseren, mehr oder weniger standardisierten Fundus an kanonischen Darstellungsformen und Bildern. Die Chemie braucht Strukturformeln, um Strukturen und chemische Reaktionen darzustellen. Diese Formeln sind hochstandardisiert, es handelt sich um eine eigentliche Bildsprache, die sich über Jahrhunderte herausgebildet hat. In anderen Gebieten, zum Beispiel in der Pharmakologie, ist die Bildsprache weit weniger standardisiert.

Die *populäre Veranschaulichung* schliesslich steigert die Bildsprache des Lehrbuchs noch weiter hin zur naturalistischen Darstellung. Ein Beispiel ist etwa die Illustration des Stammbaums der Sprachen (Abbildung 16, S. 81). Fleck liefert ein weiteres Beispiel von der «exoterischen Peripherie», dem äusseren Rand der Populärwissenschaft, wo «das Wort» bereits «zum Fleische geworden» ist (Fleck, 1980, S. 155f.):

«(...) Ich habe ein Beispiel solcher krass-populären Wissenschaft vor Augen: es handelt sich um eine Abbildung, die die hygienische Tatsache der Tröpfcheninfektion darstellt. Ein zum Skelett abgemagerter, sitzender Mann mit grauvioletterm Gesicht hustet. Mit einer Hand stützt er sich mühsam an der Sessellehne, mit der anderen drückt er die schmerzende Brust. Aus dem offenen Mund fliegen die bösen Bazillen in Gestalt kleiner Teufelchen heraus ... Ein rosiges Kind steht ahnungslos daneben. Ein Teufel-Bazillus ist dem kindlichen Mund ganz, ganz nahe ... Halb Symbol, halb Glaubenssache, ist der Teufel in dieser Abbildung leiblich gemalt. Er spukt aber auch tief in der Fachwissenschaft, in den Anschauungen der Immunitätslehre, in ihren Kampf- und Abwehrbildern.»

Diese Bilder von der exoterischen Peripherie sind weitverbreitet, man findet sie in der Unterhaltung, der Werbung, im Film und im Fernsehen oder auch im Wissenschaftsjournalismus. Sie dienen zur Unterhaltung, zur Pointierung oder einfach nur dazu, eine Geschichte zu verkaufen. Sie sind auch wissenschaftlich häufig nicht ernst gemeint, sondern dienen «nur als Illustration». Im folgenden Fallbeispiel untersuchen wir die Populärwissenschaft und ihre Bilder exemplarisch.

Fallbeispiel zur Populärwissenschaft: Das doppelte COX

Die Haare auf seinem Kopfe sträubten sich, und er knickte, vor Schreck besinnungslos, da wo er stand, zusammen. Und er hatte auch allen Grund, entsetzt zu sein. Herr Goljadkin hatte seinen nächtlichen Freund vollständig erkannt. Sein nächtlicher Freund war kein anderer als er selbst, Herr Goljadkin selbst, ein anderer Herr Goljadkin, aber vollständig derselbe wie er selbst, mit einem Worte, was man nennt, sein Doppelgänger in jeder Beziehung.

Fjodor M. Dostojewski, *Der Doppelgänger*, 2003, S. 69

Wer in der Apotheke oder beim Arzt nach einem Schmerzmittel verlangt, erhält oft ein Medikament aus der Klasse der sogenannten nichtsteroidalen Antirheumatika (abgekürzt NSAR). Das bekannteste dieser Arzneimittel ist das durch Felix Hoffmann im Jahr 1897 synthetisierte Aspirin®, das den Wirkstoff Acetylsalicylsäure enthält. Zu derselben Medikamentenklasse gehören auch viele weitere, im 20. Jahrhundert entwickelte Medikamente, zum Beispiel Voltaren® (Diclofenac), Ponstan® (Mefenaminsäure), Brufen® (Ibuprofen) oder Novalgin® (Metamizol). Das Attribut nichtsteroidal grenzt die NSAR von Corticosteroiden wie Cortisol ab. NSAR werden auch als nichtopioide Analgetika bezeichnet, um sie von den ebenfalls schmerzstillenden Opioiden wie Morphin und Codein zu unterscheiden.

Lange Zeit war unbekannt, über welchen Mechanismus die NSAR wirken. Erst in den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts, über siebzig Jahre nach der Einführung von Aspirin, wurde der Wirkmechanismus auf-

geklärt. Die NSAR verhindern im Körper die Bildung von Prostaglandinen durch Hemmung des Enzyms Cyclooxygenase (abgekürzt COX). Prostaglandine sind körpereigene Substanzen, die an der Entstehung von Fieber, Schmerz und Entzündungen wesentlich beteiligt sind. Die Hemmung der Synthese dieser Substanzen bewirkt als Folge eine Senkung des Fiebers, eine Linderung des Schmerzes und eine Hemmung der Entzündung. Prostaglandine haben aber auch wichtige physiologische Funktionen, zum Beispiel üben sie einen schützenden Effekt auf die Magenschleimhaut aus und steigern die Aggregation der Blutplättchen bei der Blutgerinnung. Da diese physiologischen Effekte bei der Arzneimitteltherapie ebenfalls gehemmt werden, kommt es zu den bekannten unerwünschten Nebenwirkungen der NSAR. Die wichtigsten betreffen den Magendarmtrakt und die Niere: Bei kurzzeitiger Einnahme kann es zu leichten gastrointestinalen Störungen wie Magenbrennen und Diarrhö kommen. Insbesondere bei längerer Einnahme sind Blutungen im Magendarmtrakt, Magen- und Darmgeschwüre und Nierenfunktionsstörungen gefürchtet. Da diese Medikamente entgegen den Empfehlungen bei einer Reihe von Krankheiten über einen längeren Zeitraum eingenommen werden (müssen) – etwa bei Arthritis, chronischen Rückenschmerzen oder Verletzungen –, stellen die unerwünschten Nebenwirkungen ein schwerwiegendes Problem dar und führen auch zu Hospitalisationen und sogar zu Todesfällen.

Anfang der neunziger Jahre zeichnete sich eine elegante Lösung für dieses Problem ab. 1991 wurde entdeckt, dass es sich bei der durch die NSAR gehemmten Cyclooxygenase nicht um ein einzelnes Enzym, sondern um zwei Isoenzyme – zwei sehr ähnliche Varianten des Enzyms – handelt, die im Folgenden als COX-1 und COX-2 bezeichnet wurden. Mehrere Experimente zeigten in den folgenden Jahren, dass trotz einer hohen Ähnlichkeit zwischen den zwei Enzymen funktionelle und strukturelle Unterschiede bestehen. COX-1 stellt offenbar die dauerhaft (konstitutiv) im Körper gebildete Form des Enzyms dar, die physiologische Funktionen erfüllt, zum Beispiel einen schützenden Effekt auf die Magenschleimhaut ausübt und für die Plättchenaggregation verantwortlich ist. COX-2 hingegen schien nur im Zusammenhang mit Entzündungen, Schmerz und Fieber aufzutreten und diese Symptome auszulösen und zu verstärken. Es wurde spekuliert, dass mit einem Arzneimittel, das die selektive Hemmung von COX-2 ermöglicht, die unerwünschten Wir-

kungen der NSAR eliminiert werden könnten (siehe zum Beispiel bei Mitchell et al., 1994). Das Resultat wäre ein nahezu perfektes Schmerzmittel. Die pharmazeutische Industrie erkannte schnell das Potenzial eines solchen Medikaments. Mehrere Firmen verfolgten entsprechende Projekte. Ende der neunziger Jahre kamen die ersten selektiv COX-2 hemmenden Medikamente auf den Markt: Celebrex® (Celecoxib), Vioxx® (Rofecoxib), gefolgt von Bextra® (Valdecoxib) (Flower, 2003). Nun ist sehr aufschlussreich, wie der Wirkmechanismus dieser Medikamente einerseits in der Populärwissenschaft und andererseits in der esoterischen Wissenschaft kommuniziert wurde.

Die Populärwissenschaft und die Werbung zeichneten ein schwarz-weißes Bild, einen Dualismus von einem guten COX-1 und seinem bösen Doppeltgänger COX-2. Das «gute» COX-1 wurde als «housekeeping», schützend (protektiv) und unterstützend beschrieben. COX-2 hingegen, der verräterische Doppeltgänger, war schlecht, schädigend und Auslöser von Fieber, Entzündung und Schmerz.

Die Zulassung der sogenannten COX-2-Inhibitoren wurde euphorisch gefeiert. Im *New Yorker* beispielsweise beschrieb Jerome Groopman unter dem Titel *Super Aspirin Celebrex®* als nebenwirkungsfreies Allheilmittel gegen Schmerz und vielleicht sogar gegen Krebs und Alzheimer. Vielleicht könne man mit den neuen Medikamenten nicht nur Symptome lindern, sondern sogar die Ursache des Schmerzes heilen (Groopman, 1998). Diese wundersame Zweiteilung in ein gutes und ein böses Isoenzym regte die Ärztin Judy Paley gar zu einem Gedicht an (<http://www.femailhealthnews.com/newsletterview.cfm?ID=304>):

If you want to keep
Your stomach intact,
Call on little COX-1
Said the Cat in the Hat.

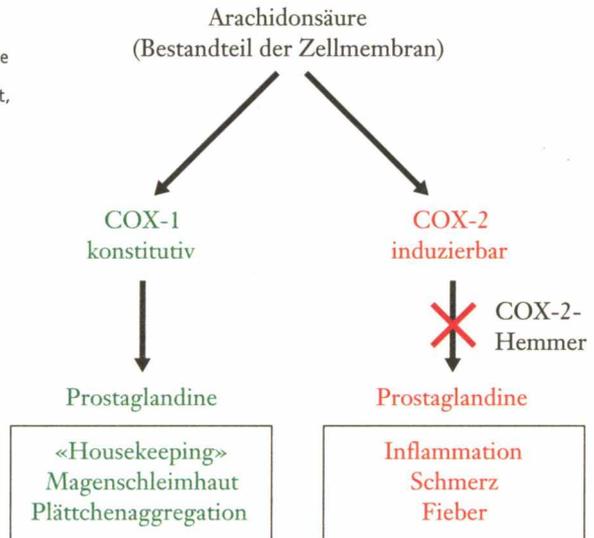
But if inflamed joints,
Make you sad, make you blue,
Then you'll want to inhibit
That bad, bad COX-2.

Bilder spielten bei der Entwicklung dieses Dualismus eine wichtige Rolle. Die spannende Geschichte vom Guten und Bösen stellt selbst ein geisti-

ges Bild dar. Zu seiner Etablierung trug ein wissenschaftliches Bild, das in unzähligen kopierten Varianten vorliegt und auf ein Original von Mitchell et al. zurückgeht, entscheidend bei. Das ursprüngliche hypothetische Schema wurde zur populären Veranschaulichung auch koloriert, die Aussagen wurden noch weiter vereinfacht. Abbildung 28 ist ein Exemplar des kanonischen Typus. Das immer wieder kopierte Bild festigte das Paradigma der Gut-böse-Geschichte in zwei Spalten. Durch die Lösung aus dem Kontext der wissenschaftlichen Artikel gingen wichtige Einschränkungen verloren.

Die vereinfachte, anschauliche und apodiktische Gut-böse-Geschichte – illustriert mit den entsprechenden Bildern – erwies sich als hervorragendes Werbeinstrument für die neu entwickelten Medikamente. Die Werbung ist deshalb so wichtig, weil im grössten Arzneimittelmarkt der Welt, in den USA, das sogenannte direct-to-consumer advertising erlaubt ist. Das bedeutet, dass die Werbung für verschreibungspflichtige Medikamente direkt beim Konsumenten erlaubt ist. Die direkte Werbung kann unter anderem zur Folge haben, dass Patienten Druck auf ihren Arzt ausüben, damit ihnen ein bestimmtes Medikament verschrieben wird. In einem solchen Fall entscheidet der Patient aufgrund der populären Informationen und der Werbung über seine eigene Therapie. Selbstverständlich sind die Ärzte auch selbst Ziel der populärwissenschaftlichen

28 COX-1 und sein böser Doppelgänger COX-2.
Bei der Abbildung handelt es sich um eine Variante des kanonischen Bilds aus der Populärwissenschaft, das auf einem Original von Mitchell et al. basiert (vgl. Mitchell et al., 1994).



Botschaften. Das ist durchaus nicht nur negativ zu sehen: Die Funktion der Populärwissenschaft ist es, die Erkenntnisse des esoterischen Zentrums in eine verständliche Sprache zu übersetzen und auch für Laien zugänglich zu machen. Dabei muss allerdings unterschieden werden zwischen verschiedenen Radien der Populärwissenschaft.

In die Werbung für die neuen Medikamente wurden in den USA jährlich zweistellige Millionen-Beträge investiert. Für Celebrex® und Vioxx® kursieren Schätzungen von je ca. achtzig Millionen Dollar pro Jahr. Und das lohnte sich: Die neuen Medikamente wurden zu Blockbustern mit Milliardenumsätzen. Celebrex® erzielte 2003 in den USA einen Umsatz von 2,6 Milliarden Dollar und gehörte damit zu den zehn bestverkauften Arzneimitteln der USA (Quelle: IMS Health, Forbes).

Trotz dieser Euphorie wurde in der esoterischen Wissenschaft und im inneren Kreis der Populärwissenschaft die Geschichte von Beginn an differenzierter beurteilt. Vorsichtig wurde von einer Hypothese gesprochen. Es wurde auch bald belegt, dass keine absolute Trennung zwischen «gutem» COX-1 und «bösem» COX-2 möglich ist. Mitte der neunziger Jahre zeigten Tierexperimente, dass COX-2 ebenfalls konstitutiv in bestimmten Organen gebildet wird, zum Beispiel im Gehirn und in der Niere, und dort physiologische Funktionen wahrnimmt. Es war zu befürchten, dass eine Hemmung dieser Funktionen zu unerwünschten Wirkungen führen könnte. Bei genauer Betrachtung erwies sich der Sachverhalt damit als komplizierter, als er von der Populärwissenschaft dargestellt worden war. Auch wurde sehr bald klar, dass die COX-2-Hemmer nicht die nebenwirkungsfreien Wundermittel sind, als die sie angepriesen wurden. Im Tierexperiment zeigten sich nämlich erste Ungereimtheiten. Eine klinische Studie zu Celebrex® liess Zweifel aufkommen, ob unerwünschte Wirkungen im Magendarmtrakt tatsächlich effizient verhindert werden können. Eine Studie zu Vioxx® zeigte, dass das Medikament möglicherweise das Risiko einer Herzkreislauferkrankung erhöht (zum Beispiel das Risiko eines Herzinfarkts oder eines Schlaganfalls). Bei Bextra® traten in seltenen Fällen schwere Hautreaktionen auf.

Die übertriebene Euphorie endete schliesslich im September 2004 mit dem freiwilligen Rückzug von Vioxx® vom Markt, nachdem in einer klinischen Studie der Verdacht bestätigt worden war, dass für Vioxx® ein erhöhtes Risiko für Herzkreislaufstörungen vorliegt. Ein Spezialist der amerikanischen Arzneimittelbehörde FDA schätzte, dass zwischen 88 000

und 139 000 Personen aufgrund des Medikaments einen Herzinfarkt oder Schlaganfall erlitten haben könnten, und bezeichnete den Fall als die grösste Arzneimittelkatastrophe der USA und der Welt (Lenzer, 2004). Sammelklagen wurden vorbereitet. Mittlerweile wurden auch die anderen Medikamente vorsichtiger beurteilt: Bextra® wurde 2005 nach einer Aufforderung der amerikanischen Arzneimittelbehörde vom Markt genommen, und die Patienteninformation für Celebrex® wurde um Warnhinweise bezüglich der Herzkreislaufstörungen ergänzt.

Mit dem Fall der COX-2-Hemmer verschwanden auch die Bilder, welche die Gut-böse-Geschichte begleiteten. Werbekampagnen wurden eingestellt, Internetseiten mit bunten Animationen geschlossen. Man könnte in diesem Zusammenhang von einer kleinen wissenschaftlichen Revolution oder zumindest von einem Paradigmenwechsel sprechen.

Paradigma und wissenschaftliche Revolutionen

Flecks resp. Pörkensäns Schema ist selbstverständlich nicht absolut: Bilder der esoterischen Wissenschaft, selbst Hypothesen und Skizzen, können bereits eigentliche populäre Veranschaulichungen sein. Das Schema lässt sich auch noch weiter ergänzen. 1962 hat Thomas Kuhn aufbauend auf Flecks Arbeit die Begriffe *normale Wissenschaft*, *Paradigma* und *wissenschaftliche Revolution* eingeführt (Kuhn, 1962). Ein Paradigma entsteht gemäss Kuhn in der Wissenschaft dann, wenn sich eine wissenschaftliche Erklärung erfolgreich gegen konkurrierende Erklärungen durchzusetzen vermag. Normalerweise arbeiten Wissenschaftler innerhalb eines erfolgreichen Paradigmas oder innerhalb der sogenannten normalen Wissenschaft, deren Aufgabe Kuhn darin sieht, «Aufräumarbeit» zu leisten, Fakten zu sammeln und mit dem Paradigma abzugleichen und Lösungen für Probleme und Rätsel zu suchen, die sich im Zusammenhang mit dem Paradigma ergeben haben. Die normale Wissenschaft ist bemüht, Theorie und Tatsachen in eine möglichst gute Übereinstimmung zu bringen. Gemäss Kuhn wird das Paradigma solange erfolgreich bleiben, bis Probleme und Anomalien auftreten, die sich mit ihm nicht in Übereinstimmung bringen lassen oder nicht mit ihm erklärt werden können. Das führt zu einer Krise der Wissenschaft. Nicht jede Anomalie führt jedoch automatisch zu einem neuen Paradigma. Diskrepanzen und unerwartete Resultate sind nichts Aussergewöhnliches in der normalen Wissenschaft und treten regelmässig auf. Die meisten Wissenschaftler werden zunächst

konservativ an einem gewohnten Paradigma festhalten. Zu einer wissenschaftlichen Revolution und einer Veränderung des Paradigmas kommt es erst, wenn eine alternative Erklärung, ein alternatives Paradigma, von einem Wissenschaftler oder einer Gruppe von Wissenschaftlern vertreten wird und sich durchzusetzen beginnt.

Kuhns Ansatz erklärt sehr schön, weshalb in der Wissenschaft immer wieder dieselben kanonischen Bilder verwendet werden: Sie sind Teil der Normalwissenschaft und Teil eines Paradigmas, also der herrschenden Lehre. Daraus lässt sich auch erschliessen, dass sich die kanonischen Bilder bei einem Paradigmenwechsel in einer wissenschaftlichen Revolution ebenfalls verändern (zur wissenschaftlichen Revolution vgl. Cohen, 1994). Wir werden später sehen, dass sich die kanonisierte Darstellungsform der Dinosaurier im 20. Jahrhundert vom einen ins andere Extrem gewandelt hat. Zwischen ca. 1900 und 1970 wurden Dinosaurier gemäss dem geltenden Paradigma als schwerfällig, kaltblütig und dumm dargestellt. Mit der Dinosaurier-«Renaissance» in den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts hat sich die Visualisierung dramatisch verändert. Dinosaurier werden jetzt als schnelle, warmblütige, soziale und intelligente Kreaturen dargestellt, die sich auch liebevoll um ihre Nachkommen kümmern. Die an der «Renaissance» beteiligten Forscher, zum Teil selbst wissenschaftliche Illustratoren, verstanden es hervorragend, Bilder als Überzeugungsmittel zu benutzen. Wenige andere wissenschaftliche Revolutionen waren von einer derartigen Fülle von Bildern begleitet wie die Renaissance der Dinosaurier.

Fazit

Für Studierende und Wissenschaftler ist die Einteilung von Ludwik Fleck mit den Ergänzungen von Uwe Pörksen sehr hilfreich bei der Diskussion und der Klassifizierung der wissenschaftlichen Erkenntnisse und Bilder. So erlaubt sie uns beispielsweise, einen populärwissenschaftlichen Text anhand der Sprache und der Bilder als solchen zu erkennen und zu bewerten. Da die Populärwissenschaft aus der esoterischen Wissenschaft hervorgeht, ist es möglich, sich zurück zu den Quellen in der Fachliteratur zu begeben und sich dort ein differenziertes Bild von einer Sache zu erarbeiten. Das Fallbeispiel der COX-2-Inhibitoren illustriert eindrücklich die Notwendigkeit einer solch kritischen Sicht.

III. Der Einfluss der Darstellung

Stilistisch und in Bezug auf ihre Wahrnehmung können wissenschaftliche Bilder in zwei grundsätzlich unterschiedliche Typen unterteilt werden. Der eine Typus umfasst Bilder, die in ihren visuellen Merkmalen stark reduziert sind. Dabei handelt es sich um einfache Linien- oder Umrisszeichnungen mit oder ohne einfache Texturen, schwarzweiss oder mit wenigen Farben gestaltet. Bilder des anderen Typus versuchen, einen wahren oder fiktiven Sachverhalt naturgetreu wiederzugeben – durch perspektivische Darstellung, mittels Licht und Schatten und in einer hohen Bildkomplexität ähnlich einem Ölgemälde oder einer Fotografie. Wir wollen den ersten Typus versuchsweise als schematisches Bild, den zweiten als naturalistisches Bild bezeichnen. Wir werden sehen, ob diese Bezeichnung und Einteilung gerechtfertigt sind.

1. Schematische Bilder

Diese Darstellungen schweben seltsam frei im Raum. Man sucht umsonst nach einem Bezugsrahmen, einem Stuhl oder einer Figur zur Orientierung. Der wird nicht gegeben.

Roald Hoffmann und Pierre Laszlo, 1991, S. 6

Aspekthaftigkeit

Schematische Bilder bilden die Wirklichkeit, so wie sie sich unseren Augen präsentiert, nicht oder nur teilweise ab. Das bedeutet etwa, dass das Dargestellte nicht denselben Massstab aufweist wie das wirkliche Objekt oder dass die Wahl der Farben nicht der Realität entspricht. Anstelle eines Hauses steht beispielsweise ein Rechteck. In einigen wenigen Aspekten bleibt jedoch das Schema der Wirklichkeit in der Regel treu: Das erwähnte Rechteck ist vielleicht in Länge und Breite genau proportional zu dem originalen Haus, weil gerade diese Eigenschaften hervorgehoben werden sollen.

Schematische Bilder operieren häufig mit einfachen geometrischen Formen, mit Linien, Rechtecken oder Kreisen. Diese Geometrisierung geht oft einher mit einer Idealisierung: In einem Muster haben alle Einheiten die gleiche Form und den gleichen Abstand. Ein Objekt ist ein perfekter Kreis statt eine diffus-elliptische Form. Diese ganz einfachen geometrischen Formen können auch zu eigentlichen *wissenschaftlichen Zeichen* zusammengefügt werden (siehe Abbildung 30, S. 129). Diese sind den Piktogrammen sehr ähnlich und werden miteinander zu wissenschaftlichen Bildern kombiniert. Wir kommen im nächsten Kapitel auf diese Zeichen zurück.

Etwas schematisch darzustellen bedeutet, es auf einzelne, wenige Aspekte zu reduzieren, zum Beispiel auf die Grössenverhältnisse, die Symmetrie oder die relative Position. Das Dargestellte ist einfach, aspekthaft, wird abstrahiert. In vielerlei Hinsicht ähneln die schematischen Bilder den Modellen, welche auch nur wenige Aspekte der Wirklichkeit zeigen und in Teilen sogar falsch sein können. Bilder selbst werden manchmal als Modelle bezeichnet. Schematisieren bedeutet also, wenig auszuwählen und hervorzuheben und gleichzeitig vieles wegzulassen.

Ein wichtiger Grund für die Schematisierung ist das Hervorheben dessen, was als relevant betrachtet wird. Dabei kann es sich um eine Art der Didaktisierung handeln. Dies geschieht vor allem im Hinblick auf die Funktion des Bildes und seine Wahrnehmung durch den Betrachter. Nehmen wir an, wir würden für einen Freund eine Karte zeichnen, die ihm den Weg zu Fuss vom Bahnhof zu einer Sehenswürdigkeit in einer Stadt aufzeigt. Die Karte würde nur schematisch den Bahnhof, den Weg mit den wichtigsten Strassen und vielleicht einige auffällige Gebäude, zum Beispiel eine Kirche, enthalten. Es wäre nicht zweckgemäss, zusätzliche und für die Wegbeschreibung nicht relevante Gebäude am anderen Ende der Stadt naturalistisch einzuzeichnen. Das Hervorheben ist eine Hilfestellung für den Betrachter, welcher auf das aufmerksam gemacht werden soll, was wichtig und relevant ist. Damit ist es möglich, den Blick des Betrachters in einem gewissen Masse zu steuern. Der Zeichner kann auch einzelne Teile eines Bildes stärker betonen als andere und sie damit visuell hervorheben, etwa durch dickere Linien, stärkere Farben oder einen höheren Naturalismus.

Die Aspekthaftigkeit ist jedoch nicht immer didaktisch: Die einfachen, schematischen Darstellungen werden vor allem in der esoterischen

Wissenschaft verwendet (siehe oben). Naturalistische Bilder hingegen sind ein Merkmal der Populärwissenschaft. Schematische Bilder liegen näher bei einer Skizze und einer Hypothese. Sie werden deshalb in der Wissenschaft häufig zur Darstellung von hypothetischen, noch nicht gesicherten oder unklaren Sachverhalten herangezogen. Die Selektivität gereicht dem Wissenschaftler hier nämlich zum Vorteil: Die Kenntnisse, die für eine naturalistische Darstellung benötigt würden, sind oftmals gar nicht vorhanden und müssten spekulativ ergänzt werden.

Für eine Schematisierung gibt es zudem auch praktische Gründe. Der Aufwand für die Erstellung eines naturalistischen Bildes ist meistens viel höher als der für die Erstellung eines schematischen Bildes. Schematische, skizzenhafte Bilder sind zumindest von Hand in der Regel einfacher zu erstellen als naturalistische. Wissenschaftler sind – von vielen, auch prominenten Ausnahmen abgesehen – keine Künstler, was unter anderem auch auf einen Mangel in der wissenschaftlichen Ausbildung zurückgeht. Obwohl in einigen Fächern wissenschaftliches Zeichnen vermittelt wird, wie zum Beispiel das Zeichnen chemischer Formeln in der Chemie oder das Zeichnen mit Hilfe des Mikroskops in der Biologie, gibt es üblicherweise an den Universitäten für Studierende der Naturwissenschaften keinen systematischen, im Lehrplan verankerten Zeichenunterricht.

Typisierung

Für eine Reihe von Autoren liegt der Unterschied zwischen schematischer und naturalistischer Darstellung in einer Verschiebung vom Speziellen hin zum Allgemeinen, das heißt in einer Typisierung. Jane Maienschein hat die wissenschaftlichen Bilder in aufeinanderfolgenden Auflagen von E. B. Wilsons Lehrbüchern zur Zytologie untersucht (Maienschein, 1991). Sie zeigt, dass Wilson mit zunehmendem Vertrauen in seine Untersuchungen bei der Präsentation allgemeiner Erkenntnisse von Fotografien zu schematischen Bildern übergang: «Photographs and drawings present the <facts> themselves, while diagrams present abstracted and generalized interpreted information and theoretical ideas» (Maienschein, 1991, S. 253). «Diagram» ist hier als schematisches Bild zu übersetzen, nicht als Diagramm in Sinne eines logischen Bildes.

Martin Rudwick hat die Entwicklung von der naturalistischen zur schematischen Darstellung in der Entstehung der visuellen Sprache der

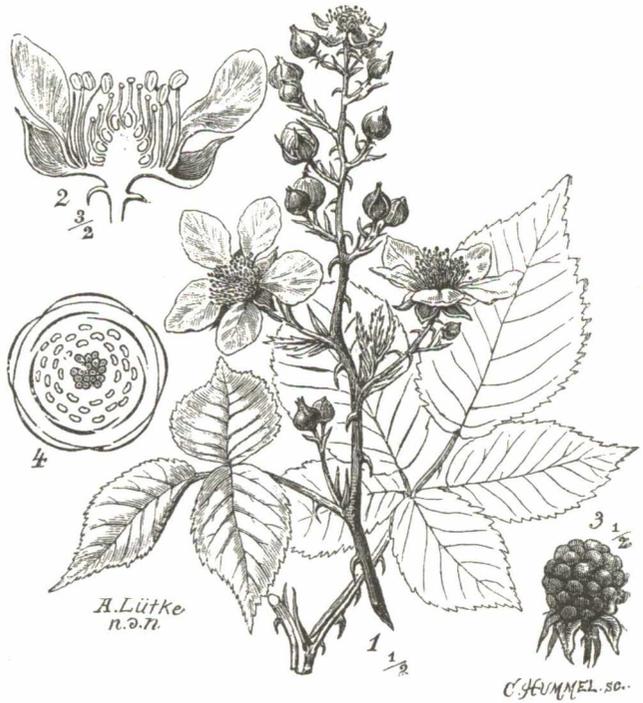
Geologie zwischen dem Ende des 18. und dem Beginn des 19. Jahrhunderts beschrieben (Rudwick, 1976). Parallel zur Entwicklung der Geologie zu einer eigenständigen und selbstbewussten Wissenschaft bildete sich eine visuelle geologische Sprache heraus, zu der unter anderem die geologische Karte, die Landschaftsdarstellung und die Darstellung der Schichten (Strata) als geologisches Profil gehören. Wurden Profile zunächst naturalistisch dargestellt, beispielsweise ausgehend von Beobachtungen von Minenarbeitern, entstand mit zunehmendem geologischem Wissen eine neue, formale, abstrakte und verallgemeinernde Darstellungsweise.

Tatsächlich eignet sich das schematische Bild für die Darstellung eines allgemeinen Typus gerade deshalb besser, weil es nicht einen Sachverhalt mit seinen individuellen Merkmalen naturalistisch zeigt, sondern diese im Zuge der Abstraktion weglässt. Andererseits wäre es falsch zu vermuten, das Schematische sei immer typisiert. Schematische Bilder können selbstverständlich auch spezielle Sachverhalte zeigen, und naturalistische Bilder können ebenso typisiert sein wie schematische. Schliesslich sind auch Kombinationen möglich: Ein naturalistisches Abbild kann in einzelnen Teilen schematisiert sein.

Wir haben zunächst das schematische Bild anhand stilistischer Merkmale vom naturalistischen abgegrenzt, indem wir es als einfache Linien- oder Umrisszeichnung bezeichnet haben. Nun kann aber auch eine schwarzweisse Linienzeichnung einen Gegenstand naturalistisch abbilden. Auch kann der Gegenstand selbst so einfach sein, dass die «schematische» Darstellung bereits «naturalistisch» ist. Wie kann also beurteilt werden, ob ein Bild schematisch ist oder nicht? Einige Kriterien wurden genannt: der Stil, die geometrische Darstellung, die Abstraktion und die Typisierung.

Fallbeispiel: Die botanische Darstellung der Brombeere

Betrachten wir etwa Abbildung 29 (S. 122). Sie zeigt die botanische Darstellung einer Brombeere aus dem «Strasburger», einem bekannten Lehrbuch der Botanik, das seit dem 19. Jahrhundert in zahlreichen Auflagen erschien (Strasburger, Noll, Schenck, Schimper, 1898, S. 485). Alle vier Einzelzeichnungen (der Zweig, die Blüte im Längsschnitt, die Frucht und das Blütendiagramm) sind einfarbige, zum Teil einfach gestaltete Zeichnungen. Welche der einzelnen Zeichnungen sind nun schematisch, wel-



29 Botanische Darstellung
 der Brombeere (Strasburger, Noll,
 Schenck, Schimper, 1898).

Fig. 533. *Rubus fruticosus*. 1 blühender Zweig. 2 Blüte im Längsschnitt. 3 Frucht. 4 Diagramm. (Nach WOSSIDLO.)

che naturalistisch? Das Blütendiagramm (Abbildung 29-4) ist gut als schematisch erkennbar, es zeigt im Querschnitt die Anzahl und die ungefähre Lage von Kelch-, Kron-, Staub- und Fruchtblättern der Blüte von aussen nach innen. Es weist folgende Merkmale schematischer Bilder auf: Es ist schwarzweiss, eine einfache Linienzeichnung, tendenziell geometrisch-ideal angeordnet und abstrakt. Es zeigt eine typische und charakteristische Blüte mit fünf Kelch- und fünf Kronblättern, nicht eine individuelle, der zum Beispiel ein Kronblatt fehlen würde.

Die drei übrigen Zeichnungen sind ebenfalls einfarbig, hier sind aber Texturen, Licht und Schatten angedeutet, sie sind nicht geometrisch und nicht abstrakt. Eine gewisse Idealisierung und Typisierung hat bei der Auswahl des Präparats oder bei der Zeichnung allerdings stattgefunden (Strasburger bezeichnet einige der Zeichnungen im Lehrbuch auch als «etwas schematisiert»). Es soll hier ein charakteristisches Exemplar gezeigt werden. Diese übrigen drei Zeichnungen sind zusammenfassend aber den naturalistischen Bildern zuzurechnen.

Der weisse Hintergrund

Ein weiteres Merkmal, das schematische und manchmal auch naturalistische wissenschaftliche Bilder auszeichnet, ist ihr Hintergrund. Der grösste Teil dieser Bilder, seien es schematisierte Abbilder oder Kombinationen wissenschaftlicher Zeichen, ist auf einen weissen oder einfarbigen Hintergrund gezeichnet. Man könnte auch sagen, ohne Hintergrund, denn die weisse Farbe wird vom Papier (oder einem anderen Medium) vorgegeben. Es gibt keinen Rahmen, der die Bilder begrenzen würde (Hüppauf, 2003). Häufig fehlen jegliche Hinweise auf den Hintergrund und damit auf den natürlichen Kontext, in dem sich das Dargestellte «in Wirklichkeit» befindet. Nur selten weisen eine Grundlinie, ein Schatten auf einem imaginären Boden oder eine Beleuchtung, auf den Kontext hin. Für den Betrachter des Bildes stellt sich die Frage, wo sich das Dargestellte befindet.

Man könnte vermuten, das Dargestellte befände sich *in situ*, am natürlichen Standort, nur sei dieser nicht abgebildet und sei vom Betrachter hinzuzudenken. Das Dargestellte wäre demnach vor Ort gezeichnet worden, lediglich ohne natürlichen Hintergrund. Tatsächlich kennt die wissenschaftliche Illustration das Zeichnen direkt in der Natur, zum Beispiel werden Tiere in ihrem Lebensraum gezeichnet (Nicholson, Lynch, Wayne, 2003).

Häufig wird jedoch nicht direkt im natürlichen Lebensraum gezeichnet, sondern im Atelier des Künstlers oder im Labor des Wissenschaftlers, sozusagen *in vitro*. Eine Brombeerpflanze beispielsweise wird auf einem Zeichenbrett mit weissem Hintergrund präpariert und abgezeichnet. Die dargestellten gegenständlichen Objekte wie Schmetterlinge, Pflanzen, Käfer, anatomische Präparate und so weiter befinden sich «in Wirklichkeit» auf dem Zeichenbrett des Illustrators. Betrachten wir ein wissenschaftliches Bild, so schauen wir auch in das Atelier des Illustrators und auf das Zeichenbrett.

Natürlich zeichnet der Künstler, wie wir im Kapitel zum Prozess des Kopierens gesehen haben, nicht alle wissenschaftlichen Bilder tatsächlich von einem Präparat ab. Einige Bilder entstehen auch aus bestehenden Bildern, die ihrerseits auf Originalen, zum Beispiel auf Präparaten, beruhen. Auch ist denkbar, dass ein Objekt sich gleichzeitig in der natürlichen Umgebung und im Atelier des Zeichners, also *in situ* und *in vitro*, befindet. Dies ist beispielsweise bei mikroskopischen Präparaten

von Pflanzen der Fall: Die Zellen der Pflanze befinden sich im richtigen Kontext – in der Pflanze, die Pflanze selbst aber steht nicht in der Wiese.

Das Entfernen eines Objekts aus seiner natürlichen Umgebung und das Studium von Teilaspekten in der artifiziellen und kontrollierten Umgebung des Labors sind fundamentale Vorgehensweisen in den Naturwissenschaften. Der Wissenschaftler studiert sein Untersuchungsobjekt abstrahiert auf dem (weissen) Labortisch und führt damit Experimente durch. Diese Reduktion eines Problems auf ein einziges, isoliertes Phänomen ist deshalb auch als eine Erklärung für die Darstellung von Objekten auf weissem Hintergrund ohne Begrenzung zu werten. Der «Hintergrund» wird bei der Reduktion nicht als relevant betrachtet und kann vernachlässigt und gelöscht werden. Bei einer morphologischen Beschreibung einer Brombeere in Form eines Bildes sind Gräser im Hintergrund störend und lenken von der Thematik an sich ab wie Geräusche, die das relevante Signal stören.

Nicht alle wissenschaftlichen Sachverhalte sind gegenständliche Objekte, die sich auf einem Zeichenbrett einspannen und abzeichnen lassen. Das gilt beispielsweise für typisierte Bilder oder bei Kombinationen mehrerer Objekte. Es gilt insbesondere auch für die molekularen Objekte (mit Ausnahme der gegenständlichen Modelle, die als makroskopische Modelle abgezeichnet werden). Wo befinden sich die abstrakten, ungegenständlichen Atome, Moleküle und Proteine «in Wirklichkeit»? Analog zum Zeichenbrett könnte das Messgerät als Ort der Bildentstehung angesehen werden. Man sähe als Betrachter des Bildes also sozusagen in das Innere des Messgerätes hinein, dahin, wo die Probe aufgenommen wurde.

Es ist nicht immer sinnvoll, einen Kontext oder natürlichen Hintergrund in das Bild hineinzudenken. Vielmehr befindet sich das Dargestellte in einigen wissenschaftlichen Bildern (zum Beispiel den molekularen oder den typisierten) in einem *imaginären Raum*. Es handelt sich um Denkbilder auf Papier, die sich «in Wirklichkeit» nur in Gedanken, nicht vor einem realen Hintergrund befinden (siehe Hüppauf, 2003).

«Gullivers Reisen im HIV-Land»

Das vollständige Ausblenden jedes Kontexts und Hintergrunds führt mitunter beim Betrachter zu einer absurd reduzierten Auffassung des Dargestellten. Durch die völlige Abstrahierung des Dargestellten von Zeit

und Raum kann der Betrachter den Bezug zur Realität verlieren. Es besteht die Gefahr, dass man sich in der Welt der schematischen Bilder, dieser ästhetischen, immer geometrischen Formen, verirrt. Schematische Abbilder können die Wirklichkeit, über die eigentlich berichtet werden soll, in hohem Mass verschleiern oder beschönigen. Das wird beim Vergleich der didaktischen Darstellung eines Herzens als «Cartoon» in einem Lehrbuch mit der Realität des Herzens als Organ klar. Die Unterschiede könnten nicht grösser sein. Auf der einen Seite das ansprechende schematisch-didaktische Bild aus wenigen Linien, bei dem venöses Blut blau und arterielles Blut rot eingezeichnet ist, auf der anderen Seite das blutige, fleischige Organ mit dem entsprechenden Geruch (Mishra, 1999).

Die Tendenz, das Unangenehme mit dem Gebrauch von wissenschaftlichen schematischen Bildern auszublenden, zeigt sich auch bei der Darstellung von Krankheiten in wissenschaftlichen Fachzeitschriften. Tami Spector hat in einem Artikel dokumentiert, wie die Darstellung des Syndroms AIDS ins Absurde geführt werden kann (Spector, 2003). Als Beispiel wird eine Zusammenstellung von Übersichtsartikeln zum Thema AIDS in der Fachzeitschrift *Nature* angeführt, die im Jahr 2001 erschien. Die 46-seitige Übersicht, bestehend aus mehreren Artikeln und begleitet von vielen wissenschaftlichen Bildern, enthält die typischen kanonischen Darstellungen des Virus und die «Cartoons» des Vermehrungszyklus, aber kein einziges Bild einer erkrankten Person oder eines erkrankten Organs. Im ersten Artikel der Zusammenstellung wird die Vermehrung von HIV mit der satirischen Erzählung von Jonathan Swift vermischt. *Gulliver's Travels in HIVland* lautet der Titel des Artikels (Weiss 2001, S. 963, vgl. Spector, 2003):

“I, Lemuel Gulliver, have observed wondrous phenomena in many lands. In this my latest account, I shall endeavor to convince you that we are embarked upon a doleful new adventure that is only now beginning to unfold. My story concerns a creature, even smaller than the Lilliputians, indeed so minute as to be invisible, named – after quarrelsome debate among a band of pundits in 1986 – the human immunodeficiency virus.”

Anstatt die beängstigenden und zum Teil schockierenden Bilder der Krankheit zu zeigen, werden ausschliesslich ästhetisch-schematische

Darstellungen der molekularen Ebene, zum Beispiel Illustrationen des Virus oder regenbogenfarbige Proteinstrukturen, abgebildet und mit einer lustigen Geschichte kombiniert (zu Bildern und Viruserkrankungen siehe auch: Gilman, 1988; Schell, 1997; Mayer, Weingart, 2004).

Fazit

Schematische Bilder sind einfach, abstrakt, reduziert, geometrisch und typisiert. Aus diesen Merkmalen ergeben sich einige Vorteile für ihre Verwendung in der Wissenschaft. Die Einfachheit ermöglicht es, Wichtiges und Essenzielles hervorzuheben und Überflüssiges wegzulassen. Dadurch lässt sich der Blick des Betrachters steuern. Zudem begünstigt die Einfachheit eine sachliche Darstellung: Gezeigt wird nur, was bekannt ist, eine Ergänzung um fiktive Elemente ist nicht nötig. Deshalb eignen sich schematische Bilder besonders gut zur Visualisierung von Hypothesen.

Wir haben dargelegt, dass die Entfernung von der naturnahen Darstellung, die auch im weissen Hintergrund des schematischen Bilds zum Ausdruck kommt, nicht immer zweckmässig ist. Wird beispielsweise eine Viruserkrankung ausschliesslich mittels schematischer Bilder erklärt, wird der Sachverhalt beschönigend und ungenügend dargestellt.

2. Zeichen

The shape of containers, the size of dials, the precise color of a substance may be irrelevant. Similarly, the particular proportions, angles, colors of a diagram may not matter. This is because in science the appearances of things are mere indicators, pointing beyond themselves to hidden constellations of forces.

Rudolf Arnheim, 1969, S. 301

Wissenschaftliche Zeichen

Gibt es eine kleinste Einheit, aus denen sich wissenschaftliche Bilder zusammensetzen? Ist es ein Punkt, eine Linie, ein Pinselstrich oder eine Fläche? Bei einigen schematischen wissenschaftlichen Bildern lassen sich elementare Bausteine identifizieren, die wir *wissenschaftliche Zeichen* nennen. Dabei handelt es sich um einfache Abbilder und Symbole, die Piktogrammen zum Teil sehr ähnlich sind. In Abbildung 30 (S. 129) sind einige Exemplare kanonischer Zeichen dargestellt, die sehr häufig in dieser oder ähnlicher Form in Lehrbüchern der Biologie und Molekularbiologie und auch in Fachzeitschriften Verwendung finden. Einige dieser Zeichen lassen sich in weitere Zeichen zerlegen. Eine noch grössere Differenzierung in Linien und Punkte ist hingegen für die Analyse der Bilder nicht mehr sinnvoll.

Einfachheit und Abstraktion

Die wissenschaftlichen Zeichen sind als schematische Bilder zeichnerisch meist sehr einfach gestaltet. Sie bestehen lediglich aus einigen geraden und gekrümmten Linien. Das Plasmid (Abbildung 30-a) beispielsweise besteht aus zwei konzentrischen Kreisen, welche durch wenige Linien verbunden sind. Derlei Zeichen sind aus der Gentechnik bekannt. Ein Gen (grau eingefärbt) kann «ausgeschnitten» und gegen ein anderes ausgetauscht werden. Die Zeichnungen lassen die dazu erforderliche aufwendige Arbeit im Labor erstaunlich leicht erscheinen. Noch einfacher gestaltet ist das Neuron (Abbildung 30-o), welches aus einem gefüllten Kreis, einer längeren und zwei kürzeren Linien besteht.

Andere Zeichen sind komplexer. Der Bakteriophage (Abbildung 30-f) ist perspektivisch mit mehr Linien dargestellt und tendiert in die Richtung eines naturalistischen Abbilds. Neben der dreidimensionalen Form können auch Licht-Schatten-Verhältnisse angedeutet werden, und häufig sind die Zeichen eingefärbt. Innerhalb eines Zeichens sind mehrere Stufen der Komplexität möglich. Von jedem Zeichen existieren Darstellungsvarianten, die sich im Abstraktionsgrad unterscheiden. Das HI-Virus (Abbildung 30-e) ist zeichnerisch komplexer, stärker aufgelöst als das allgemeinere Zeichen eines Virus in der Abbildung 30-d. Man kann die zwei Zeichen auch mit zwei Karten unterschiedlicher Skalierung (zum Beispiel 1 : 25 000 und 1 : 100 000) vergleichen. Durch eine Verbesserung der Auflösung ist es hier demnach möglich, sich ausgehend von einem Zeichen dem Objekt immer stärker zu nähern.

Beziehung des Zeichens zum Objekt

Seit Charles S. Peirce (1839–1914) werden Zeichen in Bezug auf das Objekt in *Icons*, *Symbole* und *Indices* unterteilt (Peirce, 1932, S. 156–173). Das Zeichen als *Icon* weist Ähnlichkeiten mit dem Objekt auf. In diesem Sinn sind alle Abbildungen *Icons*, zum Beispiel anatomische Zeichnungen oder die Abbildung eines Telefons als Piktogramm an einer Telephonzelle. Neben den direkten Abbildungen zählt Peirce auch Zeichen mit analogen und metaphorischen Beziehungen zum Objekt zu den *Icons*.

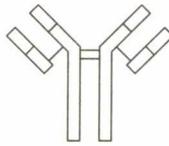
Das Zeichen als *Symbol* steht in einer völlig willkürlichen Beziehung zum Objekt. Wörter, Sätze und Texte sind Beispiele für Symbole wie «geben», «Vogel» oder «Heirat». Bei keinem dieser Wörter existiert eine ikonische Beziehung zu der Sache. Irgendein anderes Wort könnte dasselbe ausdrücken, beispielsweise die französische Übersetzung «donner», «oiseau» und «mariage». Neben den ikonischen gibt es auch symbolische Piktogramme, zum Beispiel das Piktogramm für den Informationsschalter, das «i».

Das Zeichen als *Index* steht in einem direkten, kausalen und physikalischen Abhängigkeitsverhältnis zum Objekt. Ein tiefes Barometer und feuchte Luft sind *Indices* für Regen; ein Wetterhahn ist ein *Index* für die Richtung des Windes; Rauch für Feuer; ein Röntgenbild für den untersuchten Patienten; ein Fussabdruck im Sand für eine vorübergehende Person. Das letzte Beispiel, der Fussabdruck, hat auch ikonische Qualitäten, er ist dem Fuss ähnlich. Ein Zeichen kann für Verschiedenes stehen, es

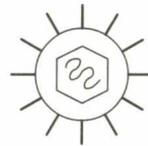


a. Plasmid

b. ATP



c. Antikörper



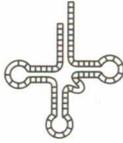
d. Virus



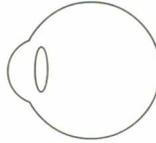
e. HI-Virus



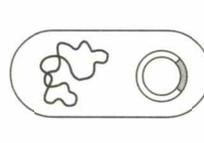
f. Bakteriophage



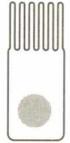
g. tRNA



h. Auge



i. Bakterium



j. Epithelzelle



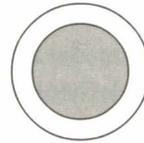
k. Eizelle



l. DNA



m. Allel



n. T-Zelle



o. Neuron

30 Kanonische wissenschaftliche Zeichen. Eine Auswahl wissenschaftlicher Zeichen, die in Publikationen der Biologie und Molekularbiologie verwendet werden.

kann auch gleichzeitig mehrere Beziehungen zum Objekt aufweisen und Icon, Symbol und Index zugleich sein.

Lässt sich diese Einteilung auf die wissenschaftlichen Zeichen in Abbildung 30 anwenden? Können Icons, Symbole und Indices identifiziert werden? Beim Vergleich dieser Zeichen mit den originalen Sachverhalten kann unschwer festgestellt werden, dass in einigen Fällen eine direkte Ähnlichkeit besteht, die sie nach der Definition von Peirce als Icons qualifiziert. So können beispielsweise die Zeichen für das Auge (Abbildung 30-h), das Bakterium (Abbildung 30-i) oder die Zellen (Abbildung 30-k und Abbildung 30-n) leicht als Icons identifiziert werden. Sie alle weisen eine visuelle Ähnlichkeit mit dem realen Objekt auf, das von Auge oder unter dem Mikroskop beobachtet werden kann.

Die Zeichen der Objekte auf der molekularen Ebene zu beurteilen ist problematischer. Erschwerend kommt hier hinzu, dass die realen Ob-

jekte nicht direkt, sondern nur mit komplexen instrumentellen Hilfsmitteln und mathematischen Umrechnungen «gesehen» werden können. Es stellt sich wiederum das Problem, wie solche Strukturen «in Wirklichkeit» aussehen, denn die Objekte sollen als Referenz für die Beurteilung der Ikonizität dienen. Wir wissen es nicht, wir können sie ja nicht mit den eigenen Augen sehen – es liegen uns nur idealisierte Modelle und Metaphern vor. Der Antikörper (Abbildung 30-c) existiert so nicht und kann nicht mit Instrumenten gesehen werden. Und doch bestehen Analogien zwischen den Anordnungen der Einheiten des Zeichens und dem realen Sachverhalt. Da Peirce nun auch beim Vorliegen solcher Analogien von ikonischen Beziehungen spricht, kann man auch das Antikörper-Zeichen unter Vorbehalt zu den Icons zählen.

Die Zeichen enthalten auch viele willkürliche Elemente, die sie partiell als Symbole qualifizieren. Dazu gehört etwa die graue Einfärbung des Gens im Plasmid (Abbildung 30-a). Nur bei einem einzigen unserer Beispiele handelt es sich jedoch um ein reines Symbol, beim Rechteck mit der Beschriftung ATP (Abbildung 30-b). Hier liegen weder optische, analoge noch metaphorische Beziehungen zu der chemischen Substanz Adenosintriphosphat vor. Bei allen übrigen Zeichen besteht jedoch in kleinerem oder grösserem Ausmass diese optische, analoge oder metaphorische Beziehung. Sie alle haben deshalb (mehr oder weniger ausgeprägt) ikonische Qualität.

Bestehen auch indexikalische Beziehungen zwischen wissenschaftlichen Zeichen und Objekt? Auf den ersten Blick ist man versucht, mit Nein zu antworten. Die wissenschaftlichen Zeichen scheinen primär ikonisch und zum Teil symbolisch zu sein. Bei genauerer Betrachtung kann jedoch festgestellt werden, dass bei einem Teil der Zeichen aufgrund der instrumentellen Gewinnung der Daten durchaus eine solche Beziehung besteht. Die zu Bildern verarbeiteten Messergebnisse (Röntgenbeugungsmuster, elektronenmikroskopische Aufnahmen, EKG u. Ä.) sind Indices mit kausalem physikalischem Bezug zum Objekt. Die auf Grundlage dieser Bilder erstellten Zeichen stehen somit indirekt in indexikalischer Beziehung zum Objekt. Mit einem vergleichbaren Verhältnis zwischen Zeichen und Objekt hätten wir es zu tun, würde ein Fussabdruck im Sand abgezeichnet; zwischen dieser Zeichnung und der vorbeigegangenen Person läge ebenfalls nur indirekt eine indexikalische Beziehung vor. Ein derartiges Zeichen-Objekt-Verhältnis besteht nur bei einem Teil der dar-

gestellten Zeichen, etwa bei dem Antikörper, den Viren oder dem Bakteriophagen.

Erkennen der Zeichen

Die Einteilung von Peirce ermöglicht es, wissenschaftliche Zeichen nach der Beziehung zum Objekt zu klassifizieren und zu differenzieren. Es stellt sich nun die Frage, ob die unterschiedlichen Beziehungen zum Objekt einen Einfluss auf das Erkennen der Zeichen haben und wie die wissenschaftlichen Zeichen allgemein von den Betrachtern erkannt und identifiziert werden.

Anders als allgemein bekannte Zeichensysteme, etwa die Piktogramme in Bahnhöfen, werden die wissenschaftlichen Zeichen primär nicht von der Allgemeinheit, sondern nur von einem bestimmten Kreis von Wissenschaftlern verwendet. Viele naturwissenschaftliche Disziplinen benutzen ihren eigenen Zeichenfundus und die entsprechende Grammatik zur Verknüpfung, so die Biologie, die Physik, die Chemie oder die Geologie. Diese Zeichensprachen müssen denn auch im Studium oder bereits an der Schule erlernt und geübt werden.

Man könnte zur Auffassung gelangen, dass ikonische Zeichen besser – auch von Laien – erkannt werden als die symbolischen, da sie Ähnlichkeiten mit dem dargestellten Objekt aufweisen. Im Experiment zeigt sich aber, dass trotz ihrer Ikonizität einige Zeichen in Abbildung 30 von Laien nicht ohne Einführung und Übung verstanden werden, insbesondere die Zeichen auf der molekularen Ebene. Das Erkennen der wissenschaftlichen Zeichen hängt ganz entscheidend vom Vorwissen des Betrachters ab. Laien, denen wir Abbildung 30 vorlegten, konnten nur wenige Zeichen, etwa die DNA (aufgrund des hohen Bekanntheitsgrads) oder das Auge (aufgrund der vertrauten Darstellung) benennen. Andere erkannten sie nicht oder interpretierten sie anders, als vom Zeichner intendiert wurde. Die Eizelle (Abbildung 30-k) oder die T-Zelle (Abbildung 30-n) wurden zum Beispiel als Spiegelei, die Darmepithelzelle (Abbildung 30-j) als «Kamm mit Fingerabdruck» bezeichnet. Legt man dieselben Zeichen Studierenden der Pharmazie in höheren Semestern vor, erkennen sie die Zeichen ohne Schwierigkeiten. Studierende im ersten Semester erkennen erst einige der Zeichen. Es besteht eine Abhängigkeit vom individuellen Vorwissen und von der Standardisierung der Zeichen. Die T-Zelle aus dem Bereich der Immunologie wurde von Studierenden, die

keine Immunologiekennntnisse haben, nicht erkannt. Unterschiede zeigen sich auch beim Erkennen von spezifischen und allgemeinen Zeichen. Das HI-Virus kann nämlich einerseits als Virus und andererseits spezifischer als HI-Virus benannt werden.

Ähnlich wie die allgemein bekannten Piktogramme stehen die wissenschaftlichen Zeichen für sehr viel mehr, als sie bildlich beinhalten. Der Betrachter des Piktogramms «i» stellt sich einen Informationsschalter, vielleicht mit Bedienung und gewissen Serviceleistungen, vor. In analoger Weise steht das wissenschaftliche Zeichen für eine Fülle von theoretischen Überlegungen, wissenschaftlichen Hintergründen, Experimenten und so fort, die im Zeichen nicht bildlich enthalten sind. Das Zeichen des Bakteriophagen steht indirekt für die Struktur des Phagen, seine Vermehrung in Bakterien, geschichtliche Aspekte der Entdeckung, die Rolle der Bakteriophagen in der Molekularbiologie und so fort. Wie der Chemiker in seinem Vorstellungsvermögen die einfachen Strukturformeln, die aus wenigen Strichen bestehen, in Moleküle und ihre Eigenschaften, etwa ihre dreidimensionalen Strukturen, übersetzen kann, so ist es auch dem Biologen möglich, seine wissenschaftlichen Zeichen in eine dreidimensionale, grösser skalierte Form zu übersetzen. Er könnte Auskunft über die Prozesse geben, die an der Verbindung von einem Neuron zum anderen ablaufen, über den zellulären Aufbau und so weiter. Er könnte gedanklich eine wissenschaftliche Animation ablaufen lassen, die die Prozesse auch dynamisch darstellt. Tatsächlich handelt es sich bei den wissenschaftlichen Animationen um Gedankenbilder von Wissenschaftlern. Das Erkennen eines Zeichens beschränkt sich also nicht nur auf seine Benennung.

Nun wird man selten ein wissenschaftliches Bild finden, welches nur aus einem isolierten Zeichen besteht. Die Zeichen sind mit anderen Zeichen, mit der zugehörigen Bildbeschreibung, der Legende, der Beschriftung und dem zugehörigem Text kombiniert. Ihre Bedeutung wird wie in der Sprache auch aus dem Kontext und durch die Unterscheidungsmerkmale erschlossen. Der Kontext grenzt ein und verdeutlicht. Das Wort «pain», englisch für Schmerz, bedeutet etwas ganz anderes, wenn darauf die zwei Wörter «et couvert» folgen. Dadurch wird definiert, dass es sich um den französischen Ausdruck für «Brot und Gedeck» handelt. Während das Wort «pain» für sich allein durchaus auch als französisches Wort gedeutet werden könnte, ist es unwahrscheinlich, dass das

Zeichen «0» als Pflaume gedeutet würde, wäre sie nicht als solche bezeichnet (Beispiele aus Gombrich, 2002, S. XIX). Gleiches gilt für allgemein verwendete Zeichen in der Wissenschaft, etwa den Kreis, der für fast alles stehen kann, aber erst durch den Kontext und die Beschriftung definiert wird und allenfalls sogar ikonisch wird.

Wie leicht oder schwer ein Zeichen erkannt wird, hängt auch vom Grad seiner *Standardisierung* ab. Die Zeichen der Biologie beispielsweise sind variabel und nicht von einer Autorität strikt festgelegt. Es steht im Prinzip jedem Wissenschaftler frei, sein eigenes Zeichen für einen Sachverhalt neu zu erfinden. Allerdings trägt der Prozess des Kopierens zu einer zunehmenden Standardisierung der Zeichen bei. Andere Zeichensysteme, etwa das chemische Strukturformelsystem, sind hingegen so hochstandardisiert, dass von einer eigentlichen Bildsprache gesprochen werden kann. Vielleicht sollte auch die biologische Zeichensprache von einer Standesorganisation weltweit standardisiert werden. Einiges würde dafür sprechen. Die Tatsache, dass jeder eigene Zeichen verwenden kann, hat zur Folge, dass der Betrachter das jeweilige System immer wieder von Neuem entschlüsseln muss und derselbe Sachverhalt immer wieder in unterschiedlichen Darstellungen erscheint. Ein einheitliches Zeichensystem mit Verknüpfungsregeln würde die Kommunikation zweifellos erleichtern. In einzelnen abgeschlossenen Bereichen findet eine solche Standardisierung bereits statt, zum Beispiel in Fachzeitschriften (etwa in *Nature Reviews*) oder in Lehrbüchern. Auf die negativen Auswirkungen eines (unbedacht verwendeten) Bilderkanons haben wir bereits hingewiesen.

Metazeichen

Wissenschaftliche Zeichen können zu Bildern kombiniert werden. Dabei werden weitere konventionalisierte, kanonische Zeichen verwendet. Wir bezeichnen diese als *Metazeichen*, als Zeichen, die zwischen den eigentlichen wissenschaftlichen Zeichen stehen. Das bei weitem am häufigsten verwendete Metazeichen ist der Pfeil. In Kontinua ist er Stellvertreter und visuelle Metapher für alle ausgelassenen, nicht dargestellten Übergänge. Er ist Anzeiger, führt von Zustand A zum Zustand B und gibt eine Richtung an.

Der Pfeil an sich ist ein mehr oder weniger abstraktes Abbild eines realen Objekts. Der Kunsthistoriker Ernst Gombrich (1909–2001) hat einmal versucht herauszufinden, wann der Pfeil in Bildern zum ersten Mal



a.



b.



c.

31 Metazeichen. Pfeile unterschiedlicher Abstraktion.

mit der Funktion der Instruktion auftritt. Das älteste technische Bild, das er gefunden hat, stammt aus dem Jahr 1737, aus Béliadors *Architectura Hydraulica* (Gombrich, 1990). Es zeigt ein Wasserrad, und der Pfeil verdeutlicht, in welche Richtung das Wasser fließt und wie sich das Rad dreht. Dieser Pfeil (Abbildung 31-a) ist trotz seiner symbolischen Bedeutung als Richtungsanzeiger sehr nahe am Objekt. Auf seiner Spitze spiegelt sich das Licht, was ihm einen dreidimensionalen Charakter verleiht, fast so, als wäre er Teil der abgebildeten Szene und würde im Wasser mitschwimmen. Der Eindruck wird durch die naturalistischen Pfeilfedern noch verstärkt. Ein Beispiel aus dem 19. Jahrhundert, Gregor Mendels *Versuche über Pflanzenhybriden* (Mendel, 1865), zeigt hingegen einen weitgehend abstrahierten Pfeil (Abbildung 31-b), der allerdings mit Federn und einem Widerhaken als Spitze ausgestattet ist. Solche Pfeile findet man häufig in älteren Abbildungen. Pfeile wie in Abbildung 31-c werden heute in der Wissenschaft fast ausschliesslich verwendet. Sie sind vom Objekt noch weiter abstrahiert und bestehen lediglich aus einer Linie und einem Dreieck. Sind die Pfeile einfach oder mehrfach gebogen, ist die Loslösung vom Objekt fast vollkommen.

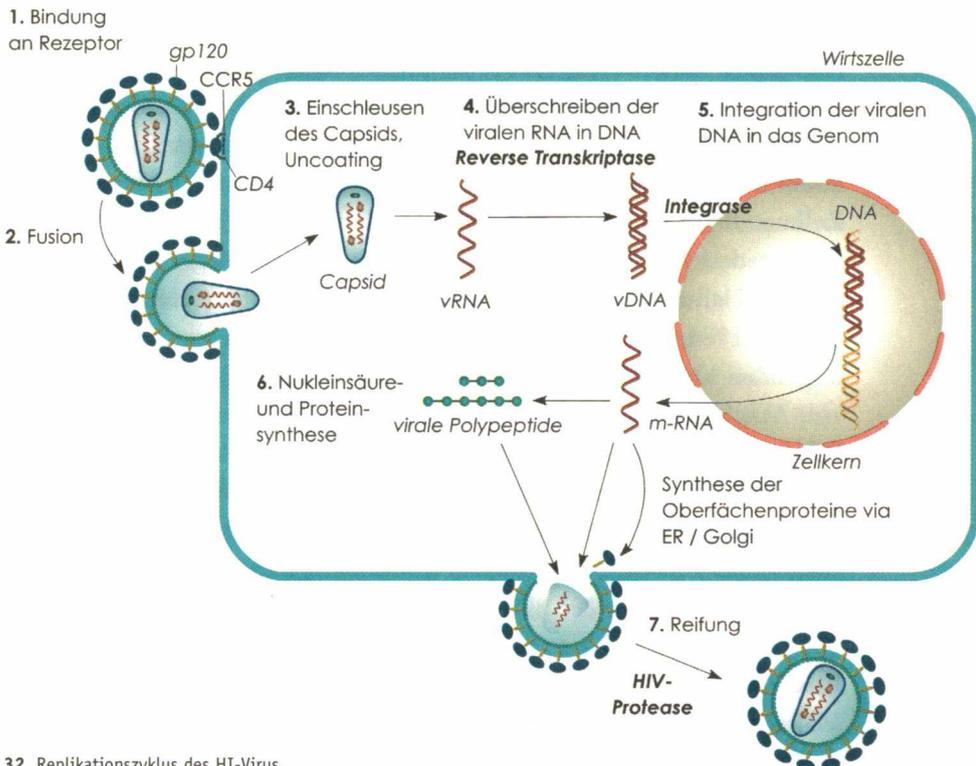
Kombination wissenschaftlicher Zeichen

Wissenschaftliche Zeichen werden mit Metazeichen kombiniert, um als schematische Bilder Prozesse, Abläufe oder Zusammenhänge zu visualisieren. Abbildung 32 zeigt ein Exemplar eines kanonischen Bildes, den Replikationszyklus des HI-Virus in einer Wirtszelle, ein Bild, das sich seit den achtziger Jahren beständig vermehrt und zahlreiche Lehr- und Sachbücher und Fachzeitschriften infiziert hat. Ein anderes Exemplar, das wir später diskutieren werden, ist in Abbildung 35 (S. 148) dargestellt.

Bei Abbildung 32 handelt es sich um ein sogenanntes Chart. Charts stellen qualitative Zusammenhänge zwischen Begriffen, Kategorien und Aussagen in zwei- oder mehrdimensionaler Anordnung dar (Ballstaedt,

1997, S. 107). Im Deutschen auch als Strukturdiagramme bezeichnet, bestehen sie aus einer bestimmten Anzahl Einheiten, welche grafisch als Kästchen, Kreise oder ähnliche einfache Strukturen dargestellt werden. Die Einheiten stehen in einer oder mehreren inhaltlichen Relationen zueinander, die gerichtet oder auch ungerichtet sein können. Diese Relationen werden mit Hilfe von Linien, Pfeilen und Ähnlichem dargestellt, können aber auch in einem Text beschrieben werden. Ihre Anzahl ist nicht limitiert, jede Einheit kann mit einer unbegrenzten Anzahl anderer Einheiten verknüpft sein. In der Praxis sind die Beziehungen zwischen zwei Elementen aus Gründen der Übersichtlichkeit meist auf wenige begrenzt.

Die grafische Darstellung der Einheiten und der Relationen ist nicht durch feste Regeln bestimmt, es sind aber gewisse standardisierte Darstellungsformen gebräuchlich, die vorgegeben, wie die Elemente aussehen und wie sie verknüpft werden. Verbreitet sind Flowcharts (Flussdiagramme oder Programmablaufpläne) und Stammbäume.



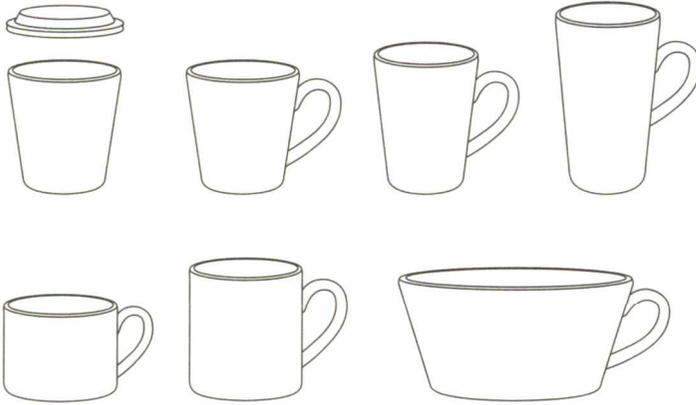
32 Replikationszyklus des HI-Virus.

Im einfachsten Fall besteht ein Chart nur aus Linien. Die Endpunkte der Linien und die Ecken repräsentieren dann die Elemente. Ein Y ist ein Beispiel für ein abstrahiertes Chart, bei dem vier Elemente durch drei Relationen verknüpft sind. So betrachtet, könnten die chemischen Strukturformeln, bei denen die Positionierung der Elemente räumliche und strukturelle Ähnlichkeit mit einem Molekül hat, ebenfalls zu den Charts gezählt werden.

Der Replikationszyklus in Abbildung 32 ist ein Chart mit bildlichen Ergänzungen und zeigt einen chronologischen Ablauf. Die Elemente erscheinen hier nicht als Kästchen oder Kreise, sondern als ikonisch-symbolische wissenschaftliche Zeichen. Das Zeichen des HI-Virus ist in kleinere Untereinheiten zerlegbar, wie eine Babuschka, die im hohlen Inneren eine weitere Figur enthält, die wiederum eine Figur enthält, und verändert sich in Form und Farbe. Die Verwendung von ikonischen wissenschaftlichen Zeichen und deren räumliche Anordnung rücken das Chart in die Nähe eines Abbilds einer Zelle, die von einem Virus infiziert wird. An diesem Eindruck ist die Darstellung der Zelle als abgerundetes Rechteck wesentlich beteiligt. Die Zelle selbst ist nicht Teil des Netzwerks des Charts, sondern eine Art Hintergrund, das den Rahmen des Bildes absteckt. Gegen die Betrachtungsweise als Abbild spricht, dass ein solches Bild im Elektronenmikroskop nicht zu sehen ist. Einzelne Teile des Prozesses können so erscheinen, zum Beispiel die Fusion des Virus mit der Zellmembran, andere Teile des Bildes sind hingegen völlig fiktiv, weshalb Gilbert und Mulkay derartige Bildkompositionen als «Working Conceptual Hallucinations» oder «Science Fiction» bezeichnen (Gilbert, Mulkay, 1984, S. 157). Von der Fiktion wissenschaftlicher Bilder wird im folgenden Kapitel noch die Rede sein. Ein wichtiger fiktionaler Aspekt von Abbildung 32 ist die Aufteilung in klar voneinander abgrenzbare Schritte, die Sequenzierung des Ablaufs in Stadien durch die Pfeile. Solche Aufteilungen sind in der Wissenschaft ausserordentlich häufig, entsprechen der Realität indessen nur bedingt. Die Allmählichkeit des Prozesses, das zeitliche und räumliche Kontinuum, in dem er erfolgt, werden nicht berücksichtigt.

Visualisierung von Kontinua

Man stelle sich vor, jemand organisiert ein grosses Fest, und er bittet jeden der tausend Gäste, eine Tasse mitzubringen. Diese Tassen würden zu-



33 Tassen. Der allgemeine Begriff Tasse bezeichnet nicht einen einzelnen, eindeutig festgelegten Gegenstand, sondern ein Kontinuum unterschiedlichster Objekte. Der Begriff ist nicht exakt definiert und die Abgrenzung zu Becher und Schale beim Benennen nicht immer gegeben (vgl. Labov, 1973).

sammen ein Kontinuum bilden. Man würde Tassen aus unterschiedlichen Materialien finden, aus Glas, Porzellan, Karton oder Metall, solche mit und ohne Henkel, mit und ohne Deckel. Die Tassen wären dünn- oder dickwandig, farbig, bemalt, mit Schrift oder ohne, zylindrisch, gegen unten verjüngt, gewölbt, hemisphärisch und so fort. Einige Tassen wären einander sehr ähnlich, andere unterschiedlich. Nun könnte man diese Tassen Versuchspersonen vorlegen und diese bitten, sie zu benennen (Labov, 1973). Einige der Tassen, charakteristische Vertreter, würden als Tassen bezeichnet werden, andere hingegen als Becher oder als Schale oder Kelch. Der Begriff Tasse ist nicht eindeutig definiert, besonders an den Rändern ist er unscharf und geht fließend in andere Begriffe über (Abbildung 33).

Bei diesem Kontinuum handelt es sich um eine Sammlung einzelner Vertreter, die sich untereinander wenig unterscheiden. Mit dem statistischen Vokabular könnte man es auch als eine Stichprobe aus der Grundgesamtheit aller möglichen Tassen mit diskreten Vertretern bezeichnen. Es existieren weitere Arten von Kontinua. Ein Kontinuum kann zum Beispiel auch ein Ablauf sein, der aus sehr vielen Zwischenformen besteht, die sich nur sehr wenig unterscheiden. Ein Beispiel ist die Teilung einer Zelle, die mit einer Zelle beginnt und mit zwei Zellen endet.

Der Verlauf eines Kontinuums ist sehr unterschiedlich. Es kann unidimensional auf einer Linie von A nach B fortschreiten wie die Entwicklung des Menschen von der befruchteten Eizelle zum Embryo, Fötus, Neugeborenen, Kind, Jugendlichen und schliesslich zum Erwachsenen. Es sind aber auch baumartige Verzweigungen möglich, wie sie etwa von der Evolutionstheorie zur Erklärung der Entstehung neuer Arten postuliert werden. Bei einem *zirkulären* Kontinuum gelangt man am Ende wieder an den Anfang zurück. Alle Vermehrungszyklen sind Beispiele hierfür; wie der Same, der zu einer Pflanze heranwächst und wiederum Samen bildet, aus denen neue Pflanzen hervorgehen³. Auch der Vermehrungszyklus des HI-Virus ist ein solches Beispiel.

Aufgrund der Häufigkeit der Kontinua in der Wissenschaft ist ihre Verbildlichung bedeutsam. Wir wollen uns im Folgenden der Frage zuwenden, wie Kontinua in wissenschaftlichen Bildern dargestellt werden. Wie wird die Variabilität bildlich vermittelt?

Eine erste, einfache Variante besteht darin, aus der Summe der Individuen einen zufälligen oder charakteristischen einzelnen Vertreter auszuwählen und ihn als repräsentativ zu erklären, als die Sache an sich. Der Ansatz des fast zufälligen Vertreters wird in der Botanik seit Ende des 19. Jahrhunderts weltweit bei der Benennung von neuen Arten angewendet, mit dem Ziel der eindeutigen Namensgebung. Lorraine Daston hat diese Vorgehensweise genauer untersucht (Daston, 2004). Ein einzelnes, vom Entdecker ausgewähltes, mehr oder weniger zufälliges Exemplar der Art wird als Typusexemplar (auch Belegexemplar, Holotypus, englisch Type Specimen) aufbewahrt und dient fortan als Referenz. Gepresste und getrocknete Typusexemplare werden traditionellerweise in den Herbarien der Museen aufbewahrt und dort von Botanikern untersucht, die in Fragen der Klassifizierung recherchieren. Die Methode erscheint reichlich kontraintuitiv. Zwar wird so eine einheitliche Namensgebung er-

³ Man beachte die Metapher des Kreises, die eine bestimmte Sicht des Prozesses vermittelt. In einer Anleitung zur Erstellung wissenschaftlicher Bilder fordert die Autorin, die kreisförmige Darstellung sei der rechteckigen Darstellung vorzuziehen, da sie sofort den kreisförmigen Verlauf des Sachverhalts vermittele (Briscoe, 1996, S. 38). Diese Anleitung, wie ein Bild aufzubauen sei, ergibt sich aus der starken Metapher des Kreises und aus der Schematisierung, sie ist aber nicht zwingend. Bei der Vermehrung einer Pflanze entspricht der Same der Tochterpflanze ja nicht mehr dem Samen, aus der die Mutterpflanze entstand. Die beiden Samen sind aufgrund der sexuellen Vermehrung genetisch verschieden.

reicht, und es ist jederzeit möglich, die Spezies zur ursprünglichen Entdeckung zurückzuverfolgen. Aber Typusexemplare sind keine Typen im eigentlichen Sinn; der Begriff ist ein Widerspruch in sich selbst. Sie sind aufgrund ihrer Auswahl mehr oder weniger zufällige Individuen und nicht repräsentativ, weil sich der Entdecker in der Regel der vollen Variation der Art zunächst nicht bewusst ist.

Ein zweiter, dem ersten widersprechender Ansatz besteht darin, einen möglichst repräsentativen, abstrakten Typus zu erschaffen, der alle charakteristischen Merkmale eines Kontinuums in ein Bild integriert. Wissenschaftliche Bilder zeigen oft einzelne, allgemeine, typische Vertreter eines Sachverhaltes, nicht spezielle, vielfältige, atypische. Ein Beispiel dafür ist die Darstellung von Tieren in ihrem natürlichen Lebensraum (Nicholson, Lynch, Wayne in Hodges, 2003, S. 443):

“In contrast to photographs that capture only a fleeting moment in an animal’s life, a wildlife illustration should be a summation of the artist’s informed impressions of the animal’s typical stances, behavior, habitat and anatomy. The illustrator has to transcend the vagaries and arbitrariness of an individual animal in a particular situation.”

Die wissenschaftlichen Illustratoren vertreten hier die Auffassung, nicht ein individuelles Tier, sondern der Typus, der die Merkmale der Spezies allgemein repräsentiert, solle dargestellt werden. Ein anderes Beispiel dafür ist das allgemeine Schema einer Zelle. Die Variabilität der Zellstruktur ist gross: Zellen unterscheiden sich fundamental in der Grösse, in der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung, der Form, der Funktion, der Umgebung und so fort. In jeder Einleitung zur Biologie findet sich aber die Darstellung eines allgemeinen schematischen Bildes *der* Zelle. Typen werden in der Lehrbuch- und Populärwissenschaft häufig verwendet, so wird vom Grippe- oder HI-Virus gesprochen, obwohl von beiden Viren Subtypen existieren. Beim Beispiel des Replikationszyklus des HI-Virus (Abbildung 32, S. 135) werden sogar mehrere Typen ineinander verschachtelt dargestellt: das Virus, der Prozess der Vermehrung und die Zelle.

Bei der Erstellung von Typen werden Merkmale einer Vielzahl von Individuen in einem einzigen Bild vereinigt. Ein hyperreales, nichtexistierendes Objekt entsteht, das nur allgemeine Eigenschaften und wenige

oder keine speziellen erkennen lässt. Das Bild eines Typus ist notwendigerweise synthetisch, da Typen in der Natur nicht vorkommen. Es beruht auf einer vom Wissenschaftler getroffenen Auswahl, bei der das Unwesentliche, Spezielle und Variable entfernt wird. Die Auswahl muss notwendigerweise von einer Person – subjektiv? – getroffen werden. Lorraine Daston und Peter Galison haben dargelegt, wie im 19. Jahrhundert Autoren medizinischer Atlanten das subjektive Urteilsvermögen und die Vorstellungskraft der Wissenschaftler problematisierten. Eine Möglichkeit, die subjektive Synthese beispielsweise in der anatomischen Malerei zu umgehen, bestand in der Mechanisierung des Blicks. Durch die Präsentation einer Vielzahl individueller Fotografien wurde es in der Folge dem Leser überlassen, den Typus selbst (im Kopf) zu erschaffen (siehe dazu Daston, Galison, 2002).

Logische Bilder, zum Beispiel Diagramme, stellen eine weitere Möglichkeit dar, Kontinua zu verbildlichen. Während der Typus als eine Art synthetischer Mittelwert nur einen einzelnen «Wert» angibt, so zeigt das Diagramm, zum Beispiel eine Häufigkeitsverteilung, viele Werte mit der Angabe ihrer Streuung. Das Diagramm ist jedoch kein Abbild mehr. Wird zum Beispiel die Länge aller Mäuse einer gewissen Spezies gemessen, können maximale und minimale Werte, Häufigkeiten der Grössen und so fort angegeben werden. Die Statistik stellt das Vokabular und die mathematischen Werkzeuge bereit, um Kontinua zu beschreiben.

Schliesslich ist es auch möglich, ein Kontinuum mittels aufeinanderfolgender Bilder darzustellen, als eine Art Comicstrip oder als Film. Das Problem der Sequenzierung bleibt dabei bestehen, auch zeigt der Film meist nur den Einzelfall, zum Beispiel die Entwicklung einer einzigen Pflanze im Zeitraffer. Es werden allerdings auch Filme produziert, die – der Darstellung eines hyperrealen Typus vergleichbar – typische Prozesse visualisieren, zum Beispiel als wissenschaftliche Animation.

Fazit

Einige wissenschaftliche Bilder bestehen aus wissenschaftlichen Zeichen, welche die kleinsten Einheiten dieser Bilder darstellen. Dies bedeutet, dass das Verständnis des Bildes vom Erkennen der Zeichen abhängt. Das Erkennen ist dabei nicht nur auf die Benennung reduziert, sondern erstreckt sich auch auf weiterführende Informationen, die im Zeichen selbst nicht enthalten sind.

Die Erstellung solcher Bilder, zum Beispiel durch einen Wissenschaftler oder Grafiker, erfordert deshalb eine genaue Kenntnis der Zeichensysteme. Es ist meistens sinnvoll, bekannte Zeichen zu verwenden, statt immer wieder neue zu erfinden. Im Rahmen einer Vorlesung halten wir es für empfehlenswert, einen definierten Satz von Zeichen zu verwenden, damit die Entschlüsselung der Bedeutung für die Studierenden möglichst einfach ist. Dieses «Wörterbuch» sollte aufgrund der aktuellen Literatur erstellt und zu Beginn der Vorlesung mit den Studierenden diskutiert werden.

3. Naturalistische Bilder

Artists are a bit like magicians: we use optical illusions to fool people into thinking they are seeing a version of reality.

Gregory S. Paul, 1996, S. 81

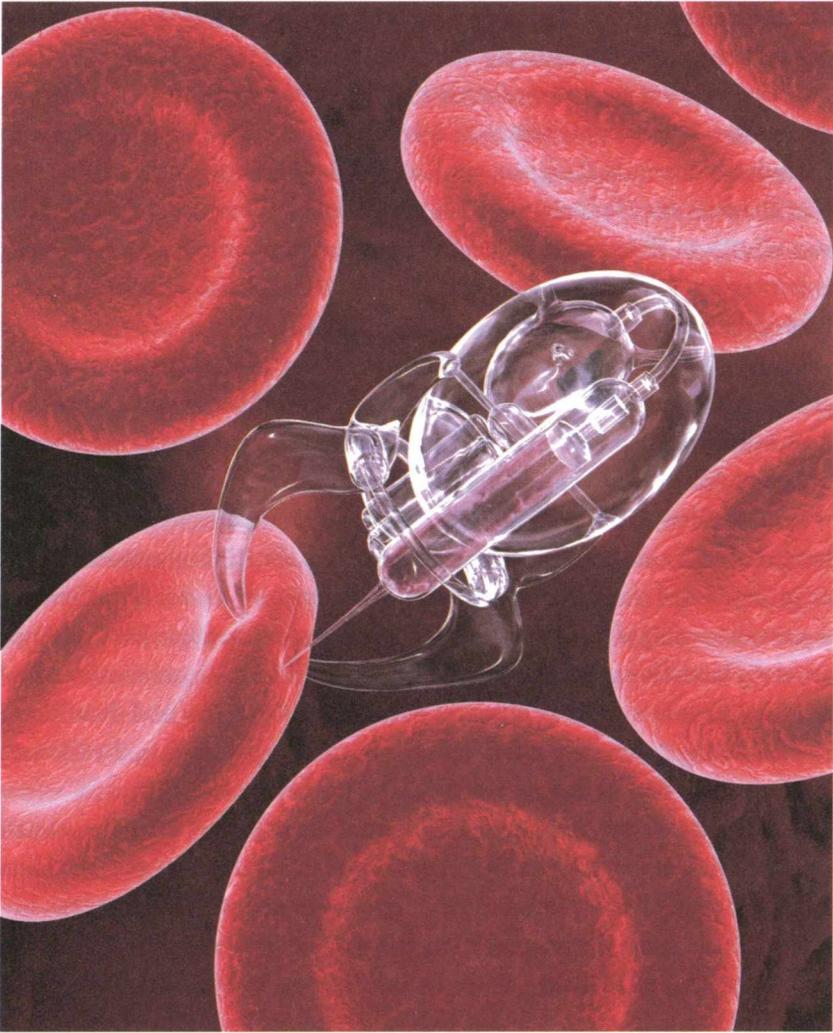
Im Gegensatz zum schematischen Bild und zu den wissenschaftlichen Zeichen sind naturalistische Bilder wirklichkeits- und naturgetreu dargestellt. Unter der Konvention der Perspektive, mit dem Spiel von Licht und Schatten und mit Farbe wird versucht, ein mimetisches Bild zu schaffen, das einen der Natur möglichst ähnlichen Eindruck hinterlassen soll. Die naturalistischen wissenschaftlichen Bilder sind häufig Teil der Lehrbuch- und noch öfter Teil der Populärwissenschaft.

Science – Fiction

Wenn wir die Fotografie einer Person betrachten, sagen wir zum Beispiel «Das ist Peter», wir identifizieren also das Dargestellte mit der realen Person. Horst Bredekamp und Franziska Brons konnten zeigen, dass man in der Mikrobiologie im 19. Jahrhundert begann, die Fotografie mit dem Objekt gleichzusetzen. Der Bakteriologe Robert Koch fügte um 1877 seinen Publikationen erstmals Fotografien statt Zeichnungen bei und hielt diese gar für objektiver als die Natur selbst: «Das photographische Bild

eines mikroskopischen Gegenstandes ist unter Umständen wichtiger als dieser selbst» (Bredenkamp, Brons, 2004, S. 373). Diese Identifikation bedeutet, ein Bild als Spiegel der Wirklichkeit zu betrachten. Es wird suggeriert, die dargestellten Objekte würden tatsächlich existieren. Aufgrund dieser intuitiven Überlegungen könnte man auch bei der Betrachtung von naturalistischen Bildern in der Wissenschaft unbewusst zu der Auffassung gelangen, diese Bilder würden wissenschaftlich abgesicherte, wahre, objektive Fakten darstellen. Die naturalistische Darstellung wäre demzufolge eine Art Gradmesser für die wissenschaftliche Verlässlichkeit des Bildes. Ob dies zutrifft, ist allerdings fraglich. Inwiefern ist das naturalistische Bild tatsächlich «naturalistisch», also der dargestellte Gegenstand «wirklichkeitsgetreu» wiedergegeben? Was ist unter dem Begriff genau zu verstehen?

Ein Beispiel eines naturalistischen Bildes ist die preisgekrönte Illustration eines Nanoroboters von Coneyl Jay, der einem roten Blutkörperchen eine Spritze appliziert (Abbildung 34). Dieses Bild hat in der Fachzeitschrift *Nature* vor einiger Zeit eine Kontroverse ausgelöst. Der Wissenschaftler J. M. Ottino äusserte die Befürchtung, naturalistische, insbesondere computergenerierte Bilder könnten fälschlicherweise als wissenschaftlich objektive Fakten verstanden werden. Der dargestellte Nanoroboter sei Fiktion und werde aus physikalischen Gründen nie gebaut werden können (Ottino, 2003). In einer späteren Ausgabe der Zeitschrift wies ein wissenschaftlicher Illustrator die Befürchtungen Ottinos als unbegründet zurück: Beim betreffenden Bild handle es sich nicht um eine wissenschaftliche Illustration, und der Betrachter sei wohl intelligent genug, die Fiktion als solche zu erkennen (Ippolito, 2003). Der Illustrator und Biochemiker David Goodsell bemerkte zu Ottinos Artikel, die Wahl des Typs einer Illustration hänge auch vom Zielpublikum ab. Bei der Präsentation von Resultaten würden die Bilder die Daten unterstützen und sollten möglichst wissenschaftlich korrekt sein. Wenn es sich beim Zielpublikum jedoch um die breite Öffentlichkeit handle, solle das wissenschaftliche Bild Aufmerksamkeit erregen oder Konzepte vereinfacht «in einem Bissen» erklären. Mit anderen Worten: Die populärwissenschaftliche Illustration muss nach Goodsells Auffassung nicht den gleichen Anforderungen genügen wie das Bild in der esoterischen Wissenschaft. Es kann auch kommerziellen Zwecken dienen oder einfach nur dazu, Aufmerksamkeit zu erregen (Goodsell, 2003).



34 Preisgekrönte Darstellung eines Nanoroboters.

Das Schlüsselwort ist Fiktion. Dass gerade um ein Bild der Nanotechnologie eine aufgeregte Diskussion geführt wird, hängt damit zusammen, dass die Nanotechnologie selbst eine Wissenschaft ist, bei der die Beziehungen zwischen Science und Sciencefiction eine wichtige Rolle spielen, ja die Nanotechnologie ist aus der Sciencefiction hervorgegangen (siehe dazu Milburn, 2002). Das Bild, das beinahe so aussieht, als wäre es von einem kleinen Betrachter mit einer Kamera aufgenommen worden, ent-

hält zahlreiche fiktive Elemente. Der Nanoroboter existiert nicht, es handelt sich vielmehr um ein ausgeklügeltes visuelles Gedankenexperiment. Ist der Leser einer wissenschaftlichen Fachzeitschrift so leichtgläubig, dass er den Nanoroboter für real existierend hält? Das ist zu bezweifeln. Ottinos ablehnende Reaktion und seine Überlegungen hinsichtlich der Machbarkeit des Nanoroboters zeigen vielmehr, dass ein solches Bild die stimulierende Eigenschaft hat, Diskussionen zu provozieren und Fragen aufzuwerfen. Zumindest der kritische Betrachter wird wohl ein fiktives Bild nicht bedingungslos als wahr akzeptieren.

Eine andere Situation liegt hingegen vor, wenn davon ausgegangen werden muss, dass ein Bild objektive Resultate wissenschaftlicher Untersuchungen präsentiert und nur einen geringen Anteil an fiktiven und subjektiven Elementen enthält. Dabei sind das Vertrauen und Vorwissen des Betrachters entscheidend. Wenn ein Student in einem aktuellen Lehrbuch eine naturalistisch gezeichnete Zellmembran studiert, wird er in der Regel davon ausgehen, dass das Dargestellte der Wirklichkeit mehr oder weniger gut entspricht. Er könnte sogar gewisse Rückschlüsse aus der Darstellung ziehen, zum Beispiel bezüglich des quantitativen Anteils der Proteine in der Zellmembran. Ohne Vorwissen und detaillierte Beschreibung im begleitenden Text wird es ihm schwerfallen, die fiktiven Elemente der Darstellung als solche zu erkennen.

Welche fiktiven Elemente enthalten die dreidimensionalen, naturalistischen Darstellungen von Zellmembranen? Wir haben gesehen, dass die Darstellung des Unsichtbaren sich der Metaphern des Sichtbaren bedient. Entsprechend werden Zellmembranen gezeichnet: Die Elemente sind bunt eingefärbt, eine Lichtquelle ist angedeutet. Metaphern sind auch die Formen, etwa die Phospholipide, deren Kopfgruppe als Kugel dargestellt ist. Bei wissenschaftlichen Bildern werden die Grössenverhältnisse nicht selten ignoriert. Zellmembranen werden im Vergleich zu der Zelle häufig zu dick dargestellt. Auch die Mengenverhältnisse stimmen aufgrund der reduktionistischen Darstellung meistens nicht, die Zahl der wiedergegebenen Proteine ist in der Regel zu tief. Die Reduktion führt zum Weglassen von Elementen und dazu, dass der Hintergrund der Bilder einfarbig oder weiss ist, auch bei scheinbar naturalistischen Bildern.

Es gibt Versuche, die fiktiven Elemente bei der Darstellung der Zellmembranen zu minimieren. David Goodsell ist in seinen Bildern be-

müht, der molekularen Ebene, den Grössen- und Mengenverhältnissen und der naturgemässen Darstellung der Formen Rechnung zu tragen (zum Beispiel Goodsell, 1994). Aber auch er stösst dabei an Grenzen. Seine Bilder enthalten ebenfalls fiktive Elemente, und auch Goodsell ist gezwungen, der Übersicht wegen Elemente wegzulassen. Seine Arbeiten verdeutlichen, dass es unmöglich ist, die fiktiven Elemente eines Bildes gänzlich zu eliminieren, insbesondere dann, wenn es sich um Bilder der unsichtbaren, molekularen Ebene handelt.

Die visuelle Darstellung eines wissenschaftlichen Sachverhalts verlangt nach einer konkreten Darstellung. Während man sich den Begriff Protein als mentales Bild in irgendeiner Gestalt und Grösse vorstellen kann, muss er in einem tatsächlichen wissenschaftlichen Bild spezifiziert und explizit dargestellt werden. Ist jedoch nicht genau bekannt, wie eine Sache aussieht, müssen Ergänzungen mit fiktiven Elementen erfolgen. Aus Vorstellungen, Ideen, Hypothesen und Theorien werden so gegenständliche Objekte. Der Prozess kann mit einer Buchverfilmung verglichen werden, bei der fiktive Protagonisten durch Schauspieler ersetzt und konkretisiert werden (zu deren Aussehen im Buch keine vollständigen Angaben zu finden sind). Der Film widerspiegelt dabei nur die Vorstellungen einer kleinen Gruppe von Personen, diejenigen des Regisseurs und seiner Mitarbeitenden, während die Zuschauer von der Umsetzung enttäuscht sein können, weil sie sich beim Lesen des Buchs alles ganz anders vorgestellt haben.

Je naturalistischer die Darstellung, desto mehr fordert das Bild nach seiner eigenen Konkretisierung, desto mehr muss, was nicht bekannt ist oder nicht in Erfahrung gebracht wurde, durch Erfindung ergänzt werden. Bei der Diskussion der Entstehung wissenschaftlicher Tatsachen haben wir gesehen, dass für die Präsentation von wissenschaftlichen Sachverhalten in Lehrbüchern oder populärwissenschaftlichen Medien die ursprünglich schematischen Bilder aus den Fachpublikationen häufig in naturalistische Bilder überführt werden. Aus schwarzweissen, zweidimensionalen Illustrationen werden so farbige, dreidimensionale Bilder. Problematisch ist eine solche Umsetzung dann, wenn die künstlerische Freiheit nicht durch zusätzliche Informationen aus der wissenschaftlichen Literatur geleitet ist und die Bilder lediglich verschönert («aufgepeppt») werden. Das naturalistische Bild ist dann lediglich ein schematisches Bild, das vorgibt, «realistisch» zu sein. Der Begriff naturalistisch im Sinne von

wirklichkeitsnah ist deshalb nicht unproblematisch. Einerseits kann ein Bild grafisch wirklichkeitsnah sein, indem es einen ähnlichen visuellen Eindruck vermittelt wie ein realer Sachverhalt. Andererseits bedeutet dies nicht, dass das Bild auch *wissenschaftlich* «wirklichkeitsnah» ist, denn es kann gänzlich fiktiv sein.

Am extremsten tritt diese Tatsache bei den wissenschaftlichen Animationen zutage, die wir bei der Diskussion von Kontinua schon angesprochen haben. Darstellungen von Kontinua wie die Replikation des HI-Virus (Abbildung 32, S. 135), bei denen die einzelnen Schritte durch einzelne Bilder dargestellt sind, drängen sich dem Grafiker für die Erstellung einer Animation geradezu auf. Diese Bilder entsprechen nämlich den Schlüsselbildern einer Animation. Schlüsselbilder (auch Keyframes, Extremes) sind jene Bilder der Animation, bei denen eine relevante Änderung stattfindet, die Bilder dazwischen bezeichnet man als Inbetweens. Wenn sich also in einer Animation ein Kreis in ein Quadrat verwandelt, dann sind der Kreis und das Quadrat die Schlüsselbilder. Das Zeichnen der Inbetweens ist Fleissarbeit, die traditionellerweise von Assistenten erledigt wird. Heute können solche Zwischenstufen zum Teil auch vom Computer berechnet werden.

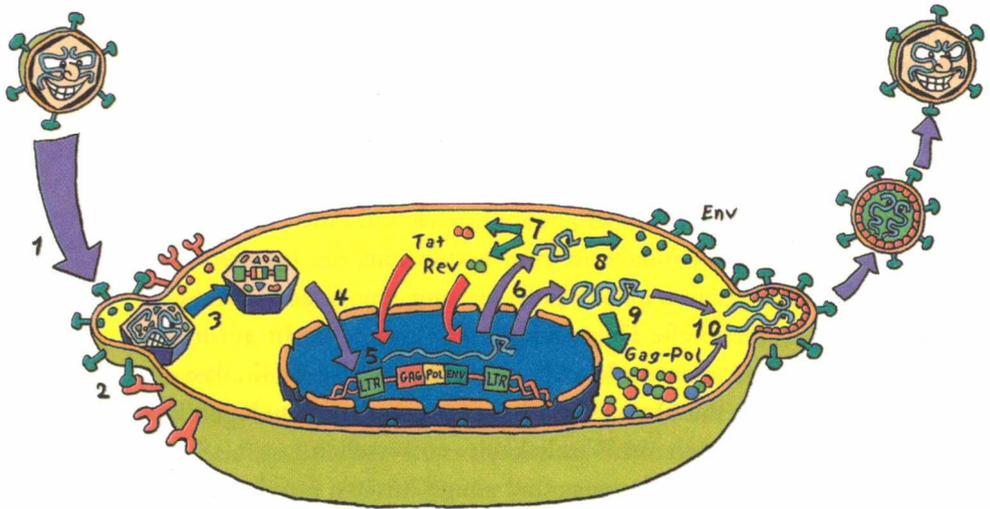
Wissenschaftliche Animationen sind meist kurze Sequenzen wissenschaftlicher Inhalte, die heute häufig als zweidimensionale Vektoranimationen oder dreidimensionale Animationen realisiert werden. Im Gegensatz zu Filmen werden Animationen gezeichnet, nicht aufgenommen. Neuere Lehrbücher der Naturwissenschaften, Fachpublikationen wie *Nature* und *Science*, E-Learning-Projekte und Firmen setzen neben den traditionellen wissenschaftlichen Bildern heute auch vermehrt Animationen ein. Bei ihrer Erstellung wird häufig von bestehenden wissenschaftlichen Bildern aus Lehrbüchern ausgegangen, die als Keyframes dienen. Der Grafiker/Wissenschaftler steht dabei unter anderem vor dem Problem, dass die Pfeile zwischen den einzelnen statischen Bildern durch bewegte Bilder, die Inbetweens, ersetzt werden müssen. Das Resultat kann mit der Realität wenig gemeinsam haben und entspringt im Wesentlichen der Vorstellung des Ausführenden. Dies trifft insbesondere auf die Bewegungen von Objekten zu: Auf der molekularen Ebene sind Bewegungen in höchstem Mass zufällig, es herrscht ein wildes Durcheinander. In wissenschaftlichen Animationen hingegen bewegen sich die Objekte immer gemächlich und zielstrebig an den Ort, an dem sie benötigt werden.

Wissenschaftler stehen allgemein vor einem Dilemma, das von Gilbert und Mulkay nach einem Forscher als Trubshaws Dilemma benannt wurde (Gilbert, Mulkay, 1984, S. 160). Wir nennen es das didaktische Dilemma. Es besteht darin, dass bei der Vermittlung von Forschungsergebnissen durch Bilder auf der einen Seite die Versuchung besteht, den Sachverhalt möglichst anschaulich, naturalistisch und didaktisch zu präsentieren, um damit eine möglichst gute Vermittlung des Inhalts zu erreichen. Das bedeutet meist eine Popularisierung, eine Ergänzung durch Fiktion, eine naturalistische Darstellung und einen Verzicht auf hypothetische Elemente. Auf der anderen Seite ist aber nicht gewollt, dass die Betrachter des Bildes die fiktionalen Elemente zu wörtlich nehmen und glauben, etwas würde auch «in Wirklichkeit» so aussehen.

Zur Lösung dieses Dilemmas sind einige Ansätze denkbar. Durch eine Analyse von wissenschaftlichen Bildern ist es dem Betrachter möglich, fiktive und subjektive Elemente zu identifizieren und vom wissenschaftlichen Kern zu trennen. Wir betrachten es als zentralen Punkt, dass die Studierenden der Naturwissenschaften in der Interpretation von wissenschaftlichen Bildern geschult und für die erwähnten Probleme sensibilisiert werden.

Neben der Identifikation der fiktiven Elemente existieren weitere Möglichkeiten, das Problem der naturalistischen Darstellung anzugehen. Im begleitenden Text können beispielsweise die Limitationen des Bildes und die Darstellungsweise diskutiert werden. Das Bild selbst kann so gestaltet werden, dass fiktive, unsichere, hypothetische Elemente mit gestrichelten Linien, Fragezeichen oder Farbcodes gekennzeichnet werden.

Gilbert und Mulkay haben auf eine Darstellungsart hingewiesen, die sporadisch in wissenschaftlichen Publikationen verwendet wird, den visuellen Witz (Visual Joke). Dabei werden wissenschaftliche Inhalte auf eine lustige Art und Weise dargestellt, indem zum Beispiel zwei Gebiete unerwartet kombiniert werden. Abbildung 35 (S. 148) zeigt ein Beispiel aus einer seriösen wissenschaftlichen Publikation, erneut eine schematische Darstellung des Vermehrungszyklus des HI-Virus. Das Bild des Wissenschaftlers und Illustrators Ebbe Sloth Anderson erschien auch in einer Publikation zur medikamentösen Therapie von AIDS (Nielsen, Pederson, Kjems, 2005). Interessanterweise wird das Bild im Artikel genauso wie ein normales Bild diskutiert – weder im Text noch in der Bildbeschreibung wird darauf aufmerksam gemacht, dass es sich nicht um ein «korrektes»



35 Visuelle Witze. Replikationszyklus des HI-Virus
 (Ebbe Sloth Anderson; diese Abbildung erschien auch
 in Nielsen, Pederson, Kjems, 2005, S. 2).

wissenschaftliches Bild handelt. Diese Art der Darstellung wissenschaftlicher Inhalte enthält *inhärent* die Aufforderung, das Dargestellte zu hinterfragen und die Darstellungsart nicht unkritisch zu akzeptieren. Sie gibt nicht vor, etwas naturalistisch abzubilden, wovon gar nicht bekannt ist, wie es aussieht. Visuelle Witze sind also eine mögliche Lösung für das didaktische Problem. Allerdings besteht dabei die Gefahr, den Inhalt der Lächerlichkeit preiszugeben und den wahren Sachverhalt zu verschleiern. Mögliche negative Aspekte solcher Illustrationen haben wir bereits mehrfach diskutiert (vgl. das Kapitel zu den Metaphern und zu den schematischen Bildern). Auffällig ist, dass das Virus wieder als «böser Feind» charakterisiert wird. Es handelt sich um eine explizite visuelle Metapher.

Auch die Kunst kann Antworten auf die Darstellungskonventionen der wissenschaftlichen Bilder geben. Einige zeitgenössische Künstler beschäftigen sich mit der Genetik und ihren Darstellungen (Nelkin, Anker, 2002). In der Installation *Zoosemiotics: Primates, Frog, Gazelle, Fish* der amerikanischen Künstlerin Suzanne Anker blickt der Betrachter durch ein gewölbtes und mit Wasser gefülltes Gefäß auf plastisch dargestellte Chromosomenpaare, die an einer Wand hängen. Der Blick durch das Glas

zeigt die Indirektheit und die Verzerrung bei der Beobachtung der mikroskopischen Welt.

Schliesslich stellt sich die Frage, ob bei einem fortgeschrittenen Kenntnisstand der Studierenden oder Schüler nicht auf didaktisierende Elemente verzichtet werden kann. Die Studierenden sollen sich auch mit den Bildern der Originalpublikation und nicht bloss mit künstlichen Übersetzungen auseinandersetzen.

Die fiktiven Elemente eines Bildes sind nicht der einzige Grund, an der Wirklichkeitstreue des naturalistischen Bildes zu zweifeln. Fiktion in wissenschaftlichen Bildern bedeutet eine Ergänzung durch Erfundenes. Aber bereits das vorliegende Objekt kann verfälscht sein oder nicht der Realität entsprechen: Wenn ein Querschnitt der Sprossachse einer Pflanze mit chemischen Farbstoffen eingefärbt wird, wenn ein totes Insekt auf einem Zeichenbrett positioniert und abgezeichnet wird, wenn Viren im Reagenzglas gezüchtet und im Vakuum vom Elektronenmikroskop aufgenommen werden, ist dann nicht bereits das Objekt selbst nicht mehr ganz wirklichkeitstreu?

Bilder als Überzeugungsmittel: Das Dinosaurier-Genre

Kein anderes Genre illustriert die Eigenschaften naturalistischer wissenschaftlicher Bilder besser als die «realistische» Darstellung von Dinosauriern in ihrem natürlichen Lebensraum. Hier werden Szenen abgebildet, die aussehen, als wäre der Künstler oder Wissenschaftler in die Vergangenheit zurückgereist. Man hat den Eindruck, die ausgestorbenen Dinosaurier seien visuell ebenso gut wie lebendige Tiere dokumentiert. Die Bilder zeigen sie beim Jagen, Kämpfen, Fressen, Schlafen, bei der Fortpflanzung oder bei der Aufzucht von Nachkommen. Neben der traditionellen statischen Ansicht der Dinosaurier etwa in Büchern oder als Wandmalereien in Museen werden sie seit *Jurassic Park* (1993), der Verfilmung von Michael Crichtons Roman, auch mit Computeranimationen visualisiert. Die Illusion des «Realismus» der Darstellung ist hier im Vergleich zum statischen Bild um ein Vielfaches erweitert. Gezeigt wird nicht nur eine «Fotografie», sondern ein Film mit Bewegung, Lauten und Handlung. Stephen Spielbergs *Jurassic Park* basiert auf der Idee, dass Dinosaurier mit gentechnologischen Methoden wieder zum Leben erweckt werden können. Der Schlüssel der fiktiven Technologie besteht in einem Moskito, das Blut von einem Dinosaurier gesaugt hatte und kurz darauf

in Bernstein eingeschlossen und bis heute konserviert wurde. Aus dem Dinosaurierblut, das sich im Darm des Moskitos befindet, soll das Genom des Sauriers gewonnen und daraus ein neuer Dinosaurierorganismus erstellt werden. Alles, was der Zuschauer und die erstaunten Paläontologen von den Tieren sehen, hat also definitiven Charakter. Eine der Hauptfiguren des Films bemerkt deshalb zynisch: «It looks like we're out of a job.»

In der mehrteiligen BBC-Dokumentation *Walking with Dinosaurs* (1999) wird die Illusion des «Realismus» der animierten Dinosaurier noch zusätzlich gesteigert. Die Serie ergänzte wie *Jurassic Park* Naturaufnahmen mit computererzeugten Dinosauriern. Dabei bedienten sich die Regisseure der Stilmittel der Tierdokumentation, um die Geschichte der Dinosaurier in mehreren Teilen zu erzählen. Die Illusion einer «echten» Tierdokumentation wird mit verschiedenen Mitteln erreicht. In jedem Teil der Dokumentation werden einige Individuen einer Dinosaurierart über einen bestimmten Zeitraum verfolgt, genauso wie das bei Tierdokumentationen üblich ist. Der Erzähler berichtet dabei immer über tatsächliche Ereignisse: Es gibt kein Vielleicht, keine Unsicherheiten oder alternative Hypothesen. Auch die Filmtechnik versucht, den dokumentarischen Realismus zu imitieren. In einigen Szenen wird eine Handkamera verwendet, um den Eindruck zu vermitteln, der Kameramann sei ganz nah am Geschehen dran. Die Kamera weicht manchmal vorsichtig zurück, weil eine Situation mit kämpfenden Dinosauriern zu gefährlich wird.

Die naturalistische Darstellung von Dinosauriern ist keineswegs neu, das Genre entstand im 19. Jahrhundert. Die ersten Knochen von Dinosauriern wurden in den dreissiger Jahren des 19. Jahrhunderts gefunden. 1842 prägte der englische Paläontologe Richard Owen den Begriff Dinosauria. Eines der einflussreichsten Bilder der Tiefenzeit wurde im Auftrag von Henry De la Beche erstellt: Es handelt sich um die bereits besprochene Lithografie *Duria antiquior* aus dem Jahr 1830 (Abbildung 21, S. 91; Rudwick, 1992). Zunächst wurden nur wenige komplette Saurierskelette in Deutschland gefunden. Die Situation änderte sich zwischen 1870 und 1880, der Phase des Goldrauschs der Dinosaurierforschung im Westen der USA. Die bekanntesten Protagonisten, Edward D. Cope und Othniel C. Marsh, gruben zahlreiche komplette Skelette von Sauropoden, Allosaurus und Stegosaurus, aus. Kurz darauf begann Charles R. Knight (1874–1953) Dinosaurier zu malen. Auf Knight geht denn auch

die weitgehend kanonisierte, konventionelle Darstellung der Dinosaurier zwischen 1900 und 1970 zurück (Gould, 1993; Paul, 1996; Debus, Debus, 2002). Knight, ein begabter wissenschaftlicher Illustrator mit hervorragenden Anatomiekenntnissen, war der einflussreichste Dinosauriermaler seiner Zeit und prägte die Darstellungsweise der Dinosaurier wie kein anderer. Er fertigte zahlreiche Wandmalereien für die grössten naturhistorischen Museen der USA an, wo sie heute noch zu bewundern sind. Knight arbeitete eng mit Paläontologen zusammen, seine Kunst reflektiert deshalb das Dinosaurierparadigma zu dieser Zeit. Deshalb malte er die Dinosaurier im Allgemeinen als dumme, schwerfällige, kaltblütige und unsoziale Tiere. Es galt die *Every-Foot-on-the-Ground-Regel*: Knights Dinosaurier stehen unbeweglich und einsam in der Landschaft herum. Die tonnenschweren, herbivoren Sauropoden wie Brontosaurus leben im oder am Wasser, weil man der Auffassung war, ihr riesiges Gewicht würde ein Gehen an Land stark behindern. Vor Beginn von Knights Karriere beschrieb Othniel C. Marsh, einer der führenden Paläontologen, den Brontosaurus 1883 wie folgt (zitiert aus Desmond, 1975, S. 111):

“The very small head and brain, and the slender neural cord, indicate a stupid, slow moving reptile. (...) In habits, Brontosaurus was more or less amphibious, and its food was probably aquatic plants or other succulent vegetation. The remains are usually found in localities where the animals had evidently become mired.”

Knight malte allerdings auch einige frühe Bilder, die von diesem Schema abweichen. So stellt sich in einem Bild ein Sauropode sogar auf seine Hinterbeine, eine Darstellung, die heute häufig zu sehen ist. In einem anderen Bild kämpfen zwei karnivore Dinosaurier miteinander und springen sich an.

Mit dem Beginn der Dinosaurier-«Renaissance», die in den späten sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts einsetzte, hat sich die Visualisierung der Dinosaurier grundlegend verändert. Der Begriff Renaissance wird hier mit einer Wiedergeburt des Denkens über Dinosaurier und einem Anknüpfen an alte Traditionen (zum Beispiel Knights frühe Bilder dynamischer Dinosaurier) verbunden. Der Bruch mit dem konventionellen Dinosaurierparadigma äusserte sich in der Visualisierung der Dinosaurier. Jetzt werden sie überwiegend als schnelle, warmblütige, intelli-

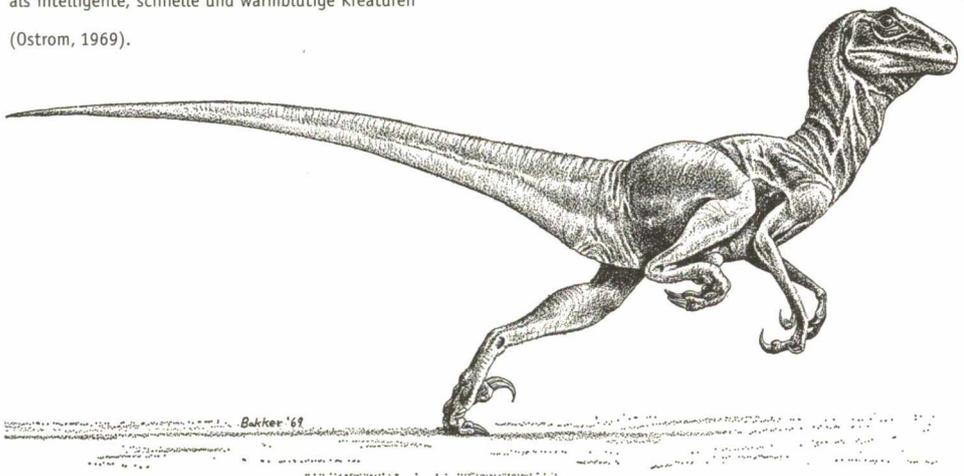


36 Brontosaurus. Diese Illustration von Joseph Smit aus einem Buch von Hutchinson zeigt die alte Sichtweise des Brontosaurus als kaltblütiges und dümmliches Reptil, das im und am Wasser lebt (Hutchinson, 1892).

gente und vogelähnliche Kreaturen dargestellt, die sich liebevoll um ihre Nachkommen kümmern und in Herden leben. Mit der Renaissance setzte gleichzeitig die grenzenlose Popularisierung der Dinosaurier ein, die bis heute anhält. Die veränderte Visualisierung geht auf revolutionäre Theorien einer Reihe von Paläontologen und die Entdeckung neuer Fossilien zurück. J. H. Ostroms Entdeckung und Beschreibung von *Deinonychus*, einem karnivoren Dinosaurier aus der Kreidezeit, und der Vergleich mit dem Urvogel *Archaeopteryx* führten ihn 1973 zu der Theorie, dass Vögel direkt von Dinosauriern abstammen könnten und diese möglicherweise Warmblüter gewesen waren. Robert Bakker, das *Enfant terrible* der Paläontologie, popularisierte diese Ideen in einem Artikel im *Scientific American* (Bakker, 1975) und in einem Buch (Bakker, 1987). Die Überschrift des Artikels *Dinosaur Renaissance* von 1975 fasst die zwei wichtigsten Botschaften der neuen Bewegung zusammen: «The dinosaurs were not obsolescent reptiles but were a novel group of <warm-blooded> animals. And the birds are their descendants» (Bakker, 1975, S. 58). Bakker schlägt eine

neue Klassifizierung mit der Klasse Dinosauria vor, zu der jetzt auch die Vögel zählen sollten. So könne man ausrufen: «The dinosaurs are migrating, it must be spring» (Bakker, 1987, S. 462). Bakker ist wie andere Paläontologen als sein eigener wissenschaftlicher Illustrator tätig und hat seine Veröffentlichungen mit zahlreichen Abbildungen versehen. Er versteht es hervorragend, seine Theorien mit Bildern zu unterstützen. Das Bild dient hier als Überzeugungsmittel: Knights schwerfälliger Brontosaurus im Tümpel steht bei Bakker auf den Hinterbeinen an Land und kämpft mit einem Artgenossen, Raptoren rennen mit abenteuerlicher Geschwindigkeit und kämpfen in Kung-Fu-Manier. Gemäss der neuen Sicht waren Dinosaurier aber nicht nur blitzschnelle Kämpfer, sondern auch fürsorgliche Eltern. John R. Horner entdeckte Nester mit fossilen Dinosauriereiern und Embryonen und nannte die neue Art *Maiasaura* (Gute-Mutter-Echse). Er zeigte, dass Dinosaurier soziale Tiere waren, die Nester bauten und für ihre Nachkommen sorgten. Horner diente als Vorbild für die Hauptfigur Dr. Alan Grant in *Jurassic Park* und unterstützte den Film als wissenschaftlicher Berater – ein wichtiges Zeichen für die Vermischung von Wissenschaft und Fiktion. *Jurassic Park* und *Walking with Dinosaurs* sind denn auch Epitome des neuen kanonischen, popula-

37 Deinonychus. Robert Bakkers naturalistische
Rekonstruktion zu John Ostroms Artikel markiert den
Beginn der veränderten Visualisierung der Dinosaurier
als intelligente, schnelle und warmblütige Kreaturen
(Ostrom, 1969).



risierten Bilds des Dinosauriers mit allen beschriebenen Eigenschaften: Die tonnenschweren Sauropoden (Brachiosaurus, Diplodocus) stellen sich auf ihre Hinterbeine, um die Blätter von Bäumen zu erreichen oder um Bäume umzuwerfen, und ziehen in Herden herum. Warmblütige karnivore Velociraptoren sind «schnell und tödlich» und haben «blitzschnelle Reaktionen». Die Velociraptoren sind eigentlich Inkarnationen von Ostroms neuem Dinosauriertyp Deinonychus.

Nun werden wir wahrscheinlich nie genau erfahren, wie Dinosaurier tatsächlich aussahen, lebten und sich sozial verhielten. Die Technik aus *Jurassic Park* zur Wiederbelebung ist als reichlich fiktiv anzusehen (Gould, 1993). Selbst wenn es gelänge, durch gentechnologische Methoden einen Saurier zum Leben zu erwecken, welche Erkenntnisse wären mit Hilfe einer solchen zeitlich, sozial und ökologisch dekontextualisierten Kreatur zu gewinnen? Dinosaurier ähneln unsichtbaren Strukturen der Molekularbiologie. Zu ihrer realistischen Darstellung müssen die sichtbaren Fakten wie fossile Knochen, Gewebereste und Fussabdrücke immer durch fiktive oder hypothetische Elemente ergänzt werden. Je nach Hypothese oder Ansicht des Illustrators oder Wissenschaftlers erhält der Dinosaurier einen ganz unterschiedlichen Charakter. Das Bild dient dabei als überzeugendes Argument. *Jurassic Park* ist gemäss der Internet Movie Database mit einem geschätzten weltweiten Umsatz von nicht ganz einer Milliarde Dollar der sechsterfolgreichste Film aller Zeiten. Millionen von Kinobesuchern haben Brachiosaurus auf den Hinterbeinen und die warmblütigen Velociraptoren gesehen. Wie wir bereits bei der Diskussion der kanonischen Bilder festgestellt haben, ist die neue Darstellung jedoch nicht unbedingt besser als die alte, sie zeigt den Sachverhalt lediglich aus einer anderen Perspektive. So stimmen durchaus nicht alle Wissenschaftler mit der Dinosaurier-Vogel-Evolution und der Hypothese der Warmblütigkeit überein (zum Beispiel Feduccia, 1996).

Das Beispiel demonstriert eindrücklich, dass kanonische Darstellungen veränderbar sind: Eine neue Theorie erfordert neue Bilder.

Fazit

Mit naturalistischen wissenschaftlichen Bildern wird versucht, wissenschaftliche Erkenntnisse naturgemäss und wirklichkeitsnah darzustellen. Nun handelt es sich bei wissenschaftlichen Erkenntnissen häufig um Hypothesen, vorläufige Annahmen, Modelle oder um Unsichtbares. Hier

eignet sich deshalb die schematische Darstellung besonders gut. Aus verschiedenen Gründen werden diese Erkenntnisse aber auch naturalistisch dargestellt. Ein Grund ist die Verwendung in der Lehre oder in der Populärwissenschaft, zum Beispiel als Zeitungsidee. Häufig werden bestehende einfache, schematische Zeichnungen in naturalistische Darstellungen überführt, indem sie ausgeschmückt und mit fiktiven Elementen ergänzt werden. Diese Darstellungen haben durchaus wichtige Funktionen, etwa in der Kommunikation mit Laien oder als Hilfe für die Vorstellung. Der wirklichkeitsnahe Stil deckt sich dann aber nicht immer mit der Wirklichkeit, wie die Wissenschaft sie sieht. Daraus können insbesondere in der Lehre Probleme entstehen.

Wir sind der Ansicht, dass die fiktiven und hypothetischen Elemente einer naturalistischen Darstellung in der Wissenschaft und besonders in der Lehre gekennzeichnet oder diskutiert werden sollten. Einige Lösungsansätze des didaktischen Dilemmas haben wir besprochen. Grundsätzlich sollte die Zweckmäßigkeit einer naturalistischen Darstellung in solchen Fällen überprüft werden.

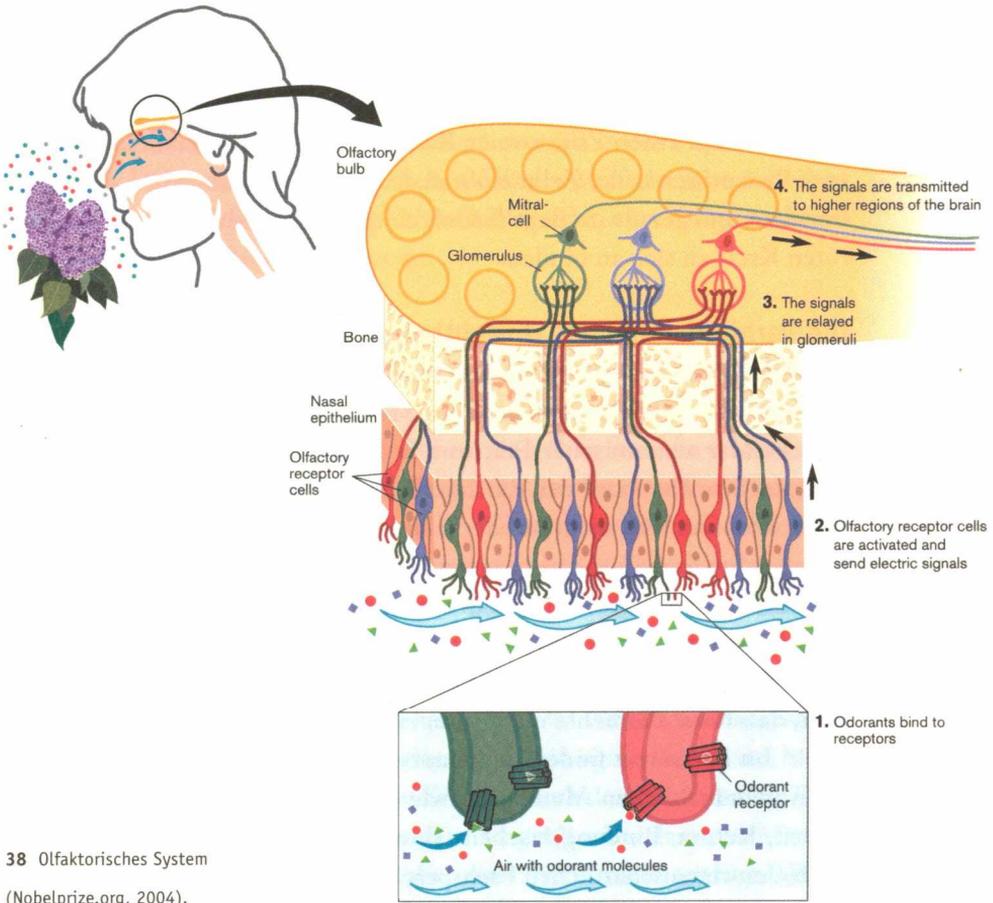
IV. Zusammenfassung und abschliessende Bemerkungen

1. Praktische Anwendung: Ein wissenschaftliches Bild des Geruchsinns

In den vorhergehenden Kapiteln wurden einige wissenschaftliche Bilder nach einzelnen Gesichtspunkten analysiert, zum Beispiel als Metaphern oder Kombinationen von Zeichen. In diesem Kapitel analysieren wir zusammenfassend ein einziges Bild nach allen diskutierten Gesichtspunkten.

Am 4. Oktober 2004 wurde angekündigt, der Nobelpreis für Physiologie/Medizin würde den Amerikanern Richard Axel und Linda Buck für die Erforschung des olfaktorischen Systems verliehen. Axel und Buck hatten 1991 gemeinsam einen wichtigen Artikel zum Geruchssinn veröffentlicht (Axel, Buck, 1991) und über Jahre unabhängig an der Erforschung des Systems gearbeitet. Im Medienbulletin des Nobelpreis-Komitees, das auch auf dem Internet veröffentlicht wurde, fand sich eine mehrseitige Übersicht über die wissenschaftlichen Hintergründe, die mit einem schematischen Bild versehen war (Abbildung 38). Das Bild, welches offensichtlich speziell für die Verwendung durch die Presse erstellt worden war, ging in den folgenden Tagen um die Welt und erschien in zahlreichen Medien.

Die Darstellung ist in drei Bereiche unterschiedlicher Vergrößerung unterteilt. Der erste Bereich links oben zeigt den Kopf eines Menschen im sagittalen Schnitt. Farblich hervorgehoben sind eine Nasenhöhle, ein Teil der Mundhöhle und die Luft- und Speiseröhre. Der Mensch ist gerade im Begriff, an einer Blume zu riechen, von der Duftmoleküle ausgehen, die als farbige Punkte und in der Vergrößerung als rote Kreise, violette Rechtecke und grüne Dreiecke dargestellt sind. Über die Luft, welche durch blaue Pfeile symbolisiert wird, sind einige dieser Moleküle in den oberen Teil der Nasenhöhle gelangt, wo gelb der sogenannte *Bulbus olfactorius*, der Riechkolben, dargestellt ist.



38 Olfaktorisches System

(Nobelprize.org, 2004).

Im zweiten Bereich sind der Bulbus olfactorius und das umliegende Gewebe herausvergrößert. Dieser Bereich ist mit dem ersten über einen schwarzen Pfeil verknüpft, der die Vergrößerung symbolisiert. Der Bereich ist in vier aufsteigende Ebenen unterteilt. In der untersten Ebene schweben die geometrisch dargestellten Duftmoleküle in der Luft (blaue Pfeile) der Nasenhöhle. Die nächste Ebene zeigt die Zellen des Riechepithels, von denen drei Typen rot, violett und grün hervorgehoben sind. Diese Nervenzellen durchqueren mit ihren Ausläufern die dritte Ebene, den Knochen, durch offene Kanälchen. Alle Ausläufer der Rezeptorzellen laufen in der vierten Ebene, dem Riechkolben, in sogenannten Glomeruli, die als violette, rote und grüne Kreise dargestellt sind, zusammen. Sie stehen mit Mitralzellen in Kontakt, die wieder identisch violett, rot

und grün eingefärbt sind und deren Ausläufer am rechten Bildrand verschwinden.

Der dritte Bereich schliesslich zeigt die Vergrösserung einer grünen und einer roten Zilie zweier Rezeptorzellen. Bei beiden Zilien sind zwei Rezeptoren in der Zellmembran dargestellt, die aus sieben Zylindern bestehen und gerade im Begriff sind, ein grünes Dreieck respektive einen roten Kreis an sich zu binden.

Die Verbildlichung des Unsichtbaren: Metaphern

Das Bild kombiniert sichtbare und unsichtbare Elemente. Für das blosse Auge sichtbar sind nur der Kopf des Menschen und die Blume. Bei entsprechender anatomischer Präparation können zusätzlich das Riechepithel, der Knochen und der Riechkolben gesehen werden, allerdings nur makroskopisch und nicht auf der zellulären Ebene. Für die Darstellung der unsichtbaren Elemente kommen visuelle Metaphern zur Anwendung. Die unsichtbaren Moleküle sind konventionell mit geometrischen Formen dargestellt, die Rezeptormoleküle bestehen aus sieben Zylindern. Zu der Metaphorik gehört auch die Einfärbung, welche vergessen machen lässt, dass diese Elemente nicht rote, violette und grüne Farbe aufweisen.

Im Presstext finden sich einerseits die in der Wissenschaft allgemein gebräuchlichen Metaphern wie die Begriffe Rezeptoren, Kanäle, Zellen, Ketten, Bindungstaschen, Verankerung und so fort. Es sind Begriffe der wissenschaftlichen Fachsprache, die ihren metaphorischen Charakter fast verloren haben. Das olfaktorische System wird im Text zielgerichtet mechanistisch-elektrisch als elektrische Informationsverarbeitung erklärt. Moleküle als Kreise (Kugeln), Dreiecke und Rechtecke «binden» mechanisch an den Rezeptor, sie «docken an» wie ein Schiff im Hafen. Dadurch wird ein elektrisches Signal erzeugt, das «gesendet» und über die Relaisstation, die Glomeruli, zum Gehirn geleitet wird. Die Mitralzellen übertragen die Information an das Gehirn als kombinatorischen Code wie ein farbiges Muster einer Decke oder eines Mosaiks:

“Most odours are composed of multiple odorant molecules, and each odorant molecule activates several odorant receptors. This leads to a combinatorial code forming an ‘odorant pattern’ – somewhat like the colours in a patchwork quilt or in a mosaic. This is the basis for our ability to recognize and form memories of approximately 10 000 different odours.”

Modelle

Das Bild ist eine populäre Visualisierung eines theoretischen Modells zur Funktion und Struktur des olfaktorischen Systems. Wie wir bei der Darstellung der Radioaktivität gesehen haben, werden in der Populärwissenschaft die Diagramme der esoterischen Wissenschaft zu schematischen Bildern: Anstatt Zahlen und Zahlenverläufe werden einsichtige anatomische und zelluläre Einheiten gezeigt.

Kanonische Bilder

Bei der Abbildung 38 handelt es sich um ein kanonisches Bild zur Darstellung des Geruchssinns, welches in Lehrbüchern, in den Printmedien, in populären Fachzeitschriften, in E-Learning-Programmen und auf dem Internet verwendet wird. Zu den Elementen des kanonischen Bildes gehören die Duftquelle, die in der Regel als Blume dargestellt wird, der Kopf im sagittalen Schnitt mit einer Vergrößerung des Bulbus olfactorius und die farbcodierte Verschaltung der Zellen. Wir haben gesehen, dass kanonische Bilder einen Sachverhalt nur aus einer Perspektive, von einem Standpunkt aus zeigen und andere Standpunkte und Perspektiven verbergen. Bei dieser Ansicht wird insbesondere das Gehirn nie dargestellt. Zu welchen Strukturen im Gehirn das Signal also «gesendet» wird, bleibt jeweils unklar. Durch den sagittalen Schnitt durch den Kopf und die Darstellung einer Nasenhöhle wird zudem ausgeblendet, dass der Mensch über zwei Nasenhöhlen und auch über zwei Riechkolben verfügt. Verloren geht in der schematisch-didaktischen Darstellung auch die naturgetreue Darstellung. Es bleibt völlig offen, wie die Zellen, der Bulbus olfactorius mit den Glomeruli, in Wirklichkeit unter dem Mikroskop aussehen. Zuletzt werden aufgrund der Vereinfachung die Details der Signalübertragung in der Rezeptorzelle übergangen. Welche Proteine werden aktiviert? Welche Kanäle geöffnet? Dies alles bleibt im Dunkeln. Durch die Kanonisierung werden wir es vorerst visuell auch nicht erfahren, weil das kanonische Bild tradiert und immer fast identisch weiterverwendet wird.

Der Prozess des Kopierens

Die Kanonisierung geht auch bei diesem Bild mit dem Prozess des Kopierens einher. Das Bild ist nicht, wie man vermuten könnte, für die Pressemitteilung anlässlich der Nobelpreis-Verleihung von Grund auf

neu erstellt worden. Es ist vielmehr eine Kopie (oder eine Kopie der Kopie) und eine Synthese aus drei Bildern, die der wissenschaftliche Illustrator Roberto Osti für einen Artikel von Richard Axel fast zehn Jahre zuvor gezeichnet hatte (Axel, 1995). Osti hatte für den Artikel im *Scientific American* drei Bilder erstellt, erstens eine Frau, die an einer Blüte riecht und deren Kopf im Querschnitt dargestellt ist, so dass die Nasenhöhle sichtbar wird, zweitens der Bulbus olfactorius über dem Knochen und dem Riechepithel und drittens die farbcodierte Verschaltung der Neuronen. Für das Nobelpreis-Bild wurden diese drei Bilder in sehr ähnlicher Art und Weise nachgezeichnet und in ein einziges Bild kombiniert. Das Bild wurde neu gezeichnet, wirklich «neu» am Inhalt und an der Darstellung ist jedoch nur die Vergrößerung der Zilien, die Bindung der Moleküle an die Rezeptoren und die Synthese aller drei Bilder zu einem einzigen. Nun ist allerdings diese Syntheseleistung auch schon früher in Lehrbüchern vollbracht worden. Es ist deshalb durchaus denkbar, dass das Nobelpreis-Bild nicht direkt auf Ostis Bildern, sondern auf Lehrbuchdarstellungen basiert, obwohl uns dafür keine konkreten Hinweise vorliegen. Darauf deutet auch die zunehmende Schematisierung im Sinn von Brian Ford hin, der darauf hingewiesen hat, dass bei mehrfachem Kopieren ein Bild zunehmend hölzern und wirklichkeitsfremd wird (s. oben). Waren nämlich die Bilder von Osti zeichnerisch hervorragend ausgeführt, wirklichkeitsnah-naturalistisch und versuchten die Komplexität der Wirklichkeit zu zeigen, so sind die Kopien, darunter auch das Nobelpreis-Bild, schematische Darstellungen mit einfacher Linienführung.

Die Entstehung und Entwicklung wissenschaftlicher Tatsachen

Beim Bild handelt es sich um eine Darstellung aus der exoterischen Populärwissenschaft, das so weder in der esoterischen Wissenschaft noch in der Handbuchwissenschaft des olfaktorischen Systems abgebildet wird. Es ist vereinfacht, anschaulich und apodiktisch, das «Wort ist bereits zum Fleische geworden». Typisch für die populäre Darstellung ist das Ausblenden experimenteller Methoden und alternativer Hypothesen auf der Ebene von Bild und Text. Das Bild enthält keinerlei Hinweise darauf, durch welche Experimente die Erkenntnisse gewonnen wurden oder auf welchen Beweisen das Dargestellte beruht. Auch Axels Artikel im *Scientific American* von 1995 ist der Populärwissenschaft zuzurechnen. Er befindet sich allerdings etwas näher beim esoterischen Zentrum als die

Pressemitteilung von 2004. Dies machen Text und Bilder gleichermaßen deutlich. Im Text erläutert Axel Schritt für Schritt die möglichen Hypothesen und die experimentellen Methoden. Die Sprache bleibt grösstenteils hypothetisch, verwendet Umschreibungen wie «wir glauben», «es wäre möglich». Auf der Ebene der Bilder findet sich eines, das Hypothesen darstellt. Es zeigt, welche Verschaltungen theoretisch möglich wären, und führt dem Leser vor Augen, dass die «richtige» Verschaltung der Zellen nur eine von mehreren Möglichkeiten ist, die keinesfalls von Anfang an gegeben war. In der Kopie von 2004 wurden die drei Bilder von Osti zu einem einzigen zusammengeführt. Dabei wurde die «richtige» Variante ausgewählt und die anderen nicht mehr dargestellt. Die Pressemitteilung ist somit weiter vom esoterischen Zentrum entfernt, in die Richtung der exoterischen, populärwissenschaftlichen Peripherie.

Schematische Bilder

Es handelt sich um ein schematisches, abstrahiertes und reduziertes Bild. Das wird ersichtlich, wenn man sich die Anzahl der verwendeten Elemente vor Augen führt. Was hier exemplarisch an drei Typen von Rezeptorzellen mit drei Farben gezeigt wird, gilt eigentlich für etwa tausend Typen von Rezeptorzellen, die wiederum in vielen Kopien vorkommen. Der Mensch hat etwa 2000 Glomeruli, dargestellt sind elf.

Zeichen

Das Bild enthält kanonische wissenschaftliche Zeichen, die in einem sequenzierten Kontinuum angeordnet sind. Dazu gehören die Duftmoleküle, die als Kreise, Dreiecke und Rechtecke dargestellt sind. Dies entspricht einer allgemeinen Form der schematischen Moleküldarstellung. In gleichem Masse sind die G-Protein-gekoppelten Rezeptoren (abgekürzt GPCR) kanonische Zeichen, welche traditionell aus sieben Zylindern aufgebaut sind. Die Neuronen sind ebenfalls konventionell, wurden aber um spezifische Merkmale wie die Zilien ergänzt. Es gilt, dass vom Betrachter nur erkannt werden kann, was ihm durch sein Vorwissen bekannt ist. Die Zeichen stehen wie Piktogramme für sehr viel mehr Information, als sie selbst bildlich aussagen. Der Rezeptor aus den sieben Zylindern, der GPCR, informiert den Wissenschaftler beispielsweise sofort über den ungefähren Verlauf der Signalleitung in die Zelle, der in Bild und Text nicht vorkommt. Die Zeichen für die Nervenzellen zeigen durch

ihre Darstellung, wie das Signal geleitet werden muss und dass im Glomerulus eine chemische Verbindung über eine Synapse besteht. Der Betrachter kann sogar mit entsprechendem Vorwissen und etwas Logik den Vorgang selbst aus dem Bild ohne begleitenden Text erschliessen.

Als kanonische Metazeichen finden sich Pfeile, welche nicht weniger als vier verschiedene Funktionen wahrnehmen. Sie veranschaulichen eine Vergrößerung, zeigen die Richtung der elektrischen Leitung, stellen die Bindung eines Moleküls an den Rezeptor dar und symbolisieren die durchströmende Luft.

Konklusion

Die Betrachtung dieses Bildes zeigt, dass eine Analyse wissenschaftlicher Bilder nach den angeführten Gesichtspunkten zu relevanten Ergebnissen führen kann. Die Analyse ermöglicht es, die metaphorische Darstellung zu verstehen; sie macht deutlich, dass es sich bei dem Bild um ein kopiertes, kanonisches Bild handelt, das bereits 1995 technisch anspruchsvoller gezeichnet wurde, und dass im Zuge der Kanonisierung einige Aspekte der Thematik nicht mehr berücksichtigt wurden; sie ermöglicht weiter eine Einordnung des Bildes in die Populärwissenschaft und eine entsprechende Deutung nach Fleck; sie führt uns die enorme Reduktion und Abstraktion durch die Schematisierung vor Augen und veranschaulicht schliesslich, welches Vorwissen für das Verständnis der wissenschaftlichen Zeichen benötigt wird.

2. Abschliessende Bemerkungen

Auf allen Stufen des wissenschaftlichen Alltags begegnen wir heute einem inflationären Bildgebrauch. Einige wissenschaftliche Vorlesungen und Präsentationen bestehen beinahe ausschliesslich aus Bildern. Der Text wird auf ein Format reduziert, das Edward Tufte satirisch als «the format of reading primers for 6 year-olds» bezeichnet hat. So wird in manchen Präsentationsvorlagen empfohlen, möglichst wenig Text pro Folie zu verwenden, nämlich gemäss der 6 × 6-Regel sechs Linien Text mit sechs Wörtern pro Linie (Tufte, 2003, S. 19). Auch in wissenschaftlichen Fachzeitschriften ist ein Trend zum Bild erkennbar. Martin Kemp vergleicht deshalb Fachzeitschriften wie *Nature* mit Hochglanzmagazinen (Kemp, 1998, S. 26). In der Populärwissenschaft gilt dies noch in stärkerem Masse.

Wir sind überzeugt, dass Naturwissenschaftler angesichts dieser zunehmenden Bedeutung des Visuellen über eine Bildkompetenz in Bezug auf wissenschaftliche Bilder verfügen müssen. Wir hoffen, mit diesem Buch einen kleinen Beitrag zu der Thematik zu leisten. Die Naturwissenschaften müssen sich selbst vermehrt mit ihren Bildern auseinandersetzen und die gewonnenen Erkenntnisse in die Ausbildung der Studierenden einfliessen lassen. Dazu ist in einem ersten Schritt eine Ausbildung der Wissenschaftler und Dozierenden selbst notwendig und in einem zweiten Schritt eine Weitervermittlung an die Studierenden. Die Bildkompetenz der Dozierenden könnte im Rahmen der universitären Fortbildung gefördert werden. Dabei sollte in erster Linie das Ziel verfolgt werden, die Qualität der Vorlesungsunterlagen im Hinblick auf die wissenschaftlichen Bilder zu verbessern. Es sind verschiedene Ansätze denkbar, wie die Studierenden in das Thema eingeführt werden könnten. Uns scheint zentral, dass während des Studiums auch ein Diskurs über die Wissenschaft stattfindet. Dabei sollte neben dem Inhalt die Form nicht zu kurz kommen. Die Didaktik in der Naturwissenschaft hat die Tendenz auszublenken, wie die Erkenntnisse gewonnen werden. Häufig werden nur Resultate präsentiert, losgelöst von Zeit und Raum oder mit minimalen geschichtlichen Hintergründen. Etwa in der Art: «1928: Fleming entdeckt Penicillin.» Die Reflexion über die wissenschaftlichen Bilder sehen wir deshalb in einem grösseren Kontext als Bestandteil einer Auseinandersetzung mit der Wissenschaftstheorie und -geschichte.

Einige wichtige Themen in Bezug auf die wissenschaftlichen Bilder wurden in diesem Buch dargelegt. Einzelne Problemfelder, die wir in den einzelnen Kapiteln kennengelernt haben, sind hier in Stichworten zusammengefasst:

- die Problematik wissenschaftlicher Metaphern (etwa der Kriegsmetaphorik);
- die Selektivität wissenschaftlicher Modelle;
- die Indirektheit und Metaphorik der neuen instrumentellen Bilder und die digitale Manipulation;
- die Festlegung der Blickrichtung durch kanonische Bilder;
- der negative Einfluss des Kopierens auf die Qualität wissenschaftlicher Bilder;
- Vereinfachung, Anschaulichkeit und Apodiktizität in der Lehrbuch- und Populärwissenschaft;
- der fehlende Bezug schematischer Bilder zur Wirklichkeit;
- die Fiktion in naturalistischen Bildern und das didaktische Problem.

Dabei soll nicht der Eindruck entstehen, wissenschaftliche Bilder seien ausschliesslich problematisch und womöglich überhaupt nicht zu verwenden. Im Gegenteil: Zu einer visuellen Bildung gehört auch eine Betrachtung der heuristischen Möglichkeiten der visuellen Darstellung und die praktische Umsetzung: Die Studierenden sollten lernen, selbst wissenschaftliche Bilder zu erstellen. Eine visuelle Bildung könnte unserer Meinung nach das Verständnis für die wissenschaftlichen Bilder fördern und zu einer überlegteren Verwendung der Bilder führen.

Liste der Abbildungen

- 1 Bindungstasche eines Proteins
Koordinaten aus Chen et al., 1994; Bild, erstellt mit PyMOL
(<http://pymol.sourceforge.net>): Alexander Vögth, 2007 Seite 29
- 2 *Der Mensch als Industriepalast*
Poster aus Kahn, 1923; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung
des Klartext Verlags, Essen Seite 37
- 3 Pacman und Schere, visuelle Metaphern für Enzyme
Alexander Vögth, 2007 Seite 39
- 4 CPK-Modell des blutdrucksenkenden Medikaments Talinolo
Bild, erstellt mit PyMOL (<http://pymol.sourceforge.net>):
Alexander Vögth, 2007 Seite 44
- 5 Molekulare Modelle von Methan
Alexander Vögth, 2007; vgl. Brown, 2003 Seite 46
- 6 Radioaktiver Zerfall von Isotopen
Alexander Vögth, 2007 Seite 50
- 7 Regionen der Aktivität im Gehirn
Alexander Vögth, 2007 Seite 60
- 8 Niederschlagsradarbild der Schweiz
MeteoSchweiz, 2005; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung Seite 64
- 9 Frösche in Bauch- und Rückenlage
Eder, Valenta, 1896; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung
des Deutschen Röntgen-Museums, Remscheid Seite 66
- 10 Konfokale Mikroskopie
Daniela Stokmaier, 2007; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung Seite 69
- 11 Marspanorama
NASA, <http://marsrovers.jpl.nasa.gov>, 2005 Seiten 70/71
- 12 Manipulation einer Gelchromatografie
SDS-Gel: Karin Johansson; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung
Manipulationen: Alexander Vögth, 2007 Seite 73

- 13** Struktur der DNA
Watson, Crick, 1953; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung
von Nature, Macmillan Publishers Ltd Seite 77
- 14** Fluid-Mosaic-Modell der Zellmembran
Singer, Nicolson, 1972; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung von
Science, American Association for the Advancement of Science (AAAS) Seite 77
- 15** Verkehrte Evolution
Tally Weijl, 2005; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung
von Tally Weijl Schweiz Seite 79
- 16** Stammbaum der indogermanischen Sprachen
René Leutenegger, 2005; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung Seite 81
- 17** *Stammbaum des Menschen*
Haeckel, 1874, Tafel XII Seite 83
- 18** Stammbaum der indogermanischen Sprachen aus einem
wissenschaftlichen Handbuch
Campbell, 1998, S. 168; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung der
Edinburgh University Press Seite 84
- 19** Proteinstrukturen
Koordinaten aus Rees, Lewis, Lipscomb, 1983; Bilder, erstellt mit PyMOL
(<http://pymol.sourceforge.net>): Alexander Vögtli, 2007 Seite 87
- 20** Protein in der Ribbon-Darstellung
Jane Richardson, 1981; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung Seite 89
- 21** *Duria antiquior – A more ancient Dorset*, Lithografie
von Henry De La Beche, 1830
Reproduktion mit freundlicher Genehmigung des Natural History Museum,
London Seite 91
- 22** HI-Virus, Zeichnung von Hans-Ulrich Osterwalder/Graphico, Hamburg
Koch, 1987, Titelbild; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung
von Osterwalder's Art Office Seite 94
- 23** HI-Virus, Zeichnung von George V. Kelvin
Gallo, 1987, Titelbild; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung
von George V. Kelvin Seite 95
- 24** HI-Virus, Zeichnung von George V. Kelvin
Gallo, Montagnier, 1988, S. 27; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung
von George V. Kelvin Seite 97

- 25** HI-Virus
Gelderblom et al., 1987, S. 175; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung
des Verlags Elsevier Seite 98
- 26** Prozess des Kopierens
Alexander Vöggtli, 2007 Seite 99
- 27** Ludwik Flecks Unterteilung der Denkkollektive
Alexander Vöggtli, 2007 Seite 107
- 28** COX-1 und sein böser Doppelgänger COX-2
Alexander Vöggtli, 2007; vgl. Mitchell et al., 1994, S. 11 697 Seite 113
- 29** Botanische Darstellung der Brombeere
Strasburger, Noll, Schenck, Schimper, 1898, S. 485 Seite 122
- 30** Kanonische wissenschaftliche Zeichen
Alexander Vöggtli, 2007 Seite 129
- 31** Metazeichen
Alexander Vöggtli, 2007 Seite 134
- 32** Replikationszyklus des HI-Virus
Viktoria Lyuzkanova, Alexander Vöggtli, 2004 Seite 135
- 33** Tassen
Alexander Vöggtli, 2007; nach Labov, 1973 Seite 137
- 34** Preisgekrönte Darstellung eines Nanoroboters
Keystone/Science Photo Library/Coneyl Jay; Reproduktion
mit freundlicher Genehmigung Seite 143
- 35** Visuelle Witze. Replikationszyklus des HI-Virus
Ebbe Sloth Anderson, 2005; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung Seite 148
- 36** Brontosaurus, Illustration von Joseph Smit
Hutchinson, 1892; Abbildungsvorlage: David Goldman, search4dinosaurs.com Seite 152
- 37** Deinonychus, Illustration von Robert Bakker
Ostrom, 1969, Titelbild; Reproduktion mit freundlicher Genehmigung
des Peabody Museum of Natural History, Yale University Seite 153
- 38** Olfaktorisches System
Nobelprize.org, 2004 Seite 157

Literaturverzeichnis

A

- Arnheim, R.: Visual thinking. Berkely: University of California Press, 1969.
Axel, R.: The molecular logic of smell. In: Scientific American, 1995, 273 (4), 130–137.

B

- Bader, B./Janser, A./Kwint, M. (Hrsg.): Einfach komplex. Bildbäume und Baumbilder in der Wissenschaft. Zürich: Museum für Gestaltung, 2005.
Bailer-Jones, D. M.: Naturwissenschaftliche Modelle. Von Epistemologie zu Ontologie. Argument & Analyse. Ausgewählte Sektionsvorträge des 4. Internationalen Kongresses der Gesellschaft für Analytische Philosophie. Bielefeld, 2000.
Bailer-Jones, D. M.: Models, metaphors and analogies. In: Machamer, P./Silberstein, M. (Hrsg.): The Blackwell guide to the philosophy of science. Oxford: Blackwell Publishers, 2002a, 108–127.
Bailer-Jones, D. M.: Scientists' thoughts on scientific models. In: Perspectives on Science, 2002b, 10 (3), 275–301.
Bakker, R. T.: Dinosaur renaissance. In: Scientific American, 1975, 232 (4), 58–78.
Bakker, R. T.: The dinosaur heresies. Harlow, Essex: Longman Scientific and Technical, 1987.
Ballstaedt, S.: Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial. Weinheim: Beltz/Psychologie Verlags Union, 1997.
Barlow, H./Blackmore, C./Weston-Smith, M. (Hrsg.): Images and understanding. Cambridge/New York/Port Chester/Melbourne/Sydney: Cambridge University Press, 1990.
Barthes, R.: Die helle Kammer. Bemerkungen zur Photographie. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1985.
Benga, G.: Birth of water channel proteins: the aquaporins. In: Cell Biology International, 2003, 27, 701–709.
Benjamin, J./Ganser-Pornillos, B. K./Tivol, W. F./Sundquist, W. I./Jensen, G. J.: Three-dimensional structure of HIV-1 virus-like particles by electron cryotomography. In: Journal of Molecular Biology, 2005, 346 (2), 577–588.
Benjamin, W.: Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1977.
Bhushan, N./Rosenfeld, S.: Metaphorical models in chemistry. In: Journal of Chemical Education, 1995, 72 (7), 578–582.
Black, M.: Metaphors and models: studies in language and philosophy. Ithaca: Cornell University Press, 1972.
Black, M.: More about metaphor. In: Ortony, A. (Hrsg.): Metaphor and thought. Cambridge/London/New York/Melbourne: Cambridge University Press, 1979, 19–41.
Boehm, G.: Die Wiederkehr der Bilder. In: Boehm, G. (Hrsg.): Was ist ein Bild? München: Wilhelm Fink, 1994, 11–38.
Boyd, R.: Metaphor and theory change: What is «metaphor» a metaphor for? In: Ortony, A. (Hrsg.): Metaphor and thought. Cambridge/London/New York/Melbourne: Cambridge University Press, 1979, 481–532.

- Bowen, M. G./Roth, W.-M.: Why students may not learn to interpret scientific inscriptions. In: *Research in Science Education*, 2002, 32, 303–327.
- Bredenkamp, H./Werner, G. (Hrsg.): *Bildwelten des Wissens. Oberflächen der Theorie*. Berlin: Akademie, 2003.
- Bredenkamp, H.: Drehmomente. Merkmale und Ansprüche des iconic turn. In: Maar, C./Burda, H. (Hrsg.): *Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder*. Köln: Dumont, 2004, 15–26.
- Bredenkamp, H./Broner, F.: Fotografie als Medium der Wissenschaft. *Kunstgeschichte, Biologie und das Elend der Illustration*. In: Maar, C./Burda, H. (Hrsg.): *Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder*. Köln: Dumont, 2004, 365–381.
- Breidbach, O.: *Bilder des Wissens. Zur Kulturgeschichte der wissenschaftlichen Wahrnehmung*. München: Wilhelm Fink Verlag, 2005.
- Bretscher, M. S.: The molecules of the cell membrane. In: *Scientific American*, 1985, 253 (4), 100–108.
- Briscoe, M. H.: *Preparing scientific illustrations. A guide to better posters, presentations and publications*. New York: Springer, 1996.
- Brown, T. L.: *Making truth. Metaphor in science*. Urbana: University of Illinois Press, 2003.
- Buck, L./Axel, R.: A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for odor recognition. In: *Cell*, 1991, 65 (1), 175–187.

C

- Campbell, L.: *Historical linguistics*. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1998.
- Campbell, N. A.: *Biologie*. 6. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2003.
- Campbell, N. A./Reece, J. B./Simon, E. J.: *Essential biology*, second edition. San Francisco: Benjamin Cummings, 2004.
- Chase, T. L.: Model building. In: Hodges, E. (Hrsg.): *The guild handbook of scientific illustration*. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons, 2003, 205–217.
- Chen, Z./Li, Y./Chen, E./Hall, D. L./Darke, P. L./Culbertson, C./Shafer, J. A./Kuo, L. C.: Crystal structure at 1.9-Å resolution of human immunodeficiency virus (HIV) II protease complexed with L-735,524, an orally bioavailable inhibitor of the HIV proteases. In: *Journal of Biological Chemistry*, 1994, 269 344–269 348.
- Chew, M. K./Laublicher, M. D.: Natural enemies: metaphor or misconception? In: *Science*, 2003, 301, 52–53.
- Coen, E.: *The art of genes: how organisms make themselves*. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- Coen, B.: *Revolutionen in der Naturwissenschaft*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1994.
- Corey, R. B./Pauling, L.: Molecular models of amino acids, peptides, and proteins. In: *The Review of Scientific Instruments*, 1953, 24 (8), 621–627.

D

- Dam, H. J. W.: The new marvel in photography. In: *McClure's Magazine*, 1896, 4 (5), 403–414.
- Darius, J.: Scientific images: perception and deception. In: Barlow, H./Blackmore, C./Weston-Smith, M. (Hrsg.): *Images and understanding*. Cambridge/New York/Port Chester/Melbourne/Sydney: Cambridge University Press, 1990, 333–357.
- Darwin, C.: *On the origin of species*. London: John Murray, 1859.
- Daston, L.: Type specimens and scientific memory. In: *Critical Inquiry*, 2004, 31, 153–182.
- Daston, L./Galison P.: Das Bild der Objektivität. In: Geimer, P. (Hrsg.): *Ordnungen der Sichtbarkeit. Fotografie in Wissenschaft, Kunst und Technologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2002, 29–99.

- Dean, R. B.: Theories of electrolyte equilibrium in muscle. In: *Biological Symposia*, 1941, 3, 331.
- Debus, A. A./Debus, D. E.: *Paleoimagery: the evolution of dinosaurs in art*. Jefferson, N.C./London: McFarland, 2002.
- Desmond, A. J.: *The hot-blooded dinosaurs*. London: Blond and Briggs, 1975.
- Dostojewski, F.: *Der Doppelgänger*. Frankfurt am Main/Leipzig: Insel Verlag, 2003.
- Draaisma, D.: *Die Metaphernmaschine. Eine Geschichte des Gedächtnisses*. Darmstadt: Primus, 1999.
- Drexler, E. K.: *Engines of creation*. London: Fourth Estate, 1990.

E

- Eder, J. M./Valenta, E.: *Versuche über Photographie mittels der Röntgen'schen Strahlen*. Wien: Lechner, 1896.
- Ehrlich, P.: *Ansprache bei Einweihung des Georg-Speyer-Hauses*, 1906. In: *Himmelwelt*, F.: *The collected papers of Paul Ehrlich*. Volume III: *Chemotherapy*. London/Oxford/New York/Paris: Pergamon Press, 1960, 42–52.
- Eisenberg, D.: The discovery of the α -helix and β -sheet, the principal structural features of proteins. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2003, 100 (20), 11 207–11 210.

F

- Feduccia, A.: *The origin and evolution of birds*. New Haven/London: Yale University Press, 1996.
- Fischer, E.: Einfluss der Configuration auf die Wirkung der Enzyme. In: *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 1894, 27 (3), 2985–2993.
- Fleck, L.: *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1980 (1. Ausgabe 1935 bei Schwabe, Basel).
- Fleck, L.: *Schauen, sehen, wissen*. In: *Erfahrung und Tatsache*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1983, 147–174.
- Flower, R. J.: The development of COX2 inhibitors. In: *Nature Reviews Drug Discovery*, 2003, 2, 179–191.
- Ford, B. J.: *Images of Science: a history of scientific illustration*. London: The British Library, 1992.
- Francoeur, E.: The forgotten tool: the design and use of molecular models. In: *Social Studies of Science*, 1997, 27 (1), 7–40.

G

- Gaber, B. P./Goodsell, D. S.: Irving Geis: dean of molecular illustration. In: *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 1997, 15, 57–59.
- Gallo, R. C.: The AIDS virus. In: *Scientific American*, 1987, 256 (1), 46–56.
- Gallo, R. C./Montagnier, L.: HI in 1988. In: *Scientific American*, 1988, 259 (4), 41–48.
- Ganten, D./Deichmann, T./Spahl, T.: *Leben, Natur, Wissenschaft*. Frankfurt am Main: Eichborn, 2003.
- Geimer, P. (Hrsg.): *Ordnungen der Sichtbarkeit. Fotografie in Wissenschaft, Kunst und Technologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2002.
- Gelderblom, H. R./Hausmann, E. H./Özel, M./Pauli, G./Koch, M. A.: Fine structure of human immunodeficiency virus (HIV) and immunolocalization of structural proteins. In: *Virology*, 1987, 156 (1), 171–176.
- Gentner, D.: Are scientific analogies metaphors? In: Miall, D. S. (Hrsg.): *Metaphor: problems and perspectives*. Brighton: Harvester Press, 1982, 106–132.

- Gilbert, G. N./Mulkay, M.: *Opening Pandora's box: a sociological analysis of scientists' discourse*. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- Gilman, S. L.: *Disease and representation. Images of illness from madness to AIDS*. Ithaca/London: Cornell University Press, 1988.
- Gipper, H.: *Zur Problematik der Fachsprachen. Ein Beitrag aus sprachwissenschaftlicher Sicht*. In: Engel, U./Grebe, P./Rupp, H. (Hrsg.): *Festschrift für Hugo Moser*. Düsseldorf: Pädagogischer Verlag Schwann, 1969, 66–81.
- Goldsmith, E.: *Research into illustration*. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- Gombrich, E.: *Das Bild und seine Rolle in der Kommunikation*. In: ders.: *Bild und Auge*. Stuttgart: Klett-Cotta, 1984, 135–158.
- Gombrich, E.: *Pictorial Instructions*. In: Barlow, H./Blackmore, C./Weston-Smith, M. (Hrsg.): *Images and understanding*. Cambridge/New York/Port Chester/Melbourne/Sydney: Cambridge University Press, 1990, 26–45.
- Gombrich, E.: *Die Geschichte der Kunst*. Berlin: Phaidon, 1996.
- Gombrich, E.: *Kunst und Illusion*. Berlin: Phaidon, 2002.
- Goodsell, D. S.: *Labor Zelle. Molekulare Prozesse des Lebens*. Berlin (etc.): Springer, 1994.
- Goodsell, D. S.: *Looking at molecules: an essay on art and science*. In: *ChemBioChem*, 2003, 4, 1293–1298.
- Goodsell, D. S.: *Illustrating molecules*. In: Hodges, E. (Hrsg.): *The guild handbook of scientific illustration*. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons, 2003, 267–270.
- Gould, S. J.: *Wonderful life*. London/Sydney/Auckland/Johannesburg: Hutchinson Radius, 1989.
- Gould, S. J. (Hrsg.): *The book of life*. London: Ebury-Hutchinson, 1993.
- Gould, S. J.: *Dinosaur in a haystack*. London: Jonathan Cape, 1996.
- Gould, S. J.: *Seeing eye to eye, through a glass clearly*. In: ders.: *Leonardo's mountain of clams and the diet of worms: essays on natural history*. London: Jonathan Cape, 1998, 57–76.
- Gould, S. J.: *Illusion Fortschritt*. Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch-Verlag, 1999.
- Gould, S. J.: *Evolution durch Gehen*. In: ders.: *Ein Dinosaurier im Heuhaufen. Streifzüge durch die Naturgeschichte*. Frankfurt am Main: S. Fischer, 2000, 324–339.
- Gregory, R. L.: *Auge und Gehirn. Psychologie des Sehens*. Hamburg: Rowohlt, 2001.
- Groopman, J.: *Super aspirin: new arthritis drug-celebra*. In: *The New Yorker*, 18.6.1998.
- Gross, A. G./Harmon, J. E./Reidy M.: *Communicating science: the scientific article from the 17th century to the present*. Oxford: Oxford University Press, 2002.

H

- Haeckel, E.: *Anthropogenie*. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1874.
- Hagner, M.: *Geniale Gehirne*. Göttingen: Wallstein, 2004.
- Hayden, J. E.: *The ethics of digital manipulation in scientific images*. In: *Journal of Biocommunication*, 2000, 27 (1), 11–19.
- Heckl, W. M.: *Das Unsichtbare sichtbar machen. Nanowissenschaften als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts*. In: Maar, C./Burda, H. (Hrsg.): *Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder*. Köln: Dumont, 2004, 128–141.
- Heintz, B./Huber, J. (Hrsg.): *Mit dem Auge denken*. Zürich: Edition Voldemeer, 2001.
- Heller M./Reble C. (Red.): *Wissenschaftliches Zeichnen*. Zürich: Museum für Gestaltung Zürich, 1990.
- Hodges E. (Hrsg.): *The guild handbook of scientific illustration*. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons, 2003.

- Hodgkin A. L./Keynes R. D.: The potassium permeability of a giant nerve fibre. In: *The Journal of Physiology*, 1955, 128, 61–88.
- Hoffmann R./Laszlo, P.: Darstellungen in der Chemie – die Sprache der Chemiker. In: *Ange wandte Chemie*, 1991, 103, 1–16.
- Holmes, F. L.: The old martyr of science: the frog in experimental physiology. In: *Journal of the History of Biology*, 1993, 26(2), 311–328.
- Hüppauf, B.: «... and then movements of the muscular tissue stopped abruptly.» The scientists' frog in 19th and 20th century textbook illustrations. *Images of the Sciences and Scientists in Visual Media*. Symposium, Washington, November 2003, www.nyu.edu/deutsches_haus/imagesofscienceny/.
- Hutchinson, H. N.: *Extinct Monsters*. London: Chapman and Hall, 1892.

I

- Iding, M. K.: How analogies foster learning from science texts. In: *Instructional Science*, 1997, 25, 233–253.
- Ippolito, E.: The subtle beauty of art in the service of science. In: *Nature*, 2003, 422, 15.

J

- Junker, T.: *Geschichte der Biologie*. München: C. H. Beck, 2004.

K

- Kahn, F.: *Das Leben des Menschen*. Stuttgart: Kosmos Gesellschaft der Naturfreunde, 1923.
- Kahn, F.: *Das Atom endlich verständlich. Die grundlegenden Tatsachen der Atomlehre für den Bürger der Atomzeit*. Rüslikon-Zürich/Stuttgart/Wien: Albert Müller Verlag, 1962.
- Kay, L. E.: Cybernetics, information, life: the emergence of scriptural representations of heredity. In: *Configurations*, 1997, 5 (1), 23–91.
- Kay, L. E.: *Das Buch des Lebens. Wer schrieb den genetischen Code?* Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2005.
- Kelvin, G. V.: *Illustrating for science*. New York: Watson-Guption Publications, 1992.
- Kemp, M.: Noticing nature. In: *Nature*, 1998, 393, 25–26.
- Kemp, M.: *Bilderwissen. Die Anschaulichkeit naturwissenschaftlicher Phänomene*. Köln: Dumont, 2003.
- Kendrew, J.: *Der Faden des Lebens. Einführung in die Molekularbiologie*. München: Nymphenburger Verlagshandlung, 1967.
- Koch, M. G.: *AIDS. Vom Molekül zur Pandemie*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft, 1987.
- Koltun, W.: Precision space-filling atomic models. In: *Biopolymers*, 1965, 3, 665–679.
- Koshland, D. E.: Application of a theory of enzyme specificity to protein synthesis. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1958, 44, 98–104.
- Koshland, D. E.: Crazy, but correct. In: *Nature*, 2004, 432, 447.
- Krämer, W.: *So lügt man mit Statistik*. Frankfurt am Main (etc.): Campus, 1991.
- Kuhn, T. S.: *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1976.

L

- Labov, W.: The boundaries of words and their meanings. In: Bailey, C.-J./Shuy, R. W. (Hrsg.): *New ways of analyzing variation in English*. Washington, DC: Georgetown University Press, 1973, 340–373.

- Lack, D.: Darwin's finches. Cambridge: Cambridge University Press, 1947.
- Lakoff, G./Johnson, M.: Metaphors we live by. Chicago/London: The University of Chicago Press, 1980.
- Lenzer, J.: FDA is incapable of protecting US «against another Vioxx». In: *British Medical Journal*, 2004, 329, 1253.
- Lindell, B.: Geschichte der Strahlenforschung. Oldenburg: Aschenbeck, Isensee, 2004.
- Luria, S. E.: Leben – das unvollendete Experiment. München/Zürich: Piper, 1974.
- Lynch, M., Woolgar, S. (Hrsg.): Representations in scientific practice. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1990.
- Lynch, M.: Science in the age of mechanical reproduction: moral and epistemic relations between diagrams and photographs. In: *Biology and Philosophy*, 1991, 6, 205–226.

M

- Maar, C./Burda, H. (Hrsg.): Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder. Köln: Dumont, 2004.
- Machamer, P./Silberstein, M. (Hrsg.): The Blackwell guide to the philosophy of science. Oxford: Blackwell Publishers, 2002.
- Maienschein, J.: From presentation to representation in E. B. Wilson's *The Cell*. In: *Biology and Philosophy*, 1991, 6, 227–254.
- Martz, E./Francoeur, E.: History of visualization of biological macromolecules, 2004, www.umass.edu/microbio/rasmol/history.htm.
- Mayer, R. M.: Multimedia learning. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- Mayer, R./Weingart, B. (Hrsg.): Virus! Mutationen einer Metapher. Bielefeld: transcript, 2004.
- McCabe H./Wright J.: Tangled tale of a lost, stolen and disputed coelacanth. In: *Nature*, 2000, 406, 114.
- Mendel, G.: Versuche über Pflanzenhybriden, oder, Die Entdeckung der Vererbungsregeln. Stuttgart: Ernst Klett, 1999 (Original von 1865).
- Miall, D. S. (Hrsg.): Metaphor: problems and perspectives. Brighton: Harvester Press, 1982.
- Milburn, C.: Nanotechnology in the age of posthuman engineering: science fiction as science. In: *Configurations*, 2002, 10, 261–295.
- Mishra, P.: The role of abstraction in scientific illustration: implications for pedagogy. In: *Journal of Visual Literacy*, 1999, 19 (2), 139–158.
- Mitchell, J. A./Akarasereenont, P./Thiemermann, C./Flower, R. J./Vane, J. R.: Selectivity of nonsteroidal antiinflammatory drugs as inhibitors of constitutive and inducible cyclooxygenase. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1994, 90, 11693–11697.
- Mitchell, W. J. T.: The reconfigured eye: visual truth in the post-photographic era. Cambridge (Massachusetts)/London: The MIT Press, 1992.
- Mitchell, W. J. T.: The last dinosaur book: the life and times of a cultural icon. Chicago: The University of Chicago Press, 1998.
- Monmonier, M.: How to lie with maps. Chicago: The University of Chicago Press, 1991.
- Müller, M. G.: Grundlagen der visuellen Kommunikation. Theorieansätze und Analysemethoden. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft, 2003.

N

- Nelkin, D./Anker S.: The influence of genetics on contemporary art. In: *Nature Reviews Genetics*, 2002, 3, 967–971.
- Nelkin, D./Lindee, M. S.: The DNA mystique. New York: W. H. Freeman, 1995.
- Nicholson, T./Lynch, P. J./Wayne, T.: Illustrating animals in their habitats. In: Hodges, E. (Hrsg.): *The guild handbook of scientific illustration*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2003, 443–460.

- Nielsen, M. H./Pederson, F. S./Kjems, J.: Molecular strategies to inhibit HIV-1 replication. *Retrovirology*, 2005, 2 (10), 1–20.
- Nobelpreis, Webseite: <http://nobelprize.org>, 2004.

O

- Ostrom, J. H.: Osteology of *Deinonychus antirrhopus*, an unusual theropod dinosaur from the lower cretaceous of Montana. Yale: Peabody Museum of Natural History, Bulletin 30, 1969.
- Otis, L.: Membranes: metaphors of invasion in nineteenth-century literature, science, and politics. Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press, 1999.
- Ottino, M.: Is a picture worth 1000 words? In: *Nature*, 2003, 421, 474–476.

P

- Paul, G. S.: The art of Charles R. Knight. In: *Scientific American*, 2002, 274 (6), 74–81.
- Pawley, J. B. (Hrsg.): *Handbook of biological confocal microscopy*. New York/London: Plenum Press, 1995.
- Pearson, H.: CSI: cell biology. In: *Nature*, 2005, 434, 952–953.
- Pera, M.: The ambiguous frog. The Galvani-Volta controversy on animal electricity. Princeton: Princeton University Press, 1992.
- Peirce, C. S. (Hartshorne, C./Weiss, P., Hrsg.): *Collected papers of Charles Sanders Peirce. Volume II: Elements of logic*. Cambridge: Harvard University Press, 1932.
- Penfield, W./Boldrey, E.: Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. In: *Brain*, 1937, 60, 389–443.
- Platt, J. R.: The need for better macromolecular models. In: *Science*, 1960, 131, 1309–1310.
- Pörksen, U.: *Weltmarkt der Bilder*. Stuttgart: Klett-Cotta, 1997.
- Pörksen, U.: Inauguratoren neuer Fachsprachen und ihre Wirkung. Linné, Newton, Lavoisier und ihre Terminologietypen der Biologie, Physik, Chemie. In: Besch, W./Betten, A./Reichmann, O./Sonderegger, S. (Hrsg.): *Sprachgeschichte. Ein Handbuch zur Geschichte der deutschen Sprache und ihrer Erforschung. 1. Teilband*. Berlin/New York: Walter de Gruyter, 1998, 199–210.
- Pörksen, U.: *Plastikwörter*. Stuttgart: Klett-Cotta, 2004.
- Purves, W. K./Heller, C./Sadava, D./Gordon, H. O.: *Life: the science of biology*. 6th edition. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, 2001.

R

- Raitt, R. J./Hardy, W.: Behavioral ecology of the Yucatan jay. In: *The Wilson Bulletin*, 1976, 88 (4), 529–554.
- Raven, P. H./Johnson, G. B.: *Biology*. 3rd edition. St. Louis (etc.): Mosby-Year Book, 1992.
- Rees, D. C./Lewis, M./Lipscomb, W. N.: Refined crystal structure of carboxypeptidase A at 1.54 Å resolution. In: *Journal of Molecular Biology*, 1983, 168, 367.
- Reichle, I.: *Kunst im Zeitalter der technischen Reproduzierbarkeit des Menschen*, www.kunsttexte.de, 2001.
- Richardson, J. S.: The anatomy and taxonomy of protein structure. In: *Advances in Protein Chemistry*, 1981, 34, 167–339.
- Richardson, J. S.: Early drawings of proteins. In: *Nature Structural Biology*, 2000, 7, 624–625.
- Richardson, M. K.: A question of intent: when is a <schematic> illustration a fraud? In: *Nature*, 2001, 410, 144.
- Robin, H.: *The scientific image, from cave to computer*. New York: Harry N. Abrams, 1992.

- Robinson, A. H.: Early thematic mapping in the history of cartography. Chicago/London: The University of Chicago Press, 1982.
- Röntgen, W. K.: Eine neue Art von Strahlen. Würzburg: Stahel, 1896.
- Rosenblueth, A./Wiener, N.: The role of models in science. In: *Philosophy of Science*, 1945, 12 (4), 316–321.
- Rossner, M./Yamada, K. M.: What's in a picture? The temptation of image manipulation. In: *The Journal of Cell Biology*, 2004, 166 (1), 11–15.
- Roth, B. L./Sheffler, D. J./Kroeze, W. K.: Magic shotguns versus magic bullets: selectively non-selective drugs for mood disorders and schizophrenia. In: *Nature Reviews Drug Discovery*, 2004, 3 (4), 353–359.
- Roth, W.-M./Bowen, M. G./McGinn, M. K.: Differences in graph-related practices between high-school biology textbooks and scientific ecology journals. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 1999, 36 (9), 977–1019.
- Rudwick, M.: The emergence of a visual language for geological science 1760–1840. In: *History of Science*, 1976, 14, 149–195.
- Rudwick, M.: *Scenes from deep time*. Chicago/London: The University of Chicago Press, 1992.
- Rutherford, E./Soddy, F.: The cause and nature of radioactivity I. In: *Philosophical Magazine*, 1902, 4, 370–396.
- S**
- Sarasin, P.: «Anthrax». Bioterror als Phantasma. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2004a.
- Sarasin, P.: Die Visualisierung des Feindes. Über metaphorische Technologien der frühen Bakteriologie. In: *Geschichte und Gesellschaft*, 2004b, 30, 250–276.
- Schell, H.: Outburst! A chilling true story about emerging virus narratives and pandemic social change. In: *Configurations*, 1997, 5 (1), 93–133.
- Schnotz, W.: Wissenserwerb mit logischen Bildern. In: Weidenmann, B. (Hrsg.): *Wissenserwerb mit Bildern*. Bern/Göttingen/Toronto/Seattle: Hans Huber, 1993, 95–147.
- Schrodinger, E.: Was ist Leben? Die lebende Zelle aus den Augen eines Physikers betrachtet. Bern: A. Francke, 1946.
- Sengupta, S./Eavarone, D./Capila, I./Zhao, G./Watson, N./Kiziltepe, T./Sasisekharan, R.: Temporal targeting of tumour cells and neovasculature with a nanoscale delivery system. In: *Nature*, 2005, 436, 568–572.
- Short, J. R.: *The world through maps: a history of cartography*. Toronto/Ontario: Firefly Books, 2003.
- Singer, S. J./Nicolson, G. J.: The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. In: *Science*, 1972, 175, 720–731.
- Skou, J. C.: The identification of the sodium pump. In: *Bioscience Reports*, 1998, 18 (4), 155–169.
- Solomon, E. P./Berg, L. R./Martin, D. W.: *Biology*. 5th edition. Fort Worth: Saunders College, 1999.
- Sontag, S.: *Krankheit als Metapher & Aids und seine Metaphern*. München/Wien: Carl Hanser, 2003.
- Sontag, S.: *Über Fotografie*. Frankfurt am Main: Fischer, 2004.
- Spector, D. H./Baltimore, D.: The molecular biology of the poliovirus. In: *Scientific American*, 1975, 232 (5), 25–31.
- Spector, T. I.: The molecular aesthetics of disease: the relationship of AIDS to the scientific imagination. In: *HYLE*, 2003, 9 (1), 51–71.

- Steck, T. L.: The organization of proteins in the human red blood cell membrane. In: *The Journal of Cell Biology*, 1974, 62, 1–19.
- Strasburger, E./Noll, F./Schenck, H./Schimper, A.: *Lehrbuch der Botanik für Hochschulen*. 3. Auflage. Jena: Gustav Fischer, 1898.
- Stryer, L.: *Biochemistry*. 4th edition. New York: W. H. Freeman, 1995.

T

- Taylor, P. J./Blum, A. S.: Pictorial representations in biology. In: *Biology and Philosophy*, 1991, 6, 125–134.
- Tollervey, D.: Termination by torpedo. In: *Nature*, 2004, 232, 456–457.
- Tufte, E. R.: *The visual display of quantitative information*. Cheshire, Connecticut: Graphics Press, 1983.
- Tufte, E. R.: *Envisioning information*. Cheshire, Connecticut: Graphics Press, 1990.
- Tufte, E. R.: *Visual explanations: images and quantities, evidence and narrative*. Cheshire, Connecticut: Graphics Press, 1997.
- Tufte, E. R.: *The cognitive style of PowerPoint*. Cheshire, Connecticut: Graphics Press, 2003.

V

- Valk, P. E./Bailey, D. L./Townsend, D. W./Maisey, M. N. (Hrsg.): *Positron emission tomography: basic science and clinical practice*. London: Springer, 2003.
- Volkswagen-Stiftung (Hrsg.): *Ansichten Einsichten Modelle. Bilder aus der Forschung*. Hannover: Schäfer Druckerei, 1998.

W

- Watson, J. D.: *Die Doppel-Helix*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1969.
- Watson, J./Crick, F.: Molecular structure of nucleic acid: a structure for deoxyribose nucleic acid. In: *Nature*, 1953, 171, 737–738.
- Waugh, D. S.: Making the most of affinity tags. In: *Trends in Biotechnology*, 2005, 23 (6), 316–320.
- Weidenmann, B. (Hrsg.): *Wissenserwerb mit Bildern*. Bern/Göttingen/Toronto/Seattle: Hans Huber, 1993.
- Weiss, R. A.: Gulliver's travels in HIVland. In: *Nature*, 2001, 410, 963–967.
- Wood, P.: *Scientific illustration*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1979.

Z

- Zahnle, K.: Decline and fall of the martian empire. In: *Nature*, 2001, 412, 209–213.
- Zhou, Z./Clarke, J. A./Zhang, F.: Archaeoraptor's better half. In: *Nature*, 2002, 420, 285.

Schwabe Verlag Basel

August Binz/Christian Heitz

Schul- und Exkursionsflora für die Schweiz

Bestimmungsbuch für die wildwachsenden Gefäßpflanzen

640 Seiten mit 860 Figuren von Marilise Rieder. Kunststoffeinband.

ISBN 978-3-7965-0892-9

Anita Brinckmann-Voss, Pio Fioroni, Sigurd von Boletzky

Adolf Portmanns frühe Studien mariner Lebewesen

1997. 128 Seiten mit 45 Farbtafeln und 14 Abbildungen. Gebunden.

ISBN 978-3-7965-1048-9

Günter Engel und Paul Herrling (Hrsg./Eds)

Grenzgänge – Albert Hofmann zum 100. Geburtstag

Exploring the frontiers – in celebration of Albert Hofmann's 100th birthday

Deutsch/englisch.

2006. 228 Seiten mit 118 grossenteils farbigen Abbildungen. Gebunden.

ISBN 978-3-7965-2210-9

Adrian Holderegger, Beat Sitter-Liver, Christian W. Hess (Hrsg.)

Hirnforschung und Menschenbild. Beiträge zur interdisziplinären Verständigung

2007. 475 Seiten mit 18 Abbildungen, 9 davon in Farbe.

ISBN 978-3-7965-2294-9

Michael Kessler, Marcus Honecker, Daniel Kriemler, Claudia Reinke, Stephan Schiesser

Strömung, Kraft und Nebenwirkung. Eine Geschichte der Basler Pharmazie

NjBl 180/2002. 192 Seiten mit 93 Abbildungen, grossenteils in Farbe. Broschiert.

ISBN 978-3-7965-1866-9

Adolf Portmann

Lebensforschung und Tiergestalt

Ausgewählte Texte herausgegeben von David G. Senn

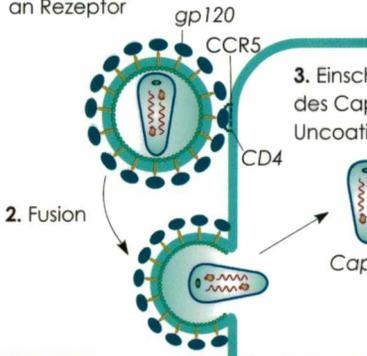
2006. 231 Seiten mit 39 schwarzweissen Abbildungen und 10 Tabellen. Broschiert.

ISBN 978-3-7965-2172-0



Das Signet des 1488 gegründeten Druck- und Verlagshauses Schwabe reicht zurück in die Anfänge der Buchdruckerkunst und stammt aus dem Umkreis von Hans Holbein. Es ist die Druckermarke der Petri; sie illustriert die Bibelstelle Jeremia 23,29: «Ist nicht mein Wort wie Feuer, spricht der Herr, und wie ein Hammer, der Felsen zerschmettert?»

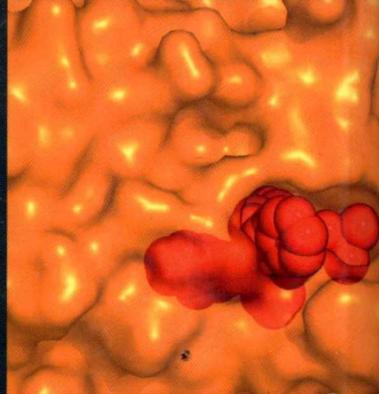
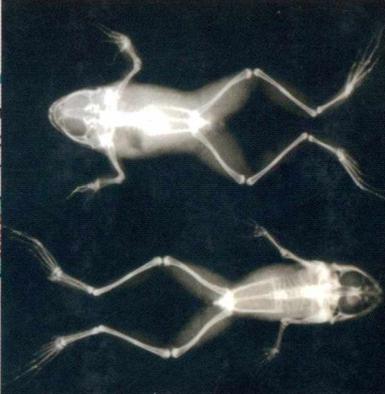
1. Bindung
an Rezeptor



gp120
CCR5
CD4

3. Einschub
des Capsids
Uncoating

Capsid



Bilder sind auch in den Naturwissenschaften omnipräsent: Wem drängt sich nicht eine Doppelhelix auf, wenn von DNA-Strukturen die Rede ist? Wie ist an Moleküle oder Atome zu denken ohne die bekannten Modellzeichnungen? Bilder machen komplexe Sachverhalte erst richtig begreifbar, doch geben sie bei näherer Betrachtung Rätsel auf. Wie kann verbildlicht werden, was unsicher, unsichtbar oder undenkbar ist? Wie beeinflusst die Darstellung den Inhalt? Wie entstand der verwendete Bildkanon? Das vorliegende Buch untersucht diese Fragen und zeigt anhand zahlreicher Fallbeispiele Wege zu einer bewussten und skeptischen Rezeption wissenschaftlicher Bilder auf.

Alexander Vöggtli, geb. 1977, studierte an der Universität Basel Pharmazie und promovierte über wissenschaftliche Bilder. Für die Entwicklung innovativer Lehrmittel für die Pharmazeutischen Wissenschaften wurde er mit zahlreichen Preisen ausgezeichnet.

Beat Ernst, geb. 1946, studierte Chemie und promovierte an der ETH Zürich. Seit 1998 ist er Professor für Molekulare Pharmazie an der Universität Basel. Sein Forschungsschwerpunkt sind Kohlenhydrat-Rezeptor-Wechselwirkungen und deren Potenzial für therapeutische Anwendungen.