

**Sonderausgabe
1/2010**

Band II

Paula Bodensteiner / Ernst Pöppel /
Ernst Wagner (Hrsg.)

**Wissensgenese an Schulen
Beiträge zu einer Bilddidaktik**



**Hanns
Seidel
Stiftung**

**Akademie für
Politik und
Zeitgeschehen**

www.hss.de

Sonderausgabe
1/2010

Paula Bodensteiner / Ernst Pöppel /
Ernst Wagner (Hrsg.)

Band II

Wissensgenese an Schulen

Beiträge zu einer Bilddidaktik

Impressum

ISBN	978-3-88795-350-8
Herausgeber	Copyright 2010, Hanns-Seidel-Stiftung e.V., München Lazarettstraße 33, 80636 München, Tel. 089/1258-0 E-Mail: info@hss.de , Online: www.hss.de
Vorsitzender	Dr. h.c. mult. Hans Zehetmair, Staatsminister a.D., Senator E.h.
Hauptgeschäftsführer	Dr. Peter Witterauf
Leiter der Akademie für Politik und Zeitgeschehen	Prof. Dr. Reinhard Meier-Walser
Leiter PRÖ/Publikationen	Hubertus Klingsbögl
Redaktion	Prof. Dr. Reinhard Meier-Walser (Chefredakteur, V.i.S.d.P.) Barbara Fürbeth M.A. (Redaktionsleiterin) Susanne Berke, Dipl. Bibl. (Redakteurin) Claudia Magg-Frank, Dipl. sc. pol. (Redakteurin) Marion Steib (Redaktionsassistentin)
Druck	Hanns-Seidel-Stiftung e.V., Hausdruckerei, München

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung sowie Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung der Hanns-Seidel-Stiftung e.V. reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Das Copyright für diese Publikation liegt bei der Hanns-Seidel-Stiftung e.V. Namentlich gekennzeichnete redaktionelle Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung des Herausgebers wieder.

Inhaltsverzeichnis

<i>Hans Zehetmair</i> Zum Geleit	5
<i>Paula Bodensteiner / Ernst Pöppel / Ernst Wagner</i> Vorwort	7
 1. Teil: Theoretische Grundlegung	 9
<i>Ernst Pöppel</i> Orientierungswissen über das menschliche Gehirn	11
<i>Christiane Kruse</i> Moderne Bildtechniken in Wissenschaft und Forschung	23
<i>Ernst Wagner</i> Mit Bildern lernen – in Bildern denken	43
<i>Walter Wagner</i> Von starken, schwachen und erzeugten Bildern	55
<i>Gunter Henn / Michael Steinbusch</i> Denkprozesse in der Architektur – Über die Bedeutung von Bildern	61
 2. Teil: Fächer	 71
Biologie: <i>Rainer Dieckmann</i> Bilder bewirken Einstellungen (nach einer Idee von Ruth Bley)	73
Mathematik: <i>Brigitte Distel</i> Die Oberfläche der Kugel	75

Physik:

Tobias Jung

Vom Bild zur Formel – Das Beispiel Teilchenmodell in der 8. Jahrgangsstufe 79

Geographie:

Ulrich List

Die orientalische Stadt 87

Chemie:

Thomas Nickl

Vorstellungen zum Teilchenmodell der Materie –
Unterrichtsversuche in Mittel- und Unterstufe 91

Informatik:

Klaus Reinold

Bildorientierte Vermittlungskonzepte in der Informatik 95

Deutsch:

Florian Schultz-Pernice

Vom Bild zum Film – Ansätze zu einer systematischen Bild- und Filmdidaktik..... 99

Kunst:

Severin Zebhauser

Raumvorstellung – Raumdarstellung 103

Autorenverzeichnis 107

Zum Geleit

Hans Zehetmair

Gelerntes, Erlebtes und Erfahrenes wird von uns in Form von sehr komplexen Bildern abgespeichert. Diese Bilder dienen der Information, der Kommunikation, sie prägen unser Weltbild und somit unseren Alltag.

Für uns sind Bilder heute allgegenwärtig, ob in den Printmedien, im Fernsehen oder im Internet. Kritiker sprechen von einer Inflation der Bilder, von einer Bilderflut, die Ausmaße des Unkontrollierbaren anzunehmen droht. Unbestritten ist, dass vor wenigen Jahrzehnten diese Entwicklung kaum vorstellbar, geschweige denn absehbar war.

Junge Menschen partizipieren an der entstehenden visuellen Kultur in besonderem Maße. Die Verfügbarkeit von Filmen, Graphikprogrammen, Spielen auf Spielkonsolen, Bildern auf Handys, PCs und Laptops prägen die Kultur der Jugendlichen nachhaltig. Zwangsläufig hat diese Kultur der Bilder auch unsere Bildungsinstitutionen erreicht. So spielen Bilder in vielen Fächern an unseren Schulen zunehmend eine wichtige Rolle. Ihre Aufgaben sind vielfältig, sie geben Impulse für Diskussionen und Stellungnahmen, bilden Ausgangspunkte für Beschreibungen, machen einen Lernstoff anschaulich und vermitteln Zusammenhänge durch Skizzen, Schemata und Tabellen. Zwischen der anwachsenden Bilderflut und dem qualifizierten Umgang mit Bildern entsteht aber eine zunehmende Diskrepanz.

Deshalb ist es eine Kernaufgabe unseres Bildungswesen, den Kindern und Jugendlichen Fähigkeiten zu vermitteln, um der Macht der Bilder mit einer fundierten Bildkompetenz zu begegnen; dies ist zweifelsohne eine große Herausforderung für unsere Schulen.

Vor diesem Hintergrund veranstaltete die Hanns-Seidel-Stiftung in Kooperation mit dem Humanwissenschaftlichen Zentrum der LMU München, dem Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus und dem Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung eine Tagungsreihe mit dem Titel: "Wissensgenese an Schulen – Beiträge zu einer Bilddidaktik". Mitgewirkt haben Lehrkräfte, Fachdidaktiker und Fachwissenschaftler verschiedener Fachbereiche an insgesamt drei Tagungen, um sich intensiv mit diesem wichtigen Thema und seinen Auswirkungen für die Schulen in Bayern auseinanderzusetzen. Nach der ersten Publikation ("Wissensgenese an Schulen – Beiträge zu einer Bilddidaktik", Argumente und Materialien zum Zeitgeschehen, Sonderausgabe 1/2007), den Ergebnissen der Tagung von 2006, liegt nun eine weitere Publikation vor. In dieser Sonderausgabe 1/2010, Band II der Argumente und Materialien zum Zeitgeschehen, sind die Ergebnisse der interdisziplinär angelegten und hochrangig besetzten Expertentagung von 2008 dokumentiert. Band III, der noch dieses Jahr geplant ist, wird sich mit den fächerübergreifenden Projekten der Bilddidaktik an Schulen befassen. Mit diesen drei Veröffentlichungen wird der Grundstein für eine fächerübergreifende Didaktik des Bildes an den Schulen in Bayern gelegt.

Ich danke allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern von Universität und Schule, vom Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus, dem Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung in München, namentlich Herrn Dr. Wagner und dem Humanwissenschaftlichen Zentrum der LMU, insbesondere Herrn Prof. Pöppel herzlich für die fachliche Unterstützung und

ihr Engagement sowohl bei der Planung, als auch bei der Aufarbeitung der Ergebnisse der Tagung. Ich hoffe, dass die Ergebnisse dieser drei Tagungen dazu beitragen, dem Bild an unseren Schulen den Stellenwert zu

verschaffen, der ihm heute zukommen muss, und dass es gelingt, unseren Kindern eine kritische Sichtweise in Bezug auf Bilder zu vermitteln, ihnen das Rüstzeug zu einer umfassenden Bildkompetenz zu geben.

Vorwort

Paula Bodensteiner / Ernst Pöppel / Ernst Wagner

Der Begriff Bildung ist in der deutschen Sprache eng mit dem Begriff Bild verbunden. Schon bei der Begriffsschöpfung im Mittelalter durch Meister Eckhart war Bildung ein "Gebildet-werden nach dem Abbild Gottes". Die menschliche Seele ist dann gebildet, wenn sie "nachgebildet" wurde. Comenius, der nach dem Dreißigjährigen Krieg den Einzug des Konzepts Bildung in die Pädagogik mit begründete, schuf auch die erste gezielte Visualisierung von Wissen, die erste Bilddidaktik: Der "Orbis sensualium pictus" (Die sichtbare Welt) illustriert mit 150 dem Text gleichrangigen Bildern seine Beschreibung der Welt. Und für den Ahnherrn unseres Bildungssystems, Wilhelm von Humboldt, steht für das "Sich-bilden" ein bestimmtes Menschenbild im Zentrum, sowohl als Begründung wie als Ziel. Ein Verständnis, das eine immense Wirkungsgeschichte bis heute entfaltete.

Offensichtlich gibt es, zumindest in der deutschen Tradition, kein Bildungsverständnis ohne ein Bildverständnis. Die hier in diesem Band vertretenen Schulfächer, als "Vertreter" eines schulischen (Allgemein-) Bildungsanspruchs, belegen dies nachdrücklich. Bilder werden hier in einer Breite verstanden, die auch dem Kanon der Forschungsgegenstände heutiger Bildwissenschaft entspricht: die naturwissenschaftliche Simulation ebenso wie das Modell als Bild eines Nichtsichtbaren, Symbolsprachen wie Diagramme, Fotos wie Filme, medizinische Bilder wie Kunstwerke. Gemeinsam ist allen Fächern, dass die Bilder dabei die Funktion bekommen, zusammen mit Sprache Vorstellungen im Kopf (mentale Bilder) zu generieren, die ein Verstehen befördern und damit Bildung. Dass das Verstehen – als Begreifen – auch eine haptische Dimen-

sion hat und haben muss, versteht sich dabei von selbst, konnte aber im Rahmen dieses Projekts nicht vertieft werden.

Der hier vorliegende Band versteht sich als Fortführung des Bandes "Wissensgenese an Schulen – Beiträge zu einer Bilddidaktik", den die Hanns-Seidel-Stiftung 2007 herausgebracht hat. Beide (und ein noch ausstehender dritter Band) sind zugleich Dokumentationen der Tagungen, die das Humanwissenschaftliche Zentrum der Ludwig-Maximilians-Universität München, die Hanns-Seidel-Stiftung und das Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung in den Jahren 2006 bis 2008 in Wildbad Kreuth, München und Kloster Banz durchgeführt haben. Die Hanns-Seidel-Stiftung hatte eingeladen und das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus die Tagungen unterstützt. Beiden gebührt der Dank der Veranstalter wie der Teilnehmer.

Es waren spannende und ungeheuer anregende Tage, die von den Beiträgen aller Teilnehmer lebten. Besonders der "Input von außen" war hilfreich, den Blick immer wieder über den Tellerrand zu heben: der Blick etwa des Managers Hermann Klinger, der Kunsthistorikerin Christiane Kruse oder des Architekten Gunter Henn aus ganz anderen Perspektiven, die Grundlegung aus den Neurowissenschaften durch Ernst Pöppel. Der Abdruck dieser Vorträge wurde für die Publikation hier eigens neu aufbereitet.

In einem Punkt hat dieser Band in Weiterführung des ersten Bandes eine hervorragende Klärung gebracht: Was sich dort bereits andeutete, dass die von Sprache begleitete "Übersetzung" von einer Bildlichkeit in eine andere der Königsweg für

(vielleicht nicht nur schulische) Bildungsprozesse sein könnte, hat sich vor allem in den Beiträgen der Fächer eindrucksvoll bewahrheitet. Auf dieser Basis gilt es nun, in den Disziplinen weiterzuarbeiten.

Und: Solange sich unser Bildungssystem den Luxus gönnt, auf einem solchen Niveau über diese oder ähnliche Fragen nachzudenken, solange ist die Bildung – trotz vieler Unkenrufe – auf einem guten Weg.

1. Teil:
Theoretische Grundlegung

Orientierungswissen über das menschliche Gehirn

Ernst Pöppel

Ausgangsthese moderner Hirnforschung ist, dass psychische Funktionen durch evolutionäre Selektionsprozesse entstanden sind; sie sind also das Ergebnis spezifischer Anpassungen an die Herausforderungen der Welt, denen unsere Vorfahren ausgeliefert waren. Der evolutionäre Prozess hat dazu geführt, dass alle Funktionen (was wir wahrnehmen, erinnern, fühlen, wollen oder denken) durch neuronale Programme im Gehirn verankert sind; die Verfügbarkeit psychischer Funktionen ist also an die Funktionsfähigkeit neuronaler Strukturen gebunden. Im erkenntnistheoretischen Sinne vertrete ich (wie die meisten Neurowissenschaftler) eine monistische Position; die wesentliche Annahme dieses pragmatischen Monismus (oder empirischen Realismus) ist, dass das, was wir als Geist oder Seele bezeichnen, außerhalb des Gehirns nicht vorhanden ist; Geist und Seele sind ein Teil des Leibes. Pragmatisch ist dieser Monismus insofern, als sich zeigen lässt, dass alle psychischen Funktionen, die man kennzeichnen und für Beobachtungen operationalisieren kann, aufgrund von Störungen, sei es durch örtliche Funktionseinschränkungen oder durch Veränderungen im Gesamtsystem Gehirn, verloren gehen können. Durch solche selektiven Ausfälle, die mit interindividueller Konstanz auftreten, also in derselben Weise bei verschiedenen Patienten beobachtet werden können, liefert die Natur gleichsam einen Existenzbeweis dieser Funktionen, denn hiermit wird unmittelbar die Kopplung einer bestimmten Struktur und psychischen Funktion erkennbar. Nur was existiert, kann verloren gehen.

Wenn beispielsweise im hinteren Bereich des Gehirns (im Okzipitallappen) bei einem

strukturellen Ausfall (z.B. nach einem Schlaganfall) Patienten an Sehstörungen leiden, dann kann man davon ausgehen, dass im Normalfall diese Strukturen für das Sehen zuständig sind. Manche andere Areale sind für das Hören, wieder andere für sprachliche Kompetenz, für Bewegungskontrolle, für Gefühlsregulation oder für die Selbststeuerung zuständig. Eine derartige Lokalisation von Funktionen mag selbstverständlich erscheinen, doch könnte man sich im Prinzip auch eine andere Weise der funktionellen Repräsentation vorstellen, dass nämlich alle Funktionen jeweils im ganzen Gehirn repräsentiert sind, und dass die Verfügbarkeit der Funktionen jeweils gekoppelt ist an spezifische neuronale Programme, die ortsunabhängig arbeiten. Für die elementaren Grundfunktionen, auf die unser Seelenleben aufbaut, scheint dies aber nicht der Fall zu sein.

Dieses Prinzip der örtlichen Repräsentation von Funktionen scheint aber in drei Weisen durchbrochen zu werden, nämlich erstens durch die Tatsache, dass stets mehrere Orte im Gehirn zusammenwirken müssen, um eindeutige Bewusstseinszustände zu erzeugen, zweitens durch die Beobachtung, dass solche Allgemeinzustände wie Aktivierung oder Müdigkeit sich auf das ganze Gehirn auswirken, und drittens durch experimentelle Befunde, dass innerhalb umschriebener Orte oder Module, die spezifische Funktionen repräsentieren, die eindeutige Ortszuweisung von Funktionen nicht mehr gegeben ist, dass ganz im Gegenteil hier das Gesetz der "Äquipotenzialität" von Nervenzellen zu gelten scheint, d.h., dass jede Zelle jede andere in der Bereitstellung einer Funktion ersetzen kann.

Trotz der hohen Komplexität, mit der man bei der Analyse von Gehirnen einzelner Lebewesen konfrontiert ist, sind die Gehirne aller Arten, die existieren, im Prinzip gleich aufgebaut (wenn man bereit ist, eine relativ hohe Abstraktionsebene der Betrachtung zu akzeptieren). Auf dieser Ebene der Verallgemeinerung lässt sich sagen, dass alle Gehirne nur drei Arten von Nervenzellen besitzen, nämlich solche, die Informationen von außen aufnehmen, die also den "input" repräsentieren (Sinneszellen oder Rezeptoren), solche, die Informationen nach außen abgeben, indem die Muskeln und die inneren Organe angesteuert und kontrolliert werden, die also den "output" repräsentieren, und solche, die zwischen den beiden erstgenannten Typen liegen (manche Neuroanatomen beziehen sich bei diesen Neuronen auf das "große intermediäre Netz"). Von den Sinneszellen gibt es beim Menschen einige Hundert Millionen, von den motorischen Nervenzellen gibt es bei uns verglichen damit relativ wenige, nämlich nur etwa zwei Millionen.

Wie viele Zellen gibt es für den dritten Typ, der zwischen den Rezeptoren und den motorischen Neuronen liegt? Wie viele Zellen benötigt das intermediäre Netz für seine verschiedenen Aufgaben? Zunächst ist auffallend, dass sich im Laufe der Evolution die Größe dieses intermediären Netzes bei verschiedenen Tierarten stark entfaltet hat, und beim Menschen eine besondere Größe erreicht hat; allerdings haben wir hier ernstzunehmende Konkurrenten wie etwa die Wale. Beim Menschen gibt es nach traditionellen Schätzungen etwa zehn Milliarden, aufgrund neuerer Schätzungen aber sehr viel mehr Nervenzellen; es sind sicher über 100 Milliarden, und es könnten sogar eine Billion sein.

Wie wird Information in diesem komplexen Netzwerk verarbeitet? Zur Erörterung dieser grundlegenden Frage muss man zunächst auf die Verbindungsmöglichkeiten zwischen Nervenzellen, also auf die Architektur des

Gehirns, eingehen. Jede Nervenzelle hat Kontakt mit vielen anderen; man vermutet, dass im Durchschnitt 10.000 Nervenzellen mit jeder einzelnen Nervenzelle in Verbindung stehen. Diese Kontaktaufnahme bedeutet, dass 10.000 Nervenzellen von einer Nervenzelle beeinflusst werden (Prinzip der Divergenz), und dass jede Nervenzelle von 10.000 Nervenzellen beeinflusst wird (Prinzip der Konvergenz). Diese Kontaktaufnahme kann erregend (Prinzip der Exzitation) oder hemmend (Prinzip der Inhibition) sein. Für Erregung und Hemmung sind jeweils unterschiedliche chemische Botenstoffe oder Transmitter verantwortlich. Mit den strukturellen Prinzipien von Divergenz und Konvergenz und den funktionellen Prinzipien von Exzitation und Inhibition sind jene grundlegenden Randbedingungen angesprochen, die für alle Gehirne, also nicht nur für das menschliche Gehirn, gelten. Diese Tatsache der prinzipiellen Ähnlichkeit zwischen den Tierarten einschließlich des Menschen erlaubt im Übrigen, grundlegende Fragen der Neurowissenschaften an sehr einfachen Tiermodellen zu bearbeiten. Stets wird es aber eine Klasse von Funktionen geben, die nicht am Tiermodell untersucht werden können wie beispielsweise die besondere Sprachkompetenz des Menschen oder bestimmte Denkleistungen. Wobei allerdings Einzelfragen auch hier bei anderen Arten untersucht werden können, wie etwa die Fähigkeit zur Lautbildung, die grundlegend für das Sprechen ist.

Obwohl es sehr viele Nervenzellen im Gehirn gibt, sind die Verarbeitungsmechanismen des Gehirns aber auch durch "das starke Prinzip der kleinen Zahl" gekennzeichnet, das sich in der funktionellen Nähe von Nervenzellen zeigt. Jede Nervenzelle ist nicht weiter als maximal vier Umschaltstationen von jeder anderen Nervenzelle im Gehirn entfernt, wobei es natürlich auch Umwege gibt. Diese strukturell bedingte funktionelle Nähe bedeutet in der Sprache der Datenverarbeitung, dass das Gehirn durch massivste Parallelität gekennzeichnet ist; alles ist mit

allem engstens verbunden, auch wenn es natürlich unterschiedliche Gewichtungen in den Verbindungen gibt. Aufgrund der engen Vernetzung der Nervenzellen miteinander entsteht ein neues Problem für das Gehirn, nämlich lokale Aktivitäten voneinander zu trennen. Es geht in Gehirnen nicht nur darum, räumlich verteilte Aktivitäten für die Gestaltung subjektiver Zustände miteinander zu verbinden, sondern Aktivitäten müssen auch eingegrenzt und entbunden werden. Grenzen sind wichtig, damit nicht alles wirr durcheinander agiert, und damit auf der Grundlage einer Entgrenzung geordnete Kommunikation zwischen den einzelnen Bereichen organisiert werden kann.

Aus der Architektur des Gehirns und insbesondere der funktionellen Nähe seiner Elemente leitet sich eine Überlegung ab, die für das Selbstverständnis des Menschen wichtig ist: Es gibt keine Unabhängigkeit der einzelnen psychischen Zustände; jeder Seelenzustand ist immer auch bezogen auf andere Aktivitäten, die im Augenblick des Erlebens nicht im Fokus der Aufmerksamkeit stehen. Es kommt also in meinem Gehirn nicht vor, dass ich nur etwas sehe, mich nur an etwas erinnere, nur eine Gefühlsregung habe, nur etwas will oder nur einen Gedanken denke. Das Sehen eines Bildes ohne einen gleichzeitigen Bezug auf im Gedächtnis gespeicherte Inhalte und ohne eine emotionale Bewertung ist nicht möglich; die Erinnerung an ein Ereignis ohne einen gleichzeitigen Bezug auf ein Gefühl ist nicht möglich; die gedankliche Analyse eines komplexen Sachverhaltes ohne einen gleichzeitigen Bezug auf im Gedächtnis gespeicherte Information und eine emotionale Bewertung des Problems (beides muss nicht explizit sein) ist nicht möglich. Alles ist mit allem engstens verknüpft und beeinflusst sich gegenseitig auf eine letztlich nicht berechenbare Weise.

Obwohl auf der neuronalen Ebene alle Prozesse engstens miteinander verbunden sind, werden auf einer anderen Ebene (wenn man

so will: einer höheren Ebene) einfache Kategorien gebildet. Das Hauptgeschäft des Gehirns ist Reduktion von Komplexität der Information, die gleichsam auf uns einstürzt, damit wir auf der Ebene des Erlebens nicht im Sumpf der Abermillionen Einzeldaten versinken. Ergebnis der Komplexitätsreduktion sind Abstraktionen, so dass wir in der retrospektiven Reflexion, wenn wir also über das Erlebte nachdenken, vermeintlich unabhängige phänomenale Bereiche "entdecken" oder "erfinden", indem wir Begriffe einsetzen wie Wahrnehmung, Erinnerung, Gefühl oder auch Bewusstsein. Im gegenwärtigen Vollzug des Erlebens gibt es diese Trennung nicht, denn Abstraktionen bedingen nicht, dass das Abstrahierte sich von allen anderen neuronalen Prozessen unabhängig gemacht hat.

Unabhängigkeit einzelner Seelenregungen anzunehmen ist vermutlich in der philosophischen Tradition des Abendlandes begründet, beginnend vielleicht mit der platonischen Ideenlehre, die eine Aufspaltung des Psychischen in verschiedene operative Bereiche nahelegt. Diese Segmentierung des Psychischen im begrifflichen Rahmen hat zur Konsequenz, zu meinen, man könne Komponenten des Psychischen unabhängig voneinander betrachten und verstehen, was zu vielen Irrläufern der Selbstinterpretation des Menschen geführt hat.

Ein weiterer Befund der modernen Neurowissenschaften verdient wegen seiner potenziellen Bedeutung für andere Bereiche des Lebens und Erlebens besondere Aufmerksamkeit. Aus neurowissenschaftlicher Sicht leben wir eigentlich zwei verschiedene Leben, nämlich ein Leben der neuronalen Plastizität in den frühen Phasen der Biographie und darauffolgend ein Leben mit einer festgelegten neuronalen Matrix. Zur Geburt sind wir mit einem Überangebot möglicher Verbindungen von Nervenzellen ausgestattet. Diese genetisch vorgegebene Potenzialität wird aber erst lebenswirksam, wenn in den ersten Lebensjahren die zahlreichen

Verbände von Nervenzellen und ihre genetisch angebotenen Verknüpfungen tatsächlich genutzt werden. Erst durch den Gebrauch der neuronalen Informationsverarbeitung wird die genetische Potenzialität zur Faktizität, und damit langfristig verhaltenswirksam und lebensbestimmend. Durch die funktionelle Bestätigung der Verbindungen wird die detaillierte Struktur des Gehirns überhaupt erst festgelegt. Was nicht genutzt wird, das wird abgeschaltet; potenzielle Verbindungen zwischen Nervenzellen bleiben nicht das ganze Leben erhalten. Anstrengungsloses Lernen (etwa das Lernen von mehreren Sprachen in der frühen Kindheit) ist später nicht mehr möglich, da die Lernprozesse dann in bereits festgelegten Hirnstrukturen ablaufen müssen. Diese strukturelle Festlegung des Gehirns gilt für das gesamte Repertoire des Psychischen, also für unsere Wahrnehmungen, Gefühle, Erinnerungen und auch für unsere motorische Kompetenz, also die zahlreichen Bewegungsmuster, mit denen wir den Alltag bestehen können. Diese Überlegungen machen deutlich, dass ein Wissen über neuronale Prozesse und deren Plastizität in der frühen Kindheit wesentlich ist für verschiedene soziale Bereiche, insbesondere für interkulturelle Kommunikation oder für pädagogische Maßnahmen.

Auch wenn manche meinen, dass "nichts im Geiste ist, was nicht vorher in den Sinnen war" ("Nihil est in intellectu, quid non ante fuerit in sensu"), so bedeutet dies nicht, dass unser Erleben nur durch passive Rezeption des Geschehens um uns gekennzeichnet ist: Wir konstruieren (besser: rekonstruieren) die Welt um uns. Das Gehirn mit seinen Systemen der Informationsverarbeitung arbeitet nicht mit einem passiven Filter für Reize, die von außen kommen und aufgenommen werden, sondern das Gehirn hat gestaltende Kraft. Ein einfacher Beleg für diese These sind die doppeldeutigen Figuren, bei denen man je nach Einstellung verschiedene Dinge sehen kann, etwa einen Mann mit relativ geringem Haarwuchs oder

eine Maus; man kann nie beides gleichzeitig sehen, wie man überhaupt nur immer einen Inhalt im Brennpunkt der bewussten Auf-



merksamkeit haben kann, aber man kann willentlich zwischen den beiden Sehweisen wechseln und sich das jeweils andere bewusst machen. Manche Leser können vielleicht nicht auf Anhieb zwischen den beiden Sehweisen wechseln, sondern sehen nur die Maus oder nur den Mann; nach einiger Zeit taucht meist das alternative Bild von selbst auf, und nun gibt es ein neues Problem: Wenn man im Prinzip beides sehen kann, also zwischen beiden Sichtweisen willentlich wechseln kann, dann ist es nicht mehr möglich, nur noch das Eine zu sehen; automatisch tritt nach wenigen Sekunden die jeweils andere Alternative in das Bewusstsein. Der Wahrnehmungsgegenstand ist also nicht eindeutig durch eine gegebene Reizkonfiguration bestimmt, und dies gilt für alle Sinnessysteme, nicht nur für das Sehen. Was jeweils gesehen, gehört oder empfunden wird, ist wesentlich gesteuert durch vorgehende Aktivitäten, wobei emotionale Bewertungen oder Interessenslagen eine wichtige Rolle spielen.

Aus zahlreichen Experimenten über Wahrnehmungs- und Denkprozesse lässt sich als allgemeines Gesetz festhalten: Das Wahrgenommene oder das Gedachte, die Entscheidung oder das Urteil ist jeweils eine Bestätigung oder Zurückweisung einer Hypothese (eines Vor-Urteils) innerhalb eines mentalen Bezugssystems, das in einem gegebenen

Augenblick besteht. Alles Psychische steht immer schon in einem Rahmen, und der Rahmen, der unser Wahrnehmen und Denken bestimmt, ist in jedem Augenblick wirksam. Hier liegt eine Automatik von Hirnprozessen vor, der sich keiner entziehen kann, von der wir also nicht absehen können. Mentale Hypothesen, der jeweilige Rahmen, gehören zu uns wie das Atmen.

In diesem Mechanismus drückt sich das Ökonomieprinzip menschlichen Wahrnehmens und Denkens aus. Normalerweise ist es nicht notwendig, in jedem Augenblick die wahrgenommene Welt neu zu konstituieren, denn man kann im Grunde von einer gegebenen Kontinuität und Homogenität von Weltzuständen ausgehen. Die Welt um uns und auch in uns ändert sich nicht von Sekunde zu Sekunde. An diese Kontinuität und diese Homogenität hat sich das Gehirn in der Evolution angepasst, ist dann aber in seiner Informationsverarbeitung überfordert, wenn Unerwartetes auftritt oder ein Urteil in einem nicht etablierten Rahmen zu fällen ist. Es gilt allgemein, dass die Inhalte dieser Rahmen außer durch biologische Bedürfnisse auch durch individuelle Erfahrungen beeinflusst werden, wobei solche Bewertungen, die auf Erfahrungen beruhen, nicht notwendigerweise bewusst sein müssen. Das meiste des Psychischen ist sowieso impliziter Natur, und nur ein kleiner Teil kann explizit und damit bewusst werden.

Ausgehend von der Beobachtung, dass unser Erleben von einem Nervensystem gestaltet wird, das durch hochgradige Vernetzung der einzelnen Nervenzellen gekennzeichnet ist, so sind wir dennoch auf einer praktischen Ebene herausgefordert, die verschiedenen Bereiche zu kategorisieren und begrifflich zu fassen, wie es ja auch die Tradition unseres Denkens seit der Antike nahelegt. Auf dieser abstrakten Ebene der Betrachtung, der retrospektiven Reflexion über das, was uns innerlich bewegt, lässt sich das Repertoire des Psychischen durch vier Funktionsbereiche beschreiben, nämlich durch die

Funktionen der Wahrnehmung (Informationsaufnahme), des Lernens und Gedächtnisses (Informationsbearbeitung), der Gefühle (Informationsbewertung) sowie der Absichten, die sich in Handlungen oder Aktionen (also der aktiven Umsetzung der Information) zeigen. Dabei darf aber nie außer Acht gelassen werden, dass diese Funktionsbereiche nicht voneinander unabhängig sein können. Als wesentlicher Befund der Hirnforschung sei nochmals betont, dass elementare Funktionen im Gehirn örtlich repräsentiert sind. Die Verfügbarkeit solcher lokaler Programme in neuronalen Modulen ist Voraussetzung dafür, dass wir überhaupt ein psychisches Repertoire besitzen.

Die moduläre Informationsverarbeitung gilt für alle Bereiche. Wenn wir Informationen aufnehmen und längerfristig im Gehirn in Gedächtnissystemen speichern, dann ist die Einspeicherung neuen Wissens abhängig von der Verfügbarkeit lokal repräsentierter neuronaler Programme. Auch unsere Gefühle sind modular im Gehirn repräsentiert. Auf der Grundlage vergleichender Studien in verschiedenen Kulturen vermutet man, dass es sechs Grundemotionen gibt, die sich überall mit einem spezifischen Gesichtsausdruck feststellen lassen; trotz möglicher kultureller Besonderheiten setzen sich diese Emotionen überall durch, weshalb für sie eine genetische Basis angenommen wird. Es handelt sich hierbei um Freude, Überraschung, Furcht, Ärger, Ekel und Trauer.

Die Repräsentation der Gefühle im Gehirn kann man sich auf folgende Weise vorstellen: Alle Gefühle sind als neuronale Programme stets im Gehirn vorhanden, doch werden sie aktiv gehemmt. Tritt eine besondere Situation auf, sei es durch ein Ereignis um uns oder durch eine Änderung unserer eigenen Seelenlage, dann wird die Hemmung gehemmt, und damit kann dann das Gefühl geäußert und erlebt werden. Der Trick des Gehirns besteht also darin, eine Hemmung aufzuheben, und dies geschieht,

indem die Hemmung selber gehemmt wird; wir haben in der Schule gelernt, dass "minus" mal "minus" plus ergibt; genauso arbeitet das Gehirn. Dies gilt im Übrigen nicht nur für die Gefühle, sondern für das gesamte Repertoire des Psychischen; was im Gehirn gespeichert ist, unsere Erinnerungen, verschiedene Bewegungsmuster, muss aktiv gehemmt sein, damit der Fortgang des inneren Geschehens nicht dauernd in unvorhersehbarer Weise unterbrochen wird. Erst, wenn "es passt", wenn also etwas für den Fortgang des psychischen Geschehens gebraucht wird, kann es aus der Hemmung entlassen werden, indem eine Hemmung der Hemmung eingeschaltet wird.

Dies bedeutet allerdings, dass es eine Instanz geben muss, die darüber Bescheid weiß, was im Gehirn an Information gespeichert ist, und die darüber hinaus aussucht, was jeweils für den sinnvollen Fortgang des mentalen Geschehens herangezogen werden muss. Neuronale Hemmung ist also die Grundoperation des Gehirns, damit wir nicht dauernd von Quergedanken überschwemmt werden; und genau dies kann ja manchmal geschehen; wenn man von Quergedanken überschwemmt wird, dann funktionieren bestimmte Denkhemmungen nicht mehr, aber das ist dann auch die Chance, neue Verbindungen von vorher Unverbundenem herzustellen. Was sich in Kreativität äußern mag.

Der vierte Funktionsbereich, der das psychische Repertoire ausmacht, ist jener des Handelns oder der motorischen Umsetzung von Information. Hier sind jene Module des Gehirns angesprochen, die für unsere sprachliche Kompetenz, für Gestik, Mimik, Bewegungen im Allgemeinen verantwortlich sind. Auch hier gilt, dass elementare Funktionen modular in unserem Gehirn aufbewahrt werden.

Die vier bezeichneten Funktionsbereiche, deren Teilfunktionen also modular im Gehirn repräsentiert sind, kennzeichnen das Inhalt-

liche des Psychischen. Wahrgenommenes, Erinnerter, Gefühltes, Geplantes oder Getautes zeigen sich als das Repertoire möglicher Erfahrung. Damit Inhalte subjektiv verfügbar sein können, wir also etwas bewusst erleben können, bedarf es aber weiterer Funktionen, die ich als "logistische Funktionen" bezeichne. Wollen wir das Psychische begreifen, müssen wir zwei Funktionsdomänen unterscheiden, deren neuronale Mechanismen qualitativ unterschieden sind, nämlich die inhaltlichen oder "Was-Funktionen" und die logistischen oder "Wie-Funktionen".

Bei den logistischen Funktionen sind drei Bereiche zu unterscheiden: Einmal bedarf es einer Aktivierung (gleichsam einer "Stromversorgung") des Gehirns, damit Psychisches verfügbar wird, dass wir also überhaupt ein Bewusstsein von etwas haben können; jedem ist dies aufgrund der tagesperiodischen Schwankungen der Aktivierung bekannt, die uns alle 24 Stunden in den Schlaf bringen. Eine dauernde Reduzierung der Aktivierung tritt im Übrigen bei der Erschöpfungsdepression auf, bei der die "Was-Funktionen" eingeschränkt sind, was sich darin äußert, dass schwer Depressive sich nur noch schlecht erinnern können, die Gefühle blass werden und im motorischen Antrieb gehemmt sind.

Damit bestimmte psychische Funktionen verfügbar sind, werden des Weiteren Steuerung und Fokussierung der Aufmerksamkeit benötigt; wir können uns jeweils auf einen Sachverhalt konzentrieren und anderes ausblenden, was in einem gegebenen Augenblick nicht in den Rahmen des mentalen Geschehens passt. Ein anderer Aufmerksamkeitsmechanismus sorgt dafür, dass wir manchmal das Fenster der Aufmerksamkeit weit öffnen können, um möglicherweise bedeutsame Informationen nicht zu übersehen; man kann seine Blicklinie von dem Fokus der Aufmerksamkeit entkoppeln, so dass man jemanden anschauen kann, während man den inneren Blick und das innere Ohr auf jemand anders richtet.

Schließlich gehört zu den logistischen Funktionen die zeitliche Koordination der räumlich verteilten Aktivitäten im Gehirn. Um die logistischen Herausforderungen der zeitlichen Koordination von Funktionen zu verstehen, muss die neuronale Aktivität verschiedener Module nochmals hervorgehoben werden. Jeder psychische Zustand (wenn wir sehen, hören, nachdenken, rechnen, planen, sprechen) ist dadurch gekennzeichnet, dass gleichzeitig an verschiedenen Stellen des Gehirns Nervenzellen in ihrer Aktivität hervorgehoben oder selektiv gehemmt sind, sich also von der Durchschnittsaktivität abheben. Es wäre falsch zu meinen, dass ein bestimmter psychischer Zustand nur durch erhöhte neuronale Aktivitäten in einem Areal des Gehirns gekennzeichnet wäre. (Die Seele geht im Gehirn nicht von Ort zu Ort spazieren). Beispielsweise wenn wir lesen, ist die lokale Hirndurchblutung, über die man auf die Tätigkeit von Nervenzellen schließen kann, u.a. im Schläfenlappen, wo die semantische Kompetenz der Sprache bevorzugt verarbeitet wird, und im Frontalbereich, mit dem syntaktische Kompetenz assoziiert wird, deutlich erhöht; zusätzlich findet man Aktivitätserhöhungen dort, wo offenbar die Sprechbewegungen repräsentiert sind. Hinzu kommt Aktivität im visuellen Verarbeitungsgebiet, von wo aus die Information über eine Umschaltstelle in die Sprachzentren weitergeleitet wird. Wesentlich bei diesen Beobachtungen ist, dass gleichzeitig an verschiedenen Stellen Aktivitätserhöhung zu beobachten ist. Solche gleichzeitige und räumlich verteilte Aktivität gilt für alle psychischen Funktionen, wobei jeder psychische Zustand durch ein spezifisches raum-zeitliches Muster neuronaler Aktivitäten gekennzeichnet ist. Es ist die experimentelle Herausforderung für die Neurowissenschaften in der Zukunft, diese spezifischen Muster jeweils für definierte psychische Zustände zu identifizieren.

Die gleichzeitige Aktivität an verschiedenen Orten wirft ein Problem der Verarbeitung auf, wie es nämlich aufgrund dieser verteilten

Aktivität von Nervenzellen zu einem einheitlichen Eindruck kommen kann, denn jeder psychische Akt ist durch seine Geschlossenheit, seine einheitliche Gestalt gekennzeichnet. Welches sind die Mechanismen des Verbindens, die räumlich verteilte Aktivitäten zusammenbringen, um das Phänomen der Einheit des Erlebens zu ermöglichen? Was bietet sich als ein Rahmen für die Integration der räumlich verteilten Aktivitäten an, damit einzigartige psychische Zustände sich herausfiltern können? Ich gehe davon aus, dass neuronale Oszillationen genutzt werden, um eine zeitliche Organisation zu ermöglichen; das Gehirn nutzt gleichsam eine Uhr, die wie ein Dirigent den Takt vorgibt, und die dadurch eine zeitliche Koordination zwischen verteilten neuronalen Aktivitäten erlaubt. Kern dieser Hypothese ist, dass die zeitliche Koordination in einem ersten Schritt durch periodische Prozesse in Neuronenpopulationen hergestellt wird. Die Periode dieser Oszillationen liegt aufgrund experimenteller Beobachtungen bei etwa dreißig bis vierzig Tausendstel Sekunden (30 – 40 ms), wobei eine Periode einen Systemzustand des Gehirns repräsentiert. Innerhalb eines Systemzustandes ist die vorher-nachher-Beziehung von neuronaler Information nicht bestimmt und auch nicht bestimmbar. Solche atemporalen Systemzustände stellen einen formalen Rahmen bereit, innerhalb dessen es zu einer Bündelung räumlich und zeitlich verteilter Information kommt, und damit zu einer Reduktion von neuronaler Komplexität. Systemzustände sind als zeitlose Zonen deshalb atemporal, weil innerhalb der Zustände trotz physikalischer Ungleichzeitigkeit von Information eine erfahrbare oder bewusst zugängliche zeitliche Ordnung nicht möglich ist.

Wie ist es nun auf der Grundlage isoliert definierter Ereignisse möglich, dass in unserem Erleben dennoch so etwas wie Kontinuität entsteht? Es stellt sich also die Frage nach der zeitlichen Integration aufeinanderfolgender Ereignisse. Diese Integration beruht

auf anderen neuronalen Prozessen als jene, die für die Integration räumlich verteilter Aktivitäten zur Bestimmung von "Ur-Ereignissen" notwendig sind. Im Prinzip gibt es zwei Möglichkeiten, wie eine Integration nacheinander repräsentierter Ereignisse ablaufen könnte. Eine Möglichkeit wäre, dass die Integration von Ereignissen semantisch erfolgt, dass also die Ereignisse sich selbst miteinander gemäß ihrer Bedeutung verketten. Eine solche semantische Integration, die nach meinem Eindruck in der kognitiven Informatik bevorzugt wird, setzt ein intern repräsentiertes Schema voraus, mit dem die jeweils aufgenommene Information verglichen wird. Bestätigt die Information das interne Schema, ist damit der Prozess der Integration abgeschlossen, d.h. es gibt bei diesem Modell der Integration keine zeitlichen Vorgaben.

Alternativ zu einer derartigen semantischen Integration ohne vorgegebene Zeitbegrenzung ist jedoch auch eine präsemantische Integration denkbar, die unabhängig von einem internen Schema, an dem Reize überprüft werden, abläuft. Eine solche automatische, vor aller inhaltlichen Bestimmung ablaufende Integration wird durch Beobachtungen tatsächlich nahegelegt, obwohl ein solcher Mechanismus der intuitiven Erwartung widerspricht. Ereignisse werden bis zu wenigen Sekunden automatisch aneinandergelinkt, ohne dass hierauf willentlich Einfluss genommen werden kann. Die Grenze für die zeitliche Integration von Ereignissen liegt bei etwa zwei bis drei Sekunden. Ein einfaches Beispiel für diesen Integrationsprozess im Bereich weniger Sekunden: Wenn man zwei Reize hinsichtlich ihrer Intensität miteinander vergleichen will (beispielsweise ob etwas schwerer oder leichter, heller oder dunkler, lauter oder leiser als etwas anderes ist), dann müssen die beiden Reize innerhalb dieses Zeitfensters gegeben werden, um zu einem sachgerechten Vergleichsurteil zu kommen. Eine längere Pause zwischen den beiden Reizen führt dazu, dass die neuronale Repräsentation des

jeweils ersten verblasst und somit der zweite Reiz hinsichtlich seiner Intensität überschätzt wird. Von manchen, insbesondere von dem Philosophen Rudolf Carnap, wird die mentale Operation des Vergleichens als die ursprüngliche Leistung des menschlichen Geistes überhaupt angesehen. Wenn das angenommen wird, so zeigt sich, dass diese Grundoperation nur in einem bestimmten zeitlichen Rahmen möglich ist, den uns unsere Natur vorgibt.

Wie aber kommt nun jenes Gefühl der Kontinuität zustande, das über die Grenze von wenigen Sekunden hinausgeht? Mit den beschriebenen Mechanismen der Komplexitätsreduktion und der zeitlichen Integration sind nur logistische Randbedingungen genannt, die als notwendig angesehen werden, damit psychische Inhalte entstehen können; die Zeitfenster selber sind inhaltslos. Anschauliche Kontinuität kommt dadurch zustande, dass das, was jeweils in den einzelnen Zeitfenstern von bis zu etwa drei Sekunden repräsentiert ist, mit den Inhalten der vorhergehenden und der folgenden Zeitfenster verbunden wird; diese Verbindung wird getragen von der Bedeutung des jeweils Repräsentierten. Dass es sich hierbei um einen aktiven neuronalen Prozess handelt, lernen wir von Patienten, bei denen die semantische Verbindung zusammengebrochen ist, wie bei manchen Schizophrenen, die an formalen Denkstörungen leiden. Der kontinuierliche Fluss der Zeit, wie er uns üblicherweise erscheint, ist also eine Illusion, bedingt durch die Verbindung von Inhalten in voneinander getrennten Zeitfenstern. Der erlebte Fluss der Zeit, die gefühlte Kontinuität der Zeit, hat also nichts zu tun mit dem Zeitbegriff der klassischen Physik oder auch der speziellen bzw. der allgemeinen Relativitätstheorie, die von der Kontinuität der Zeit in der Natur ausgehen. Doch wäre es möglich gewesen, dass eine Illusion hätte konstruiert werden können, die dem physikalischen Gesetz widerspricht? Dies erscheint mehr als fragwürdig.

Die letzte Überlegung weist darauf hin, dass man aus der Hirnforschung Argumente für andere Bereiche entwickeln kann, wie also für die Physik, die Philosophie oder die Pädagogik. Kann man aber mehr verstehen oder sogar besser begreifen, was in den Künsten geschieht, wenn auch naturwissenschaftliche Überlegungen einbezogen werden? Können Naturforscher, insbesondere Hirnforscher, umgekehrt von den Künsten etwas für die Forschung lernen, insbesondere auch darüber, wie unser Gehirn arbeitet? Gibt es also einen kreativen Austausch in beiden Richtungen? Ich glaube, dass dies in der Tat der Fall ist, was ermutigen mag, das interdisziplinäre Gespräch zu suchen und zu pflegen.

Um als Naturforscher einen Weg zu den Künsten zu finden, der wie ein Umweg erscheinen mag, beginne ich mit elementaren Grundbedürfnissen, die alle Lebewesen kennzeichnen. Letzten Endes geht es jedem Organismus, dem Menschen wie dem Einzeller, nur darum, sein inneres Milieu, sein homöostatisches Gleichgewicht, zu bewahren. Jeder Organismus fragt sich (ob explizit oder implizit): "Was ist gut für mich, was ist schlecht für mich?", und nach Beantwortung dieser Frage wird entschieden, was zu tun ist; dies gilt für den Einzeller genauso wie für den Menschen; obwohl die biologische Grundlage für Entscheidungsprozesse unterschiedlich ist, geht es immer darum "Entscheidungen" zu treffen.

Was sind das für Bedürfnisse, deren Befriedigung uns im Gleichgewicht hält? Hunger und Durst stehen am Anfang. Es ist die Suche nach Wärme; dieses Bedürfnis zeigt sich nicht nur darin, dass wir uns der äußeren Temperatur entsprechend anziehen, sondern es äußert sich in unserer Sorge um Geborgenheit und Behausung. Zu den Grundbedürfnissen gehört auch die Selbstbehauptung, die der Sicherung der eigenen Identität dient. Selbstbehauptung zeigt sich manchmal in Aggression; man muss sich anderer erwehren, um sich selbst nicht zu verlieren.

Vermeiden von Schmerz und Sehnsucht nach Vereinigung sind weitere Antriebe. Wir sind getrieben vom Verlangen nach Dualität, nach unmittelbarer Kommunikation mit anderen. Uns kennzeichnet die Sorge für andere und unsere eigene Zukunft; Sorge äußert sich in der Angst um unsere Kinder, im Muttertrieb. Aktivität ist ein weiteres unmittelbares Bedürfnis; der Körper verlangt nach Bewegung. Wir ordnen unsere unmittelbare Umgebung, wir herrschen über andere, manchmal unterwerfen wir uns, und wir suchen die Zeit zu beherrschen. Wir verstecken uns hinter der Angst vor dem Tod; die Neugier treibt uns, das Unbekannte zu entschlüsseln. Und wir genießen in immer neuer Weise, was unsere Sinne uns über die Welt und uns selbst erfahren lassen.

Alle diese Grundbedürfnisse stehen nicht für sich allein. Sie kennzeichnen Leben und Erleben in komplementärer Weise und sind zwar voneinander getrennt zu denken, aber nicht getrennt zu verwirklichen. Alles dient dem Überleben, und alles ist erforderlich zur Gestaltung unseres Lebens. Mit den Grundbedürfnissen habe ich auch die zentralen Themen der Künste angesprochen, denn letzten Endes ist der Künstler immer bezogen auf menschliche Grundbedürfnisse. In welchem Medium werden diese Themen gestaltet, welche Erscheinungsweise wählen sie? Hierzu eine sehr einfache Aussage: Biologisch gesehen leiten sich die Künste aus den unmittelbaren Erfahrungen der sinnlichen Wahrnehmung ab. Sehen, Hören, Tasten, Fühlen, Riechen, Schmecken, Bewegen sind das jeweilige Medium, und damit der Ausgangspunkt künstlerischen Schaffens. In allen Kulturen und zu allen Zeiten wurden die gleichen Künste entdeckt, und vermutlich geschah dies sogar unabhängig voneinander. Auffällig ist nämlich, dass alle Kulturen, von den Steinzeitkulturen bis zu den sogenannten Hochkulturen, ähnliche sensorische Kunstformen entwickelten, und dies gilt offenbar auch für Kulturkreise, die miteinander nie in Kontakt standen. Ein früher Ausdruck der visuellen Kunst mögen

die Höhlenmalereien sein. Diese Gemeinsamkeiten sprechen für die Universalität des künstlerischen Darstellens und seiner Verwurzelung in grundlegenden Mechanismen der sinnlichen Welterfahrung. Die Tatsache, dass es in allen Kulturen die gleichen Künste gibt, kann sogar als Argument dafür herangezogen werden, dass die Künste biologisch verankert sind, und dass sie sich aus sensorischen Primärerfahrungen herleiten.

Der unmittelbare Antrieb zum künstlerischen Schaffen, das in einem bestimmten sensorischen Medium Grundbedürfnisse artikuliert, erklärt sich aus dem Bemühen, anderen (und manchmal ist man selbst der andere) mitzuteilen, was in expliziter Sprache nicht gesagt werden kann. Im künstlerischen Prozess erlebt der Künstler als unmittelbaren Antrieb das Mitteilen selbst; Schreiben, Dichten, Malen, Zeichnen, Formen, Filmen, Komponieren, Musizieren oder Tanzen sind trotz aller Selbstversenkung auf andere bezogene Tätigkeiten.

Das Bild, die Zeichnung folgen aus der Primärerfahrung des Sehens. Der Maler und der Zeichner gestalten ein Bild auf der Grundlage elementarer visueller Erlebnisse, für die das Gehirn spezifische Verarbeitungsmechanismen bereitstellt. Der Rückgriff auf das bildliche oder episodische Gedächtnis kommt hier ins Spiel; für uns wichtige Bilder sind in uns für immer abgespeichert. Linien, Flächen, Farben, Kontraste und topographische Zuordnungen sind die Grundbausteine dargestellter Objekte; diese Elemente werden in verschiedenen Kunstrichtungen unterschiedlich betont, und sie gewinnen in manchen modernen Kunstrichtungen sogar eigenständige Bedeutung, indem nur innerhalb einer Kategorie künstlerische Variationen erlaubt sind oder vorgenommen werden. Die Bausteine selber werden häufig zum Thema der Gestaltung, und manchmal ist der Akt des Schaffens selbst zum künstlerischen Thema erhoben. Der Versuch allerdings, in gemalten oder gezeichneten Bildern Bewegung darzustellen,

scheitert, da die unmittelbare Erfahrung gesehener Bewegung umgangen wird. Bewegung kann im stationären Bild nur assoziativ erzeugt werden. Sich im stationären Bild nur über Kontraste topographisch angeordneter Flächen, durch Konturen oder durch Farben auszudrücken, kann dagegen gelingen, da ursprüngliche sinnliche Erfahrungen, für die das Gehirn eigene Mechanismen entwickelt hat, unmittelbar angesprochen werden.

Hören und Sprechen als Leistungen des Gehirns sind Ausgangspunkt von Musik und Dichtkunst. Wiederum müssen grundlegende Mechanismen des Gehirns berücksichtigt werden, will man elementare Phänomene dieser Zeitkünste nachvollziehen. Ein Musikstück ist nur verstanden, wenn das richtige Tempo gefunden worden ist, da bei einem falschen Tempo musikalische Motive verzerrt erlebt werden oder nicht mehr erkennbar sind. Die Kontrolle des Tempos bei der Musik kann sich nicht aus Traditionen oder gar dem Musikstück selbst ergeben, sondern unterliegt neuronalen Mechanismen, und zwar insbesondere jenen, die Bewegungsabläufe steuern. Es ist keineswegs selbstverständlich, durch ein Musikstück hindurch ein einmal begonnenes Tempo aufrechterhalten zu können, wie es auch nicht selbstverständlich ist, Halbe-, Viertel- oder Achtelnoten spielen zu können. Derartige Tempokontrollen oder die ganz- und halbzahligen definierten Zeiteinteilungen der Notenlängen erfordern spezifische Programme des Gehirns.

Wie in der Malerei werden auch in der Musik der verschiedenen Richtungen unterschiedliche Komponenten besonders hervorgehoben, indem sie bevorzugt variiert werden. Oder es sind nur einzelne Komponenten als künstlerischer Rahmen erlaubt, wenn etwa (wie in mancher afrikanischer Musik) Rhythmen variiert werden, also auf Tonalität verzichtet wird. Ein Grundphänomen in der Musik ist die Tatsache, dass musikalische Motive häufig eingebunden

sind in ein Zeitintervall von nur wenigen Sekunden. Experimentelle Untersuchungen haben ergeben, dass diese Zeit auf etwa drei Sekunden beschränkt ist. Offenbar haben Musiker und Komponisten ein implizites Wissen über neuronale Prinzipien, dass unser Gehirn nämlich eine zeitliche Arbeitsplattform bereitstellt, auf der einzelne Bewusstseinsinhalte als einheitliche Gestalt zusammengefasst werden. In der Tradition der Wiener Klassik, von Joseph Haydn bis zu Gustav Mahler, finden sich häufig musikalische Motive, die auf dieses Zeitintervall beschränkt sind. Die oben skizzierte Integration von Information findet also in den Künsten eine unmittelbare Ausprägung.

Ein Beispiel aus der Malerei: Durch zahlreiche Beobachtungen wird nahegelegt, dass die rechte Gehirnhälfte dominant ist für die emotionale Bewertung von Erlebnissen. Diese Asymmetrie der Informationsverarbeitung in unserem Gehirn findet sich interessanterweise wieder im asymmetrischen Aufbau vieler Bilder. Dazu muss man den folgenden anatomischen Sachverhalt berücksichtigen: Alles, was links von unserer Blicklinie liegt, wandert in die rechte Gehirnhälfte, und alles, was rechts von der Blicklinie liegt, ist in der linken Gehirnhälfte repräsentiert. Was links von der Blicklinie liegt, hat somit einen unmittelbaren Zugang zur emotionalen Bewertung, da die rechte

Gehirnhälfte stärker mit emotionalen Bewertungen assoziiert ist. Wenn man den Aufbau von Bildern analysiert, die eine Emotion zum Ausdruck bringen, so stellt man fest, dass der Bildschwerpunkt signifikant häufiger auf der linken Seite zu finden ist; dies gilt nicht für alle Bilder, aber es ist so auffällig, dass es kein Zufall sein kann; das bedeutet "signifikant". Die bevorzugte Kompositionsform, den Bildschwerpunkt eher links zu setzen, wenn eine starke Emotion zum Ausdruck gebracht werden soll, lässt vermuten, dass der Künstler ein implizites Wissen über die Verarbeitung im Sehsystem besitzt. Dieses Merkmal der Gestaltung hat im Übrigen nichts mit unserer bevorzugten Leserichtung von links nach rechts zu tun. In Kulturen mit anderen Leserichtungen findet man die gleiche Bildstruktur.

Es zeigt sich somit, dass bestimmte Merkmale, die ein Kunstwerk ausmachen, in elementaren Prinzipien der Informationsverarbeitung unseres Gehirns begründet sind. Dies darf aber nicht missverstanden werden: Anthropologische Universalien wie sie für alle Menschen gelten und wie sie durch unser Gehirn vorgegeben werden, sind notwendige Bedingungen, aber es sind keine hinreichenden Bedingungen, wenn man ein Kunstwerk verstehen, ein philosophisches Argument entwickeln oder ein pädagogisches Konzept gestalten will.

Moderne Bildtechniken in Wissenschaft und Forschung

Christiane Kruse

1. Starke und schwache Bilder:¹ Repräsentationsformen der DNA

Ende Juni 2000 präsentierten die Vertreter des amerikanischen National Institutes of Health und Craig Venter, als der Chef der privaten Genfabrik Celera, ihre jeweiligen Sequenzierungsunternehmungen der DNA als erfolgreichen Abschluss des menschlichen Genomprojekts.² Die FAZ kommentierte dies als Meilenstein der biochemischen Forschungsleistung und druckte in ihrem Feuilleton über sechs Seiten sechsspaltig die Buchstabenfolgen der aus den vier Bausteinen bestehenden Erbsubstanz (DNA): Adenin (A), Thymin (T), Guanin (G), Cytosin (C). Man las dort endlose Reihen von ATCG-Kombinationen, die in den Schlagzeilen als "Grammatik des Lebens", "Buch des Lebens", "Roman des genetischen Stammbaums" und anderen aus Sprache und Schrift entnommenen Metaphern kommentiert wurden. Die so endlos wie monoton anmutende Buchstabenfolge, die auf den sechs Seiten der FAZ weniger als 0,1% des gesamten menschlichen Genoms repräsentierte, ist nicht dazu geeignet, sich in das Gedächtnis einzuprägen. Niemand wird auf die Idee kommen, diese Buchstabenfolge auswendig zu lernen. Weit entfernt ist die Genomik jedoch vom Verstehen der identifizierten Erbsubstanz, handelt es sich hier nur um die Offenlegung, nicht aber um die Entschlüsselung der Erbsubstanz, was einen wesentlichen Unterschied macht.

In meinem Beitrag werde ich als Kunst- bzw. Bildhistorikerin einen kursorischen Einblick in die naturwissenschaftliche Bildgeschichte mit Überlegungen zu Bildtechniken und Funktionen von Bildern in den Naturwissenschaften verbinden. Vier Fragen stehen dabei im Vordergrund:

1. Welcher Art sind die für Wissenschaftler informativen Bilder: Wie werden die Bilder gemacht und welche Informationen werden ihnen aufgrund der Bildtechnik entnommen?

2. Wie verfestigen sich die über Bilder gewonnenen Informationen zu einem Wissen, das kommuniziert wird, in die Lehrbücher der Schulen gelangt – letztlich kulturell wirksam wird?

3. Wie hat sich das Wissen, das aus Bildern gewonnen wird, und der Umgang mit den Bildern vom analogen zum digitalen Zeitalter der Bilder verändert?

4. Welche Rolle spielt die Kunst für die wissenschaftliche Bildgestaltung?³

Bleiben wir noch bei der DNA und ihren verschiedenen Repräsentationsformen. Es steht nicht zu erwarten, dass die als Sequenz von Buchstaben dargebotene DNA das von James D. Watson und Francis Crick 1953 vorgeschlagene Modell der Doppelhelix in den Lehrbüchern ersetzen wird (Abb. 1). Die immense computergenerierte Datenmenge, die das Genomprojekt der Forschung zur Verfügung gestellt und mit dem ACTG-Skript weltweit veröffentlicht hat, zeigt außer der Quantität des aus nur vier Bausteintypen bestehenden Polymers nichts. Dasselbe gilt für das Autoradiogramm einer DNA-Sequenz mit seinem ebenfalls wenig anschaulichen, geschweige denn visuell attraktiven schwarz-grauen Muster aus vier Reihen von Stäbchen, das die Basenkombination ACTG einer DNA-Sequenz sichtbar macht (Abb. 2). Beim ACTG-Skript der Erbsubstanz handelt es sich um einen Text, dessen Bedeutung sich für Laien und wohl auch für nicht-spezialisierte Biochemiker nicht erschließt – Literaturwissenschaftler

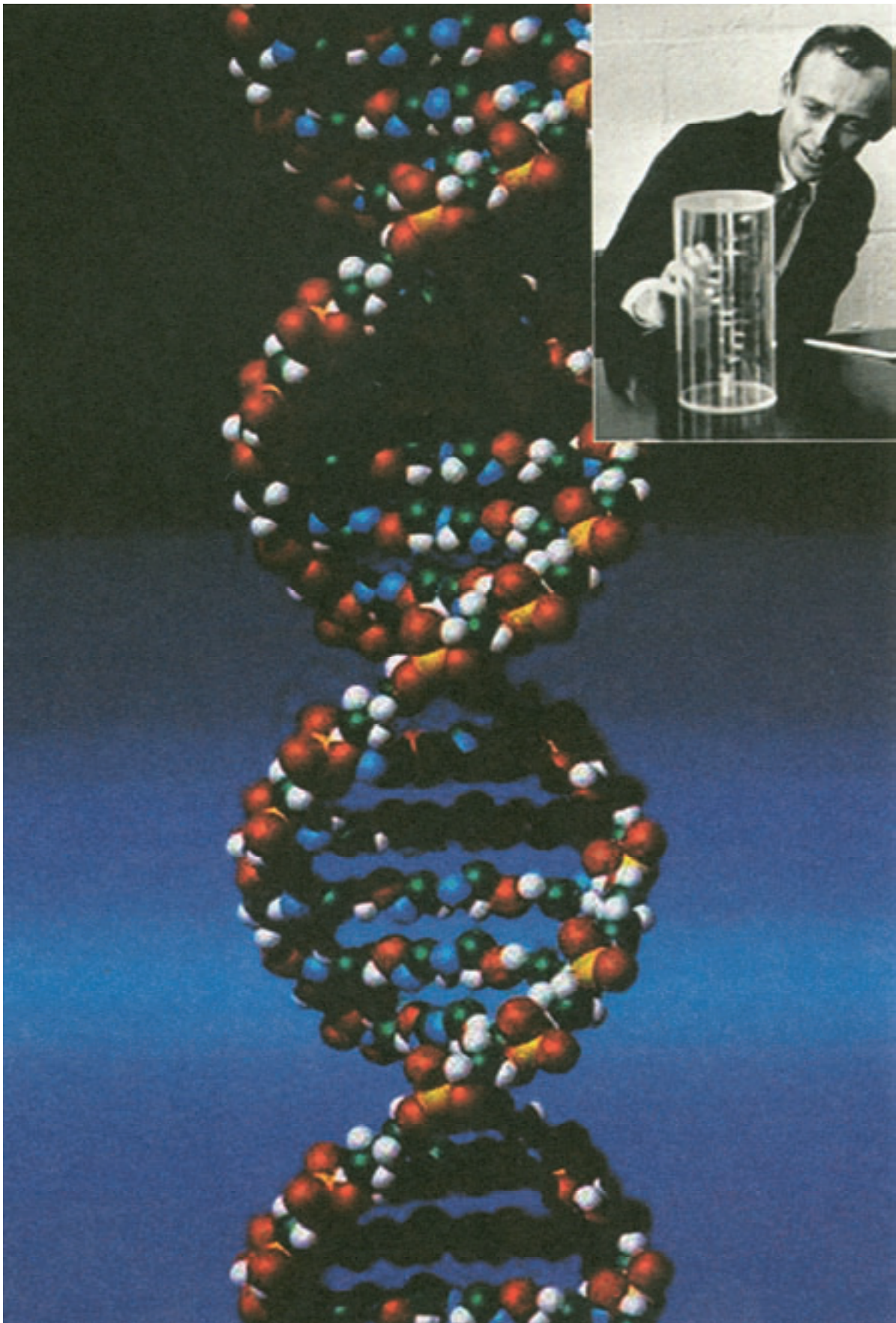


Abb. 1: Modell der Doppelhelix – oben rechts: James D. Watson präsentiert ein Modell der Doppelhelix

würden allenfalls noch an konkrete Poesie denken. Im Fall des Autoradiogramms haben wir es mit dem Nachweis von DNA-Sequenzen zu tun, der aus der Gelelektrophorese, einer Methode der Trennung von Molekülen mit Hilfe eines elektrischen Feldes, resultiert.⁴ Einzelne radioaktiv markierte Moleküle werden dafür im elektrischen Feld getrennt, formieren sich zu Banden mit charakteristischen Mustern und werden anschließend auf einem Röntgenfilm sichtbar gemacht und fixiert. Nehmen wir als drittes Beispiel der DNA-Repräsentation noch das elektronenmikroskopische Bild eines DNA-Fadens, so erkennen wir im Fall des vorliegenden Bildes ein weißes Muster dünner,

teils parallel, teils in Wellen angeordneter Linien, die sich in etwa strahlenförmig aus dem dichteren, einem porösen Gewebe ähnelnden Muster am linken Bildrand herausbilden (Abb. 3). Hier beginnt die sprachliche Umsetzung der formalen Qualitäten des Bildes bereits problematisch zu werden. Es handelt sich um einen Bildtyp, der dem, was man unter einem Abbild der Natur verstehen würde, nahe kommt. Das Bild suggeriert dem Betrachter, ohne dass er es nachprüfen könnte, dass das Elektronenmikroskop mit höchster Potenz etwas sichtbar macht – nämlich einen DNA-Faden –, das man mit bloßem Auge nicht sehen könnte.

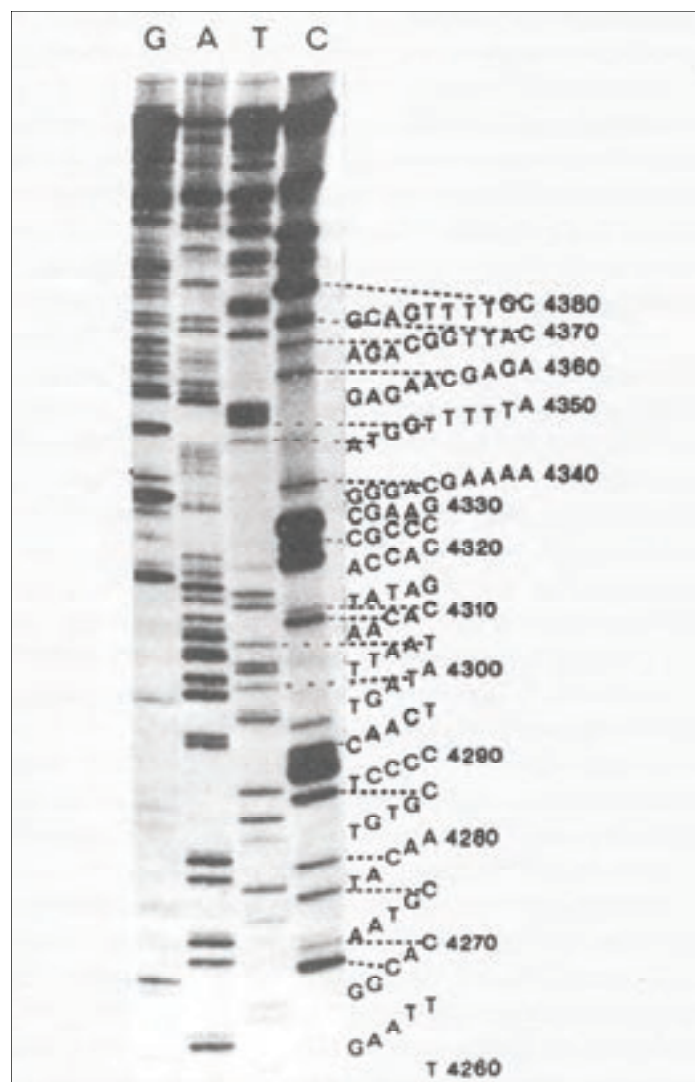


Abb. 2: Autoradiogramm eines Ausschnitts einer DNA-Sequenz

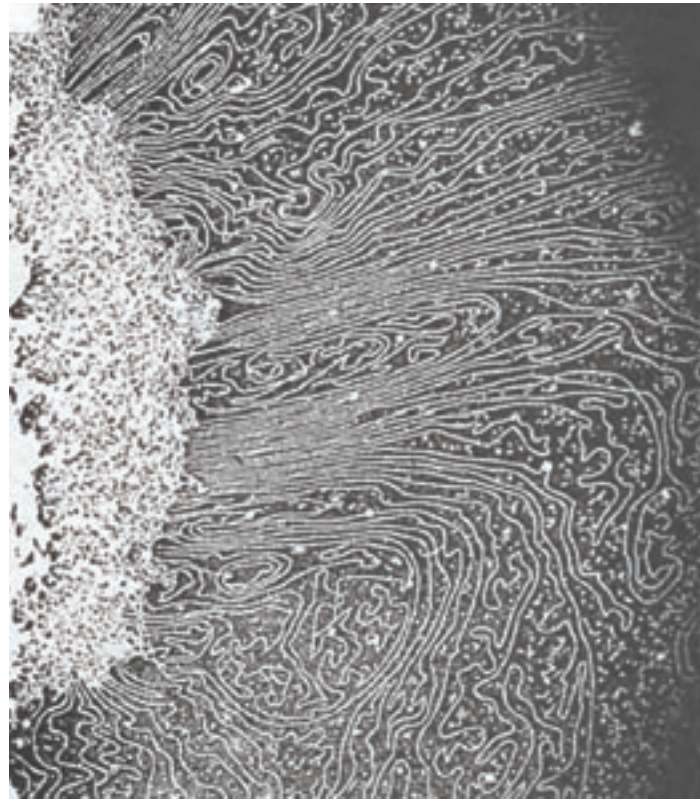


Abb. 3: DNA-Faden unter dem Elektronenmikroskop

Die Doppelhelix (Abb. 1), die die bildhafte Vorstellung der DNA im kulturellen Gedächtnis prägt, ist weder ein Abbild der Natur noch ein Muster, sondern ein dreidimensionales Modell, dessen Eignung zum Zweck der Didaktik im Biologieunterricht gegenüber dem Autoradiogramm und dem Bild des Elektronenmikroskops herausragt. Die Doppelhelix ist daher als ein starkes Bild zu bezeichnen,⁵ ein Bild, das aufgrund seiner Einfachheit und Symmetrie nicht nur visuell attraktiv ist, sondern dessen Architektonik aus den klaren, d.h. nachvollziehbaren Überlegungen seiner Erfinder resultiert, die mit der Bildform eine inhaltliche und didaktische Funktion verbinden. Rufen wir uns kurz in Erinnerung, welcher Art die Überlegungen waren, die zum Modell der Doppelhelix führten und welche Erkenntnisse über die DNA aus ihr abgeleitet werden können.⁶ Der entscheidende Durchbruch bei der Entdeckung der Molekularstruktur der DNA gelang James D. Watson, als er 1952 DNA-Röntgenaufnahmen von Rosalind Franklin

am King's College in London zu Gesicht bekam. Franklin hatte bereits die Doppelhelix-Struktur angenommen, konnte aber den molekularen Aufbau nicht mit der Struktur zusammenbringen. Aufgrund der paarweisen Anordnung der Purin- (Adenin und Guanin) und Pyrimidin- (Thymin und Cytosin) Basen entwickelten Watson und Crick im Cavendish-Laboratorium der Universität Cambridge das Doppelhelix-Modell der DNA mit den Basenpaaren in der Mitte und der Desoxyribose mit dem Phosphat-Rest als Rückgrat des Moleküls. Aufgrund dieser Struktur konnte die Funktion der DNA und die an ihr ablaufenden biochemischen Prozesse immer genauer bestimmt werden. Mit der Doppelhelix ließ sich zunächst auf einen "möglichen Vervielfältigungsmechanismus für die genetische Erbsubstanz schließen",⁷ wie es Watson und Crick 1953 in ihrem in der Zeitschrift *Nature* veröffentlichten Artikel, der das Doppelhelix-Modell bekannt gab, noch vorsichtig ausdrückten. Die spezielle Architektur der

Doppelhelix lieferte damals die einzige Erklärung der experimentellen Daten und gilt nach wie vor als Basis für die Erschließung der einzelnen Gene, die sich aus der Sequenz der Basenpaare bestimmen lassen. Sie erklärt ferner den Vorgang der Transkription, der die Protein-Synthese steuert, liefert die Erklärung des Replikations-Vorgangs, die Verdopplung der Erbinformation vor der Zellteilung und verdeutlicht die Rekombination des genetischen Materials bei der Verschmelzung von Ei und Samenzellen. Das Modell aus Holz, Metall und Plastik, mit dem Watson und Crick 1953 an die Öffentlichkeit gingen, wird heute lediglich durch das digitale Bild von 3-D-Computeranimationen ersetzt, die das Bild der Doppelhelix nach Maßgabe der fortschreitenden Erkenntnisse der Biochemie weiter spezifizieren.

2. Der iconic turn in den Naturwissenschaften

Sicher geht es einigen Nicht-Naturwissenschaftlern so wie mir: Viele Erinnerungen an Einzelheiten aus dem Biologieunterricht sind verblasst. Doch das Bild der Doppelhelix ist im kollektiven Gedächtnis nach wie vor präsent. Anhand dieses so klaren wie verständlichen Modells fällt es nicht schwer, das damals Erlernte zu reaktivieren, auch wenn die neuesten Erkenntnisse der Biochemie, die aus der Doppelhelix gewonnen werden, für den Laien zu speziell sind, um sie zu verstehen und herleiten zu können. Man wünscht sich mehr von diesen starken Bildern, wie ich das Modell der Doppelhelix genannt habe, in den Naturwissenschaften: Bilder, die auf klare und deshalb einprägsame Weise Vorgänge in der Natur anschaulich – über den Visus – erklären und verstehen helfen.

Doch statt Klarheit oder perspicuitas, wie die antiken Rhetoriker eine Rede nannten, die im Idealfall eine einzige Auslegungsmöglichkeit zulässt, sind die immer zahlreicher in den diversen Massenmedien publi-

zierten Bilder, die die Forschungstätigkeit der einzelnen Disziplinen der global vernetzten Lebenswissenschaften (Life Sciences) illustrieren, eher vom Prinzip der Spektakularität geleitet. Wenn man heute in die täglich erscheinenden Seiten der über die Tätigkeiten der Lebenswissenschaften berichtenden Tageszeitungen schaut, dann kann man schon am Frühstückstisch Bilder erblicken, die einem wegen ihrer bizarren Formen und exquisit zu nennenden Farbgebung direkt ins Auge springen (Abb. 4). Das Bild einer embryonalen Stammzelle in einem Nadelöhr, das mit Hilfe der Vergrößerung eines Elektronenmikroskops entstand und anschließend eingefärbt wurde, kann dies eindrucksvoll belegen. Das Bild wurde anlässlich der Bundestagsdebatte über die Freigabe der Stammzellenforschung am 14. Februar 2008 auf der Seite "Wissen" der Süddeutschen Zeitung publiziert. Das kühle Blaugrau der Nadel vor dramatisch schwarzem Hintergrund, aus dem die orangegelbe Stammzelle wie ein Goldkorn aufscheint, lässt an eine abstrakte Skulptur denken. Die goldene Farbgebung der Stammzelle suggeriert Kostbarkeit, die Platzierung in dem hier riesig erscheinenden Nadelöhr interpretiert die Dimension menschlichen Lebens als ein Mysterium und symbolisiert im Kontext der Stammzellendebatte Schutzbedürftigkeit. Die Agentur Focus, die dieses Bild an die Presse verkauft hat, hat u.a. Bilder der Wissenschaft im Angebot, die zu visuellen Attraktoren aufgestylt sind, um die Naturwissenschaften in die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit zu bringen.⁸ Bilder wie dieses dienen nicht der wissenschaftlichen Erkenntnis. Man soll sie auch nicht verstehen, sondern bewundern. Die neusten Bilder aus den Lebenswissenschaften leuchten neuerdings und zeigen eine nie dagewesene Schönheit. Um Aufmerksamkeit für eine nicht immer populäre Forschung zu erregen, dies haben die Public-Relation-Abteilungen der verschiedenen Labors längst bemerkt, bedarf es attraktiver Eyecatcher. Der iconic turn ist längst in die Naturwissenschaften eingezogen.⁹

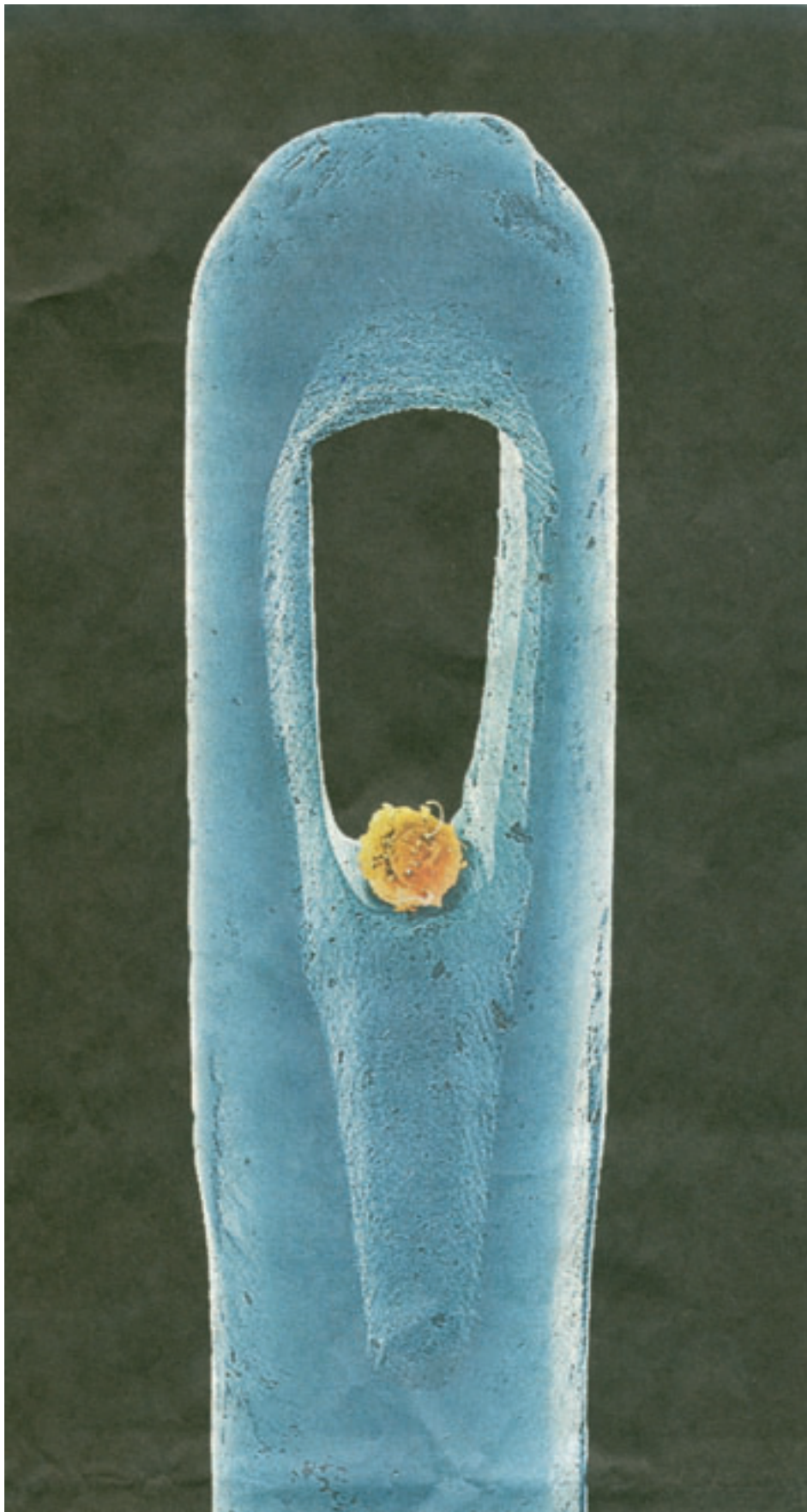


Abb. 4: Stammzelle: Bild auf der Seite "Wissen" der Süddeutschen Zeitung, 14.2.2008

Wissenschaftshistoriker und Kunsthistoriker reagieren auf die "Bilderflut" der naturwissenschaftlichen Disziplinen und haben damit begonnen, nicht nur die Funktion dieser neuen digital erzeugten Bilder, sondern überhaupt die Funktion der Bilder und die Visualisierungsstrategien bei der Erlangung naturwissenschaftlicher Erkenntnis zu erforschen.¹⁰ Was Zeitungsleser täglich als Anschauungsmaterial für Vorgänge der Natur vor Augen haben, könnte – spitz formuliert – künstlicher nicht sein.

3. Das naturwissenschaftliche Bild als Abbild und als Index

Im Jahr 2001 berichteten Mathematiker, Naturwissenschaftler und Ingenieurswissenschaftler in dem Tagungsband "Mit dem Auge denken", wie in ihren Disziplinen Bilder erzeugt, ausgewählt, modifiziert, interpretiert und schließlich objektiviert werden.¹¹ Die in dem gleichnamigen Band publizierten Berichte zeigen eindrucksvoll, wie viele Apparaturen, Operationsschritte, Entscheidungen und Eingriffe involviert sind, bevor ein für die Wissenschaften brauchbares Bild entsteht. Auf die Frage, welche Eigenschaften ein brauchbares, d.h. der Erkenntnis dienendes Bild haben muss, wird nachfolgend anhand eines Beispiels aus der Hirnforschung erläutert. Faktisch – dies wird deutlich, wenn man sich mit den heutigen naturwissenschaftlichen Visualisierungsstrategien befasst – entsprechen diese Bilder nicht mehr der Erwartungshaltung, die aus dem bisherigen Umgang mit naturwissenschaftlichen Bildern resultiert. Was wir (immer noch) von Bildern der Lebenswissenschaften erwarten, sind Abbilder der Natur. Deshalb sind Bilder wie die Stammzelle im Nadelöhr auch so erfolgreich. Bevor wir uns mit den neuesten, völlig anders gearteten Bildergenerationen aus den Labs der Life Sciences befassen, sollten wir einen kurzen Blick auf die Geschichte der naturwissenschaftlichen Bilder und ihrer Medien werfen.

Das Bild Korallenbaum und Augenspinner, das Sibylla von Merian 1699 auf ihrer Expedition nach Surinam nach dem lebenden Modell malte, ist ein handgefertigtes, idealisiertes Abbild der Natur (Abb. 5).¹² Merian malte die verschiedenen Stadien der Metamorphose des Schmetterlings in seinem Lebensraum, dem Korallenbaum. Es ging im 17./18. Jahrhundert nicht um das naturgetreue Porträt eines einzelnen Objekts, sondern um die Darstellung eines Typus, der das Idealbild der Gattung im Sinne einer "Naturwahrheit" mit einem hohen ästhetischen Anspruch kombinierte.¹³ Diese Form der Naturdarstellung, die idealisierende Handzeichnung einer die Natur genau beobachtenden Wissenschaftlerin, war bis in das 19. Jahrhundert das gängige Repräsentationsmedium. Wir verdanken Sibylla Merian staunenswerte Kunstwerke, wie das Buch *Metamorphosis Insectorum Surinamensium*. Merians Buch ist noch ein Einzelexemplar, ein Original. Mit den modernen Bildtechniken, etwa der Lithographie, die am Ende des 18. Jahrhunderts in München erfunden wurde, konnten die originalen Zeichnungen, Aquarelle, Guachen etc. der Illustratoren bald schon reproduziert und in Büchern mit höheren Auflagen publiziert werden.

Die Geschichte der wissenschaftlichen Illustration, lassen wir sie mit Leonardo da Vinci beginnen, haben uns die Natur und die Erkenntnisse, die aus ihr zu gewinnen sind, zunächst als handgezeichnete Abbilder repräsentiert.¹⁴ Es war ein Meilenstein in der noch jungen Geschichte des naturwissenschaftlichen Bildes, als im 17. Jahrhundert optische Instrumente erfunden wurden, mit denen weit entfernte Objekte ganz nah herangeholt werden konnten – etwa Galileis Beobachtung der Mondoberfläche mit Hilfe des Fernrohrs, die er in lavierten Handzeichnungen abbildete.¹⁵ Und es war eine Sensation, als man 1851 die Fotografien vom Mond, die John Whipple und George Bond anfertigten, auf der ersten Weltausstellung in London sehen konnte.¹⁶ Dasselbe gilt natürlich ebenso für das Lichtmikroskop,



Abb. 5: Maria Sibylla Merian: Korallenbaum und Augenspinner aus *Metamorphosis Insectorum Surinamensium*, 1705

das ebenfalls im 17. Jahrhundert erfunden wurde, und die ersten Fotografien von mikroskopischen Präparaten, die mit Hilfe des Lichtmikroskopes dann im 19. Jahrhundert gemacht wurden. Fernrohr oder Mikroskop brachten mit Hilfe von optischen Linsensystemen ein stark vergrößertes bzw. verkleinertes Abbild des zu beobachtenden Objekts hervor. Das jeweils erzeugte analoge Bild der Naturbeobachtung, sei es nun mit dem "nackten" Auge beobachtet und mit der Hand gezeichnet oder mit Hilfe optischer Instrumente erzeugt, besaß Glaubwürdigkeit, weil man das Bild mit dem Original vergleichen konnte oder weil, wie beim Blick durch ein Teleskop, zur Bilderzeugung die Naturgesetze der Optik angewendet wurden. Objektivität, ein Begriff, der die Naturwissenschaften im 19. Jahrhundert geprägt hat, schien in einem ganz besonderen Maße dann gewährleistet, wenn das tele- oder mikroskopische Bild mechanisch erzeugt wurde, etwa mit Hilfe der Fotografie auf einem Film belichtet, fixiert, reproduziert, und größeren Kreisen der Wissenschaft sowie der Öffentlichkeit kommuniziert werden konnte.¹⁷ Das Foto, das wegen seines physikalischen und chemischen Herstellungsverfahrens bis in das 20. Jahrhundert hinein als "Spur der Wirklichkeit" galt, stand und steht durchaus noch heute – trotz einer breit geführten Gegenargumentation – in dem Ruf größtmöglicher Objektivität.¹⁸ Dies entsprach dem wissenschaftlichen Ideal der "leibfreien Erkenntnis", das die naturwissenschaftliche Erkenntnis seit dem 16. Jahrhundert geprägt hatte, wie Werner Kutschmann gezeigt hat.¹⁹ Der Weg zu diesem Ideal war die apparative Aufrüstung des menschlichen Auges, die den Naturbeobachtern nicht nur Aspekte einer dem "nackten" Auge bisher nicht zugänglichen Wirklichkeit eröffnete, sondern ihm auch die Illusion vermittelte, die wissenschaftliche Beobachtung von den prinzipiell fehlbaren menschlichen Sinnen unabhängig zu machen. Das optische Linsensystem brachte den Wissenschaftler nicht nur auf körperliche Distanz mit seinem Gegenstand. Im

19. Jahrhundert leitete das Ideal des Naturwissenschaftlers auch Selbstkontrolle und emotionale Distanz von seinen Objekten, was ihn vom wissenschaftlichen Amateur und dem Künstler unterschied.²⁰ Statistische Verfahren ersetzen die Interpretation, optische Instrumente den beobachtenden Wissenschaftler, Fotografien treten an die Stelle der handgefertigten Illustration. Lorraine Daston und Peter Galison sprechen in diesem Zusammenhang von "mechanischer Objektivität" und meinen damit die Erfindung von Geräten, mit deren Hilfe sich die Natur ohne menschliches Dazwischentreten selbst beschreiben kann. Auf das wissenschaftliche Ethos der Objektivität gründete sich noch bis ins 20. Jahrhundert die als unfehlbar wahr geltende Naturerkenntnis. Im Fortschritts- und Technikoptimismus war man lange von der apparativ erzeugten und vermittelten Objektivität überzeugt. Die Abhängigkeit des Dargestellten von den verwendeten Apparaturen und Messverfahren wurden, wie heutige Wissenschaftshistoriker betonen, schlichtweg ausgeblendet oder als unproblematisch angesehen.

Eine besondere Rolle im Zeitalter der mechanischen Objektivität hatte die Fotografie, die als "graphischer Abdruck" der Wirklichkeit galt, als Spur, die die Natur mit Hilfe eines chemischen Vorgangs auf dem Papier hinterlassen hatte. Charles Baudelaire fasst die Technikgläubigkeit seiner Zeit am Beispiel des damals neuen Mediums, das die handgemachte Kunst bedrohte, in seiner Schmähschrift von 1859 wie folgt:

"[...] das augenblickliche Credo der Leute von Welt [...] lautet folgendermaßen: 'Ich glaube an die Natur, und ich glaube an nichts anderes als die Natur. Ich glaube, dass die Kunst die genaue Nachbildung der Natur ist und nichts anderes als die Nachbildung sein kann. Demnach wäre die Industrie, die uns ein mit der Natur identisches Ergebnis lieferte, die absolute Kunst.' Ein rächender Gott hat die Wünsche der Menge erhört. Daguerre war sein Messias. Und nun

mehr sagte sie sich: 'Da die Fotografie uns alle wünschenswerten Garantien der Genauigkeit liefert, so ist die Kunst die Fotografie.'"²¹

Waren bis in das 18. Jahrhundert Wahrheit und Schönheit noch miteinander korreliert, so haben ästhetische Kriterien seit dem 19. Jahrhundert – zumindest offiziell – in der Wissenschaft nichts mehr zu suchen.²² Kunst wird geradezu zum Gegenpol der entsubjektivierten Sphäre menschlichen Wissens. Kunst und Wissenschaft bildeten von nun an zwei nicht miteinander zu vereinbarende Wissensregimes, die unterschiedlichen Produktionslogiken folgen. Wissenschaft wurde dem Bereich des Objektiven, der Regeln, der Logik und der Berechenbarkeit zugeordnet – Kunst war das Refugium des Subjektiven, der Imagination, des Bildhaften und der Ästhetik. Es kam zu der Ausbildung der "zwei Kulturen", den Naturwissenschaften einerseits und den Geisteswissenschaften andererseits, die nicht mehr in der Lage sind, miteinander zu kommunizieren. Der Physiker Charles Percy Snow, der 1959 diesen Zustand diagnostizierte und beklagte, plädierte damals für eine Brücke, die zwischen beiden Wissenskulturen zu schlagen sei, um die global anstehenden Probleme zu lösen.²³

Die Ideale der Exaktheit, Berechenbarkeit und Objektivität, die im 19. Jahrhundert den Fortschritt und den Glauben an die Naturwissenschaften beflügelten, hat die Einstellung gegenüber den Naturwissenschaften nachhaltig geprägt. Die Instrumente und Medien, die wissenschaftliche Erkenntnisse generieren und kommunizieren, Teleskope, Mikroskope, Fotografie, haben dabei eine wesentliche Rolle gespielt. Nach wie vor genießen die Naturwissenschaften in der öffentlichen Meinung den Ruf, ihre Erkenntnisse objektiv sichtbar, nachvollziehbar, beweisbar machen zu können. Verlassen wir mit dieser Hypothese im Sinn nun das Zeitalter des analogen Bildes, das die Dinge, die wir im Fernsehen, auf der ersten Zei-

tungsseite oder in den diversen Wissensmagazinen sehen, wie Abbilder eine Realität präsentieren und ihren Betrachtern suggerieren, dass das, was dort gezeigt wird, so existiert oder stattgefunden hat.

4. Wissenschaftliche Bilder im digitalen Zeitalter

Wir befinden uns heute im digitalen Zeitalter der Wissensgenerierung, und entsprechend anders werden Bilder und das Wissen, das sie transportieren, gemacht. Heutige Bilder, die Naturwissenschaftler herstellen, sind visuell realisierte theoretische Modelle bzw. Datenverdichtungen. Ob die Dinge wirklich so aussehen, wie sie die Bilder zeigen, ob sie Abbilder der Natur sind, spielt für den Erkenntnisgewinn kaum noch oder nur eine Nebenrolle.²⁴ In dem erwähnten Züricher Symposium, in dem Naturwissenschaftler über die visuellen Strategien und über die aus Bildern gewonnenen Erkenntnisse ihrer jeweiligen Disziplinen referierten, sprachen die Biomedizintechniker Gérard Crelier und Thomas Järmann von der ETH Zürich über "Abbildung und Wahrnehmung von Denken" mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanzbildgebung, kurz fMRI genannt.²⁵

Um dieses Bildgebungsverfahren zu verstehen, ist es nötig, die physikalischen Vorgänge, die hier gemessen werden, kurz zu erläutern. Die Magnetresonanz (MR) macht sich das Dipolmoment der Wasserstoffatomkerne zunutze, die sich unter Einwirkung eines starken äußeren Magnetfeldes parallel zur Feldrichtung ausrichten. Sie erfahren dabei eine ständige Präzession um die Feldrichtung mit der sogenannten Larmorfrequenz. In einer Probe mit vielen Atomen entsteht dadurch ein makroskopisches Dipolmoment, definiert als Magnetisierung. Beim Anlegen eines Radiowellensimpulses, dessen Frequenz exakt mit der Larmorfrequenz der Kernmomente übereinstimmt, tritt ein Resonanzphänomen auf, das die Magnetisierung aus der Gleichge-

wichtslage auslenkt. Nach der Einwirkung eines solchen Pulses präzessiert ein Teil der Magnetisierung in einer Ebene senkrecht zum äußeren Feld und induziert in einer Empfängerspule ein Signal. Dieses Signal klingt wieder ab, weil sich infolge von Relaxationsvorgängen die Magnetisierung wieder in ihre Gleichgewichtslage, parallel zur äußeren Feldrichtung, ausrichtet. Die Relaxationsvorgänge sind von Zeitkonstanten im Bruchteil einer Sekunde geprägt, die von der molekularen Umgebung der Wasserstoffatome abhängig sind und somit die Materie, deren Resonanzsignale untersucht werden, charakterisieren. Felix Bloch und Edward Purcell haben für die Entdeckung dieses Magnetresonanz-Phänomens 1952 den Physik-Nobelpreis bekommen. MR war zunächst ein analytisches Werkzeug für Chemiker und Physiker, die chemische Strukturen untersuchen. 1973 modifizierte Paul Lauterbur einen MR-Spektrometer in der Weise, dass die Resonanzsignale räumlichen Koordinaten zugeordnet werden konnten. Das erste MR-(Schicht)-Bild war entstanden. Ein heutiges MR-Bild besteht typischerweise aus 512×512 Bildpunkten. Jeder Bildpunkt bildet ein Volumenelement von etwa 1 mm^3 einer virtuellen Schicht durch den menschlichen Körper ab, genauer, den Relaxationsgrad der Magnetisierung eines Volumenelements. Relaxiert das Volumenelement schnell, z.B. graue Hirnmaterie, wird der Bildpunkt hell eingefärbt, relaxiert das Gewebe langsam, etwa zerebrospinale Flüssigkeit, wird der Bildpunkt dunkel eingefärbt.

Seit den 80er-Jahren gibt es Kernspintomographen in den Krankenhäusern, die mit 1.5 Tesla, also etwa der 20.000-fachen Erdmagnetfeldstärke arbeiteten – heute sind es 6-7 Tesla. Insbesondere das Gehirn mit seiner weißen und grauen Materie, eingebettet in zerebrospinale Flüssigkeit und von zahlreichen Blutgefäßen durchdrungen, eignet sich besonders gut für MRImaging. Für die Darstellung der Hirnaktivität macht sich das MRImaging die Konzentration von Sauerstoff im Blut zunutze (Abb. 6). Das

Hirngewebe, das neuronal aktiv ist, weist sauerstoffreiches Blut auf. Gelingt es, die Sauerstoffkonzentration im Blut zu lokalisieren, so lassen Schwankungen derselben Rückschlüsse auf die neuronale Aktivität zu. Dass dies mit der MR-Methode möglich ist, wies Seiji Ogawa 1990 nach, indem er zeigte, dass sich sauerstoffreiches Hämoglobin in seinen magnetischen Eigenschaften vom sauerstoffarmen Hämoglobin unterscheidet. Ogawa erzeugte MR-Bilder, deren Kontrast u.a. vom Verhältnis der Konzentrationen von oxygeniertem und desoxygeniertem Hämoglobin abhing. Indem er die Aufnahmen in rascher Folge wiederholte und miteinander verglich, konnte er räumlich begrenzte Änderungen der Sauerstoffkonzentration im durchbluteten Nervengewebe ausmachen. Seine Bilder bildeten nicht nur die Morphologie des Gewebes ab, sondern wiesen auch die Aktivität des Nervengewebes nach. Dies bezeichnet man mit "funktioneller Magnetresonanz-Bildgebung" (fMRI).

Die fMRI-Methode versprach erstmalig nichtinvasiv und ohne Strahlenbelastung, die Gehirnaktivität am gesunden wie am kranken Menschen visualisieren zu können. Sie ist heute das expandierende Forschungsfeld der Medizintechnik mit dem Ziel, immer genauere Daten aus dem aktiven Gehirn zu bekommen. In der Grundlagenforschung wird fMRI für die Untersuchung aller denkbaren Hirnfunktionen eingesetzt wie des visuellen Systems, des motorischen Systems, der Sprachfunktion, des Gedächtnisses, des Geruchs- und Geschmackssinns, der Wirkung von Akupunktur etc. Gleichwohl, dies geben die mit der Entwicklung der fMRI befassten Biomedizintechniker zu, handelt es sich nicht um eine unfehlbare Technik, die "dem Gehirn auf Knopfdruck seine Geheimnisse entlockt".²⁶ Folgende Unwägbarkeiten sind mit fMRI verbunden:

1. Die Signalunterschiede, die die Änderung der Sauerstoffkonzentration im Blut auslösen, sind so klein, dass sie mit Hilfe statistischer Methoden detektiert werden müssen.

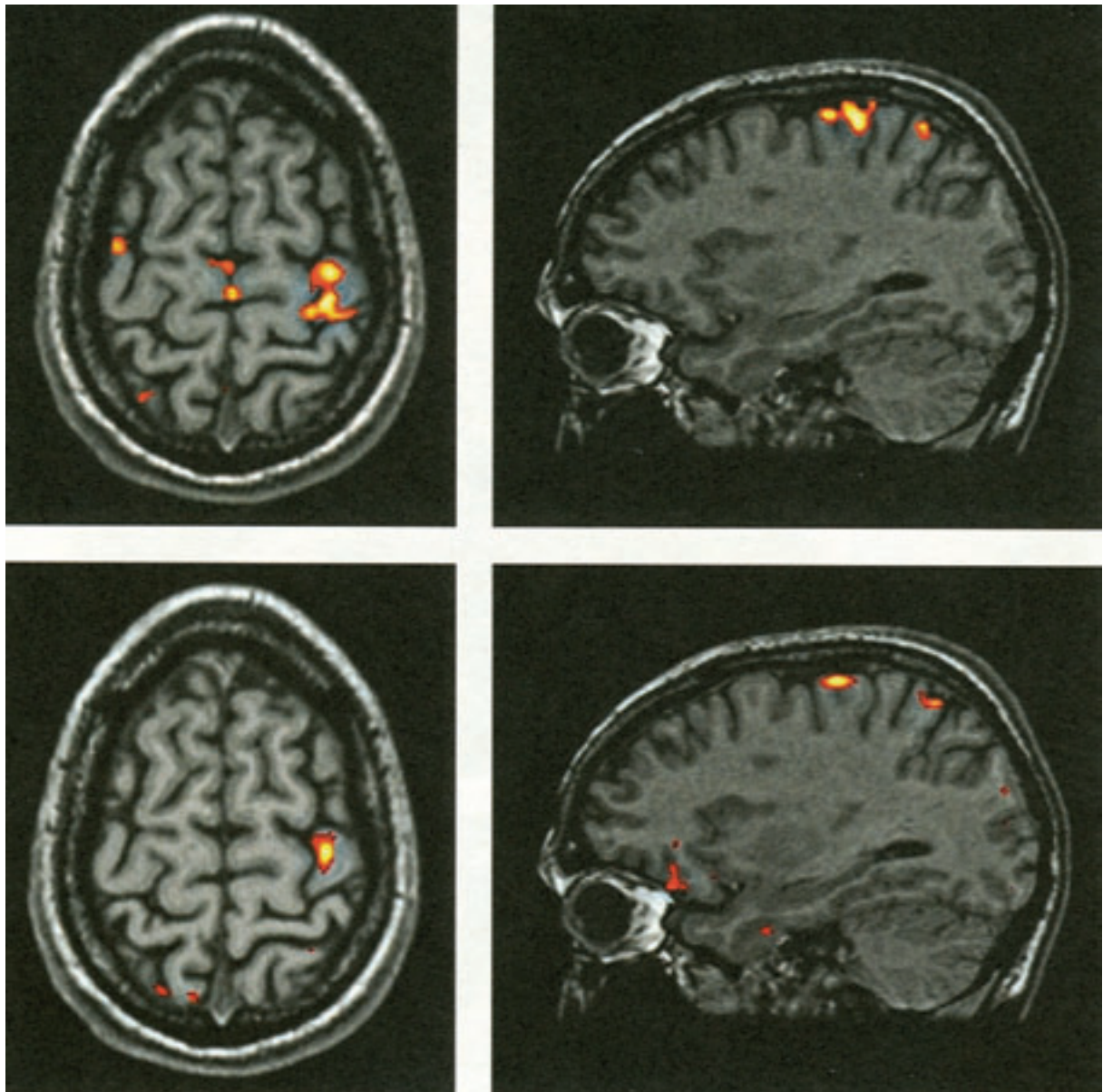


Abb. 6: Transversale und sagittale Schichtbilder des Gehirns mit farbig markierten aktiven Hirnregionen im Motor-Kortex

2. Deshalb ist das Resultat der Analyse auf Wahrscheinlichkeits-Aussagen begrenzt und nicht immer einfach zu deuten.

3. Inwiefern man direkt von der Änderung des Stoffwechsels auch wirklich auf neuronale Aktivität schließen darf, ist noch nicht restlos geklärt.

4. Die räumliche Ausdehnung der Hirnaktivität wird oft überschätzt, da der Blutfluss das zu messende Blut vom Ort des Geschehens in venöse Sammelgefäße wegschwemmt.

5. Das fMR-Bild entsteht im Gegensatz zur Fotografie oder Röntgentechnik aus mehreren hundert Einzelbildern, die mit Hilfe einer Software die eingehenden Daten errechnen, indem sie störende Daten herausfiltern und die mit Hilfe der Statistik erwarteten Daten verstärken.

Ein fMR-Bild ist somit niemals ein Abbild kortikaler Gehirnaktivierung.

Da man sich von der fMRI-Technik Daten über die Hirnfunktion etwa von Sprache

und Gedächtnis verspricht, müssen Experimente mit Probanden besonders sorgfältig angelegt werden. Es gilt dabei methodische und technische Schwierigkeiten zu überwinden. So darf sich der Proband in der Röhre des Kernspintomographen nicht bewegen; manchmal reichen Atem- und Schluckbewegungen des Probanden aus, um das Resultat zu verfälschen.

Besonders wichtig für die Grundlagenforschung ist der Vergleich der individuellen Gehirne, die sich naturgemäß eben nicht gleichen, sondern in Größe, Faltung und Furchung teilweise erheblich differieren. Auch hier dient eine Software dazu, die verschiedenen Gehirne "deckungsgleich" zu machen. Dazu wird das Gehirn virtuell als eine dehnbare Modelliermasse angesehen, um die Daten von einem auf das andere Gehirn zu übertragen.

Verlassen wir das Gebiet der Bildgebung in der neuesten Hirnforschung, das sehr eindrucksvoll die Differenzen zwischen analoger Fotografie und digitaler Bilderzeugung ohne fotografische Technik gezeigt hat. Mit dem Einsatz der Computertechnik haben sich die Methoden und Möglichkeiten der naturwissenschaftlichen Erkenntnis grundlegend geändert.²⁷ Seit der Mitte des 20. Jahrhunderts wird Objektivität nun nicht mehr mit der subjektfreien Messung und Aufzeichnung der Apparate gleichgesetzt, sondern der Wissenschaftler und seine Urteilskraft wieder in den Mittelpunkt gestellt.²⁸ Objektivität setzt heute einen Wissenschaftler voraus, der aus den erhobenen Daten das Wesentliche und Interessante herausfiltert und zugleich allem Zufälligen und Unnötigen keine Beachtung schenkt. Apparate können Bilder erzeugen, doch die Bilder "lesen" können nur speziell ausgebildete Wissenschaftler. Das die Erkenntnis bringende Wesentliche – von Wahrheit ist hier nicht länger die Rede – wird in den von den Aufzeichnungsgeräten gelieferten Daten gesucht. Dies erfordert Interpretation der Messdaten und gegebenenfalls auch

Eingriffe in die Parameter. Um aus digital aufgezeichneten Messdaten Bilder zu machen, braucht es das interpretierende Auge des Wissenschaftlers, der die Bilder modifiziert und optimiert, indem er die Information optisch hervorhebt. Die Rehabilitierung der menschlichen Urteilskraft, die interpretierend in die vom Computer erzeugten Daten eingreift, hat eine Debatte um die Differenz von maschineller und menschlicher Intelligenz ausgelöst.²⁹ Computer sind zwar fähig Schach zu spielen und komplexe Gleichungen zu lösen, können aber (noch) keine komplizierten Muster, geschweige denn Gesichter erkennen. Nicht die kalkulierende Intelligenz erweist sich somit als Sonderdomäne des Menschen, sondern jene basalen sinnlichen Fähigkeiten wie die spezielle Wahrnehmungsfähigkeit zur Erkennung von Mustern und Strukturen, die von keinem Computerprogramm erreicht wird. Somit scheint das Ideal, der Maschine nachzueifern, akkurat, mechanisch und emotionslos Daten zu erheben und auszuwerten, verabschiedet. Eine neue Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine, in der der Mensch wieder den aktiven Part übernimmt, hat sich heute durchgesetzt.

5. Künstlerische Bilder versus fMR-Bilder

Bildgenese, Bildpraktik und Bildfunktionen in den Naturwissenschaften, dies haben die hier vorgeführten Beispiele schlaglichtartig erhellt, sind äußerst vielfältig und hochkomplex. Für den Kunsthistoriker wird ihr Status besonders evident, wenn man sie mit Bildern der Kunst vergleicht. Funktionen wissenschaftlicher Bilder charakterisieren grundsätzlich, was der Kunsthistoriker und Philosoph Gottfried Boehm mit "Vollzugsorientiertheit" bezeichnet hat.³⁰ Wissenschaftliche Bilder dienen vor allem als Werkzeuge, mit denen gearbeitet wird. Über den Status ihrer Bilder nachzudenken, ist für die Wissenschaftler denn auch sinnlos.³¹ Von Interesse ist vielmehr, auf welche Weise die

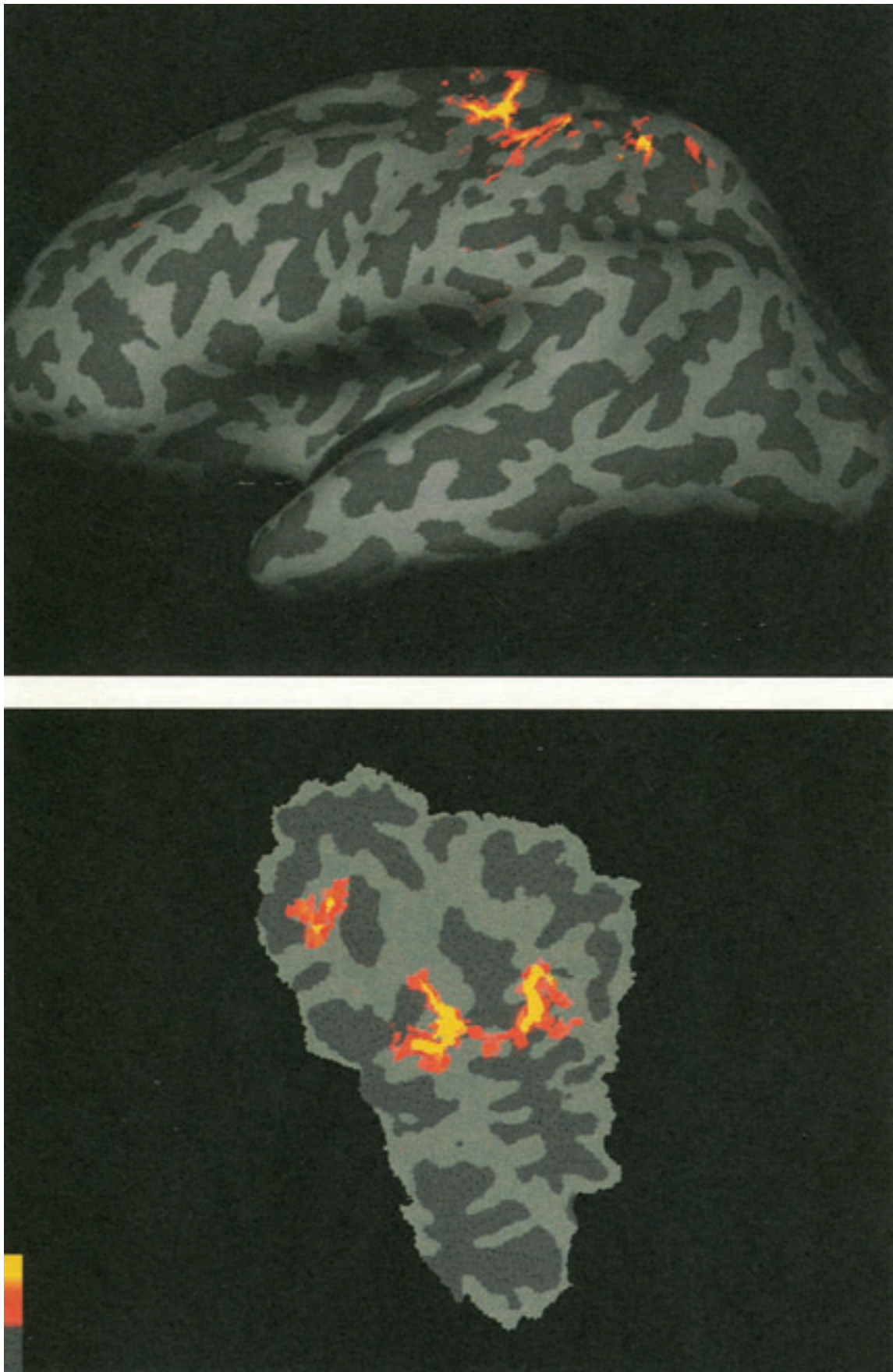


Abb. 7: FMRI-Design im "Camouflage"-Look

visuell repräsentierten Daten gewonnen werden, insbesondere die Parameter der maschinellen Versuchsanordnung und der Software. Das künstlerische Bild hingegen kennzeichnet Selbstreferenzialität, d.h. es zeigt nicht nur, was es abbildet, sondern macht das Bildhafte des Bildes zu seinem eigenen Thema. Somit zeigt das Kunst-Bild, dass es zeigt und wie es zeigt. In der Selbst-reflexivität künstlerischer Bilder liegt auch die Erkenntnis, dass jedes Bild, indem es etwas zeigt, etwas anderes verdeckt oder verbirgt.

Wir haben am Beispiel der fMRI gesehen, dass die Bilder, mit denen die Hirnforschung derzeit arbeitet, visualisierte Daten sind, die von den Algorithmen einer sich ständig in der Entwicklung befindenden Software errechnet werden. Im Zusammenspiel von Messdaten und Software entsteht das Bild als ein funktionales Modell, das Wissen generiert, um es operierbar und kommunizierbar zu machen. Ob die visualisierten Daten brauchbar im Sinne der Forschung sind, zeigt sich, wenn die scientific community sie akzeptiert bzw. legitimiert: Die Bilder unterliegen, wie alle anderen wissenschaftlichen Ergebnisse auch, dem strengen Urteil des peer review. Das fMR-Image zeigt etwas und es unterdrückt störende Daten, um die relevanten Daten deutlich sichtbarer zu machen. Während künstlerische Bilder diesen Umstand reflektieren und thematisieren, ist das Sichtbarmachen und Zeigen die einzige Funktion des wissenschaftlichen Bildes.

Aber auch die visuelle Qualität des wissenschaftlichen Bildes wird gerade im computergenerierten Bild immer wichtiger, wie etwa das Beispiel der Stammzelle im Nadelöhr zeigt. Auch das Design des fMR-Image hat zuweilen klar zu bestimmende ästhetische Qualitäten. Sie dienen durchaus nicht nur zur Verdeutlichung, sondern der Verschönerung der visualisierten Messwerte, wobei der ästhetische Mehrwert nicht primär, sondern sekundär bzw. ein Überschuss

des Bildes ist, der sich der Zielgruppe vielleicht nur subliminal mitteilt. Dies wird am folgenden Beispiel deutlich gemacht, wenn man bemerkt, dass sich der Computergrafiker bei der Farbgestaltung in Abb. 6 des von Crelier und Järman verfassten Beitrags zum fMR-Image offensichtlich am Camouflage-Design der Kampfanzüge amerikanischer GIs orientiert hat (vgl. Abb. 7).³² Die Idee, die hinter diesem Design steht, ist leicht durchschaubar und vielleicht witzig gemeint. Die Faltung und Furchung des Gehirns, das hat der Designer bemerkt, gleicht den Camouflage-Mustern, weshalb er sie in Militärgrün eingefärbt hat. Dies passt nun zum sogenannten "Feuer" der Neuronen, dessen unterschiedliche Intensität üblicherweise in rot und gelb, in der "Heißfarbenskala", visualisiert werden. "Ästhetische Argumente für die Farbwahl spielen dabei wohl weniger eine Rolle, vielmehr die Überlegung, wie man Informationen am übersichtlichsten darstellen kann", kommentieren Crelier und Järman die gelb-rote Farbgebung der fMR-Bilder, ohne bemerkt zu haben, dass offensichtlich das metaphorische "Feuer" der Neuronen die Bildgebung geleitet hat.³³ Das vorliegende Bild überschreitet somit seine Funktion, nur einem wissenschaftlichen Erkenntniszweck zu dienen. Eine zweite Codierung gibt den nackten Messdaten einen militärischen Look, der die feuernden Neuronen symbolisiert. Die Messdaten wurden ästhetisiert, visuell attraktiv gemacht und semantisch mit einem gewissen Witz versehen. Dies lässt darauf schließen, dass man mit dem Design der fMR-Bilder durchaus auch andere Interessen als allein die der wissenschaftlichen Kommunikation verfolgen kann.

Ich habe darauf hingewiesen, dass wir uns vom analogen Bild, das eine Wirklichkeit abbildet, im digitalen Zeitalter verabschiedet haben. Den auf dem analogen Zugang zur Natur gründenden Wissenschaften entsprachen die optischen Instrumente – Teleskop und Mikroskop und die Fotografie, die das mikroskopische bzw. teleskopische Bild

fixierte, reproduzierte und damit kommunizierbar machte. Der fotografische Index fungierte dabei als Referenz- und Objektivitätsgarant: Die Gleichung von Realität und Abbild, die der Fotografie kraft ihrer physikalisch-chemischen Bildtechnik zugesprochen wurde (und die für einen "naiven" Bildbetrachter heute noch Gültigkeit besitzt), begründete nicht nur das naturwissenschaftliche Weltbild.³⁴ Mit der digitalen Bildgenerierung, dies geben Medienwissenschaftler zu bedenken, ist das Bild spurenlos geworden. Die Referenz auf sichtbare und damit nachprüfbare Wirklichkeit ist den computergenerierten Bildern entzogen. Die Abbildfunktion der Bilder ist für die heutigen Forscher der Life Sciences wie bereits vorher schon angesprochen ohne Belang. Es geht heute, etwa in der Nanotechnologie, darum, Bilder als Werkzeuge bei der Herstellung von Nanogeräten in Atomgröße zu verwenden.³⁵

Gleichwohl können und sollen digitale Bilder wie Fotografien aussehen, ohne eine Fotografie im Sinne einer optisch-mechanischen Herstellung zu sein. Der fotografische "Look" digitaler Bilder spielt dann mit dem indexikalischen Status analoger Fotografie und macht sich damit dessen Referenz- und Beweischarakter in trügerischer Weise zu Eigen. Wie eine Maske verbirgt das sogenannte post-fotografische Bild seinen Referenten, nämlich die Messdaten und Algorithmen seiner Bildgenerierung. Insofern entsprechen sich heutige digitale Bildtechnik und die wieder auf das einzelne Subjekt gründende Erkenntnis der Lebenswissenschaften – wie es zur Zeit von Leonardo oder Sibylla Merian vor dem fotografischen Zeitalter der Fall war: "Offensichtlich sind weder die Muster noch ihre Erkennung absolute Wahrheiten. Und doch haben sie etwas mit Wirklichkeit zu tun", kommentiert der Astrophysiker Arnold Benz die in seiner Wissenschaft verwendeten Radiospektrogramme.³⁶

Ein schönes Beispiel für den fotografischen "look" computergenerierter Bilder sind die

Bilder der Venus, die aus den Daten der zwischen 1990 und 1994 um den Planeten kreisenden Raumsonde Magellan gewonnen wurden (Abb. 8).³⁷ Das Bild zeigt die tätigen Vulkane der glühenden Venus als großartiges Landschafts-Panorama. Man könnte annehmen, dass sie aus der vertrauten Perspektive eines Düsenflugzeugs aus zirka 10.000 Meter Höhe aufgenommen wurden. Quasi als Augenzeugen sehen wir das Foto unseres Schwesterplaneten, dessen feuriges Rot der Göttin, die ihm den Namen gab, alle Ehre macht. In Wahrheit konnte kein Lichtstrahl im Bereich des sichtbaren Spektrums die wolkenverhangene Atmosphäre der Venus durchdringen. Die Visualisierung geschah mit Hilfe von Mikrowellen und der SAR-Technik. Von der Raumsonde wurden Radarimpulse seitwärts schräg nach unten zur Planetenoberfläche gesendet. Eine Antenne registrierte die reflektierten Strahlen. Das Bild, das aus diesen Daten gewonnen werden konnte, war zweidimensional: Die eine Dimension ergab sich aus der Bewegungsrichtung des Radarimpulses, die andere aus der dazu senkrechten Bewegungsrichtung des Senders und Empfängers. Die Position eines mit dem Radar erfassten Oberflächenpunktes errechnete sich aus zwei Informationen: der Laufzeitmessung eines Impulses vom Senden bis zum Empfangen und der Frequenzänderung (Doppler-Verschiebung) des Impulses zwischen Senden und Empfangen. Die Auflösung des Magellan-Radars war so hoch, dass noch Strukturen von nur 120 m Durchmesser unterschieden werden konnten. Um Reliefkarten zu ermöglichen, wurden mit einem weiteren Gerät Höhenmessungen vorgenommen. Bei den diversen Umlaufzyklen der Raumsonde wurde der Einfallswinkel des SAR immer wieder leicht verändert, so dass die aus den verschiedenen Einfallswinkeln gewonnenen Messdaten dreidimensionale Ansichten errechnen konnten. Gemessen an unseren Seherfahrungen und der mit sichtbarem Licht arbeitenden Fotografie liefert diese "Mikrowellen-Grafie" ganz andere als die gewohnten Effekte. Stark

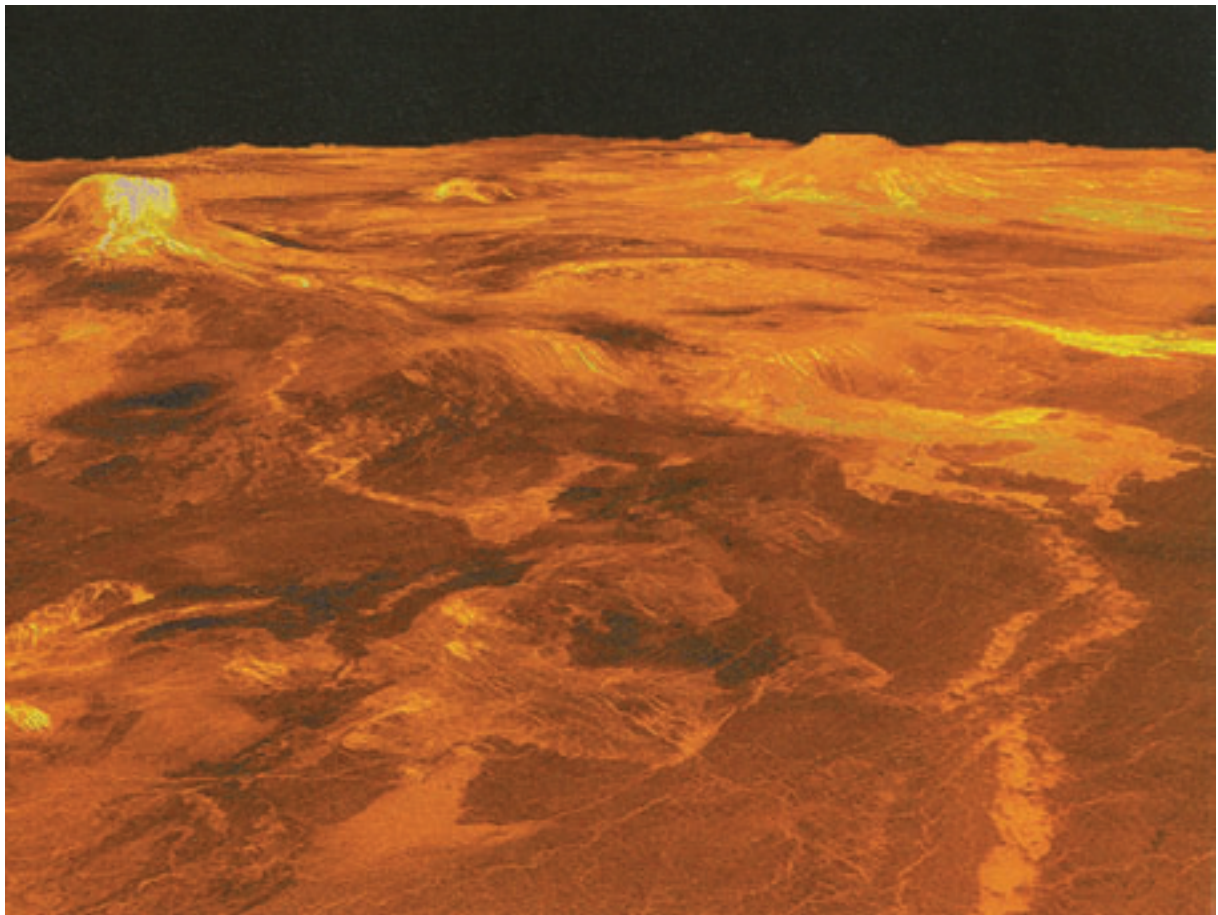


Abb. 8: Nasa, Perspektivische Ansicht der Vulkane in der westlichen Eistla Regio auf der Venus, konstruiert von der Raumsonde Magellan, 1991

reflektierende Oberflächen schicken zum seitlich positionierten Sender-Empfänger nur wenige oder gar keine Radarstrahlen zurück und erscheinen daher dunkel, während sie unter irdischen Lichtverhältnissen vom Auge als hell und glänzend wahrgenommen werden. Die stärksten Eingriffe erfuhren die Messdaten hinsichtlich der Kolorierung und der grundsätzlichen Entscheidung, ein Panoramabild nach den Gesetzen der Perspektive zu erhalten. Im Fall der Venus war die rote Einfärbung des Panoramas vom rötlichen Schein des Planeten am Abend- bzw. Morgenhimmels als Voreinstellung gegeben. Das SAR generierte Venus-Bild ist also letztlich so künstlich wie ein Gemälde, und wie Gemälde wurden die Bilder der Magellan-Mission als Meisterwerke galaktischer Landschaftsmalerei in Kunst-

galerien ausgestellt und gehandelt. Diese Bilder dienen offensichtlich weniger dem wissenschaftlichen Zweck als vielmehr dem Verlangen, unbekannte Welten – wenn auch fiktiv – sichtbar zu machen. Und dieses Verlangen verschlingt gewaltige Geldsummen, was der Öffentlichkeit nur über spektakuläre Resultate vermittelt werden kann. Bilder wie die der Venus oder des Mars suggerieren ihren Betrachtern, die stellaren Forschungsreisen als Augenzeuge begleiten zu können. Der galaktische Raum dient dem Genuss eines erhabenen ästhetischen Schauspiels.

Ästhetische Kriterien – dies ließe sich an vielen anderen Bildbeispielen aus der Wissenschaft belegen –, Vorbilder aus der Kunst, Sehgewohnheiten, Intuition und Phantasie

spielen eine wichtige Rolle bei der Bildgenerierung aus Messdaten. Offensichtlich ist es angenehmer mit schönen Bildern zu arbeiten, zumal sich die aus ihnen gewonnen Erkenntnisse in der Öffentlichkeit leichter verkaufen lassen.

6. Bildkompetenz im digitalen Zeitalter

Der Anspruch wissenschaftlicher Bilder, wie der Astrophysiker Arnold Benz es ausdrückt, "etwas mit der Wirklichkeit zu tun zu haben", trifft ins Zentrum der hier gestellten Frage nach dem Bildstatus und der epistemischen Funktion wissenschaftlicher Bilder. Die Bilder sind Zeichen in einem bestimmten Referenzfeld und zugleich Schauplatz, auf dem sich Wissenschaft quasi parallel zur Wirklichkeit ereignet. Im digitalen Zeitalter der Wissensgenerierung geht es nicht mehr um harte, greifbare Fakten – kurz um eine positivistische, auf harten Fakten basierenden Einstellung zur Welt. Unser digital generiertes Weltbild resultiert vielmehr aus Modellen und Realitätseffekten, die den Charakter des Wahrscheinlichen haben sollen. Wissenschaft arbeitet heute parallel zur Realität mit Modellen und Repräsentationen verschiedenster Art, die sich gegenseitig bedingen und vorantreiben. Wissenschaftliche Erkenntnis entsteht somit

aus einer Abfolge von Transformationen und Verkettungen. Eine "Repräsentationskette", so der Wissenschaftshistoriker Hans-Jörg Rheinberger, "[kommt] nicht zu einem natürlichen Ende. Der Prozess des Analogisierens, Modellierens und Repräsentierens verläuft nicht von einer Erscheinung zum Wesen, von der Repräsentation zum Repräsentierten, von der Oberfläche in die Tiefe. Er konstruiert sich vielmehr horizontal, als laterales Oszillieren zwischen verschiedenen Repräsentationsräumen: als Vergleichung, Verschiebung, Marginalisierung, Hybridisierung und Pfropfung verschiedener Repräsentationsformen mit- und gegeneinander, die sich verschiedenen Vorgehensweisen in einem offenen Bezirk der Forschung verdanken."³⁸

Abbildungsnachweise

Fischer, Ernst Peter: Das Genom, Frankfurt a.M. 2002, Abb.2, 3.

Kemp, Martin: Bilderwissen. Die Anschaulichkeit naturwissenschaftlicher Phänomene, Köln 2003, Abb.5, 8.

Heintze, Bettina/Huber, Jörg (Hrsg.): Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten, Wien/New York 2001, Abb.1, 6, 7.

Anmerkungen

- ¹ Gottfried Boehm führt im Anschluss an Hans-Georg Gadamer die Dichotomie der schwachen und starken Bilder aus. Demnach sind Abbilder der Inbegriff "schwacher Bilder". "Die Logik dieser Bilder besteht in einer Selbstverleugnung, im Bestreben, sich ganz anzugleichen, die Haltung einer Sachhaltigkeit einzunehmen, der man allein angemessene und richtige Informationen zutraut. [...] Die so gearteten technischen Bilder sind mithin ganz schwache Bilder." Dagegen definiert Boehm: "Starke Bilder sind solche, die Stoffwechsel mit der Wirklichkeit betreiben [...]. Es ist diese Interferenz von Darstellung und Dargestelltem, die als kategoriale Umschreibung des Bildes in seiner verkürzten Mächtigkeit gesehen werden darf. In der Nichtunterscheidung partizipieren wir an beidem: einer ästhetischen Perfektion und einer inhaltlichen Evidenz. Stark sind solche Bilder, weil sie uns an der Wirklichkeit etwas sichtbar machen, das wir ohne sie nie erführen." Boehm, Gottfried: Zuwachs an Sein. Hermeneutische Reflexion und bildenden Kunst, in: Die Moderne und die Grenze der Vergegenständlichung, hrsg. von Hans-Georg Gadamer und Hans Belting, München 1996, S.95-125, hier S.100f. und 106.
- ² Ich beziehe mich im Folgenden auf die Einführung des Konstanzer Wissenschaftshistorikers Fischer, Ernst Peter: Das Genom, Frankfurt a.M. 2002, S.30ff.
- ³ Es handelt sich dabei um Fragen, die eine Diskussion in Gang setzen sollen und keineswegs den Anspruch haben, hier erschöpfend beantwortet zu werden.
- ⁴ Fischer: Das Genom, S.37ff.
- ⁵ Boehm: Zuwachs an Sein.
- ⁶ Fischer: Das Genom, S.4ff.; zum Folgenden auch Folkers, Gerd: Architektur und Eigenschaften der Moleküle des Lebens, in: Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten, hrsg. von Bettina Heintz und Jörg Huber, Zürich u.a. 2001, S.159-172, hier S.163f.
- ⁷ "It has not escaped our notice that the specific pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material." Watson, James D./Crick, Francis H.: Molecular structure of deoxyribose nucleic acid, in: Nature 171/1953, S.737-738.
- ⁸ <http://www.focus.de>
- ⁹ Siehe zum iconic turn in den Lebenswissenschaften die diversen Beiträge in: Iconic turn. Die neue Macht der Bilder, hrsg. von Christa Maar und Hubert Burda, Köln 2004.
- ¹⁰ Zu nennen sind hier vor allem die herausragenden Arbeiten der Wissenschaftshistoriker Peter Galison, Lorraine Daston, Hans-Jörg Rheinberger sowie der Kunsthistorikerin Barbara Maria Stafford.
- ¹¹ Heintz/Huber: Mit dem Auge denken.
- ¹² Ich beziehe mich im Folgenden auf Kemp, Martin: Bilderwissen. Die Anschaulichkeit naturwissenschaftlicher Phänomene, Köln 2003 (Oxford 2000), S.74-79.
- ¹³ Zum Terminus "Naturwahrheit", der die wissenschaftlichen Repräsentationen bis in das 19.Jh. prägte, siehe Daston, Lorraine/Galison, Peter: Objektivität, Frankfurt a.M. 2007, S.59-119.
- ¹⁴ Daston/Galison: Objektivität; siehe zum Folgenden auch die Einführung in den Tagungsband von Heintz, Bettina/Huber, Jörg: Der verführerische Blick. Formen und Folgen wissenschaftlicher Visualisierungsstrategien, in: Heintz/Huber: Mit dem Auge denken, S.9-40.
- ¹⁵ Kemp: Bilderwissen, S.66-68; Bredekamp, Horst: Galilei der Künstler. Der Mond. Die Sonne. Die Hand, Berlin 2007.
- ¹⁶ Kemp: Bilderwissen, S.97-99.
- ¹⁷ Siehe zum Begriff der "mechanischen Objektivität" und zur Rolle der Fotografie im Kontext der wissenschaftlichen Bilderzeugung und -funktion Daston/Galison: Objektivität, S.121-200.
- ¹⁸ Siehe hierzu grundlegend Dubois, Philippe: Der fotografische Akt. Versuch über ein theoretisches Dispositiv, Amsterdam/Dresden 1998, S.29-57.
- ¹⁹ Kutschmann, Werner: Der Naturwissenschaftler und sein Körper. Die Rolle der "Inneren Natur" in der experimentellen Naturwissenschaft der frühen Neuzeit, Frankfurt a.M. 1986.
- ²⁰ Daston, Lorraine/Galison, Peter: The Image of Objectivity, in: Representations 40/1992, S.81-128; ausführlich Daston/Galison: Objektivität.
- ²¹ Baudelaire, Charles: Der Salon von 1859. Briefe an den Herrn Direktor der Revue Française, in: Ders.: Sämtliche Werke/Briefe, hrsg. von F. Kemp und C. Pichois, Bd.5, München 1989, S.127-212, hier S.137.
- ²² Daston, Lorraine: Fear and Loathing of the Imagination in Science, in: Deadalus 1998, S.73-93.
- ²³ Snow, Charles Percy: Die zwei Kulturen: Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz, Stuttgart 1967.

- 24 Heintz/Huber: Der verführerische Blick. Formen und Folgen wissenschaftlicher Visualisierungsstrategien, in: Mit dem Auge denken, S.9.
- 25 Ich beziehe mich bei den folgenden Ausführungen zum fMR-Imaging auf Crelier, Gérard/Järmann, Thomas: Abbildung von Wahrnehmung und Denken. Die funktionelle Magnetresonanztomographie in der Hirnforschung, in: Mit dem Auge denken, S.95-108.
- 26 Crelier/Järmann: Abbildung von Wahrnehmung und Denken. Die funktionelle Magnetresonanztomographie in der Hirnforschung, in: Mit dem Auge denken, S.102.
- 27 Heintz/Huber: Mit dem Auge denken, S.20ff.
- 28 Daston/Galison: Objektivität, S.327-383; siehe zum Folgenden auch Heintz/Huber: Der verführerische Blick. Formen und Folgen wissenschaftlicher Visualisierungsstrategien, in: Mit dem Auge denken, S.20ff.
- 29 Heintz, Bettina: "Papiermaschinen": Die soziale Voraussetzungen maschineller Intelligenz, in: Soziologie und künstliche Intelligenz, hrsg. von Werner Rammert, Frankfurt a.M. 1995, S.37-64.
- 30 Boehm, Gottfried: Zwischen Auge und Hand. Bilder als Instrumente der Erkenntnis, in: Heintz/Huber: Mit dem Auge denken, S.43-54.
- 31 Siehe zum Folgenden Heintz/Huber: Der verführerische Blick. Formen und Folgen wissenschaftlicher Visualisierungsstrategien, in: Mit dem Auge denken, S.28.
- 32 Crelier/Järmann: Abbildung von Wahrnehmung und Denken. Die funktionelle Magnetresonanztomographie in der Hirnforschung, in: Mit dem Auge denken, S.105.
- 33 Ebd., S.107.
- 34 Daston/Galison: Objektivität.
- 35 Daston/Galison: Objektivität, S.407ff.
- 36 Benz, Arnold: Das Bild als Bühne der Mustererkennung. Ein Beispiel aus der Astrophysik, in: Heintz/Huber: Mit dem Auge denken, S.65-78, hier S.76f.
- 37 Kemp: Bilderwissen, S.211-213.
- 38 Rheinberger, Hans-Jörg: Von der Zelle zum Gen: Repräsentationen der Molekularbiologie, in: Räume des Wissens: Repräsentation, Codierung, Spur, von Hans-Jörg Rheinberger, Michael Hagner, Bettina Wähg-Schmidt, Berlin 1997, S.272.

Mit Bildern lernen – in Bildern denken

Ernst Wagner

"Immer mehr Bilder, immer weniger Inhalte!" ist ein beliebter Seufzer von Kollegen beim Aufreißen der Plastikverschweißungen der jeweils nächsten Schulbuchgeneration. Und in der Tat: Die Anzahl von Bildern in den Schulbüchern ist seit den 60er-Jahren stetig gestiegen, in Deutschland wie international.¹ Das ist Anzeichen sowohl eines allgemeinen kulturellen Wandels (z.B. Bilderflut) wie auch einer veränderten, an die Zeit angepassten Didaktik, die den Stellenwert des Bildes für Lernprozesse nicht nur betont, sondern auch mit den aktuellen Erkenntnissen der Hirnforschung begründet. Und ein weiterer, vielleicht entscheidender Grund kommt hinzu, der "Evidenzcharakter" von Bildern – also ihre scheinbare "Natürlichkeit", Eingängigkeit und unmittelbare Plausibilität für den Betrachter. Wir sind Bildern gegenüber weit aus "leichtgläubiger" als Texten gegenüber – und das umso mehr, je besser, d.h. ästhetisch ansprechender sie gestaltet sind. "Seeing is believing. Most people believe that pictures tell the truth."² Selbst bei "bildaufgeklärten", bildkritischen Menschen lässt sich der Evidenzcharakter nicht einfach außer Kraft setzen, da unser Bilderglaube auf anthropologisch bedingten Wahrnehmungsstrukturen basiert, die wir einer Kritik unterziehen, aber nicht beliebig verändern können.

Aus dieser besonderen Qualität der an sich wertneutralen Bilder ergibt sich ja auch die Forderung nach einer besonderen Bildkompetenz sowie nach der pädagogischen Verantwortung der Lehrer, Schulbuchautoren und Medienproduzenten. Bilddidaktik ist somit eine anspruchsvolle, faszinierende, weitreichende und nicht zuletzt unumgängliche Aufgabe.

Der vorliegende Aufsatz reflektiert den Diskussionsstand, der auf drei Tagungen des ISB, Abt. Gymnasium, zusammen mit dem Humanwissenschaftlichen Zentrum der LMU und der Hanns-Seidel-Stiftung erarbeitet wurde. Er versteht sich als ein Beitrag zur weitgehend noch ausstehenden Reflexion des didaktischen Einsatzes von Bildern, die hier auf den Bereich der Bilder in didaktischen Kontexten, d.h. der Bilder, die das fachspezifische schulische Lernen in den einzelnen Gebieten unterstützen, eingeengt sein soll. Zum einen fehlt noch immer – trotz verstärkter bildorientierter Ansätze in den Einzelwissenschaften – eine umfassende, zuverlässige und konsensfähige bildwissenschaftliche Forschung und Theoriebildung, die eine notwendige Grundlage jeder Bilddidaktik sein muss. Zum anderen fehlt eine Unterrichtsforschung, die den Einsatz und die Wirksamkeit von Bildern in der Unterrichtspraxis empirisch erfassen und beschreiben könnte: Wie lernen Schüler mit Bildern? Was lernen Schüler mehr und anders, wenn sie mit Bildern und durch Bilder lernen? Wie erwerben Schüler rezeptive und produktive Bildkompetenz? Angesichts der Relevanz von Bildern für Lernprozesse aller Art kann dieses Defizit nur verwundern. Denn klar ist: "Illustrations are extremely important. They are often what first catch the student's eye and the last things he forgets from his schooldays."³ Gründe genug, sich mit dem Thema auseinanderzusetzen.

1. Arbeitsdefinition des Bildbegriffs und Funktionen der Bilder

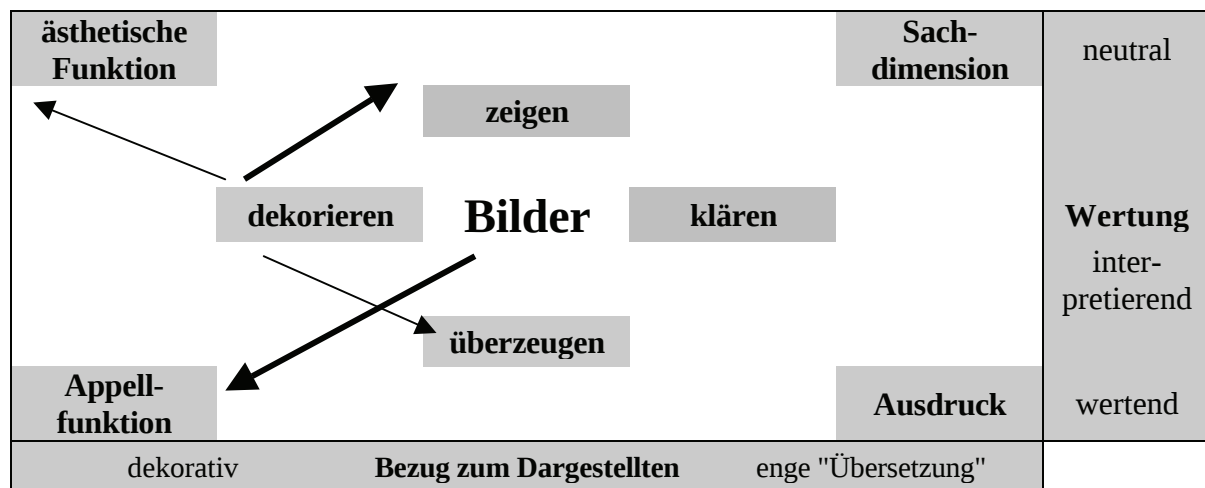
Im Folgenden soll es ausschließlich um "reale", äußere Bilder (pictures, nicht images)

gehen. Diese weisen im didaktischen Kontext Ähnlichkeit, mimetischen Bezug zu einem Abgebildeten auf. Bilder sind also materielle Zeichen, die dem durch sie Repräsentierten ähnlich sind. Diese Definition lässt z.B. Strukturskizzen oder Prozessabbildungen zu, nicht jedoch etwa Kunstwerke, es sei denn, sie werden für Illustrationszwecke instrumentalisiert. Auch die Bilder, die Schüler herstellen, um sich selbst auszudrücken, sind nicht gemeint. Worauf diese Untersuchung zielt, ist vielleicht am besten mit dem Begriff "Funktionsbilder" zu umschreiben. Diese Funktionsbilder sind letztlich nicht selbst "Gegenstand" des Unterrichts, sondern begleiten und unterstützen ihn funktional, ohne ihre "Bildhaftigkeit" im Lernprozess explizit zu thematisieren

(z.B. Tafelbilder, Strukturskizzen, Illustrationen etc.). Bilder in diesem Sinne sind zunächst einmal visuelle Konfigurationen in der Fläche, dann sind sie Zeichen und stellen "etwas" dar, schließlich haben sie immer auch "klärende" Anteile. Dabei können sie das Dargestellte nur spezifisch und selektiv darstellen.

Die Funktionen von Bildern im Unterricht sind vielleicht am besten mit einem Begriffsfeld zu klären, das von zwei Dimensionen aufgespannt ist, zum einen dem Grad der inhaltlichen Stellungnahme und Bewertung, zum anderen der Art und Intensität des Bezugs zum dargestellten Thema, d.h. des Grads der Ähnlichkeit von repräsentiertem und repräsentierendem Bild.

		dokumentieren			neutral
		führen vor	geben ein Beispiel		
	erleichtern das Lernen	weisen hin	konkretisieren	sind Quelle	
erfreuen	illustrieren	zeigen	machen Abstrakta anschaulich	verdeutlichen	
erzeugen Abwechslung	schmücken aus			ordnen	
unterhalten	dekoriern	Bilder	klären	gewähren Überblick	Wertung
reizen	erregen Auf- merksamkeit		stellen Zusammen- hänge her	fassen zusammen	
		überzeugen	erklären	zeigen Zusammen- hänge	inter- pretierend
		kommentieren	vermitteln	übersetzen	
	legitimieren	stiften Sinn			
	bilden Meinung	argumentieren			
	verführen	überreden			wertend
dekorativ äußerlicher Bezug		Bezug zum Dargestellten	enge "Übersetzung"		



Bezieht man dieses Schema auf die Dimensionen von Zeichen- bzw. Sprachfunktionen nach R. Jakobson, können die Dimensionen Sache / Ausdruck / Appell / ästhetische Funktion den Ecken des Diagramms zugeordnet werden.

Zeigen / Klären wären der Sachdimension zuzuordnen, hier steht jeweils das durch das Bild Abgebildete / Bezeichnete im Vordergrund. Überzeugen / Dekorieren entspräche der Appellfunktion, wobei Dekorieren eine Akzentuierung der ästhetischen Funktion (bei Jakobson dadurch definiert, dass hier das Zeichensystem auf sich selbst bezieht – siehe vorher Ausschluss der Kunst) beinhaltet. Die Ausdrucksfunktion würde im didaktischen Kontext nicht das Bild als Selbstaussdruck eines Subjekts fassen, sondern als überzeugende Interpretation, als pointierte Vertretung des Sachverhaltes.

Jedes einzelne Bild, wenn es didaktisch sinnvoll ist, hat dabei immer – und das ist m.E. entscheidend – Anteile an jeder der vier Hauptfunktionen (Zeigen, Klären, Überzeugen und Dekorieren) in jeweils unterschiedlicher Gewichtung. In jeder konkreten "Bild-Äußerung" und "Bild-Verwendung" sind immer alle Funktionen mehr oder weniger enthalten – bei unterschiedlicher Dominanz der Funktionen. Bilder illustrieren ja auch nicht einfach Daten, sie modellieren (oder interpretieren) sie immer auch zugleich. Diese Verschränkung auch

widersprüchlicher Tendenzen ist charakteristisch für Bilder, ebenso wie sie z.B. gleichzeitig emotionale und sachliche Botschaften vermitteln. Die jeweilige Mischung ist für jede einzelne Bild-Inhalt-Relation spezifisch, sei es, dass sie ein Phänomen aus innen heraus erklärt oder dass sie dieses Phänomen in bestimmte Kontexte stellt. Lehrende Bilder umfassen deshalb ein breites Repertoire.⁴

Von hier aus wäre dann wieder zu fragen, ob bestimmte dieser Funktionen mit einer spezifischen Wertigkeit für die Didaktik korrelieren oder ob eher zu sagen wäre, dass man als Didaktiker durch die vorgeschlagene Lesart ein Instrumentarium hat, selbst in der Planung zu klären, welche Dimensionen jeweils bei der Verwendung von Bildern dominant gesetzt ist und entsprechend von den Schülern aktualisiert / gelernt werden soll.

Umgekehrt wäre dann z.B. zu klären, ob und in welchen Fächern bestimmte Funktionen besonders zur Geltung kommen, wenn etwa im Kunstunterricht eher die Ausdrucks- und die ästhetische Funktion von Bildern didaktisch bearbeitet wird, in Informatik v.a. die Sachdimension oder in Deutsch – etwa bei einer Sequenz zur Werbung – die Appellfunktion. Ein guter "Bildunterricht" ist sich demnach darüber im Klaren, welche Funktionen jeweils dominant sind und wie das richtige Mischungsverhältnis auszusehen hat.

2. Das Angebot der Lehrmittel-industrie in der Praxis

Bilder stehen darüber hinaus immer in Kontexten, die einen erheblichen Einfluss

auf die jeweilige Funktionsmischung haben. Dazu gehören der Unterrichtseinsatz sowie die spezifische mediale Verfasstheit der Bilder. Sie werden in vielfältigen Zusammenhängen und Schulmedien eingesetzt.

Medium	Rezeptionssituation
Vom Verlag produzierte Bücher (klassische Schulbücher, fachdidaktische Werke und solche des sogenannten Nachmittagsmarktes), Atlanten	verteilt auf den Tischen der Schüler
Vom Lehrer erstellte Fotokopien, häufig von Comics, Karikaturen, Zeitungsausschnitte, Fotos	verteilt auf den Tischen der Schüler
OH-Folien, Dia (-serien) – selbst erstellt oder bei Verlagen gekauft; digitale Präsentationen, Filme	an die (Projektions-)Wand temporär projiziert
Wandkarten, Poster, Bildtafeln zum Aufhängen an der Wand	an der Wand/Kartenständer dauerhaft oder temporär
Modelle, Tierpräparate ⁵	vom Lehrer demonstriert
Versuchsaufbauten	vom Lehrer demonstriert
Interaktive Medien, online wie offline	am individuellen Computerarbeitsplatz
Inszenierungen in schulinternen Schaukästen, Ausstellungen	meist außerhalb konkreter Vermittlungszusammenhänge

Drei Aspekte scheinen in diesem Zusammenhang noch besonders erwähnenswert:

1. Die Illustrationsmedien selbst, d.h. alle Medien vom Buch bis zur digitalen Präsentation, arbeiten auch dort bildlich, wo es dem Rezipienten zunächst gar nicht auffällt, nämlich in ihrer Art der Informationsorganisation, etwa durch Gliederung und Layout, d.h. in allen Aspekten, die das jeweilige "Kommunikationsdesign" betreffen.⁶

2. Bilder werden im schulischen Kontext nahezu immer in Kombination mit Sprache eingesetzt, sei es als schriftlicher Text (Bildlegenden, Kommentare, Begleittext) oder als gesprochenes Wort (Kommentie-

rung durch Lehrer wie Schüler im Unterrichtsvortrag, -gespräch). Diese Tatsache bietet ein großes, explizit didaktisches Potenzial, das später (siehe Abschnitt "Das Übersetzen") noch diskutiert wird.

3. Fachspezifische Bilder haben eine große Vielfalt möglicher Referenzen, d.h. sie beziehen sich auf ganz unterschiedliche Themen und Gegenstände. Und sie haben eine große Vielfalt didaktischer Funktionen/Funktionsmischungen in den einzelnen Fächern (und damit in den verschiedenen, historisch geprägten Wissenschaftstraditionen und -kulturen), die für das jeweilige Bildverständnis prägend sind, oft so sehr, dass eine Verständigung über die Fächer-

grenzen hinweg schwierig erscheint.⁷ Je nach Fach gibt es nicht nur einen verschiedenen, sondern einen typischen Bildgebrauch und deshalb ist die Verständigung nicht selbstverständlich.

3. Das Übersetzen: Bildrezeption und methodische Grundlegung für Bildkompetenz

Bilder sind auch in der Schule zunächst einmal "Hingucker", eben "Eyecatcher". Beim ersten Kontakt des Schülers mit einem neuen Schulbuch wird er es auf der Suche nach interessanten Bildern durchblättern. Diese können die Aufmerksamkeit des Schülers (ein hohes Gut!) erregen. Im Regelfall werden sie in einem zweiten Schritt sprachlich kommentiert. Während das Bild schnell, intuitiv und alle seine Teile simultan wahrgenommen werden, wird der begleitende Text langsam, diskursiv und sukzessiv rezipiert. Sicher gibt es hier individuelle Unterschiede (Bild- und Text-Typen) und sicher hängt es – das ist ja ein allgemeines Lernprinzip – mit der Verarbeitungstiefe der Informationen zusammen. Bilder zielen also letztlich auf den visuellen Gesamteindruck, die Detailschärfe ist jedoch mitunter nicht so gut. Bei Texten herrscht vielleicht eine generelle thematische Erinnerung vor, die Details sind aber anders gelagert.

Mit diesen beiden Wahrnehmungsmodi werden unterschiedliche Gehirnareale angesprochen, die, wenn Text und Bild aufeinander bezogen werden, zwei der drei Formen des Wissens miteinander verknüpfen. Für die echte Verbindung ist dabei Voraussetzung, dass Bild und Text gleichzeitig wahrgenommen werden können (z.B. im jeweiligen Layout etwa als Bildlegende oder mündlich im Unterrichtsgespräch bei der Betrachtung/Besprechung des Bildes). Dabei ist die Gleichzeitigkeit und Gleichwertigkeit beider Modi zentral: Ohne Begriff bleibt die Anschauung blind und ohne

Anschauung der Begriff leer. Der größte Erkenntnisgewinn geschieht dann, wenn der Schüler – zunächst nachvollziehend rezeptiv, später aber möglichst auch produktiv, selbst gestaltend – aktive Übersetzungen von einer Artikulationsweise in die andere leistet. Es geht also letztlich um eine optimale Text-Bild-Ökonomie nach lernpsychologischen und gedächtnispsychologischen Kriterien (wie Verarbeitungstiefe etc.), um die möglichst optimale spezifische Verwendung von Bildern und Begriffen.

Ein Beispiel aus dem Physikunterricht mag vielleicht am deutlichsten erklären, was damit gemeint ist. Ausgangspunkt ist ein Naturphänomen, z.B. ein Blitz, der als Foto im Buch oder vom Lehrer gezeigt und (z.B. in einer Bildunterschrift, am besten aber im Lehrer-Schüler-Gespräch) kurz beschrieben wird. Das Bild wird also zunächst in Text übersetzt, der hier wohl v.a. als Fragen erscheint: Wie ist die visuelle Struktur des Blitzes? Woher kommt die umgekehrte Baumform, die "Zackigkeit"? Warum ist ein Blitz nicht eine Gerade? Was sind weitere Merkmale? Dann können Hypothesen über die Natur von Blitzen aufgestellt werden, die in Experimenten überprüft werden können. Eine der Fragen (z.B. nach der Durchschlagsspannung) wird dann gedanklich isoliert und in einem Versuch im kleineren Maßstab (erheblich weniger Leistung) nachgebaut. Dabei wird der Versuchsaufbau wiederum sprachlich erläutert. Eine den Versuch abstrahierende Illustration veranschaulicht den Zusammenhang von angelegter Spannung, Abstand und Form der Elektroden, ein aus den Messergebnissen destillierter Graph klärt den Zusammenhang in Form einer Kurve. Und schließlich fasst die physikalische Formel die Zusammenhänge in einer neuen "Sprachform" zusammen und kann als solche wiederum auf das Naturphänomen Blitz angewandt werden. Erkenntniszugewinn in Bezug auf den Sachverhalt ereignet sich im aktiven Vollzug der verschiedenen Schritte durch den Schüler, mit den "Übersetzungen" zwischen

den jeweils unterschiedlichen Darstellungsmodi. (Dass dies nochmals handlungsorientiert intensiviert werden kann, wodurch das

implizite Wissen ins Spiel kommt, ist selbstverständlich, kann aber hier nicht weiter erörtert werden.)

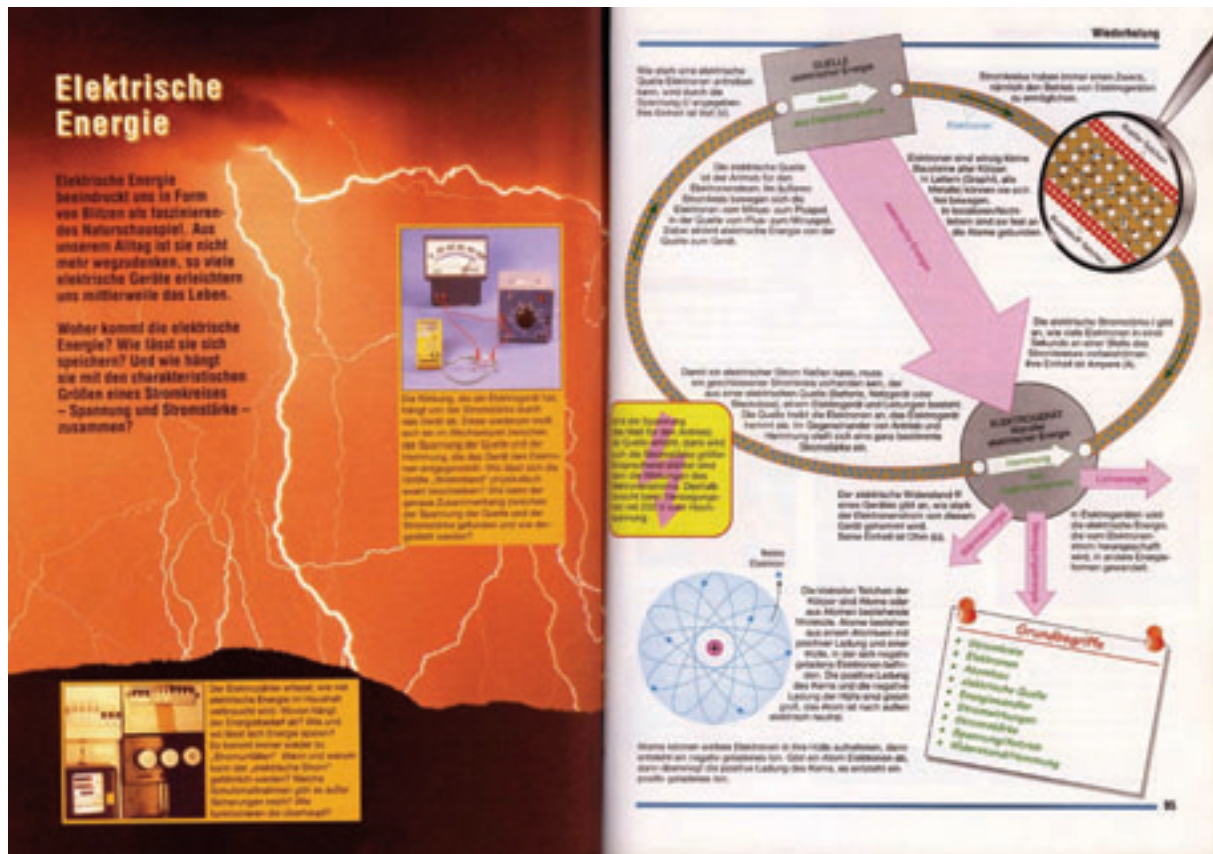


Abbildung: Physikbuch Netzwerk Physik, Ausgabe Bayern, Braunschweig 2006, S.94f.

Ähnliche Beispiele wären in allen Fächern zu finden: Musik (Noten lesen – das Stück hören – das Stück spielen / interpretieren), Geographie (Karte lesen – sich mit der Karte im Gelände orientieren / bewegen – den geographischen Raum beobachten, fotografieren – Beobachtungen beschreiben und dokumentieren), Deutsch (ein Gedicht lesen – die dabei entstehenden inneren Bilder zeichnen – den Text dramatisieren / in eine Spielhandlung übersetzen – einen Werbeclip, der mit dem literarischen Text arbeitet, analysieren), Architektur (eine historische Bauaufgabe verstehen – einen eigenen Lösungsvorschlag erstellen – die Entwurfsskizze eines ausführenden Architekten begreifen – die Umsetzung in

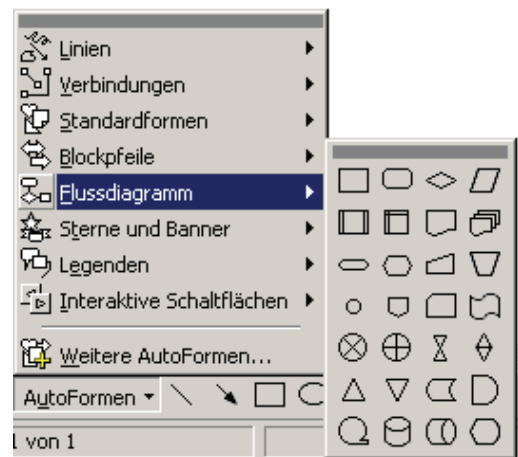
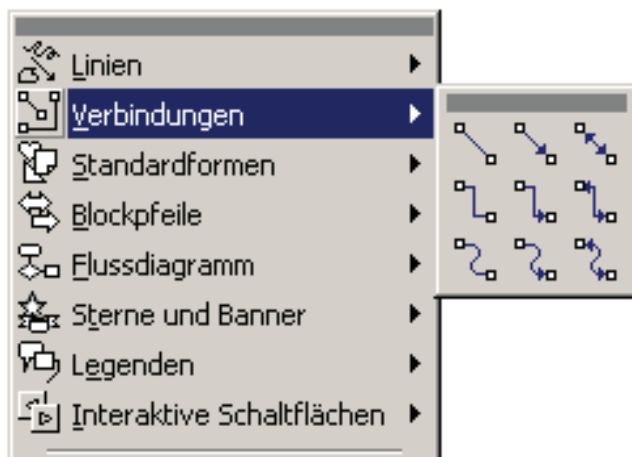
gebaute Architektur durch Begehen und Nutzen erfahren). Die Praxisbeispiele in den Bänden dieser Reihe ergeben einen guten Einblick in die verschiedenen fachlichen Ansätze.

Schon an dem oben genannten Beispiel aus der Physik wird klar, dass der Bildeinsatz nicht automatisch zu einer Verbesserung des Lernens führen muss. Manche Bilder können sogar kontraproduktiv sein. Empirische Untersuchungen haben eindeutig ergeben, dass z.B. Bilder, die in keiner signifikanten Beziehung zum Text stehen (ohne schon per se falsch zu sein, z.B. rein illustrativ dekorierende Bilder), eindeutig die Lernleistung verschlechtern.⁸

4. Die Grenzen der Welt

Überträgt man die Vorstellung der Begrenztheit der erkennbaren Welt durch die Grenzen der jeweiligen Sprache⁹ auf die Bildersprache, so macht es Sinn, nicht nur die Elemente der Bilder zu betrachten, sondern auch die – hier entscheidende – Verknüpfung dieser Elemente durch die jeweilige "Grammatik" der möglichen Verknüpfungen. Für die bildende Kunst hat dies etwa Panofsky am Beispiel der Zentralperspektive getan, indem er diese als "symbolische Form" ernst genommen hat. Betrachtet man jedoch z.B. die Möglichkeiten der häufig in didaktischen Situationen verwendeten Illustrationen von Zusammenhängen (Diagramme, Mind Maps) gerade vor der Folie der Bildwelten der Kunst, so fällt zunächst deren Armseligkeit im Hinblick auf das Repertoire auf. Der Mangel wird auch nicht durch eine strin-

gente Systematik (auch im Sinne eines Diskurses über ihre eigenen Möglichkeiten) kompensiert. Der Standardvorrat umfasst gerade einmal Linien und Pfeile (Vektoren), die zwei oder mehrere, meist als Flächen begrenzte, inhaltliche Bereiche miteinander in entweder kausale oder temporale, in finale oder konsekutive Verbindungen bringt. Hier wird die Überlegenheit der Sprache deutlich, die allein bei den Adverbialnebensätzen¹⁰ darüber hinaus noch Konditional-, Konzessiv-, Modal-, Komparativ-, Adversativ- oder Lokalsätze kennt und damit weitere Verknüpfungsmöglichkeiten von Worten / Sinneinheiten formuliert. Diese sind mit dem begrenzten Repertoire von Linien, Punkten und Flächen kaum darzustellen.¹¹ Die Begrenztheit der Operatoren – wie ihre mangelnde Standardisierung und damit Allgemeinverständlichkeit – erscheint eines der Grundprobleme der Visualisierung zu sein.



Der Vorrat an Operatoren in einem Programm, das zunehmend auch Lehrerpräsentationen bestimmt: Screenshots Powerpoint

5. Vorstellungen von der Welt

Die Ästhetik des jeweiligen didaktischen Bildes steht in engem Zusammenhang mit sowohl kulturell wie individuell geprägten kognitiven Stilen, die sich meist als Vorlieben äußern.¹² So kommt z.B. ein Prozesse betonendes, dynamisches Flussdiagramm

einer anderen Denkweise / Denkhaltung entgegen als eine statische, symmetrische Darstellung in architektonisch geprägter Formsprache. Sprachliche und damit kulturell geprägte Metaphern verstärken und prägen als Vorstellungsmodelle darüber hinaus solche individuellen Haltungen. So macht es etwa einen Unterschied, ob bei der Dar-

stellung des Staatsaufbaus von "branches" oder "Säulen" der Verfassung gesprochen wird, ob von "checks and balances" oder von "Gewaltenteilung". Die Sprachmetaphorik prägt dann natürlich auch entspre-

chende Buchillustrationen und damit die erlernten Vorstellungsbilder, die mentalen Modelle. Es wäre lohnenswert, zu untersuchen, inwieweit das politische Weltverständnis mit solchen Bildern korreliert.

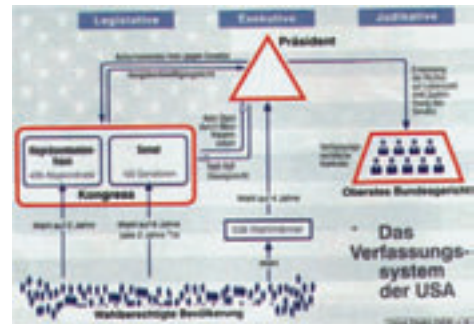


Abb.: Die amerikanische Verfassung als gewachsener Baum, als System ausbalancierter Kräfte und als hierarchische Legitimationsfigur (letztere aus einer deutschen Quelle) <http://regentsprep.org/Regents/ushisgov/themes/government/3branches.htm>, <http://cahsa.info/civicsus.html>, <http://englischlehrer.de/usa/wahlen.php>, Stand: 12.8.2008.

So scheint es z.B. eine deutsche Spezialität zu sein, in hierarchisch (oben und unten) angelegten Diagrammen des staatlichen Aufbaus ganz oben gerne ein Dreieck zu setzen, das (als Gottesmetapher) für Kaiser, König, Führer oder Präsident stehen kann.

6. Qualitätsmerkmale für Bilder

Gute didaktische Bilder eines komplexen Inhalts befriedigen zwei Interessen, ein didaktisches und ein sachliches.

Der sachliche Aspekt:

- Bilder müssen "richtig" sein, sie dürfen nicht falsche Dinge behaupten.¹³
- Und sie müssen ihren Konstruktcharakter deutlich machen.¹⁴

Der didaktische Aspekt:

- Bilder müssen die Dinge klären. Dafür müssen sie entsprechend einfach und deutlich, d.h. verständlich, sein.

- Sie müssen evident, einleuchtend sein, fraglos funktionieren.¹⁵
- Und sie müssen die Wahrnehmungsbereitschaft öffnen. Sie müssen "schön", d.h. ästhetisch ansprechend, elegant, überraschend oder provokativ sein.

Diese Kriterien finden sich in der Literatur unterschiedlich differenziert und akzentuiert. So nennt z.B. Pettersson¹⁶ folgende Aspekte:

- gute Erkennbarkeit;
- ästhetische Anmutung, trotzdem eindeutig;
- Vorhandensein einer kurzen, verständlichen und prägnanten Legende / Bildunterschrift;
- Zusammenfallen des inhaltlichen und formalen / kompositorischen Schwerpunkts im Zentrum der Bildfläche;
- Verzicht auf ablenkende Nebensächlichkeiten;
- Fähigkeit, nicht nur die Aufmerksamkeit zu erregen, sondern auch über einen längeren Zeitraum zu erhalten.

Für Seifert¹⁷ wiederum müssen Visualisierungen folgende Kriterien erfüllen:

Aspekte der Motivation / Appellcharakter des Bildes:

- Bilder müssen die Aufmerksamkeit des Empfängers konzentrieren und
- sie müssen den Betrachter emotional und kognitiv einbeziehen.

Sachliche und fachliche Aspekte:

- Sie müssen den verbalen Erklärungsaufwand verkürzen,
- Informationen leicht(er) erfassbar machen,
- Wesentliches verdeutlichen, Informationshierarchien klären,
- Zusammenhänge zwischen den Einzel-fakten herstellen und
- den beigegebenen Text erweitern und ergänzen.

Didaktische Ziele:

- Darüber hinaus müssen sie dem Adressaten Orientierungshilfen geben,
- das Behalten fördern und
- zu Stellungnahmen ermuntern.

7. Bildkompetenz

In vielen Fächern wurde auf unseren Tagungen Bildkompetenz als wichtige Methodenkompetenz benannt. Bildkompetenz bekommt dadurch zunehmend den Status einer "kulturellen" Kompetenz oder "Kulturtechnik" wie Schreiben, Rechnen, Lesen. Dabei geht es in allen Fächern sicher zunächst darum, didaktische Bilder, wie sie hier dargestellt wurden, adäquat verstehen zu können. Anspruchsvollere Konzepte verlangen von den Schülern nicht nur die Interpretation, sondern auch die Produktion von Bildern. Dabei geht es um "Funktionsbilder", die letztlich nicht selbst "Gegenstand" des Unterrichts sind, sondern ihn funktional begleiten und unterstützen sollen, ohne ihre

"Bildhaftigkeit" sichtbar zu machen (Tafelbilder, Strukturskizzen, Illustrationen etc.).

Überall dort aber, wo das Bild selbst zu seinem Recht kommt, wo Bilddidaktik mehr ist als nur Unterstützer für Lernprozesse, wo es also darum geht, die Bilder "als Bilder" wahrzunehmen und zu reflektieren, die Bildsprache selbst zum Thema zu machen, kann ein "Verstoß" gegen die Konventionen des guten Bildes die Möglichkeit bieten, auf die Bilder als Bilder aufmerksam zu werden, Bilder als Bilder zu thematisieren und durch sie zu lernen. Brüche im Bild bieten die Chance, die automatisierte Rezeption und den selbstverständlichen Konsum von Bildern in Frage zu stellen und die Schüler dazu zu befähigen, gerade die immer ja nur scheinbare "Evidenz" von Bildern zu hinterfragen.

Zur Präzisierung erscheint es abschließend sinnvoll, zu überlegen, wie Standards für Bildkompetenz beschrieben werden könnten.

Kenntnisse

1. Lehrer / Schüler können Bilder von anderen Darstellungsformen unterscheiden. Sie können Thema, Gattung (z.B. Fotografie, Graph, Schemazeichnung etc.) und Medium von jeweiligen Bildern benennen.

Fertigkeiten

2. Lehrer / Schüler können Bilder beschreiben, d.h. sie – mündlich wie schriftlich – in Worte übersetzen, indem sie die sachlichen Bezüge des Bildes klären. (Was stellt das Bild eigentlich dar?)

3. Lehrer / Schüler können Bilder analysieren, indem sie die formale Gestaltung und die dadurch vermittelte Botschaft deuten. (Wie stellt das Bild den Sachverhalt dar? Wie interpretiert es diesen? Welches "Bild" des Sachverhalts wird geliefert?)

4. Lehrer / Schüler können zu vorhandenen Bildern konkurrierende, jedoch sinnvolle Alternativbilder finden (z.B. in Büchern oder im Internet).

Fähigkeiten

5. Lehrer / Schüler können Ideen und Konzepte entwickeln, wie bestimmte Bilder in bestimmten Unterrichtssituationen eingesetzt werden können. Sie können die Eignung selbst beurteilen.

6. Lehrer / Schüler können selbst didaktisch wie sachlich adäquate, ästhetisch überzeugende und informative Bilder entwickeln, zeichnen, fotografieren. Sie können inhaltlich komplexe Lerngegenstände in Bilder übersetzen.

Die hier formulierten Kompetenzen bauen aufeinander auf, sie zielen zunächst auf Kenntnisse und münden in das höchste Kompetenzniveau, die eigene Entwicklung von Bildern. Diese zuletzt aufgeführte Kompetenz birgt für das Schulsystem sicherlich die größte Herausforderung, die – solange die Ausbildung hier nicht neue Akzente setzt – im Moment nur fächerübergreifend zu lösen ist. Der Lehrer, der an der Tafel Zusammenhänge zeichnerisch entwickelt oder mit einer Präsentationssoftware Infografiken erstellt, sowie der Schüler, der ein Referat oder eine Präsentation vorbereitet, müssen z.B. für schematisierte Darstellungen / Strukturskizzen

1. zunächst die jeweils komplexen Sachverhalte analysieren,
2. die Koordinaten¹⁸ der Grafik bestimmen,
3. dann den Sachverhalt durch eine sinnvolle Auswahl auf wenige Gesichtspunkte reduzieren, die zunächst für sich isoliert stehen und durch eine adäquate Form / einen signifikanten bildlichen Statthalter darzustellen sind,
4. die Aspekte in der Fläche sinnvoll anordnen. (Was steht wo und in welcher Relation: oben – unten, links – rechts, nah – fern, auf gleicher oder auf unterschiedlicher Höhe, vor – hinter etc.?),
5. sie mit adäquaten Linien / logischen Operatoren verbinden
6. und ein attraktives Gesamtdesign (good looking) entwickeln.

Komplexe Aufgaben, wie etwa das Layout für eine Homepage inklusive Startseiten-Grafik oder einer Klassenzeitung bis hin zur Metaphernbildung, erfordern ganz andere Kriterien und Produktionsstadien.

Darüber hinaus ist natürlich immer die jeweilige Zielgruppe zu beachten. So rezipieren etwa jüngere Kinder besser Details. Je älter sie werden, umso eher werden sie fähig, strukturell zu denken, Überblicke zu gewinnen. Auch die Fähigkeit, komplexe Bilder nutzen, bewerten, sie vielleicht sogar in ihrer Bildlichkeit begreifen zu können, steigt mit zunehmendem Alter.

Anmerkungen

- ¹ Pettersson, Rune: Verbo-visual Communication, Göteborg 1997, S.32.
- ² Ebd., S.131.
- ³ Ebd., S.33.
- ⁴ Die Vielfalt der Bilder unter fachspezifischen Vorzeichen war bereits Gegenstand einer kleinen, kritischen Revue, in: Wissensgenese an Schulen. Beiträge einer Bilddidaktik, hrsg. von Paula Bodensteiner, Ernst Pöppel und Ernst Wagner, München 2007, Hanns-Seidel-Stiftung, (Argumente und Materialien zum Zeitgeschehen, Sonderausgabe 1/2007), v.a. dort der Fächerüberblick S.53ff.
- ⁵ Auch Modelle, Tierpräparate oder Versuche funktionieren als Visualisierungen wie Bilder. Sie können Verstehen unterstützen oder behindern, sie sind attraktiv oder langweilig, sie überreden oder klären auf.
- ⁶ Dies gilt auch dann, wenn man ein Layout eher als "visuelle Konfiguration", die zeichenhaften Charakter gewinnt, ohne gleich "Bild" zu werden, bezeichnet. Auch für das Layout gelten die vier genannten Funktionen: Gutes Layout zeigt den Text/Inhalt, es gliedert (klärt) ihn, es hat durch seine Gestaltung überredende Funktion (z.B. eine Renaissance-Antiqua als Zeichen für Gediegenheit/Seriosität) und es gefällt dem Auge.
- ⁷ Siehe die ausführliche Diskussion in Bodensteiner/Pöppel/Wagner: Wissensgenese an Schulen.
- ⁸ Pettersson: Verbo-visual Communication, S.132 (5).
- ⁹ "Die Grenzen meiner Sprache bedeuten die Grenzen meiner Welt.", Ludwig Wittgenstein, Tractatus 5.6.
- ¹⁰ Nicht beachtet sind weitere Möglichkeiten der Grammatik wie Flexion, Satzstellung, Satzarten, Wortarten, Wortformen, Syntaxregeln, die die Aussagen kommunizieren. Die Operatoren der Graphiken sind vor allem von der mathematischen Symbolsprache abgeleitet, wohl vor allem aufgrund ihrer "Kürze" und Prägnanz, ohne jedoch wiederum deren Spektrum auszuschöpfen, da sich diese ab einer bestimmten Komplexität der intuitiven, allgemeinen Verständlichkeit entziehen.
- ¹¹ "Concept Maps" versuchen, diesen Mangel zu beheben, indem die Beziehungen durch Begriffe konkretisiert werden. Dies erscheint aber unter den Aspekten von Gestaltungskriterien wenig erfolgreich. <http://de.wikipedia.org/wiki/Concept-Map>
- ¹² Dieser Aspekt wird in der Diskussion bislang kaum reflektiert. Hier könnten Schulbuchentwickler und Graphikdesigner vermutlich viel von Werbegrafikern lernen, deren Bildersprachen etwa gezielt auf verschiedene Milieus/ Altersgruppen/Haltungen hin entwickelt werden.
- ¹³ Dabei muss immer klar sein, dass dieses "richtig sein" nicht bedeutet, dass das Bild das "Ding an sich" wahr erfasst. Den Schülern wäre vielmehr beizubringen, dass jedes Bild "gemacht" ist, dass jedes Bild ein spezifisches Modell von der Welt vermittelt – durch Prozesse wie Selektion eines Motivs, durch die Gesetzmäßigkeiten der Bildsprache, durch Abbildungs-Konventionen etc.
- ¹⁴ Am Bild muss nachvollziehbar gezeigt werden können, wie das jeweilige Thema entworfen wird und dass mit dem Bild der Gegenstand nicht als solcher repräsentiert und erklärt ist. Ob dies im Bild selbst möglich ist, muss noch diskutiert werden. Es ist auf alle Fälle Aufgabe der sprachlichen Begleitung der Bilder.
- ¹⁵ Das gilt auch, wenn sie einen Fragehorizont eröffnen, widerständig sind, die "Fraglosigkeit" in Frage stellen.
- ¹⁶ Pettersson: Verbo-visual Communication, S.56f.
- ¹⁷ Seifert, Josef W.: Visualisieren. Präsentieren. Moderieren, Offenbach 1998, hier von mir neu gegliedert und mit Überschriften systematisiert.
- ¹⁸ Diese repräsentieren die Fragestellungen bzw. die Interessen, auf die hin der Sachverhalt untersucht wird.

Von starken, schwachen und erzeugten Bildern

Walter Wagner

1. Was ist ein "starkes" Bild?

Manche Bilder bleiben sehr nachhaltig in Köpfen hängen, etwa die DNA-Doppelhelix oder das "Atom" (Abb. 1). Können wir Gründe angeben, warum gerade diese und keine andere Darstellungen so "klebrig" sind?

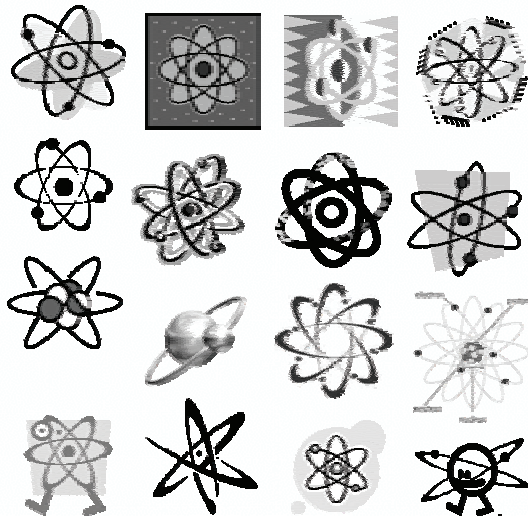


Abb. 1: Volkstümliche Atom-Darstellungen, gesammelt aus dem WWW.

Sie enthalten meistens sehr wenige Bildelemente, so dass sie "sofort", hirnpfysiologisch "gleichzeitig", im "selben Augenblick", wahrgenommen werden können. Im positiven Fall lassen sich daraus für Lehrzwecke Denkfiguren (Abb. 2) ableiten, die für bestimmte wichtige Sachstrukturen stehen und Symbolcharakter haben. Das Beispiel in Abb. 2 zeigt die Struktur eines Vortrages, gleichzeitig einer Unterrichtseinheit: die Hörer/Lernenden werden von ihren unterschiedlichen Vorwissens-Plattformen abgeholt, "auf den Punkt" gebracht und von dort entlang eines Roten Fadens durch das Thema geführt. Zum Schluss wird ihnen verdeutlicht, in welchen weiteren Situationen ihnen das, was sie gerade gelernt haben, nützlich sein kann.

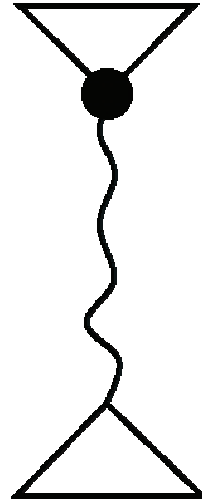


Abb. 2: Denkfigur "Vortrag".

Die Denkfigur besteht aus vier Bildelementen: zwei Dreiecken, einem Punkt und einer Linie. Damit ist sie "in einem Augenblick" durch das Gehirn wahrnehmbar. Der Lehrende kann darauf bauen, dass der (aufmerksame) Lernende, sobald er in die Situation kommt, ein Referat, einen Vortrag oder eine Unterrichtseinheit zu planen, sich an die Denkfigur wieder erinnert. In diesem Fall wäre sie mit Recht ein "starkes" Bild.

Das Gegenteil sind "schwache" Bilder: solche, die an Informationen, Bildelementen, Symbolen überquellen, so dass das Gehirn mehrere Anläufe (mehrere Augenblick-Zeitfenster) nehmen muss, um sie zu verinnerlichen. Nun sollte man zwei Fälle unterscheiden:

1. Es ist die didaktische Absicht des Lehrenden, mit Hilfe des Bildes Informationen in einer frontalen Situation, z.B. parallel zur Wortinformation, zu transportieren. Für diesen Fall wäre das "schwache" Bild ungeeignet.

2. Es ist die didaktische Absicht des Lehrenden, am Bild die Lernenden Inhalte in Einzel- oder Gruppenarbeit entdecken oder sich erarbeiten zu lassen. Für diesen Fall wäre das "schwache" Bild geeignet.

In beiden Fällen ist die An-Eignung des Bildes durch den Lernenden aufwendig und alles andere als eine Selbstverständlichkeit, auf die sich der Lehrende verlassen könnte, ohne besondere Maßnahmen getroffen zu haben.

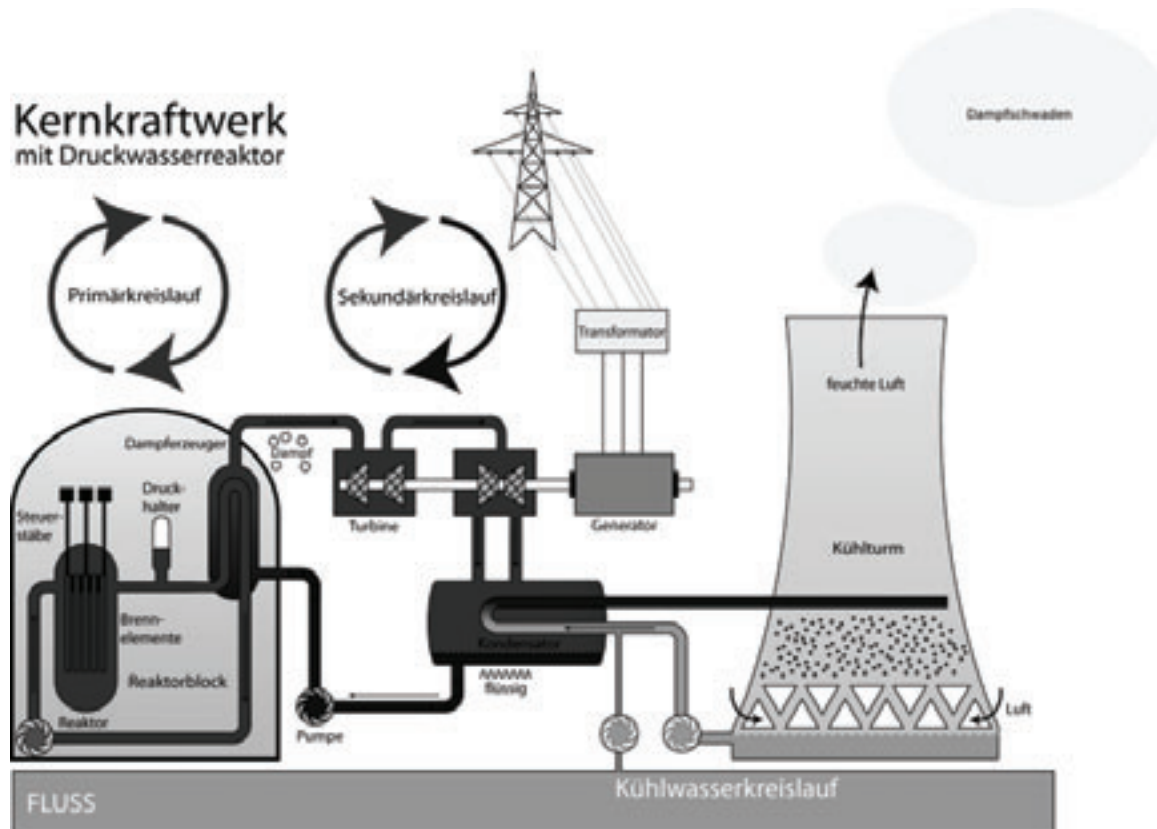


Abb. 3: Beispiel für ein "Schwach" Bild: viele Bildelemente, komplizierte innere Beziehung der Elemente untereinander, kaum ein gestaltpsychologisches Gesetz berücksichtigt, unterschiedliche Darstellungsmodalitäten.¹

Kann es auch zu starke Bilder geben? Das volkstümliche Atom-Symbol ist aus didaktischer Sicht als "zu stark" einzuordnen: jedermann kennt es, und jedermanns Vorstellung vom Wesen der kleinsten Bausteine der Materie wird davon bestimmt. Vorstellungen vom Elektron als Teilchen, das auf einer eindeutigen Bahn um seinen Atomkern kreist wie ein Planet um die Sonne, sind Vorstellungen, die historisch dem Beginn des 20. Jahrhunderts angehören. Die Schüler an Gymnasien müssen sich spätestens im Verlauf der Oberstufe mit der Wellennatur von Elektronen (und Materie) auseinandersetzen, um chemische Bindungen und Reaktionen verstehen zu können. Dem

steht das verinnerlichte Planetenmodell aus dem "Alltag" schon sehr festgefügt im Weg, wenn die Schule sich endlich der Modellvorstellung annimmt.

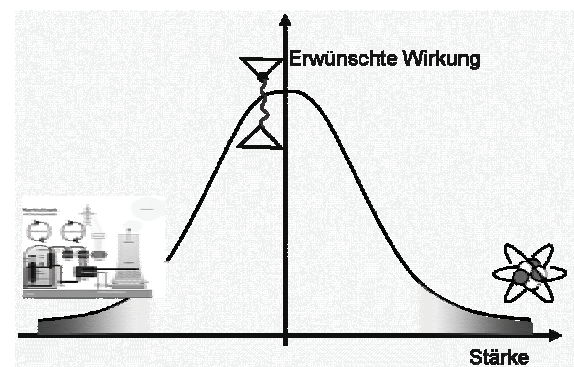


Abb. 4: Beziehung zwischen erwünschter Wirkung und Stärke eines Bildes.

Schwache Bilder finden sich in Schulbüchern leider auch häufig. Eines der verbreitetsten Beispiele zeigt Abb. 5: der Wasserdampf ist unsichtbar und fällt deshalb nicht auf. Stattdessen fällt der Blick automatisch auf den bereits kondensierten Nebel und das Gehirn konstruiert daraus die "Erkenntnis", das sei der Wasserdampf – und liegt damit fachlich sehr daneben. Zu dem Phänomen passt der Begriff "lehrerinduzierte Lernschwierigkeit" – oder war es der Layouter? Mehr als knapp formulierte Bildunterschriften verhindern das Missverständnis nicht.



Abb. 5: Der Blick fällt automatisch auf die weiße Wolke und suggeriert, das sei der dampfförmige Aggregatzustand des Wassers, wenn die Bildunterschrift knapp lautet "Wasserdampf".²

2. Das Bild als Modell

Üblicherweise nimmt man von Bildern an, sie seien Abbilder der Wirklichkeit. Nur Künstler dürfen verfremden. Dazwischen gibt es den Bereich der Manipulation, etwa in der Werbung. Naturwissenschaftliche Bilder ordnet man wie selbstverständlich der ersten Kategorie zu. Entsprechend werden Bilder definiert:

Ein Bild ist eine konkrete oder abstrakte Darstellung einer rezipierbaren Realität bzw. eines Realitätsausschnittes mit potenziell Sinn konstituierender Funktion.³

Diese Definition umfasst die problematischen Bilder nicht, sie beschränkt sich auf

ihre Abbildfunktion. Demgegenüber sind die beiden Darstellungen in Abb. 6 Interpretationen von Messdaten.



Abb. 6: Keine Ab-Bilder: eine Darstellung des Bohrschen Atommodells (links) und ein AFM-Bild (Atomic Force Microscopy) einer Graphitoberfläche mit eingeblendetem Kugel-Stab-Modell (rechts).⁴

Am Zustandekommen der Bilder sind Vorstellungen und Entscheidungen des Wissenschaftlers beteiligt, die mit dem Objekt selber nicht viel zu tun haben. Der Betrachter benötigt die Mündigkeit, den Bildentstehungsprozess zumindest in seinen Grundzügen sozusagen rückwärts zu verfolgen, um nicht der irrigen Vorstellung zu verfallen, so sähen Atome "in Wirklichkeit" aus. Damit haben diese Bilder Modellfunktion, mit all den Vorteilen, aber auch Grenzen von Modellen: Sie machen das Unsichtbare in Teilen sichtbar, sie helfen, damit wir uns eine "Vorstellung" machen, können aber nur Teilaspekte wiedergeben und enthalten zum Teil irrelevante Zutaten, die einer (subjektiven) didaktischen Absicht dienen.

Die Bilder in Abb. 6 scheinen sehr abstrakt, deshalb nimmt man ihnen den Modellcharakter gerne ab. Das Beispiel aus Abb. 7 ist hingegen schwieriger: es erweckt den Eindruck einer Ab-Bildung, ist aber dennoch ein aus Reflexionsdatenpunkten (von Elektronenwellen) konstruiertes Bild.

Der Betrachter erkennt weder, dass es sich um ein Kartoffelblatt handelt, noch weiß er, ob es sich bei den mit Pfeilen markierten Strukturen um Artefakte der Präparation

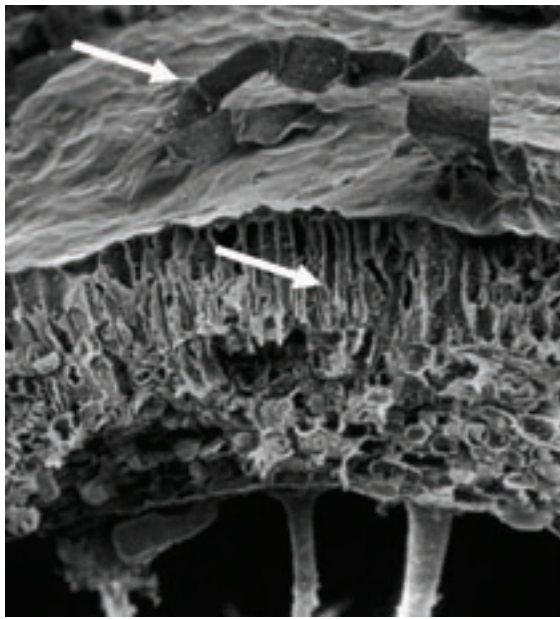


Abb. 7: Modell oder Wirklichkeit?⁵ (Die Pfeile sind nachträglich eingefügt.)

oder echte Veränderungen der zugrundeliegenden Realstrukturen handelt. Um das zu beurteilen, bedarf es einer ausführlichen Legende zum Bild – "Querschnitt (Raster-Elektronenmikroskop) durch ein Kartoffelblatt (Obere Epidermis oben): nach mehrwöchiger Einstrahlung einer Dosis entsprechend 25% Abbau der Ozonschicht: Obere Epidermis kollabiert und ausgetrocknet." – oder Kenntnissen über die bildgebende Methode.

Eine erweiterte Definition für "Bild" ist deshalb sehr allgemein gehalten:

"Um ein Bild zu erhalten, benötigt man mindestens zwei sinnlich wahrnehmbare Punkte und einen Beobachter."⁶

Diese Definition umfasst auch andere, nicht nur die optisch wahrnehmbaren Sinneseindrücke (Fühlbilder, Hörbilder usw.) und lässt dadurch, dass keine "Realitäten" vorkommen, offen, ob die wahrnehmbaren Punkte als Originale oder bereits als Modelle zu interpretieren sind. Mit zunehmender Entfernung von der Funktion des reinen Abbildens wird es immer zwingender, dass Autoren zu den Bildern

1. einen Maßstab (fehlt im Original zu Abb. 7),
2. eine Legende (fehlt zu Abb. 6) und
3. eine ausführliche Bildunterschrift (wie zu Abb. 5)

liefern.

3. Bilder bewundern

Es ist sicher in vielen Fällen zu beklagen, dass seit der Massenausbreitung des Computers sogar seriöse Fachzeitschriften oder Wochenzeitungen Bilder nach Kriterien erstellen, die über die reine Verständlichkeit hinausgehen. Die Absicht, beim Leser "Eindruck" zu machen (er ist ja gleichzeitig im wirtschaftlichen Sinn Käufer), schiebt so manches Bild aus dem Fenster der Verständlichkeit hinaus. Oder überlässt man einem Layouter, der seine Stärken eben im Layout, nicht aber in der betroffenen Naturwissenschaft hat, die Hoheit über die Aussage des Bildes?

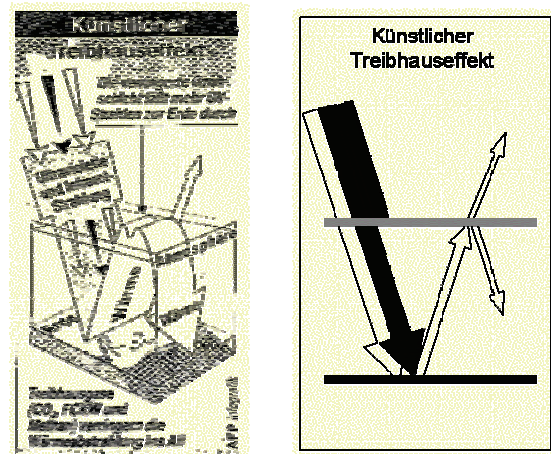


Abb. 8: Abbildung aus einer wissenschaftlichen Zeitschrift (links) und eine Skizze mit derselben Aussage in reduzierter Darstellung (rechts).

In Abb. 8 rechts wurden gegenüber der linken Darstellung die "dritte Dimension" und Redundanzen reduziert; allerdings fehlt die Beschriftung und täuscht deshalb möglicherweise mehr gewonnene Klarheit vor, als wirklich erreicht wurde. Das Grundprinzip allerdings sollte klar sein und wird auch von Abb. 9 belegt.

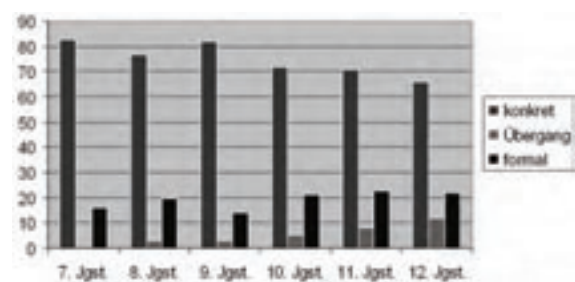
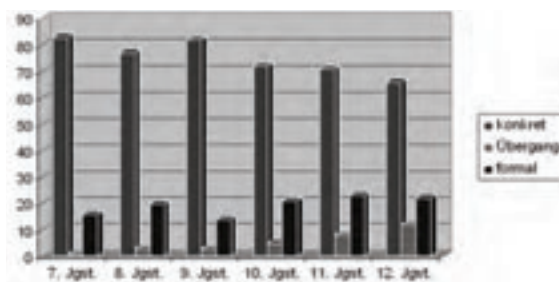


Abb. 9: Nach dem Entfernen der 3. Dimension (rechts) sind die Werte deutlicher ablesbar (Original ist vierfarbig).

Extrem verschleiert ist die Information in Abb. 10, wobei nicht überliefert ist, welches Niveau die Originalquelle hatte.



Abb. 10: Grafik, in der Informationen über den Diamantenpreis eher zur Nebensache geraten.⁷ (Im Original dreifarbig, wobei für die Preiskurve rot gewählt wurde.)

Abschließend bleiben drei Fragen zu den Ursachen für das Vorkommen "schwacher" bzw. für den Zweck ungeeigneter Bilder:

1. Fehlte den Bildautoren visuelle oder fachliche Kompetenz oder beides?
2. Ist dem Lehrenden stets klar, in welcher didaktischen Absicht er das Bild benötigt bzw. einsetzen will?
3. Kann der/die Bilder produzierende (Natur)Wissenschaftler/in mit anderen Disziplinen oder mit (betrachtenden) Laien noch (verständlich) kommunizieren?

Und es bleiben drei Fragen offen, der weiteren Erforschung harrend:

1. Woran erkennt man ein "gutes Bild"?
2. Wie macht man ein Bild (möglichst sicher) verständlich?
3. Welche Bedeutung haben Bilder für das Denken und Lernen neben dem gesprochenen Wort wirklich? Welche Begründungen gibt es dafür?

Anmerkungen

¹ http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Kernkraftwerk_Druckwasserreaktor_n.png, Stand: 7.5.2008.

² Deger, Hermann/Götz, Axel/Reinold, Petra: Ikarus 5. Natur & Technik, München 2003, S.51.

³ Drescher, Karl Heinz: Erinnern und Verstehen von Massenmedien: empirische Untersuchungen zur Text-Bild Schere, Wien 1997, zitiert nach http://server02.is.uni-sb.de/courses/wiki/index.php/Text_und_Bild, Stand: 7.5.2008.

⁴ http://www.physik.uni-augsburg.de/exp6/group/hembacher_d.shtml, Stand: 7.5.2008.

⁵ http://www.uni-giessen.de/biologie/pflanzenoeko/ag_esser/material/intern/botanik/grafiken/d942f.htm, Stand: 8.5.2008.

⁶ Wagner, Walter: unveröff. Manuskript 2007, nach Ideen von Hüther, Gerald: Die Macht der inneren Bilder. Wie Visionen das Gehirn, den Menschen und die Welt verändern, Göttingen 2006.

⁷ Tufte, Edward R.: Envisioning Information. Cheshire, Connecticut 1990.

Denkprozesse in der Architektur

Über die Bedeutung von Bildern

Gunter Henn / Michael Steinbusch

1. Der Ort und die Art der Bilder im Herstellungsprozess von Architektur

Gewöhnlich leben wir in Gebäuden und Städten ohne darüber nachzudenken, wie sie unser Leben und unser Zusammensein mit anderen beeinflussen. Architektur ist immer um uns, sie ist ein Grundzug der menschlichen Welt. Obwohl sie dem Alltag eine Form verleiht, denken wir in der Regel über Architektur nicht nach. Und obwohl Menschen ihre Umwelten seit Jahrtausenden künstlich erschaffen und verändern, leben sie im Kreis ihrer eigenen baulichen Werke mit einer gewissen Selbstvergessenheit. Die Orte unseres Lebens, die Wohnung etwa, der Arbeitsort und der Weg dorthin, gehören ganz selbstverständlich zum Leben dazu. Manchmal treten diese Kontexte aber ins Bewusstsein, etwa dann, wenn bauliche Veränderungen in unserer Umgebung vorgenommen werden oder wenn ein Umzug ansteht. Mancher wird aber auch, privat oder stellvertretend für eine Organisation, zum Bauherren. Egal, was der Anlass ist, über das Bauen ins Gespräch zu kommen: Hinter jedem Anlass steht ein bestimmtes Problem.

Das Nachdenken über Bauen verbindet sich gewöhnlich schon im Ansatz mit bildhaften Vorstellungen von Gebäuden, z.B. mit Bauten, die man bereits gesehen und erlebt hat. Das wäre an sich kein Problem, würden diese bildhaften Vorstellungen nicht zugleich als Lösungen wahrgenommen – als Lösungen für ein Problem, das aber viel zu komplex ist, als dass man es so unvermittelt mit bildhaften Vorstellungen beantworten könnte. Gebäude stellen räumliche Konfi-

gurationen bereit, und ihre Wirkungen sind komplex. Sie beeinflussen nicht nur den Einzelnen, stimmungsmäßig und mittels räumlicher Angebote und Möglichkeiten, sondern das soziale Leben und seine Interaktionen insgesamt.

Am Anfang des Herstellungsprozesses von Architektur muss also ein offenes Szenario stehen. Unser intuitiver Griff zu bildhaften "Lösungen" stellt sich dem eher entgegen. Andererseits hat das Denken in Bildern eine wichtige Funktion: Am Ende des Entwicklungsprozesses muss nämlich eine Lösung stehen, und diese Lösung wird selbst wesentlich bildhaft sein. Wir sind also am Beginn des Architekturschaffens in methodischer Hinsicht mit zwei Fragen konfrontiert: Wie kann man in Bildern, wie kann man mit Bildern denken, ohne schon von Lösungen zu reden? Und: Wie können die, deren soziales Leben später einmal durch Architektur geformt und beeinflusst werden wird, ihre Vorstellungen, Erfahrungen und Anliegen einbringen? In einen Satz gefasst lautet die Frage: Wie können wir gemeinsam Architektur – auch bildlich – denken, ohne gleich an "Architektur" zu denken?

Die soziale Bedeutung von Architektur fordert uns dazu heraus, dieses Denken als ein gemeinsames Denken zu entwickeln. Man kann von einer Wissensarchitektur reden, wenn das Architekturschaffen dabei auf die breite Wissensbasis gestellt wird, die eine Organisation in ihrer Gesamtheit ausmacht. Und Wissensarchitektur bedeutet schließlich, dass sich das Wissen der Organisation in diesem neu zu schaffenden Rahmen weiterentwickeln kann. Aber wie können wir überhaupt zusammen denken und uns Problemen

stellen, die wir miteinander teilen und die komplex sind? Wie können wir unsere dringlichsten Angelegenheiten miteinander regeln und dabei voneinander lernen? Wie öffnen wir uns der Wirklichkeit ein Stück weiter, indem wir mit Bildern arbeiten, anstatt mit vorgefertigten und vermeintlichen Lösungen das Problem zuzudecken? Wie gehen wir mit diesen Bildern produktiv und kreativ um?

Anhand zweier Thesen soll hier der Umriss eines Denkweges der Architektur vorgestellt werden. Die erste These lautet, dass Aufgabe und Lösung zunächst einmal getrennt werden müssen, soll das Ergebnis am Ende auch das Problem lösen, das sich stellt. Die zweite These lautet, dass ein problemoffenes und gemeinsam vollzogenes Denken den Einsatz bildlicher Mittel erfordert. Mit diesen sollen "offene Bilder" generiert werden, die veränderlich bleiben und vielfältige Beiträge ermöglichen. Sie sollen durch ihre Bildlichkeit zugleich ausdrucksstark wie auch vermittelnd und einbindend sein.

1.1 Über das Verhältnis von Aufgabe und Lösung

Das vorliegende Problem, an dem das Nachdenken über Bauen seinen Anfang nimmt – man kann auch sagen: die Aufgabe, die sich stellt – zeigt die oben bereits erwähnte Tendenz, zu falschen Lösungsideen zu kommen, die uns als bildhafte Vorstellungen gegenwärtig sind. Aufgabe und Lösung überlappen sich zu stark.



In Gesellschaften, die sich nur langsam entwickeln, und für Probleme, die vergleichsweise einfach und wiederkehrend sind, ist

dieses Modell nach wie vor richtig, weil es beständige Lösungsweisen für Aufgaben vermittelt, die leicht zu identifizieren und auf bewährte Weise zu lösen sind. Das traditionelle Handwerk ist ein Beispiel hierfür. Dieser urwüchsige Zusammenhang wurde mit der Einführung industrieller Produktionsweisen in weiten Teilen der Gesellschaft in Frage gestellt. Mit der durchgängigen Arbeitsteilung wurden nicht nur die einzelnen Herstellungsschritte aufgeteilt und jeder für sich optimiert, sondern auch die Ausführung einer Arbeit von ihrer Bewertung und Kontrolle unterschieden. Die exakte Beobachtung und Planung beider Vorgänge waren das Anliegen von Frederick W. Taylor (1856-1915) und seiner "Wissenschaftlichen Betriebsführung". Der "Taylorismus" steht seitdem für die fortlaufende Trennung des ursprünglichen Zusammenhangs von Aufgabe und Lösung.

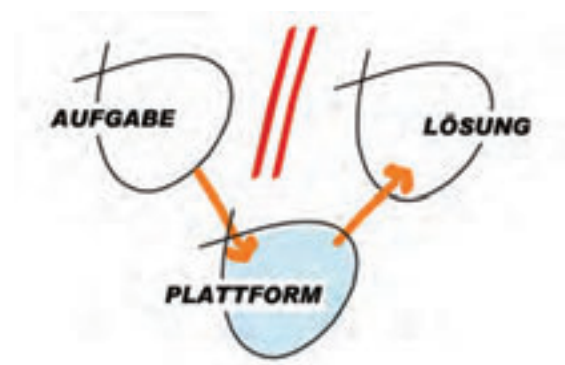


Wer diese historische Trennung auch bedauern mag, sollte dennoch anerkennen, dass die neu entstandenen Bereiche nun eine eigene, vordem ungekannte Dynamik entfalten konnten: Ist die Aufgabe klar formuliert, lassen sich jede Menge Lösungen entwickeln und daraus die am besten geeigneten ermitteln. Häufig gibt es umgekehrt Lösungen, die noch gar keine Aufgabe haben, auf die sie eine Antwort geben – man spricht hier auch von Erfindungen. Es ist ein eigener Schritt, für eine Erfindung auch eine Anwendung zu entwickeln, die einer tatsächlichen Aufgabe, d.h. einem wirklichen Problem, entspricht.

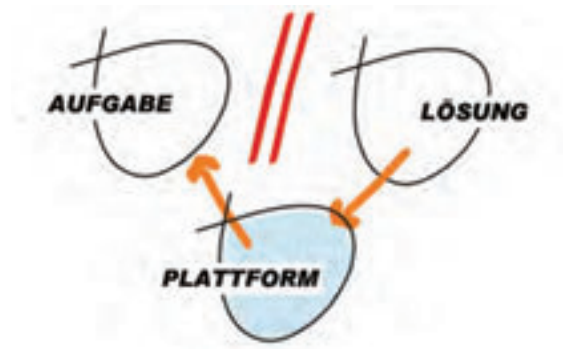
Das Architekturschaffen kennt keine fertigen Lösungen, sondern muss für besondere Orte und Aufgaben immer neue Denkprozesse in Gang setzen. Dann wird die Tren-

nung von Aufgabe und Lösung sogar zu einer ganz entscheidenden Anforderung. Das anfängliche Zurückstellen jeglicher Lösung und die Konzentration auf das Problem, auf die Aufgabenstellung, ist umso dringlicher, je mehr Beteiligte in den Prozess eingebunden werden sollen. Die Einbeziehung vieler Beteiligter kommt nicht nur demokratischen Forderungen nach, sie profitiert auch von den unterschiedlichen Sichtweisen und Erfahrungen. Teilt sich dagegen jeder Beteiligte eingangs schon im Modus der Lösung mit, dann laufen die einzelnen Beiträge Gefahr, als abgeschlossene und so konkurrierende, sich ausschließende Lösungen berührungslos nebeneinander zu stehen.

Die Bereiche der Aufgabe und der Lösung müssen also einerseits getrennt behandelt werden. Sie müssen aber auch verbunden werden, damit am Ende ein Ergebnis steht. Zur Lösung muss ein kontrollierter Lösungsweg führen, der sich aus der eingehenden Untersuchung der Aufgabe ergibt. Man braucht also eine Plattform, die zwischen der Sprache der Aufgabe und der Sprache der Lösung vermittelt, auf der Austauschprozesse stattfinden können, ohne dass die Unterscheidung der Bereiche dadurch aufgehoben wird.

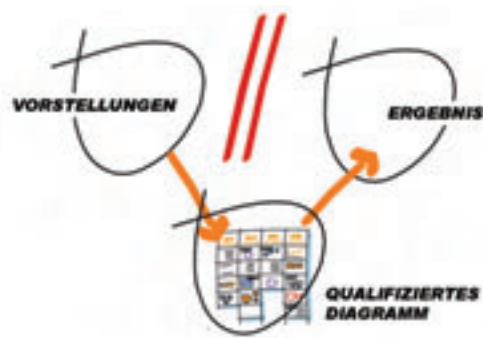


Und wie bereits erwähnt, stehen manchmal Lösungen zur Verfügung, echte Erfindungen, für die erst noch ein Anwendungsbereich entdeckt werden muss, innerhalb dessen sie eine Aufgabe übernehmen können. Auch in diesem Fall bedarf es einer solchen Plattform:



1.2 Das Bild – die Bilder

Bei der Konzeption der Plattform kommt die zweite These ins Spiel, die besagt, ein problemoffenes und gemeinsames Denken erfordere den Einsatz bildlicher Mittel. Zunächst trat mit der Trennung der Aufgabe von der (vorschnellen) Lösung auch das Bildliche in den Hintergrund. Die Eröffnung eines solchen Verfahrens geschieht i.d.R. sprachlich, in Form eines Interviewgesprächs oder einer Beschreibung. Die Plattform muss nun die bildlichen Eigenschaften, die für die Kommunikation von Lösungen typisch sind, mit der Abstraktion der Sprache verbinden, die bei der Diskussion und der Beschreibung von Aufgaben eine große Rolle spielt. Dafür haben wir die Methode des qualifizierten Diagramms entwickelt. Es verbindet beides miteinander wie eine Brücke: Es setzt auf der bildlichen Ebene Diagramme ein, die durch knappe sprachliche Zusätze präzisiert und so "auf den Punkt gebracht" werden. Die textlich-bildlichen Darstellungen entstehen dabei im Verlauf des Gesprächs durch die Hand geübter Zeichner auf einzelnen Karten. Damit kommt auch eine klare "Grammatik" (Diagrammstil, Schrifttypen, Kartenaufbau) zum Einsatz. Zugleich hat das qualifizierte Diagramm die Eigenschaften eines Gesprächsprotokolls. Erst in der Kombination von Sprache, diagrammatischer Darstellung und Anordnung auf einer "Kartenwand" entsteht allmählich ein Gesamtbild, dessen Elemente rekombinierbar und ergänzungsfähig bleiben. Dadurch werden die individuellen Beiträge in ein kollektives Protokoll, in eine gemeinschaftliche Äußerung eingebunden.



Auf der Plattform des qualifizierten Diagramms werden die Vorstellungen und Ah-

nungen aller Beteiligten in einer bildlichen und zugleich textlichen Zwischenstufe externalisiert. Dort werden sie gespeichert, strukturiert und immer weiter verdichtet. Durch die Externalisierung und eine leicht erfassbare diagrammatische Darstellung stehen die zentralen Äußerungen der gemeinsamen Betrachtung durch alle Teilnehmer zur Verfügung – und dies von Anfang an, in "Echtzeit" sozusagen. Erst allmählich entsteht so die Lösung. Auf die dargestellte Weise gelingt es, ausdrücklich und bildhaft zugleich zu denken.



Das Qualifizierte Diagramm:
Ausschnitt aus einer Kartenwand.
Projekt Fakultät Maschinenwesen,
Technische Universität München

CATPUS-IDEE ALS



GEISTIGER MITTELPUNKT

Text-bildliche Darstellung einer Idee ...

INSTITUTSGEBÄUDE

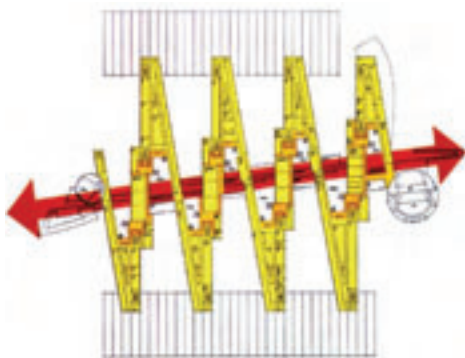


ENTLANG DER STRASSE

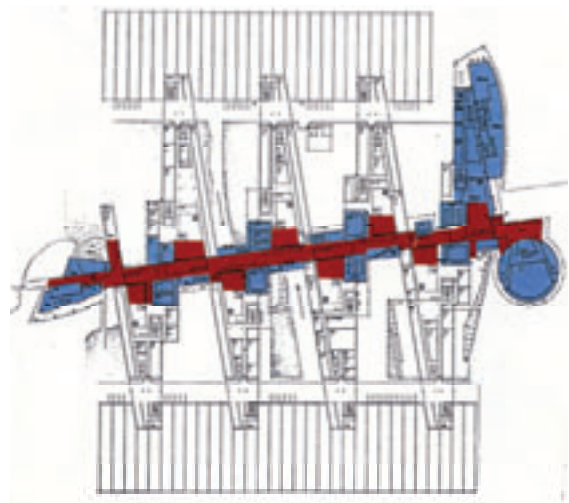
... und einer Alternative dazu. Diese Idee hat sich im weiteren Denkprozess und im engen Verbund mit allen weiteren Notationen durchgesetzt.



Eine starke Idee kann die Bündigkeit eines Logos entwickeln ...



... und findet, über immer konkretere Modellstufen hinweg, Eingang in die Planung. Die Abbildung zeigt den Grundriss der Maschinenbaufakultät mit den Flächen für die Lehrstühle.



Derselbe Grundriss, hervorgehoben sind die Bewegungsräume der Studenten.



Das Gebäude im finalen Modell ...



... und in einer Luftaufnahme nach der Fertigstellung. Die Architektur als fertiges Bild steht am Ende des Denkprozesses.



Die "Straße" der Fakultät für Maschinenwesen der TU München: Ein urbaner Ort der Verbindungen und des Aufenthalts gleichermaßen. Hier wird die Identität der Fakultät täglich neu "aufgeführt".

2. Das Bild im individuellen und im sozialen Wissensprozess

Wir müssen offensichtlich – das zeigen unsere Erfahrungen mit dem qualifizierten Diagramm – mit unterschiedlichen Mitteln gleichzeitig arbeiten, wenn wir gemeinsam denken wollen und wenn wir dabei offen bleiben, letztlich aber auch ein konkretes Ergebnis erzielen wollen. Wenn man nicht nur Explizites festschreibt, sondern auch Bildliches festhält, also das, was sich nur schwer ausdrücken und kaum in Worte fassen lässt, dann kommt nicht nur eine größere Bandbreite von dem zum Zuge, was eine Organisation weiß und denkt. Mit dem externalisierten Zwischenergebnis stehen all die Wissensbeiträge erst einmal wortwörtlich "im Raum", an ihnen "kann man nicht mehr vorbei".

In ihrer Verschiedenheit sind in diesem Raum zunächst einmal alle Beiträge gleichwertig. Aus dem Gespräch wird ein Wissensraum, und in diesem wird das gemeinsame Vorhaben "navigierbar". Was Worte auf den Punkt bringen und festschreiben, das zeigen die bildlichen Elemente, indem sie auf Vorstellungen, Ahnungen und Erfahrungen aller Beteiligten verweisen. Nicht die konkreten Lösungen, mit denen wir Kontakt

hatten, stehen dann mehr im Mittelpunkt, sondern die eigenen Bilder, die Wertvorstellungen und Erfahrungen, die die Mitglieder einer Organisation mit ihnen verbinden. Der Reichtum und die Ursprünglichkeit des Wissens müssen in Erscheinung treten, wenn gemeinsam gedacht und so neues Wissen entstehen soll.

Wissen existiert, wie die Gehirnforschung uns lehrt, in mehreren Formen, die unterschiedlich verarbeitet werden, aber dennoch miteinander verbunden sind. Der Gehirnforscher Ernst Pöppel unterscheidet drei Formen des Wissens: Explizites, implizites und bildliches Wissen.¹ Explizites Wissen ist uns bewusst, wir können es äußern, indem wir etwas sagen, einen Gegenstand beschreiben oder jemandem Auskunft geben, aber auch schriftlich niederlegen und dann katalogisieren, um es verfügbar zu machen. Implizit dagegen ist unser Wissen als körperliches Wissen, beispielsweise als motorisches Wissen. Für dieses können wir prinzipiell keine exakten Entsprechungen in der Sprache finden. Auch wenn wir gestalterisch tätig sind, kommt ein implizites Wissen zum Einsatz, das uns erst rückblickend, bei Betrachtung unseres Werks, wirklich bewusst wird – darin liegt ebenso der Sinn der Externalisierungen begründet, von de-

ren Notwendigkeit oben die Rede war. Anstrengungslos und beiläufig vollziehen wir auf der Basis solchen Wissens die Bewegungen und Handlungen des Alltags.²

Das bildliche Wissen schließlich unterscheidet Pöppel in Anschauungswissen, Erinnerungswissen und Vorstellungswissen.³ Anschauungswissen kommt darin zum Zuge, dass wir "etwas" immer "als etwas Bestimmtes" sehen: Es hat Bedeutung, hebt sich von einem Hintergrund ab und wird unwillkürlich bestimmten Kategorien zugeordnet. Erinnerungen wiederum sind bildhaft, weil sie unsere Erlebnisse und die Orte, an denen wir sie hatten, aneinander binden. Auf diese Weise entsteht das episodische Gedächtnis, das unsere Lebensgeschichte bereithält und uns so eine Identität verleiht. Das Vorstellungswissen schließlich bezieht sich auf topologische Strukturen und ist ein Gegenstand der Geometrie. Auch bei Graphendarstellungen funktionaler mathematischer Beziehungen schaltet sich ein Vorstellungswissen ein und erlaubt uns, die so dargestellten Zusammenhänge in unterschiedlichen Kontexten disziplinübergreifend wieder zu erkennen – dies ist eine Leistung bildlichen Denkens, das eine Fixierung auf das Ausdrückliche und Sprachliche übersteigt.

Entscheidend ist, dass die drei Wissensformen, auch wenn sie an unterschiedliche Prozesse des Gehirns gebunden sind, dennoch ein gemeinsames Wirkungsgefüge bilden. Die Wissensformen beeinflussen sich gegenseitig, und darin kündigt sich bereits an, dass Gründe dafür sprechen, sprachlich-explizites und bildliches Wissen ebenso wenig voneinander getrennt zu behandeln wie diese gegenüber dem impliziten Wissen, also dem Wissen der Bewegung und des Handelns. "Nur-explizites oder nur-begriffliches Wortwissen ist unfruchtbar. Nur-implizites oder nur-intuitives Wissen ist ziellos. Nur-individuelles Bildwissen ist unverbindlich", bringt Pöppel die Gefahren einseitiger Wissensentwicklungen auf den Punkt.⁴

Wer zusammen Neues denken will, muss sich auf der gesamten Bandbreite des Wissens, auf dem ganzen Feld der Wirklichkeit und Erfahrung bewegen und austauschen können. Bilder sind dann nicht als etwas Fertiges, als Lösung oder Produkt gefragt, sondern als Vermittler anschaulicher, intuitiver und identitätsbezogener Wissensformen. Bei den Wissensformen geht es nicht um unterschiedliche Themenstellungen, die getrennt zu entwickeln wären. Gemeinsames Denken muss so umfassend und multimodal gestaltet werden, wie es das individuelle Denken vormacht. Dies ist ganz wesentlich eine Frage der Vermittlung und der Denkwerkzeuge, die erst als ästhetische Medien disziplinäres Fachdenken überbrücken können.

3. Offene Lernszenarien

Architektur-denken und Architektur-machen setzen einen offenen Arbeitsprozess voraus, der ganz unterschiedliche Wissensformen, Begabungen und soziale Rollen von Anfang an einbindet. Ohne die Äußerung, Notation und Bearbeitung auch der bildlichen und der impliziten Wissensformen würden wir das gemeinsame Tun um die volle Bandbreite beschneiden, die das Wissen und Denken besitzt. Explizites, also argumentierendes, rational und sprachlich verfasstes Wissen hat keine Sonderstellung innerhalb der menschlichen Vermögen, ja nicht einmal eine isolierbare Funktionalität. Auch das explizite Wissen und seine wichtigen Eigenschaften der Abstraktion – Klarheit und Zielorientierung – kommen in kreativer und schöpferischer Hinsicht nur zum Zuge, wenn sie mit den anderen Wissensformen verbunden bleiben. Um dementsprechend arbeiten und innovative Wissensprozesse initiieren zu können, sind multimodale Medien unabdingbar, also solche, die Wissensformen komplementär verbinden.

Zwar kennt auch die Architektur bewährte (Detail-)Lösungen, und in den jeweiligen

Epochen kursieren ganz bestimmte, kollektiv mehr oder weniger verbindliche Raumideen. Der konkrete Fall jeder Organisation und jedes Bauherrn – und jedes Ortes – setzt aber voraus, dass die Lösung in ihrer Gesamtheit ebenfalls ein Einzelstück und mithin ein Denkergebnis ist. Das Ergebnis ist erst da – und man erkennt es daran –, wenn alle Beteiligten etwas gelernt haben. In den heutigen Wissensgesellschaften kommt es immer weniger darauf an, ein Wissen, das von anderen expliziert und festgehalten wurde, auswendig zu lernen. Der Wissensprozess selbst, der alle Formen des Wissens mit einbezieht, bildet vielmehr das Szenario, auf das hin gelernt werden muss.

In der Pädagogik scheint heute, zumindest in der Theorie, die Zeit endgültig überwunden zu sein, in der Lernen für die Schüler letztlich auf ein "Gelernt-werden" hinauslief. Lehrer und Schüler lernen heute gemeinsam, wenn auch in unterschiedlichen Rollen, indem über die "gemeinsame Sache" eine "gemeinsame Gegenwart" hergestellt wird.⁵ Der Pädagoge Theo Eckmann hat für eine solche Pädagogik den Leitbegriff der "Sozialästhetik" gewählt. In diesem Programm bringt er eine umfassende Ästhetik, verstanden als die "Ganzheit von Erleben, Erfahren, Wahrnehmen und Erkennen" mit der sozialen Erfahrung "des Miteinander, des Austausches, der Teilhabe", der "Partizipation und Ergänzung" zusammen.⁶ Ausschlaggebend für das Prinzip der Ergänzung ist "das Grundgefühl der Richtigkeit eines jeden Kindes",⁷ das "Erlebnis von Verschieden- und doch Gleichsein"⁸ – letztlich eine Notwendigkeit für demokratische Kultur schlechthin.⁹

Oben wurde mit Blick auf das Architekturschaffen erklärt, wie man eine solche "gemeinsame Sache" zur Darstellung bringen kann, indem man nach und nach einen "Raum" entstehen lässt, in dem die Äußerungen aller Beteiligten gleichwertig wiedergegeben werden. Dieser "Raum" verschafft

den Teilnehmern zugleich eine geteilte Zeit, eine gemeinsame Gegenwart, in der die Erfahrungen und Ideen aller präsent sind und doch beweglich und frei kombinierbar bleiben. Dass dabei bildliche Mittel zur Anwendung kommen, sorgt nicht nur für eine breite Wiedergabe aller Wissensformen: Bilder stellen Gleichzeitigkeit her zwischen den Teilnehmern, mehr als Texte dies können. Zwar kann das Vorlesen von Texten wie auch das Spielen von Musik eine gespannte Synchronizität unter den Zuhörern hervorbringen – doch immer nur auf einen Text hin oder mit einer Partitur. Die Plattform, die hier vorgestellt wurde, funktioniert durch Teilhabe und versammelt alle Ideen, damit sie – bei gleicher Präsenz – gemeinsam verändert werden können.

Dabei sind alle Lehrende und Lernende zugleich. Niemand kann an diesem Verfahren teilnehmen, ohne zu lernen. Gleiches gilt für das Lehren, wenn man darunter versteht, dass eigenes Wissen dargestellt und verständlich gemacht wird. Dabei erzeugt das dargestellte Verfahren durch den Einsatz geübter Zeichner eine gewisse Distanz, die der einzelnen Äußerung zum Ausdruck verhilft, sie zugleich aber in einen gemeinsamen Code einbindet. In der Pädagogik, erst recht bei kunstpädagogischen Ansätzen, könnte ein solches Verfahren verständlicherweise Befremden auslösen. Jede Methode hat aber ihren besonderen Einsatzbereich – und hier geht es darum, wie man unter Einbeziehung aller Wissensträger textlich wie bildlich zusammenarbeitet, Aufgaben analysiert und Lösungswege beschreitet, ohne den fertigen Bildern, den vorgegebenen Lösungen zu verfallen, die sich überall anzubieten scheinen.

Eine gemeinsame Sache ist aber etwas Neues. Der pädagogische Inhalt, das Lernen des Lernens, das dabei stattfindet, betrifft also weniger den expressiven und künstlerischen Ausdruck des Einzelnen. Vielmehr geht es um die soziale Erfahrung, dass jeder ein Wissen beitragen kann, dass jedes Wis-

sen berechtigt und gefragt ist und dass die Lösung erst am Ende eines mitunter schwierigen Weges liegt, der ohne diese Beiträge aber gar nicht gegangen werden kann.

Für eine noch offene Aufgabe und eine noch nicht (als fertiges Bild) verfügbare Lösung sich bewusst und voll Freude einzusetzen zu können, das ist in unserer bestehenden demokratischen Kultur ein "Lerninhalt" mit großem Anspruch und auch Nachholbedarf. Ohne den Einsatz stabiler und erprobter Verfahren wie das qualifizierte

Diagramm häufen sich aber schnell die Misserfolge oder bleiben die Ergebnisse zu weit hinter dem Möglichen zurück. Dabei eröffnen gerade die erfolgreichen Verfahren, hat man sie einmal "in Funktion" erlebt, einen weiten Raum von Kritik, Alternativen und Änderungsmöglichkeiten. Der Alltag in den Schulen, seine Organisation und Einrichtung bieten viele Möglichkeiten, mittels partizipativer Verfahren ein gemeinsames Denken an realen Problemen zu erproben und darüber die Teilhabe an Wissens- und Veränderungsprozessen.

Anmerkungen

¹ Pöppel, Ernst: Drei Welten des Wissens – Koordinaten einer Wissenswelt, in: Weltwissen – Wissenswelt. Das globale Netz von Text und Bild, hrsg. von Christa Maar, Hans Ulrich Obrist und Ernst Pöppel, Köln 2000, S.21-39.

² Ebd., S.23.

³ Ebd., S.25f.

⁴ Ebd., S.31.

⁵ Eckmann, Theo: Sozialästhetik. Lernen im Begegnungsfeld von Nähe und Freiheit. Beiträge zur Sozialästhetik, Schriftenreihe der Montag Stiftung Jugend und Gesellschaft, Bd.5, hrsg. von Theo Eckmann, Bochum/Freiburg, 3.Aufl., 2008, S.11.

⁶ Ebd., S.13.

⁷ Ebd., S.18.

⁸ Ebd., S.31.

⁹ Ebd., S.26.

2. Teil:

Fächer

Biologie:
Bilder bewirken Einstellungen
nach einer Idee von Ruth Bley

Rainer Dieckmann

Betrachten Sie diese beiden Bilder:



Quelle: Archiv des Verfassers

Man kann sich sicherlich kaum vorstellen, dass beide Personen von dem gleichen genetisch bedingten Syndrom betroffen sind. Es handelt sich um das sogenannte Turner-Syndrom, das dadurch zustande kommt, dass in der befruchteten Eizelle statt der üblichen zwei Geschlechtschromosomen nur eines (ein X-Chromosom) vorhanden ist. Die Symptome können sehr vielfältig sein, variieren allerdings sehr stark in ihrer Intensität von Person zu Person. Die häufigsten sind Kleinwüchsigkeit und eine veränderte Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerk-

male während der Pubertät. In der Regel sind die Anzeichen aber so diskret, dass sie äußerlich nur von einem Fachmann erkannt werden können.

Ziel des Unterrichts war es, den Schülerinnen und Schülern den massiven Einfluss des ersten Bildes, mit dem sie im Zusammenhang mit einer Krankheit konfrontiert werden, auf die daraus resultierende Einstellung zu der entsprechenden Krankheit bewusst zu machen. Zu diesem Zweck wurde der Kollegstufenkurs in zwei Gruppen unterteilt

und den beiden Gruppen jeweils eine Präsentation gezeigt, die über das Turner-Syndrom informieren sollte. Die jeweils andere Gruppe wurde gebeten, für ein paar Minuten den Raum zu verlassen. Der Inhalt und die weitere Bebilderung der beiden Präsentationen war identisch, der einzige Unterschied bestand in dem Einstiegsbild. Die eine Hälfte bekam zu Beginn der Präsentation das linke, die andere Hälfte das rechte Bild zu sehen. Im Anschluss an die Präsentationsphase wurde der Kurs wieder versammelt und die Kursteilnehmer/-innen gebeten, sich in die Situation hineinzusetzen, dass ein Paar aus ihrem Bekanntenkreis mit der pränatalen Diagnose Turner-Syndrom für ihr noch ungeborenes Kind konfrontiert würde. Anschließend wurden sie aufgefordert, ihre Gefühle und Meinungen, die sich wahrscheinlich einstellten, zu äußern. Es entwickelte sich eine rege Diskussion zwischen den Schülern, wobei in der Gegensätzlichkeit der Argumentation sehr stark die unterschiedlichen Einstiegsbilder zum Ausdruck kamen. Nach einer gewissen Zeit tauchte beinahe zwangsläufig die Frage auf, welchen Grund die Trennung des Kurses hatte.

Die Schüler äußerten den Verdacht, dass sich die beiden Präsentationen möglicherweise unterschieden haben könnten, was auch bestätigt wurde, denn sie bekamen daraufhin eine Folie zu sehen, welche die beiden Einstiegsbilder im unmittelbaren Vergleich darstellte. Erneut wurden die Kursteilnehmer gebeten, ihre aktuellen Gedanken zu formulieren. Mit einem hohen Maß an Übereinstimmung brachten nahezu alle Schüler ihr Erstaunen zum Ausdruck, wie stark ihre Einstellung zur Krankheit Turner-Syndrom von einem einzigen Bild determiniert wurde und wie sehr die andersartig präsentierte Information in den Hintergrund trat.

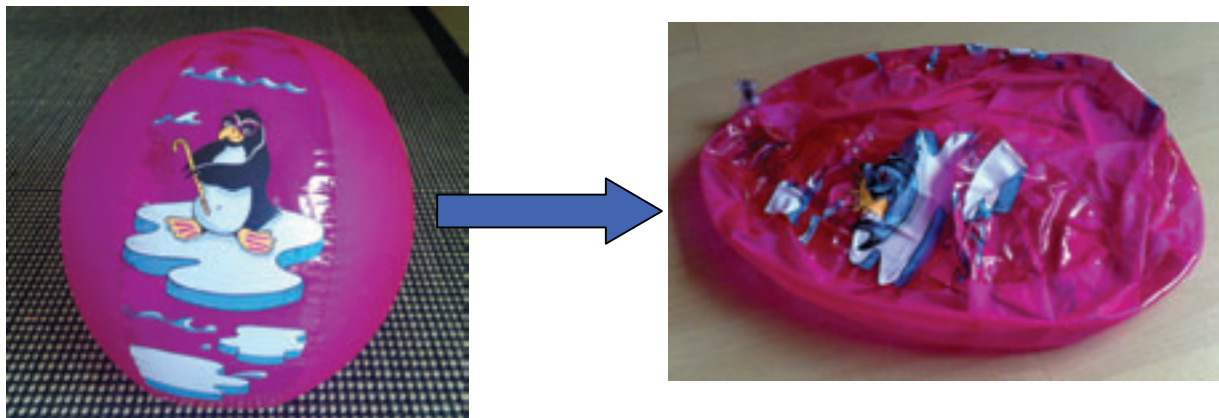
Aus den Erfahrungen kann man für seinen Unterricht allerdings auch die Schlussfolgerung ziehen, dass man mit der Präsentation von Bildern, die Menschen darstellen, auch eine Verantwortung der Person bzw. Personengruppe gegenüber übernimmt, da mit der Demonstration eine weitaus umfassendere Meinungs- und Einstellungsbeeinflussung verbunden zu sein scheint, als man sich bei einer raschen Bildauswahl möglicherweise bewusst macht.

Mathematik:

Die Oberfläche der Kugel

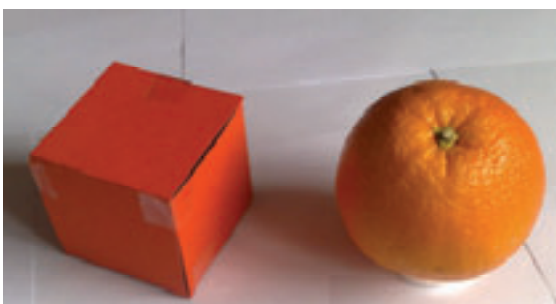
Brigitte Distel

Im Unterschied zu den anderen im Mathematikunterricht behandelten Körpern wie Quader, Würfel, Pyramide, Zylinder oder Kegel kann die Oberfläche einer Kugel nicht in der Ebene ausgebreitet werden:



Aus diesem Grund kann kein Netz der Kugel gezeichnet bzw. nachgebaut werden. Ein anschaulicher Zugang zu dem Begriff Kugeloberfläche fehlt, was vielleicht auch erklärt, dass die Formel zu ihrer Berechnung bei den meisten Schülern schnell wieder vergessen wird. Mithilfe der folgenden Unterrichtssequenz soll eine bildliche Veranschaulichung der Kugeloberfläche vorgestellt werden.

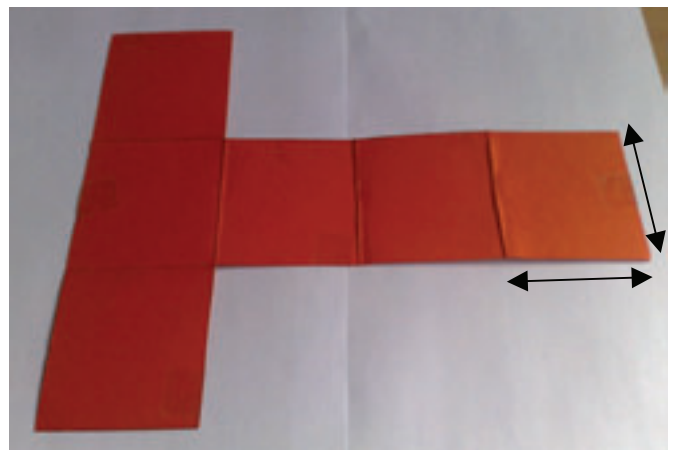
Es werden zwei Körper mit gleichem Volumen betrachtet. Eine kugelförmige Orange mit Radius r und ein Würfel mit der Kantenlänge a :



Die Oberfläche des Würfels kann in die Ebene ausgebreitet werden, es entsteht das Netz des Würfels:

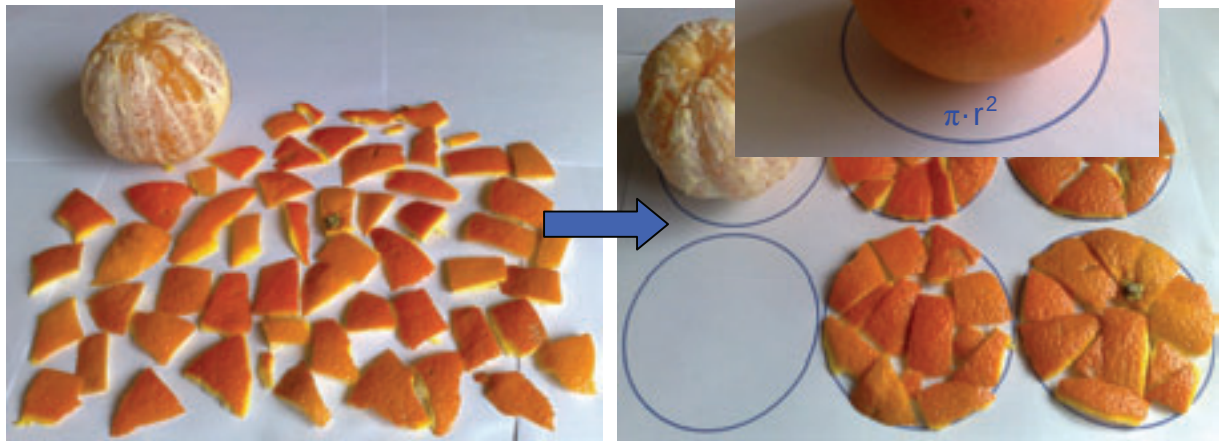
Dabei wird deutlich, dass die Oberfläche aus 6 Quadraten besteht, die der jeweiligen Projektion des Würfels in die Ebene entsprechen:

$$O_{\text{Würfel}} = 6 \cdot a^2$$



Bei der Kugel wollen wir analog vorgehen. Die senkrechte Projektion der Kugel in die Ebene ist ein Kreis mit dem Radius r der

Kugel. Die Fläche eines solchen Kreises beträgt $\pi \cdot r^2$. Wie viele solche Kreise ergibt die Kugeloberfläche?



Dieses Problem kann experimentell gelöst werden. Dazu wird die Orange geschält. Damit man die so erhaltene Oberfläche der Kugel (die Orangenschale) in die Ebene ausbreiten kann, muss sie in möglichst kleine Stücke geschnitten werden.

Man erkennt deutlich: $O_{Kugel} = 4 \cdot \pi \cdot r^2$.

Vergleich der beiden Oberflächen

Die beiden Körper hatten das gleiche Volumen, haben sie aber auch die gleiche Oberfläche? Auch dies kann man bildlich veranschaulichen, indem man die Orangenschalen auf dem Netz des Würfels verteilt.

Es ist deutlich zu erkennen, dass man weniger als 5 der 6 Quadrate füllen kann. Die Oberfläche der Kugel beträgt weniger als $\frac{5}{6}$ der Oberfläche des Würfels.

Die Kugel ist von allen Körpern derjenige mit dem kleinsten Oberflächen-Volumen-Verhältnis.



Dieses Bild soll abschließend in die Sprache der Mathematik übersetzt werden. Für die Volumina der beiden Körper sind die Formeln bekannt:

$$V_{Kugel} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \text{ bzw. } V_{Würfel} = a^3.$$

Da beide Körper das gleiche Volumen haben, kann man damit die Seitenlänge a des Würfels durch den Radius der Kugel ausdrücken:

$$a^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \text{ oder auch } a = \sqrt[3]{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3}.$$

Damit ergibt sich die Oberfläche des Würfels in Abhängigkeit vom Kugelradius r :

$$6 \cdot a^2 = 6 \cdot \left(\frac{4}{3} \pi\right)^{\frac{2}{3}} \cdot r^2$$

und für das Verhältnis der beiden Oberflächen:

$$\frac{O_{\text{Kugel}}}{O_{\text{Würfel}}} = \frac{4 \cdot \pi \cdot r^2}{6 \cdot \left(\frac{4}{3} \pi\right)^{\frac{2}{3}} \cdot r^2} = \frac{2 \cdot \pi^{\frac{1}{3}} \cdot 3^{\frac{2}{3}}}{3 \cdot 4^{\frac{2}{3}}} = \frac{\pi^{\frac{1}{3}}}{3^{\frac{1}{3}} \cdot 2^{\frac{1}{3}}} = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6}} \approx 0,806$$

Die Oberfläche einer beliebigen Kugel beträgt somit ca. 80% der Oberfläche des volumengleichen Würfels.

Physik:

Vom Bild zur Formel

Das Beispiel Teilchenmodell in der 8. Jahrgangsstufe

Tobias Jung

1. Einleitung

Galileo Galilei (1564-1642) wird das Zitat zugeschrieben, dass wir messen sollen, was messbar ist, und messbar machen sollen, was noch nicht messbar ist. Die Physik zielt letztendlich auf eine quantitative Beschreibung der Natur. In Anschluss an René Descartes (1596-1650) objektiviert sie dieselbe auf Grundlage ihrer Mathematisierbarkeit. Jeder mathematischen Formulierung naturgesetzlicher Zusammenhänge liegen jedoch simplifizierende und idealisierende Annahmen zugrunde. Wir beziehen uns nicht unmittelbar auf die als Natur bezeichnete, vermeintlich objektivierbare Außenwelt, sondern auf ein Modell, das wir uns von derselben machen. Dabei liegt jedem Modell eine Perspektive zugrunde, aus welcher der Untersuchungsgegenstand namens Natur studiert werden soll. Diese Perspektive legt die Annahmen fest, durch die wir bestimmte Aspekte ausblenden und andere ins Licht rücken. In der strukturalistischen Wissenschaftstheorie wird der Zusammenhang zwischen dem idealisierten Untersuchungsgegenstand der Physik und seiner mathematischen Beschreibung sogar so weit geführt, dass das Modell selbst zum Beispiel mengentheoretisch formuliert und damit auf mathematischer Grundlage dargestellt wird. Unter Modell wird dann diese mengentheoretische Formulierung verstanden. Im Rahmen des Schulunterrichts wird dieser Modellbegriff aber nicht aufgegriffen. Vielmehr werden Modelle – sofern es sich nicht um materiale Modelle, das heißt miniaturisierte oder vergrößerte Abbildungen der "Wirklichkeit" handelt – in der Regel ver-

balisiert und durch Bilder geeignet veranschaulicht. Hierbei ist der Begriff Bild in einem weiten Sinne gebraucht. Wir wollen uns die Verbalisierung und Visualisierung anhand des Teilchenmodells verdeutlichen, um dann der eigentlichen Frage nach einem Brückenschlag zwischen Bild und formal-mathematischer Darstellung weiter nachzugehen.

2. Eine Verbalisierung des Teilchenmodells

Das erste Modell, mit dem die Schüler der 8. Jahrgangsstufe gemäß dem "Lehrplan für das Gymnasium in Bayern" (G8) im Unterrichtsfach Physik konfrontiert werden, ist das Teilchenmodell, das auch als Teilchenbild oder Teilchenvorstellung bezeichnet wird. Als Teilchenmodell soll dabei der Verband der folgenden drei Aussagen verstanden werden:

- (T₁) Alle Stoffe bestehen aus Teilchen.
- (T₂) Die Teilchen befinden sich in ständiger, unregelmäßiger Bewegung.
- (T₃) Zwischen den Teilchen wirken Kräfte.

Das Teilchenmodell dient einer ersten Annäherung an den korpuskularen Aufbau der Materie, wenngleich die Quantentheorie – Stichwort Welle-Teilchen-Dualismus – dieser Vorstellung Grenzen setzt. Auf seiner Basis sollen bestimmte Phänomene aus der Wärmelehre wie die verschiedenen Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig, die Bedeutung der Temperatur, die Existenz eines absoluten Nullpunkts der Temperatur,

die Volumenausdehnung bei Erwärmung oder die Änderung von Aggregatzuständen infolge des Zuführens oder Entziehens von Wärme beschrieben oder erklärt werden.

3. Der Weg zu einer angemessenen Visualisierung des Teilchenmodells

Um das verbalisierte Teilchenmodell mit den Aussagen T_1 bis T_3 anwenden zu können, empfiehlt sich eine Visualisierung des Modells. Üblicherweise werden die Teilchen als Kügelchen – beziehungsweise genauer gesagt als Kreisflächen in der zweidimensionalen Zeichenebene – dargestellt. Im Rahmen einer Unterrichtssequenz, die

im Schuljahr 2006/2007 in einer 8. Klasse am Dominikus-Zimmermann-Gymnasium in Landsberg am Lech zum Teilchenmodell durchgeführt wurde, wurden die Schüler aufgefordert, ausgehend vom Teilchenmodell Festkörper, Flüssigkeit und Gas zu visualisieren. Das in Abbildung 1 gezeigte Resultat beruht zunächst nur auf der Aussage T_1 . Betrachten wir exemplarisch die Veranschaulichung des Festkörpers, so ist ersichtlich, dass durch das unmittelbare Angrenzen der die Teilchen repräsentierenden Kreise aneinander kein Raum für eine ständige und unregelmäßige Bewegung der Teilchen (Aussage T_2) bleibt und auch eine Darstellung der zwischen den Teilchen wirkenden Kräfte (Aussage T_3) fehlt.



Abb. 1: Veranschaulichung der Aggregatzustände im Teilchenmodell durch die Schüler

Die Herausarbeitung einer adäquaten Visualisierung des festen Aggregatzustands auf Grundlage des Teilchenmodells mit

den Aussagen T_1 bis T_3 im Unterrichtsgespräch ist idealtypisch in Abbildung 2 dargestellt.

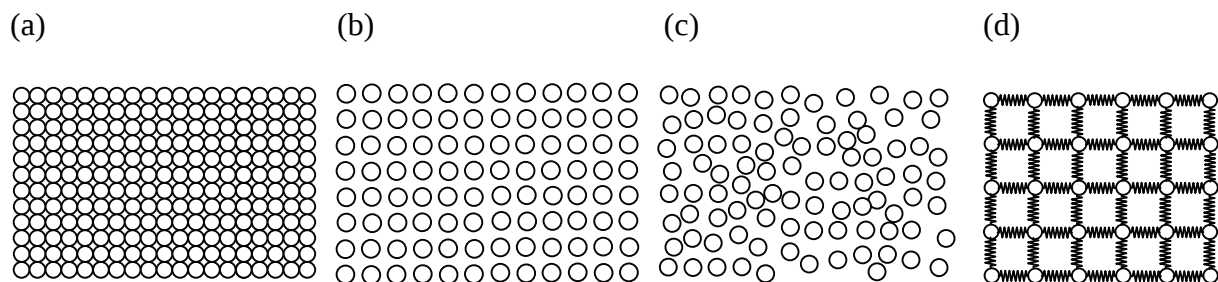


Abb. 2: Mögliche Visualisierungen eines Festkörpers auf Grundlage des obigen Teilchenmodells

Nimmt man zur Aussage T_1 auch noch die Aussage T_2 hinzu, dann können die Kreisflächen nicht wie in Abbildung 2 (a) unmittelbar aneinander angrenzend gezeichnet werden, sondern es muss Raum für die Teilchenbewegung geschaffen werden – vergleiche Abbildung 2 (b). Bei dieser Visualisierung fehlt allerdings eine angemessene Darstellung der Kräfte zwischen den Teilchen (Aussage T_3). Die ständige und unregelmäßige Teilchenbewegung würde nämlich dazu führen, dass sich im Laufe der Zeit ausgehend vom geordneten Zustand in Abbildung 2 (b) der ungeordnete Zustand in Abbildung 2 (c) ergäbe. Damit hätte man aber die übliche Visualisierung einer Flüssigkeit. Um die Aussage T_3 in der Visuali-

sierung zu berücksichtigen, können die Kräfte durch Federn zwischen den Teilchen veranschaulicht werden. Wir sind dann beim Federnmodell des Festkörpers angelangt, das die drei Aussagen T_1 bis T_3 in angemessener Weise beinhaltet. Vom Federnmodell als Visualisierung des Festkörpers kann die von Dr. Hermann Deger entwickelte MOLDYN-Matratze¹ als materiales Modell genommen werden (Abbildung 3). Die Teilchen, die durch Kreisflächen visualisiert wurden, sind nun durch Holzkugeln von einigen Zentimetern Durchmesser realisiert, die Kräfte, die in vereinfachender Weise durch Federn als mechanisches Analogon veranschaulicht wurden, sind durch Schraubenfedern verwirklicht.

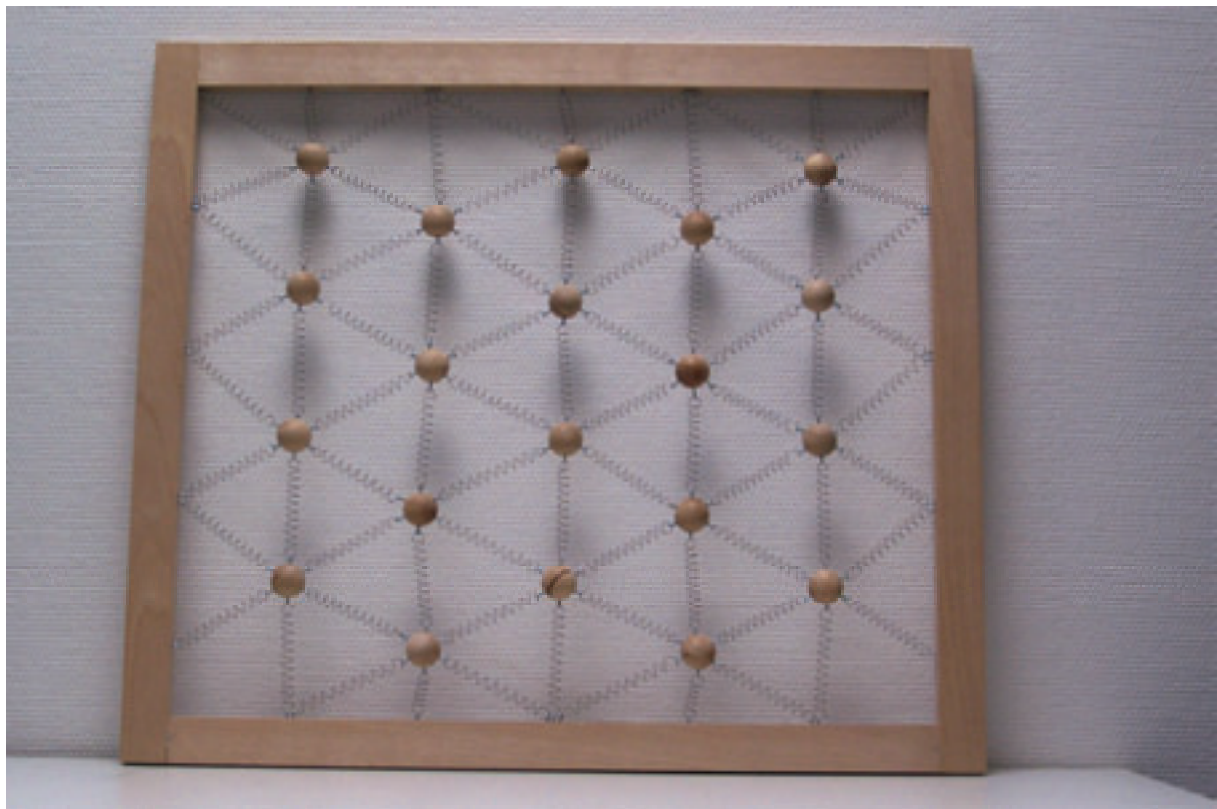


Abb. 3: Die MOLDYN-Matratze als materiales Modell der Visualisierung des Festkörpers durch das Federnmodell

Wie hier nur angedeutet wurde, kann Schülern der 8. Jahrgangsstufe bereits die angemessene Visualisierung des Teilchenmodells gewisse Probleme bereiten. Die

Überwindung dieser Schwierigkeiten und das Ausräumen diesbezüglicher Fehlvorstellungen sind aber meines Erachtens notwendig, um die Grundlage für eine Anwen-

derung des Teilchenmodells zu schaffen. Die Visualisierung des Teilchenmodells bereitet den Boden, um ein erstes Verständnis verschiedener Phänomene, die mit dem Verhalten der Materie auf mikroskopischer Ebene zu tun haben, zu erlangen. Hierbei umfasst das Verständnis zunächst qualitative Aspekte wie die Herausbildung einer Mischtemperatur beispielsweise beim Ineinandergießen zweier gleicher oder verschiedener Flüssigkeiten F_1 und F_2 mit Temperaturen ϑ_1 und ϑ_2 . Gemäß dem eingangs Gesagten zielt eine physikalische Beschreibung der Natur aber letztlich auf eine quantitative Analyse derselben, beispielsweise der Berechnung der Mischtemperatur ϑ_m bei bekannten Massen m_1 und m_2 , Temperaturen ϑ_1 und ϑ_2 und spezifischen Wärmekapazitäten c_1 und c_2 der beiden Flüssigkeiten, die miteinander gemischt werden:²

$$\vartheta_m = \frac{c_1 m_1 \vartheta_1 + c_2 m_2 \vartheta_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2} \quad (1).$$

Im Unterricht zeigen sich meiner Erfahrung nach beim größten Teil der Schüler Schwierigkeiten, die für qualitative Aspekte hilfreiche Visualisierung des Teilchenmodells und die mathematische Formulierung zur Lösung quantitativer Aspekte überhaupt in Zusammenhang zu bringen oder in einer sinnvollen Weise zu verknüpfen. Daraus resultiert die Frage, wie ein Brückenschlag vom Bild zur formal-mathematischen Beschreibung wenigstens ansatzweise gelingen kann. Wir wollen dieser Frage am Beispiel der Mischtemperatur nachgehen.

4. Vom Bild zur formal-mathematischen Beschreibung – Eine erste Annäherung

Bevor man aber den Versuch einer Beantwortung dieser Frage unternimmt, sollte man sich exemplarisch klarmachen, warum ein solcher Brückenschlag einerseits Schwierigkeiten bereitet und warum er andererseits überhaupt wünschenswert erscheint. Die

Schwierigkeiten wurzeln meines Erachtens erstens in den üblichen Problemen der Schüler mit der mathematischen Behandlung physikalischer Fragestellungen. Der richtige Ansatz, das Umstellen von Gleichungen und das allgemeine Auflösen nach der gesuchten Größe sowie der korrekte Umgang mit Einheiten sind für die meisten Schüler nicht selbstverständlich und erfordern hohe Konzentration. Eine zweite Quelle für die Schwierigkeiten könnte aber in einer ungeeigneten Behandlung des Stoffs liegen. Oft wird eine schematische mathematische Lösungsstrategie mit Aufschreiben der gegebenen Größen und der gesuchten Größe, Aufstellen der Gleichung, Auflösen und Berechnen der gesuchten Größe eingeübt. Dieses Verfahren hat sicherlich eine gewisse Berechtigung, verstellt aber möglicherweise ein anschauliches Erfassen und Verstehen der physikalischen Situation oder des physikalischen Prozesses, die mit der gesuchten Größe verbunden sind. Wenn man mit bloßer Anwendung von Mathematik zur Lösung zahlreicher physikalischer Probleme gelangt, erscheint es als verzichtbar, eine physikalische Vorstellung zu entwickeln. Ein dritter Grund für die Schwierigkeiten scheint mir in der Natur der Sache zu liegen. Die qualitative Veranschaulichung ist nicht auf einfache Weise mit quantitativen Größen verknüpft. Die Verknüpfung muss zusätzlich erarbeitet werden. Der Brückenschlag zwischen qualitativer Vorstellung und quantitativer Berechnung ist aber wünschenswert, weil jedes quantitative Ergebnis seine physikalische Bedeutung erst im Rückbezug auf eine physikalische Vorstellung erhält. Ohne eine solche Rückbindung könnten beispielsweise schwerlich Grenzen von Modellen aufgedeckt werden.

Am Beispiel der Mischtemperatur soll im Folgenden angedeutet werden, in welcher Weise der angesprochene Brückenschlag erfolgen könnte. Den Schülern ist aus ihrer Alltagserfahrung bekannt, dass sich bei Mischung zweier Flüssigkeiten unterschiedlicher Temperatur ϑ_1 beziehungsweise ϑ_2

eine Temperatur ϑ_m einstellt, die zwischen den Temperaturen ϑ_1 und ϑ_2 liegt. Mischt man beispielsweise 300 g Apfelsaft der Temperatur 10 °C und 200 g Mineralwasser der Temperatur 20 °C – wir wollen der Einfachheit halber und in guter Näherung annehmen, dass die spezifischen Wärmekapazitäten beider Flüssigkeiten gleich dem Wert

$$c_{\text{Wasser}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

des Wassers entsprechen –, so ist den Schülern klar, dass die Mischtemperatur der resultierenden 500 g Apfelsaftschorle zwischen 10 °C und 20 °C liegt. Bevor man sich aber an eine theoretische Berechnung dieser Mischtemperatur oder auch ihre quantitative experimentelle Bestimmung macht, sollte man das Zustandekommen einer Mischtemperatur anhand des Teilchenmodells herausarbeiten. Bereits eine Aufgabenstellung, die bestimmte Werte für physikalische Größen enthält, aber nur eine qualitative Lösung verlangt, kann für einige Schüler etwas Ungewohntes und Neues sein. Eine "Erklärung" des Zustandekommens einer Mischtemperatur auf Grundlage des Teilchenmodells könnte folgendermaßen lauten, wenn man didaktisch vereinfachend von Apfelsaftteilchen und Wasserteilchen spricht. Der Apfelsaft weist im Vergleich zum Mineralwasser eine geringere Temperatur auf. Folglich sind die mittlere kinetische Energie und damit auch der

mittlere Betrag der Geschwindigkeit eines Apfelsaftteilchens kleiner als beim Wasserteilchen. Zwischen den Teilchen wirken Kräfte, das heißt anschaulich, dass die Teilchen gegeneinander stoßen. Bei diesen Stößen wird im Mittel Energie vom schnelleren auf das langsamere Teilchen übertragen. In der Regel übertragen also die Wasserteilchen einen Teil ihrer kinetischen Energie auf ein Apfelsaftteilchen. Nach einer bestimmten Zeit haben im Mittel alle Teilchen (das heißt sowohl die Apfelsaftteilchen als auch die Wasserteilchen) dieselbe mittlere Energie. Diese mittlere Energie ist kleiner als die ursprüngliche mittlere Energie der Wasserteilchen und größer als die ursprüngliche mittlere Energie der Apfelsaftteilchen. Sie entspricht einer Temperatur, die kleiner als die ursprüngliche Temperatur des Wassers und größer als die ursprüngliche Temperatur des Apfelsafts ist. Diese neue mittlere Temperatur ist die Mischtemperatur. Wenn man das Zustandekommen einer Mischtemperatur auf solche Weise veranschaulicht hat – und dazu könnte man eine Folge von Bildern verwenden, um die zeitliche Entwicklung darzustellen (Abbildung 4) –, sollte eine Berechnung der Mischtemperatur allen Schwierigkeiten, die eine mathematische Behandlung den Schülern bereitet, zum Trotz mit einer anschaulichen Vorstellung des zugrunde liegenden physikalischen Vorgangs einhergehen.

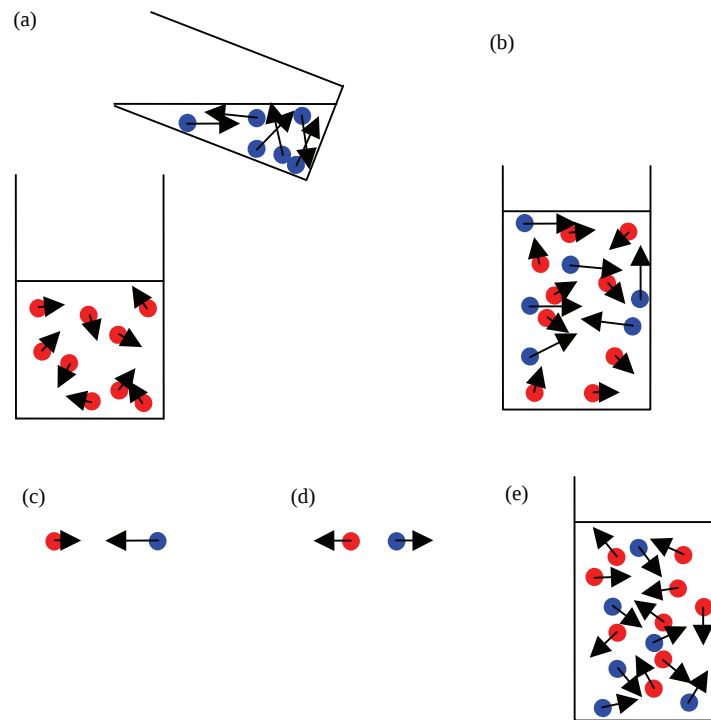


Abb. 4: Veranschaulichung des Zustandekommens einer Mischtemperatur

Während der mathematischen Behandlung sollte immer wieder der Bezug zur anschaulichen Vorstellung hergestellt werden, beispielsweise indem die Verankerung physikalischer Größen in der anschaulichen Vorstellung aufgewiesen wird. Aufgrund der Energieerhaltung gilt, dass die Summe der inneren Energien von Apfelsaft und Mineralwasser gleich der inneren Energie der entstehenden Apfelschorle ist. ("Energie verschwindet nie.") Die Energien der einzelnen Komponenten ändern sich aber infolge von Wärme, die entzogen beziehungsweise zugeführt wird. Der Apfelsaft nimmt Wärme auf, das Mineralwasser gibt Wärme ab:

$$|Q_{\text{auf}}| = |Q_{\text{ab}}| \quad (2).$$

Die aufgenommene beziehungsweise abgegebene Wärme hängt jeweils von der Masse, der spezifischen Wärmekapazität und der Temperaturänderung ab:

$$c_{\text{Wasser}} \cdot m_A \cdot (\vartheta_m - \vartheta_A) = c_{\text{Wasser}} \cdot m_W \cdot (\vartheta_W - \vartheta_m) \quad (3).$$

Das Auflösen nach der Mischtemperatur – sie manifestiert sich im mittleren Betrag der Geschwindigkeit der Teilchen, die sich ja ständig und unregelmäßig bewegen – ergibt:

$$\vartheta_m = \frac{m_A \cdot \vartheta_A + m_W \cdot \vartheta_W}{m_A + m_W} \quad (4).$$

Das Einsetzen der gegebenen Werte liefert als Resultat für die Mischtemperatur:

$$\vartheta_m = \frac{300 \text{ g} \cdot 10^\circ\text{C} + 200 \text{ g} \cdot 20^\circ\text{C}}{300 \text{ g} + 200 \text{ g}} = \underline{\underline{14^\circ\text{C}}} \quad (5).$$

An dieser Stelle bietet sich eine Rückbindung des quantitativen Ergebnisses an die qualitative Vorstellung an. Das Ergebnis stimmt mit unserer qualitativen Erwartung

$$\vartheta_m \in]\vartheta_A; \vartheta_W[$$

überein und erscheint von daher als physikalisch sinnvoll.

5. Zusammenfassung

Die Schwierigkeit, dass eine qualitative anschauliche Vorstellung keine immanente Beziehung zur quantitativen Berechnung physikalischer Größen (die auf dem Modell, das veranschaulicht wird, beruhen) aufweist, lässt sich sicher nicht aufheben. Dennoch scheint mir der exemplarisch skizzierte Ansatz eine geeignete Möglichkeit, eine Verbindung zwischen quantitativer Berechnung und qualitativer Vorstellung herzustellen. Dieser Ansatz beinhaltet meiner Auffassung nach folgende Momente:

- Verknüpfung quantitativer und qualitativer Aufgabenstellungen;
- Rückbindung physikalischer Größen an die anschauliche Vorstellung;
- Beginn mit der Verankerung der anschaulichen Vorstellung als erstem Schritt und rechnerische Lösung im zweiten Schritt.

Das Problem, das dabei auch für den Lehrenden auftritt, ist, dass die verschiedenen Ebenen der mathematischen Formulierung des Modells, der Veranschaulichung des

Modells und der "Wirklichkeit" oder "objektiven Außenwelt" sauber auseinander gehalten werden müssen. Ansonsten wird anstelle einer anschaulichen Vorstellung eine Konfusion der Schüler erreicht. Dass letztlich jedes Modell, wie auch das hier verwendete Teilchenmodell, Grenzen aufweist und Schwächen hat, die zudem uns Lehrern in der Regel bekannt sind, sollte uns nicht daran hindern, diese Modelle bewusst einzusetzen und auf ihre Veranschaulichung und Visualisierung hinzuarbeiten. Auch ein vermeintlich "falsches" Modell kann eine wichtige Funktion für die Erlangung einer anschaulichen Vorstellung physikalischer Phänomene und Prozesse erfüllen. Als Beispiel mag man hierfür vor allem den Physiker und Philosophen Ernst Mach (1838-1916) anführen. Er lehnte die "Existenz und Realität der Atome" lange Zeit vehement als metaphysisches, nicht der direkten Sinneserfahrung zugängliches Element mechanistischer Naturerklärung ab: "Wenn jemand von den Atomistiken [...] vor ihm [das heißt vor Ernst Mach] von Atomen sprach, fuhr er meist mit der Frage dazwischen: 'Habens eins g'sehn?'"³ Dennoch bestritt er keineswegs den heuristischen und didaktischen Wert der Atomistik, welcher in ihrer Anschaulichkeit liegt.

Anmerkungen

¹ Vgl. hierzu Deger, Hermann/Gleixner, Christian/Pippig, Rainer u.a.: Galileo 8. Das anschauliche Physikbuch, München u.a. 2006, S.47f.

² Hierbei soll der Wärmeaustausch mit der Umgebung vernachlässigbar sein. Ferner sollen keine Änderungen der Aggregatzustände der beiden Flüssigkeiten stattfinden.

³ Meyer, Stefan: Festschrift des Instituts für Radiumforschung anlässlich seines 40-jähriges Bestandes (1910-1950), in: Sitzungsberichte der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abteilung IIa, 159 (1950), Nr.1/2, S.5.

Geographie:

Die orientalische Stadt

Ulrich List

1. Vorbemerkung

Das Fach Geographie ist im besonderen Maße auf den Einsatz verschiedener Bilder und Darstellungen angewiesen, erhebt es doch den Anspruch, dem Schüler ein "Bild der Welt" zu vermitteln und ihm damit eine Raumverhaltenskompetenz zu verschaffen. Er soll Erkenntnis von räumlichen Strukturen und Prozessen eines Raumes erhalten, die sich seiner unmittelbaren Wahrnehmung und Erfahrungswelt entziehen. Um dies in kind- und schülergerechter Form bewerkstelligen zu können, ist es zwingend erforderlich, dem Schüler ein möglichst differenziertes und vielschichtiges "Bild" des behandelten Raumes zu präsentieren.

Im Rahmen des für diese Tagung erarbeiteten Unterrichtskonzeptes wurden den Teilnehmern verschiedene in der Unterrichtspraxis leicht durchführbare Beispiele des Einsatzes von Bildern im Geographieunterricht vorgestellt. Es sei jedoch angemerkt, dass die exemplarischen Bildbeispiele den Umfang einer einzelnen Unterrichtsstunde für die Zielgruppe, eine Mittelstufenklasse am Gymnasium, wohl sprengen würden. Hauptanliegen dieser Präsentation war eine exemplarische Darstellung des Umgangs mit Bildern im Geographieunterricht für die Kollegen anderer Fächer.

Ein möglicher Unterrichtsverlauf für das dargestellte Thema der Stunde ist am Ende dieses Beitrags angefügt. Die beispielhaft verwendeten Medien entstammen dem Schulbuch Seydlitz 8 Geographie (Gymnasium Bayern), 2006 sowie dem Haack-Weltatlas (Klett, 2007). Diese oder ähnliche

Unterrichtsmaterialien aus Atlas und Schulbuch stehen allen Schülern in der Unterrichtspraxis zur Verfügung, die Präsentation ist daher problemlos im Unterricht durchführbar. Ferner wurde auf Luftbilder zugegriffen, die bei Google Earth abgerufen wurden.

2. Beispiele für Bilddarstellungen im Unterricht

2.1 Vom Text zum Vorstellungsbild

Am Beginn der Stunde erfolgt eine Einstimmung der Lerngruppe auf das folgende Unterrichtsthema. Hierbei gilt es, das unterschiedliche Vorwissen und die Erfahrungswelt der Schüler zu berücksichtigen. Viele Schüler beziehen ihr Vorwissen um orientalische Städte ausschließlich aus Reisedokumentationen, Spielfilmen oder anderen Reportagen. Einige Schüler waren vielleicht schon selbst im Urlaub vor Ort und können somit weitreichende, vielleicht detailliertere Erfahrungen als der Lehrer selbst mit in das Unterrichtsgeschehen einbringen.

Ein vorgelesener Schulbuchtext über eine Szene auf einem orientalischen Bazar soll die Schüler auf die Unterrichtsstunde einstimmen und eine Annäherung an das angesprochene Gebiet ermöglichen. Das somit im Kopf der Schüler entstehende Bild (Vorstellungsbild) wird, je nach Vorwissen und Interessenslage der Lernenden, sehr individuell ausfallen. Diese Ausgangsbilder der "orientalischen Stadt" sollen in der Unterrichtssituation diversifiziert, strukturiert und verändert werden.

2.2 Wandkarte

Die Verortung des orientalischen Raums kann mit Hilfe einer topographischen Übersichtskarte erfolgen. Karten geben ein reduziertes und abstrahiertes Bild der Wirklichkeit wieder. In diesem Zusammenhang kann eine stark generalisierte Karte verwendet werden. Sie bietet den Schülern eine Hilfestellung, um die räumliche Dimension des Untersuchungsraums und seine Abgrenzungen zu visualisieren sowie die topographischen Grundkenntnisse zu erweitern. Durch die Auswahl des Kartenausschnittes können verschiedene Aspekte und Fragestellungen bewusst in den Vordergrund gestellt werden. Wo beginnt der Orient? Kann das Morgenland westlich von uns liegen (z.B. Marokko)? Zählen islamische Staaten wie Indonesien zum Orient?

2.3 Stadtplan

Wichtige Aspekte und Grundmuster der orientalischen Stadt werden anhand von Stadtplänen erarbeitet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Schüler der Mittelstufe viel Zeit für die Interpretation von Karten benötigen. Für den Vergleich von beispielsweise Schrägluftbildern mit der entsprechenden Kartendarstellung eines Innenstadtbereiches ist daher ausreichend Zeit zu veranschlagen.¹

2.4 Modell

Einen weiteren Schritt der Abstraktion und somit des leichteren Verständnisses der Stadtstrukturen bildet das Modell. Hier werden durch nochmalige Komplexitätsreduzierung und einfache Darstellung grundlegende regelhafte Merkmale orientalischer Städte graphisch dargeboten. Die Gefahren einer zu großen Verallgemeinerung und da-

durch bedingt der Nichtberücksichtigung wichtiger Aspekte muss den Schülern bewusst gemacht werden.²

2.5 Luftbilder und Fotos

Einen Gegenpol zu immer höherer Abstraktion und Reduzierung stellen Luftbildaufnahmen (z.B. aus Google Earth) dar. Sie sind ein geeignetes Mittel, um die in Karte und Modell herausgearbeiteten Grundstrukturen am realen Beispiel nachzuweisen und die Gültigkeit von Modellen zu verifizieren. Einzelne photographische Darstellungen besonders typischer Stadtstrukturen helfen den Schülern, sich die Situation vor Ort vorzustellen. Eine kritische Hinterfragung bezüglich der Aussagekraft des gezeigten Bildausschnittes und die Gefahr der Verallgemeinerung ist den Schülern dabei bewusst zu machen.³ Diese Bilder können sowohl in der Erarbeitungsphase als auch in der Ergebnissicherung als Impulse für die Schüler eingesetzt werden.

3. Ausblick

Für den Großteil der Schüler ist der im Unterricht dargestellte Raum nicht unmittelbar erfahrbar. Zusätzlich zu dem bereits existierenden und stark variierenden "Bild im Kopf" eines jeden Einzelnen sind die Schüler daher auf Informationen und "Bilder" aus zweiter Hand angewiesen. Durch die Präsentation verschiedener Medien und Informationen strebt der Unterricht eine Annäherung des beim Schüler vorhandenen "Bildes des dargestellten Raumes" an die Realität an. Eine absolute Erfassung der Realität wird aber wegen der zwangsläufigen Reduktion des Themas im Unterricht und der Subjektivität von Betrachter und Vermittler nie erreichbar sein.

Unterrichtseinheit: **Orient – Nordafrika, Naher und Mittlerer Osten**

Thema der Stunde: **Die orientalische Stadt – Merkmale und moderne Entwicklungen**

Unterrichtsverlauf		
Lerninhalte / Lernschritte	Unterrichtsverfahren	Medium
Motivation – Einstieg		
Einstimmung auf die Unterrichtsstunde und Annäherung an das behandelte Gebiet	Lehrervortrag: Vorlesen eines Textes, in dem ein orientalisches Basar beschrieben wird; <i>Keine visuellen Eindrücke!</i> "Das erste Bild entsteht im Kopf", vorhandenes Wissen aus Büchern, Magazinen, Urlaub, Fernsehen wird abgerufen. Bei den Schülern entstehen verschiedene Bilder und Vorstellungen	Text aus dem Schulbuch, Lehrer liest Text vor, Schüler haben die Bücher noch geschlossen
Erarbeitung I		
Verortung der orientalischen Stadt, Rückgriff auf bereits vorhandenes Vorwissen	Unterrichtsgespräch: Sammlung von Definitions- und Abgrenzungskriterien, evtl. an Seitentafel sammeln (Islam, Nordafrika und östl. Asien ...)	Wandkarte / projizierter Kartenausschnitt auf Beamer, Tageslichtprojektor, evtl. Tafel zum Notieren von Schlagworten
Kennenlernen der verschiedenen Teile und Merkmale der traditionellen orientalischen Stadt	Partnerarbeit: Schüler lesen Text und arbeiten mit Hilfe der Karte und des Schrägluftbildes die typischen Merkmale der traditionellen orientalischen Stadt heraus Anschließend Sammlung der Ergebnisse im Unterrichtsgespräch mit exemplarischer Darstellung einzelner Phänomene im Bild und Fixierung der Stichpunkte im Tafelbild	Schulbuchtext "Orientalische Städte", Schrägluftbild der Medina von Marrakesch, Stadtplan von Marrakesch aus: Seydlitz 8, S.58-59 Tafel Projizierte Bilder der traditionellen orientalischen Stadt Tafel
Zwischensicherung		
Überprüfung der Ergebnisse an einem weiteren Raumbeispiel	Unterrichtsgespräch: Schüler übertragen das Gelernte auf eine andere Stadt und finden Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede	Haack Weltatlas, S.158 Karte
Erarbeitung II		
Erkennen moderner Entwicklungen in orientalischen Städten	Partnerarbeit / Stillarbeit: Schüler weisen die im Buchtext dargestellten Veränderungen in der Stadtstruktur am regionalen Beispiel nach, anschließend Sammlung der Ergebnisse im Unterrichtsgespräch und Fixierung im Tafelbild	Haack Weltatlas, S.158 Karte Schulbuchtext "Die orientalischen Städte verändern sich" Seydlitz 8, S.60 mit 2 Bildern Projizierte Bilder der modernen orientalischen Stadt Tafel
Ergebnissicherung		
Wiederholung und Sicherung der Ergebnisse der Unterrichtsstunde	Unterrichtsgespräch: Überprüfung der Gültigkeit von Modellen der orientalischen Stadt mit Stadtplänen / Luftbildern	Luftbild von Damaskus (z.B. aus Google Earth)
Hausaufgabenstellung: Wiederholung der Buchseiten 58-60, Vergleich mit Abbildungen im Atlas S.158, 1-4		

Anmerkungen

¹ Siehe Schrägluftbild der Medina von Marrakesch und Stadtplan von Marrakesch, Seydlitz 8 Geographie, Braunschweig 2006, S.58-59.

² Z.B. 2. Entwicklungsphasen der islamischen Stadt im Modell, Haack Weltatlas, Gotha 2007, S.158.

³ Vgl. Hamann, Berta u.a.: Bilddidaktik im Geographieunterricht, in: Wissensgenese an Schulen. Beiträge einer Bilddidaktik, hrsg. von Paula Bodensteiner, Ernst Pöppel und Ernst Wagner, (Argumente und Materialien zum Zeitgeschehen, Sonderausgabe 1/2007), München 2007, S.90ff.

Chemie:

Vorstellungen zum Teilchenmodell der Materie

Unterrichtsversuche in Mittel- und Unterstufe

Thomas Nickl

Mittelstufe – 8. Klasse

Alle Stoffe sind aus kleinsten Teilchen aufgebaut, aus Atomen bzw. Molekülen. Bei einer chemischen Reaktion trennen sich zuvor miteinander verbundene Atome, um gleich darauf ganz neue Bindungen zu knüpfen. Damit man sich von alledem eine Vorstellung machen kann, braucht man Modelle, bei denen ein Atom beispielsweise als schlichte Kugel, als Legosteine oder aber als Comicfigur dargestellt sein kann.

Im achtjährigen Gymnasium beginnt der Chemie-Unterricht ein Jahr früher als zuvor in der neunjährigen Form. Grund genug, sich die Frage zu stellen, wie gut oder wie schlecht die verschiedensten Arten von Modellvorstellungen über die kleinsten Teilchen der Materie bei den Schülerinnen und Schülern ankommen. Um Antworten auf diese Frage zu bekommen, führte ich in der 25-köpfigen Klasse 8d des Oskar-Maria-Graf-Gymnasiums in Neufahrn eine Untersuchung durch, deren wesentliche Ergebnisse hier dargestellt werden sollen.

So gut wie alle Schülerinnen und Schüler fanden es hilfreich, dass nicht nur eine einzige Art, sondern verschiedene Modelle nebeneinander angeboten wurden. Dabei stellte sich das klassische Kugelmodell als Favorit heraus: 56% der Klasse wählten es als "persönliches Lieblingsmodell" und zwar vor allem, weil es eine "realitätsnahe Vorstellung" gibt, aber auch weil es gut verständlich, übersichtlich und leicht zu zeichnen ist. Häufig genannte Argumente gegen das Kugelmodell waren: "Man hat es nicht

zu Hause" (im Gegensatz zu Lego) und "Der Zusammenbau ist (wegen der Verbindungsteile) kompliziert." Nur drei Mitglieder der Klasse lehnten dieses Modell vollständig ab.

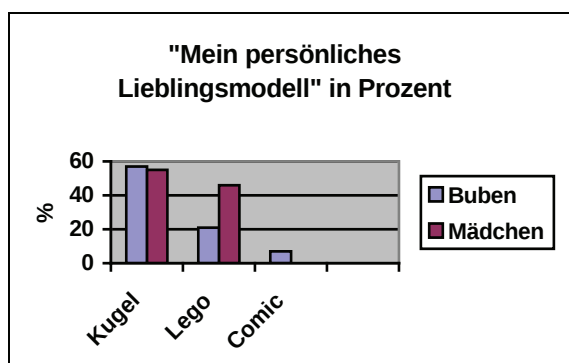
32% bezeichneten das Legomodell als ihr "persönliches Lieblingsmodell". Die hauptsächlichsten Gründe für diese Wahl waren, neben der Übersichtlichkeit, dass es leicht zu handhaben ist und in der Regel zu Hause zur Verfügung steht. (Vielen hat das Modellbasteln bei den Hausaufgaben geholfen.) Das einzige Argument gegen das Steckbaustein-Modell, das mehrfach genannt wurde, war die Tatsache, dass es "unrealistisch" ist. Nur zwei Schüler mochten das Legomodell überhaupt nicht.

Als Comic-Gesichter oder Männchen gezeichnete Atome kamen überraschenderweise überhaupt nicht gut an: Lediglich ein einziger Schüler (4%) führte Comic-Zeichnungen als sein Lieblingsmodell auf, wohingegen fünf Mitglieder der Klasse dieses Modell ganz ablehnten und weitere sechs dieses Modell eher negativ sahen. Argumente für das Comic-Modell waren vor allem, dass es lustig, anschaulich und einfach ist, Argumente dagegen, dass es kindisch und unrealistisch ist und dass man damit keine dreidimensionalen Modelle bauen, sondern nur Zeichnungen anfertigen kann.

Viele begreifen eben leichter, was sie tatsächlich mit den Händen greifen können. Immerhin fand es kaum jemand kindisch, im Chemieunterricht mit Kugeln oder Legosteinen Modelle zu basteln. Fast alle waren

vielmehr der Meinung, dass ihnen das Basteln geholfen hat, die Bedeutung einer chemischen Formel bzw. den Zusammenhang zwischen den Vorgängen in einer chemischen Reaktion und der Darstellung im Modell (und daraus abgeleitet in einer Reaktionsgleichung) zu verstehen.

In der Untersuchung zeigten sich in der Regel keine signifikanten Unterschiede zwischen den Antworten der Mädchen und denen der Buben, mit folgenden Ausnahmen: Bei der Aussage "Chemie ist mein Lieblingsfach" stimmte die eine Hälfte der insgesamt 14 Buben für "stimmt voll und ganz", die andere Hälfte für "stimmt halbwegs", während fast alle der 11 Mädchen lediglich "stimmt halbwegs" ankreuzten (eine bei "stimmt voll und ganz", eine bei "stimmt eher weniger", aber immerhin keine bei "stimmt überhaupt nicht"). Und die Mädchen wandten sich deutlich stärker gegen das Comic-Modell als die Buben, wohingegen sie spürbar mehr zum Legomodell neigten. Insgesamt zeigte die Untersuchung, dass die Abwechslung und das Basteln den Lernvorgang sehr unterstützen.



Unterstufe – 5. Klasse

In der fünften Jahrgangsstufe soll den Schülern im Natur-und-Technik-Unterricht eine Vorstellung von Stoffumwandlung und Energieumwandlung nach dem Teilchenmodell vermittelt werden. Normalerweise geschieht das in sehr einfacher Weise. In

einer zwar sehr großen, aber ausgesprochen pfiffigen und lernbegierigen fünften Klasse verwendete ich das Kugelmodell in der zweidimensionalen Darstellung, wobei eine Kugel stets das Abbild eines Atoms war. Anhand der beigelegten Legende gelang es den Schülern leicht, den Aufbau von Sauerstoff- bzw. Kohlenstoffdioxid-Molekülen zu beschreiben sowie festzustellen, dass sich beim Gasaustausch in der Lunge (Abb. 1) diese Stoffe nicht verändern.

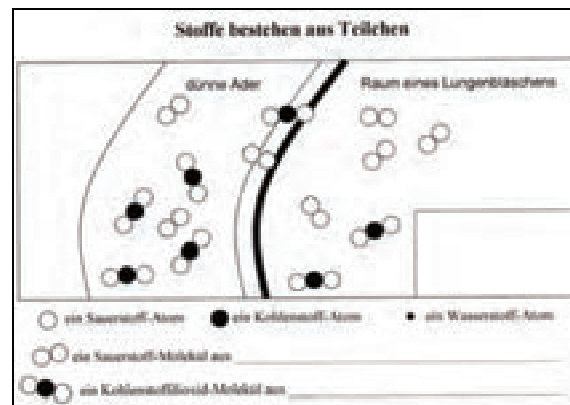


Abb. 1:
Der Gasaustausch in der Lunge im Teilchenmodell

Auch die Darstellung der Zellatmung, eines chemischen Vorgangs, bei dem zum Zwecke der Energiegewinnung Traubenzucker mit Sauerstoff reagiert, wobei Wasser und Kohlenstoffdioxid entstehen (Abb. 2), bereitete der Klasse keine Schwierigkeiten. Die Schüler konnten sowohl den Aufbau der neu entstehenden Moleküle beschreiben als auch den Vorgang als Stoffumwandlung klassifizieren.

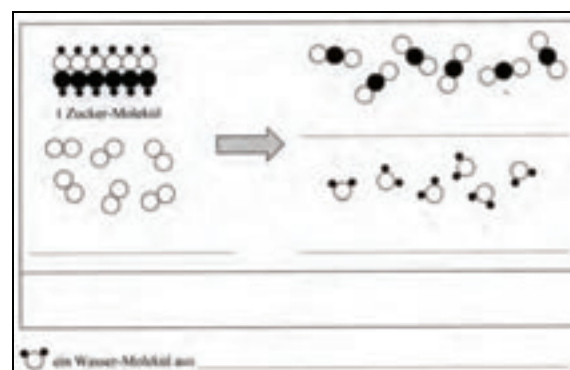


Abb. 2: Die Zellatmung nach dem Teilchenmodell

Nach dem Unterricht führte ich verschiedene Tests zum Verständnis der chemischen Zusammenhänge durch. Diese ergaben folgendes Fazit:

- Das Teilchenmodell der Materie ist mit dem Kugelmodell bereits in Jahrgangsstufe 5 einführbar.
- Einzelne Schüler sind sogar in der Lage, spontan den Zusammenhang zwischen chemischer Formel und Aufbau eines Moleküls zu erkennen.
- Die Beschreibung vom Aufbau eines Moleküls kann nach ein wenig Übung

von fast allen Schülern recht gut in Wort und Bild bewältigt werden.

- Die Entscheidung, ob bei einem Vorgang eine Stoffumwandlung vorliegt, gelingt den meisten Schülern nach kurzem Einüben.

Die Untersuchung zeigte klar, dass die intensive Beschäftigung mit Molekülmodellen auf effektive und nachhaltige Weise mentale Bilder (Vorstellungsbilder) von der Teilchennatur der Materie erzeugen kann – auch bei sehr jungen Schülern.

Informatik:

Bildorientierte Vermittlungskonzepte in der Informatik

Klaus Reinold

Als Grundlagenwissenschaft hat die Informatik Bedeutung für viele Wissenschaften und Anwendungsgebiete. Sie beschäftigt sich dabei häufig mit dem Problem der formalen Umsetzbarkeit von Aspekten der Realität, der Frage also, was der maschinellen Verarbeitung zugänglich ist. Der abstrakte Quellcode eines Computerprogramms scheint dabei im diametralen Widerspruch zur Verbildlichung eines anschaulichen Sachverhaltes zu stehen. Die Entwicklung eines Programmcodes ist aber nur der letzte in einer Reihe von Modellierungsschritten,

die bild- und symbolorientiert sind und helfen, Aspekte der Realität zu erfassen und so den Übergang zum Abstrakten zu ermöglichen.

Die Techniken, die hierzu im Informatikunterricht der Jahrgangsstufe 10 verwendet werden, sollen am Beispiel einer Simulation des Kassensbereichs eines Supermarktes erläutert werden. Die Simulation soll helfen um z.B. den Einsatz von Kassenkraften in Abhängigkeit von den Kundenströmen zu planen.



Abb. 1: Kassenzone

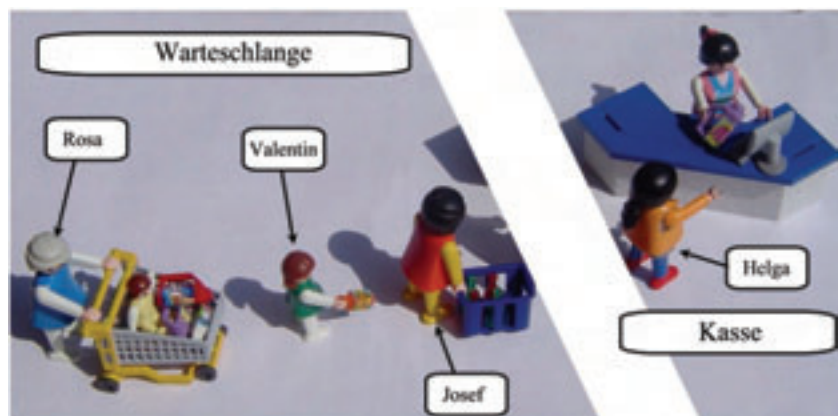


Abb. 2: Identifikation der Objekte

In einem ersten Schritt überlegt sich der Informatiker, welche Objekte für das Modell des Supermarktes von Bedeutung sind. Auf den ersten Blick lassen sich hier Kunden und Kasse identifizieren. Diese Objekte stehen miteinander in Beziehung: Die Kundin Helga bezahlt gerade an der Kasse. Doch woher "weiß" die Kasse, welchen Kunden sie als Nächsten bearbeiten muss? In der Realität wird der erste Kunde aus der Warteschlange geholt. Entsprechend benötigt man im Modell ein Warteschlangen-Objekt. Ist ein Kunde mit dem Bezahlen fertig, so wird der erste Kunde der Warteschlange zur Kasse geholt. Ein Kunde, der sich für die Kasse anstellen will, erkennt das Ende der Warteschlange und wird an deren Ende aufgenommen. Ein Objektdiagramm fasst diese ersten Überlegungen zur Struktur der Objekte zusammen.



Abb. 3: Objektdiagramm

Objekte haben Merkmale (Attribute), die für das Modell von Bedeutung sind: Eine Kasse besitzt eine zugehörige Kassennummer; die Dauer des Kassivorgangs hängt von der Anzahl der Artikel des Kunden ab. Auch andere Eigenschaften (Zahlungsmittel, Bekanntschaftsgrad mit dem Kassierer, ...) könnten je nach Gegebenheiten mit einbezogen werden. Daneben verfügen die Objekte auch über Fähigkeiten (Methoden): Ein Kunde kann sich an der Warteschlange anstellen; daraufhin nimmt ihn die Warteschlange am Ende auf. Die Kasse kann einen Kunden von ihrer Warteschlange anfordern – die Warteschlange liefert daraufhin einen Kunden und lässt die Nachfolger um einen Platz nach vorne rücken. Die beschriebenen Merkmale und Fähigkeiten eines bestimmten Kunden sind allen Kunden gemein. Gleiches

gilt für die Kassen und Warteschlangen. Den Objekten eines Typs liegt ein Bauplan zugrunde, der (nun in der Sprache der Objektorientierung) Klasse genannt wird. Das Klassendiagramm fasst die Überlegungen zu Attributen (s. mittlerer Teil des jeweiligen Rechtecks im Diagramm) und Methoden (s. unterer Teil des jeweiligen Rechtecks) einer Klasse sowie den Beziehungen zwischen Klassen zusammen und verallgemeinert und detailliert dadurch das Objektdiagramm.

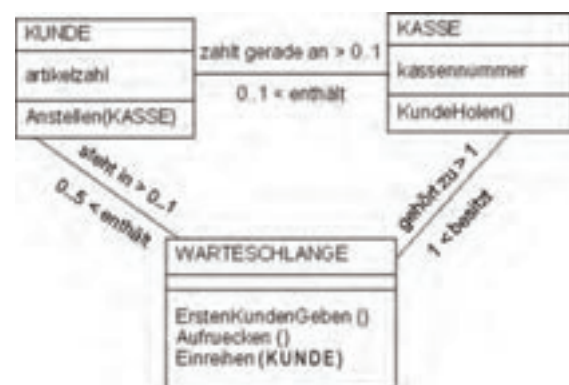


Abb. 4: Klassendiagramm

Die Beziehungen im Klassendiagramm zwischen den einzelnen Klassen machen deutlich, dass zwischen den Objekten enge Verbindungen bestehen. Sind einem Objekt andere Objekte bekannt, so kann es mit diesen auch kommunizieren, indem es Methoden der Objekte aufruft. Wenn z.B. ein Kunde mit dem Bezahlen fertig ist, kann die Kasse sich den nächsten Kunden holen (Methode KundeHolen()), indem sie bei der Warteschlange den nächsten Kunden anfordert (ErstenKundenGeben()). Daraufhin liefert die Warteschlange den Kunden an die Kasse. Nachdem dieser angekommen ist, kann die Kasse der Warteschlange grünes Licht geben, dass sie die nachfolgenden Kunden aufrücken lassen kann (Aufruecken()). Die Warteschlange setzt dann die nachfolgenden Kunden jeweils einen Platz nach vorne. Solche Interaktionen lassen sich gut mit einem Sequenzdiagramm veranschaulichen. Ein anderes Sequenzdiagramm kann hilfreich sein um zu veranschaulichen, wie sich ein Kunde am Ende der Warteschlange anstellt.

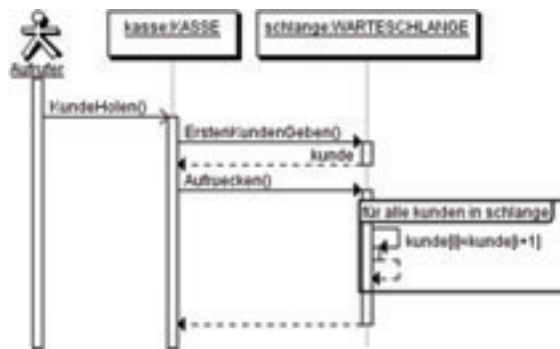


Abb. 5: Sequenzdiagramm

Klassendiagramm und Sequenzdiagramm lassen sich auf einfachem Weg in den Code der Programmiersprache übersetzen. So lassen sich die im Sequenzdiagramm dargestellten Methoden folgendermaßen in der Sprache Java ausdrücken:

Klasse KASSE	
Methode KundeHolen()	
<pre>kunde = wschlange. ErstenKundenGeben(); wschlange. Aufruecken();</pre>	

Klasse WARTESCHLANGE	
Methode ErstenKundenGeben()	Methode Aufruecken()
<pre>return schlange[0];</pre>	<pre>for (int i=0;i<=kunde.length-2;i++) { kunde[i]=kunde[i+1]; }</pre>

Die weitere Übersetzung auf die Maschinenebene wird dann von einem speziellen Programm, dem Compiler, übernommen. Am Ende der Entwicklung einiger weiterer Klassen steht dann die fertige Simulation, die dann wieder unter Nutzung bildlicher Darstellung Rückschlüsse auf das reale System erlaubt.

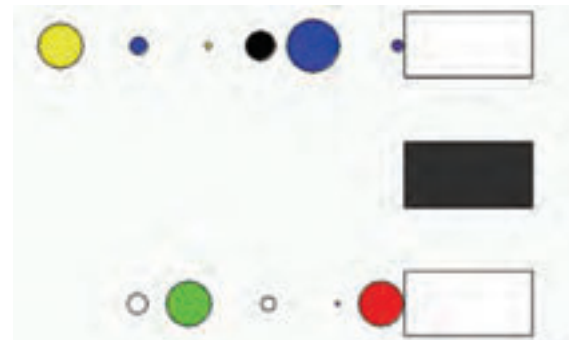


Abb. 6: Simulation

Literatur

Brichzin, Peter/Freiberger, Ulrich/Reinold, Klaus u.a.: Informatik II. Schülerbuch. Bayern: Für das G8 in Bayern, München 2008.

Deutsch:
Vom Bild zum Film
Ansätze zu einer systematischen Bild- und Filmdidaktik
Florian Schultz-Pernice

**1. Vermittlung von Bildkompetenz
im Deutschunterricht**

Das Fach Deutsch ist einerseits geprägt durch seinen spezifischen Gegenstandsbereich, zu dem seit langem auch komplexe, Bildlichkeit integrierende Inhalte – z.B. Emblematik, Bildbeschreibung und Werbung – gehören. Andererseits versteht sich das Fach Deutsch generell als Grundlagenfach für die Reflexion semiotischer Prozesse sowie die Vermittlung allgemeiner semiotischer Kompetenzen, die Schüler in die Lage versetzen sollen, mit jeglicher Art von Zeichenprozessen kompetent, reflektiert und ggf. kritisch umzugehen, um sich selbst wie auch anderen (dann wiederum zumeist sprachlich) Rechenschaft geben zu können. Angesichts der Relevanz bildlicher Kommunikation in einer zunehmend durch "Visualität" geprägten Gegenwartskultur wurde dabei von der Deutschdidaktik insbesondere auch der Spielfilm als "vierte literarische Großgattung" diskutiert, für die der Deutschunterricht eine besondere Zuständigkeit habe und damit auch didaktische Verantwortung übernehmen müsse. Angesichts dieses komplexen Aufgabenfeldes für den Deutschunterricht haben bislang zwar bilddidaktische Inhalte in die Praxis des Deutschunterrichts Eingang gefunden und sind dabei auch ansatzweise in eine Lernprogression gebracht worden – beispielsweise vom unbewegten zum bewegten Bild, von der Bild- zur Filmanalyse. Eine systematische theoretische Fundierung der Bilddidaktik und ihres Stellenwertes im Rahmen des Deutschunterrichts (z.B. der dabei zu vermittelnden Einzelkompetenzen, der didaktischen Umset-

zung oder des Verhältnisses von Bild- und Sprachkompetenz) steht dabei jedoch noch aus. Dennoch liegen Ansätze vor, den Umgang mit Bildern, Text-Bild-Konfigurationen und Filmen im Deutschunterricht in neuartiger Weise in die Unterrichtspraxis zu integrieren – Ansätze, die sich sogar bereits in den einschlägigen Schulbüchern für den gymnasialen Deutschunterricht niederschlagen. Dies soll im Folgenden kurz anhand des Arbeitsbuches "deutsch.werk" dargestellt werden.¹ Ein Beispiel aus der 8. Jahrgangsstufe soll einen Eindruck vermitteln, wie dabei mit Bildern umgegangen wird.

**2. Bild- und Filmdidaktik
im Schulbuch**

Der Untergang der Titanic am 14. April 1912 war von Anfang an ein Stoff, der Filmemacher faszinierte: Die beiden ersten Verfilmungen finden sich bereits 1912, und James Cameron schuf mit seinem Kino-Epos "Titanic" einen der erfolgreichsten Filme aller Zeiten. Der Einstieg in die Unterrichtssequenz beginnt mit einer kontrastiven Analyse der Filmplakate der frühen deutschen Verfilmung ("In Nacht und Eis", D, 1912) sowie des Filmes von James Cameron ("Titanic", USA, 1997). Dabei werden die Schüler nach ihren Ersteindrücken zu den beiden Filmplakaten befragt und zu einer Analyse im Hinblick auf Motive und damit die völlig unterschiedliche dramatische Perspektivierung des Stoffes aufgefordert (Außenraum vs. Innenraum, Fokussierung auf Liebesbeziehung vs. Vereinzelung der Hauptfiguren in einer Gruppe und Fokus-



Abb. 1: Filmplakat "Titanic"



Abb. 2: Filmplakat "In Nacht und Eis"

sierung auf Bedrohung von außen, visuelle Bedrohungsassoziation für die Beziehung der Liebenden durch den mächtigen Schiffsrumpf im linken Bild, räumliche Organisation der Bilder durch visuelle Achsen etc.). Außerdem sollen die Schüler Folgerungen im Hinblick auf die in beiden Filmen erwartbare Handlung (Art der Geschichte, Genre) anstellen sowie die Text-Bild-Relationen in beiden Plakaten funktional beschreiben.

Im weiteren Verlauf der Unterrichtssequenz erfolgt die Erarbeitung zweier Szenen aus "Titanic" (Gespräch zwischen den beiden Liebenden über die Ausweglosigkeit der Heldin, Kollision der Titanic mit dem Eisberg nach der Liebesnacht), wobei sowohl sprachliche Aspekte (sprachliche Bildlichkeit bzw. Symbolik und ihre Transformation in der deutschen Synchronfassung), visuelle und auditive Aspekte (Umsetzung der Überlagerung von Handlungsebenen, z.B. durch räumliche Organisation der Einstellungen, Veränderung der Tiefenschärfe – siehe Abb.)

sowie narrative Aspekte (durch die Montage verdeutlichte Korrelation von Liebesgeschichte und der Kollision der Titanic mit dem Eisberg) im Mittelpunkt stehen.



Abb. 3/4: Blick des Matrosen auf die Liebenden

Schließlich wird anhand einer kurzen Bildsequenz kurz vor dem endgültigen Sinken der Titanic das Prinzip des rein visuellen Bedeutungsaufbaus durch die Montage von Einstellungen (durch sogen. "match cuts" bzw. das Prinzip der "conceptual montage") erarbeitet: Nachdem der Priester in der Filmszene die Worte "The former world has passed away" (Bild 2) gesprochen hat, folgen zwei Einstellungen (Bilder 3 und 4), die seine Worte in Form visueller Symbole für

die mit dem Sinken des Schiffes untergehende Welt illustrieren (das Geschirr als Symbol der reichen, im Überfluss lebenden Oberschicht fällt aus dem Regal und geht ebenso zu Bruch wie die Werte der sie repräsentierenden Figurengruppe auf dem Schiff; eine Frauenleiche, Angehörige eben der auf dem Schiff dominierenden "guten Gesellschaft", treibt im Wasser – in male- rischer Ästhetik im Gegenlicht des Prunksaals der Titanic).

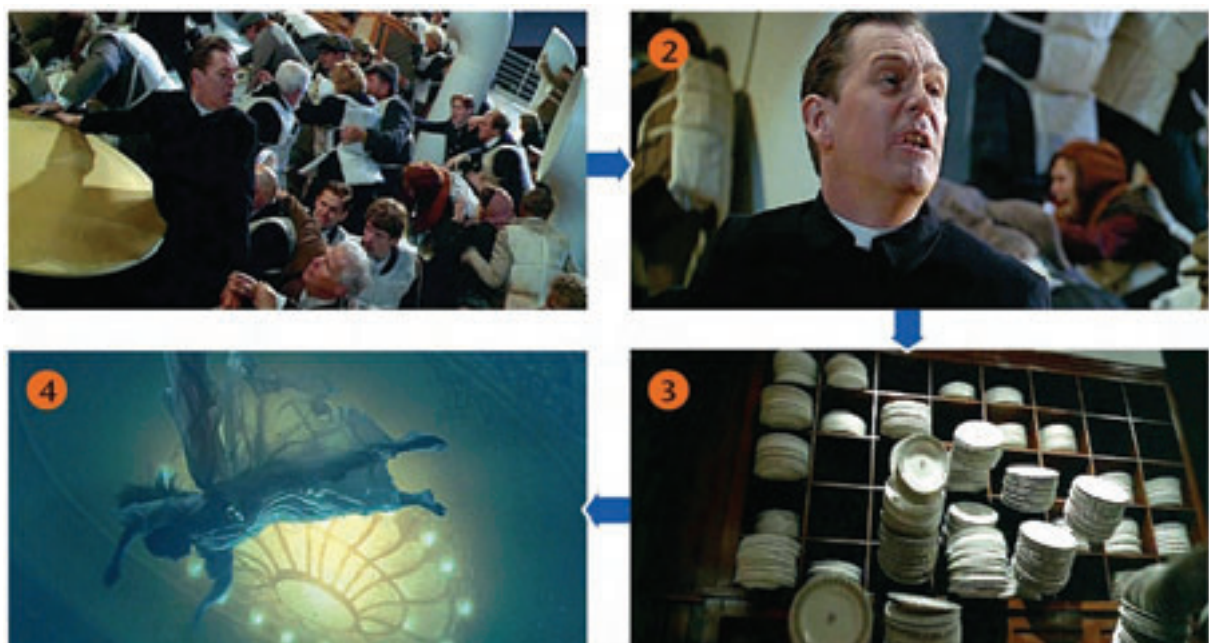


Abb. 5-8: Priester / herabfallende Teller / schöne Wasserleiche

Das hier vorgestellte Beispiel aus einem gymnasialen Lehrwerk für den Deutschunterricht zeigt, wie bild- und filmdidaktische Elemente im Rahmen eines Kapitels umgesetzt werden, das ganz unterschiedliche Kompetenzen im Umgang mit Medien in den Mittelpunkt stellt und im Rahmen eines bestimmten Themas ("Katastrophen auf hoher See") miteinander vernetzt. Die zu einem angemessenen Aufbau bildbezogener Kompetenzen notwendigen Grundlagen wurden dabei bereits in früheren Bänden desselben Arbeitsbuches vermittelt. So finden sich, um nur wenige Beispiele aus ausgewählten Kapiteln anzuführen, bereits im

1. Band Aufgaben zur genauen Wahrnehmung und Analyse von Bildern, zur Differenzierung unterschiedlicher bildhafter Gestaltungen einer Geschichte (Film, Buchillustration) sowie zur Darstellung von Informationen mittels gängiger Visualisierungstypen wie Mindmap oder Balkendiagramm (Kapitel: "Medien: Bilder und Bücher lesen"). Im 3. Band erfolgt dann eine Vertiefung der Möglichkeiten zur Visualisierung von Informationen, ein Teilkapitel zur generellen "Konstruiertheit" von Bildern im Hinblick auf Bildstrukturen wie zentrales Motiv, Bildaufbau etc. (Kapitel: "Sich und andere informieren") sowie zu Text-

Bild-Konfigurationen in der Werbung (Kapitel: "Sprache betrachten. Zeichen lesen – Botschaften entziffern"). In Band 4 findet sich neben dem obigen Beispiel zur "Titanic" ein Kapitel zur Bildbeschreibung ("Sich ein Bild machen – vom Äußeren zum Inneren") sowie in den Bänden 5 und 6 jeweils ein Kapitel zur Filmanalyse bzw. zur Literaturverfilmung, die beide an die in den vorhergehenden Bänden bereits erarbeiteten Kompetenzen anknüpfen und diese vertiefen. Insgesamt ergibt sich somit der Versuch einer systematischen Berücksichtigung bilddidaktischer Aspekte im Deutschunterricht, die letztlich im Verbund mit den natürlich ebenfalls vorhandenen, klassischen Kapiteln zu literarischen und Sachtexten zum Aufbau einer allgemeinen semi-

otischen Kompetenz beitragen sollen. Die Bildkompetenz hätte damit als (wichtige) Teilkompetenz einer allgemeinen Zeichenkompetenz auch in der Unterrichtspraxis des gymnasialen Deutschunterrichts – zumindest in diesem Arbeitsbuch – einen festen Platz und durchaus hohen Stellenwert.

Abbildungsnachweise

Nutz, Maximilian (Hrsg.): deutsch.werk 4 Gymnasium. Sprach- und Lesebuch, Stuttgart/Leipzig 2006, S.182, Abb. 1, 2.

Ebd., S.185, Abb. 3, 4.

Ebd., S.187, Abb. 5, 6, 7, 8.

Anmerkung

¹ Nutz, Maximilian (Hrsg.): deutsch.werk 4 Gymnasium. Sprach- und Lesebuch, Stuttgart/Leipzig 2006.

Kunst:

Raumvorstellung – Raumdarstellung

Severin Zebhauser

Das hier aufgezeigte Beispiel stellt nur eine kurze Unterrichtseinheit dar, die zwar grundsätzlich auch isoliert bestehen kann, aber sinnvoller in einen größeren Zusammenhang zum Thema Raumdarstellung einzubetten wäre. Dieses Beispiel ist für unterschiedliche Altersstufen geeignet.

Beim Thema Raumvorstellung geht es zunächst und vorrangig um Einbildungskraft, Vorstellungsvermögen und mentale Bilder, die sich auf einen möglichen Raum beziehen. Beim zweiten Schritt steht das Sichtbarmachen, die Umsetzung in ein reales Bild im Zentrum.

Exkurs

Ein immersives Bild, ein Bild, das nur in der Vorstellung existiert und in das der Hörer wie in eine Szene eintaucht, steht hier zu Beginn, es trägt den eigentlichen "Schöpfungscharakter" in sich. Erst im zweiten Schritt wird der Bildraum – noch in der Vorstellung – vorsortiert, ehe er mit den ersten Strichen wirklich organisiert wird. Es handelt sich dabei um eine Art "Passage". Im Vorgang des Zeichnens beginnt ein dialektisches Spiel, das über einen ständigen Abgleich von entstehender graphischer Spur mit dem eigenen Vorstellungsbild den jetzt gezeichneten Raum entstehen lässt.

Denkt man an Vasaris Konzept von "disegno interno" und "disegno esterno", so wäre noch eine "idea", die als immersives Bild verstanden werden muss, vorzuschalten. Der Begriff des disegno, als Urgrund aller Kunst, taucht bei Vasari als "künstlerische Idee" auf, die er aber immer schon als

eine Bildgewordene sieht. Das disegno interno versteht er als niedergelegtes Konzept (Skizze, Entwurf, Plan), dem ein disegno esterno, ein vollendetes Kunstwerk (Zeichnung, Bild, Plastik) möglicherweise folgt. Und eben vor einer Skizze, auch vor einem Konzept, steht die innere Vorstellung, manchmal nur ein kurzes, szenisches Aufblitzen. Diese Vorstellung, dieses mentale Bild, ist ein Konstrukt unserer Einbildungskraft. Sie kennt noch keine Grenzen, denn die werden erst bei der Manifestation, Materialisation sichtbar geschaffen.

Bei der ersten Unterrichtseinheit wird zunächst ein Raum in einer sprachlichen Form geschildert und die dabei entstehende Raumvorstellung in einer Zeichnung umgesetzt. Abschließend werden die Ergebnisse im Hinblick auf Raumvorstellung, Raumdarstellung und Betrachterstandpunkt diskutiert.

Zunächst sollen die Schüler nur zuhören und dabei versuchen, ein starkes, inneres Bild aufgrund der Raumschilderung zu entwickeln. Die verwendete Schilderung bezieht sich auf eine Graphik Piranesis (das Blatt XIV der "Carceri d'invenzione"):

"Wir befinden uns in einem unübersichtlich wirkenden, von Arkaden und Pfeilern überfüllten Raum. Es gibt kein Ende, nicht links, nicht rechts, nicht oben; selbst wie tief es ist, weiß man nicht. Alles ist von Bögen, Pfeilern und Treppen durchzogen, die rechtwinkelig zueinander stehen. Es ist wie in einer antiken, unterirdischen Lagerhalle. Das Dominante sind mächtige, hohe Arkaden, die diagonal im Raum verlaufen. Die Arkaden sind aus großen, schweren Stein-

blöcken aufgebaut, wie man es von antiken Bauwerken kennt. Immer wieder sind sie mit Bögen und Brücken quer verbunden. Durch die gesamte Architektur ziehen sich Treppen, Treppen mit Podesten, immer wieder Treppen. Sie füllen den Raum zwischen Arkaden und Pfeilern weitgehend aus und scheinen alles miteinander zu verbinden. Das starke Hell-Dunkel schafft eine unheimliche Atmosphäre, ich befinde mich selbst in dieser verwinkelten Baulandschaft. Wo ich hinsehe, Bögen, Wege, Treppen, Brücken. Unheimlich, kein Anfang, kein Ende, wie ein schwerer Traum, verloren irrt man durch diesen nicht enden wollenden Raum, weiter, weiter ..."

Daraufhin soll nun von jedem einzelnen Schüler versucht werden, das bei Hören des Textes entstandene, innere Bild des Raums in einer Skizze auf das Papier zu bringen. Um ein spontanes und rasches Zeichnen zu unterstützen, wurde als Zeichenmittel schwarze Kreide gewählt. Nach der Fertigstellung werden die Zeichnungen ausgelegt bzw. aufgehängt, damit sich die Schüler



Abb. 1: Schülerarbeit, Zeichnung von B. Stallhofer

einen Eindruck von der Vielfalt der Vorstellungen und Umsetzungen der anderen machen können. Die erkennbar unterschiedlichen Sichten und gewählten Betrachterstandpunkte können auf folgende Voraussetzungen zurückgeführt werden:

- Vorstellungsvermögen und Einbildungskraft, um innere Bilder zu erzeugen,
- räumliches Vorstellungsvermögen und Abstraktionsvermögen,
- technisches Vermögen bei der Umsetzung.

Nun wird eine Abbildung der Arbeit Piranesi gezeigt. Nach einer kurzen Klärung des Bildaufbaus und der dargestellten räumlichen Struktur konzentriert sich die Diskussion auf die Situation des Betrachters im Vergleich zu den eigenen Bildlösungen. Dieser wird bei Piranesi in das Bild regelrecht hineingezogen, er findet an den Rändern keinen Halt, keine Begrenzung. Auch wenn die Treppe im unteren Teil eine erste Führungsfunktion ins Bild hinein zu übernehmen vermag, der Blick des Betrachters wird suchend umherwandern, den Raum erkunden. Der Betrachter ist hier nicht Adressat, sondern eher selbst Handelnder, mitten im erdachten Raum. Der Standpunkt ist nicht eindeutig, eine Orientierung im Raum verweigert das Bild auch aufgrund perspektivischer Zusammenhänge, die in unserer Alltagswahrnehmung nicht möglich wären.



Abb. 2: Piranesi, Giovanni Battista: Carceri



Abb. 3: Vedute des Langhauses von St. Peter in Rom, Stich von Giovanni Battista Piranesi, um 1760

Dem gezeigten Bild Piranesis wird nun eine weitere Grafik desselben Künstlers gegenüber gestellt, eine Vedute des Langhauses von St. Peter in Rom. Hier wird eine ganz andere Struktur im Aufbau mit klarem Betrachterstandpunkt deutlich. Die zentralperspektivische Darstellung ist auf einen Blick erfassbar. Es handelt sich um eine klare, für uns sofort erkennbare, euklidische Struktur.

Der leicht erhöhte Betrachterstandpunkt schafft eine ehrfürchtige Distanz zum Dargestellten, er unterstreicht die Erhabenheit des abgebildeten Bauwerks. Die beiden gezeigten Bilder von Piranesi weisen deutliche Unterschiede bezüglich des Betrachterstandpunktes, der Blickführung und der Raumdarstellung auf.

Im Gegensatz zu den Grafiken (pictures) sind Vorstellungsbilder (images), die durch eine Schilderung erzeugt werden, offene, erlebbare Räume. Erst wenn das durch die Einbildungskraft entstandene mentale Bild, bei dem wir ganz von der Außenwelt in die Subjektivität zurücktreten, codiert in der Zeichnung offenbar und materiell wird, manifestiert sich ein bestimmter Blick. Der bewusste Prozess der Visualisierung, der Übersetzung vom mentalen Bild in ein reales, eröffnet uns die Möglichkeit einer Überwindung gewohnter Schemata der Darstellung und der Sichtweise.

Autorenverzeichnis

Bodensteiner, Paula

Referentin für Schul- und Bildungspolitik,
Akademie für Politik und Zeitgeschehen,
Hanns-Seidel-Stiftung, München

Dieckmann, Rainer, StR

Emil-von-Behring-Gymnasium Spardorf

Distel, Brigitte, StRin

Emil-von-Behring-Gymnasium Spardorf

Henn, Gunter, Prof. Dr.-Ing.

Institut Gebäudelehre und Entwerfen, Fa-
kultät Architektur, Technische Universität
Dresden

Jung, Tobias, Dr., StR z.A.

Dominikus-Zimmermann-Gymnasium
Landsberg am Lech

Kruse, Christiane, PD Dr.

Kunstgeschichtliches Institut der Philipps-
Universität Marburg

List, Ulrich, Dr., StR

Pestalozzi-Gymnasium München

Nickl, Thomas, OStR

Oskar-Maria-Graf-Gymnasium Neufahrn b.
Freising

Pöppel, Ernst, Prof. Dr.

Vorstand des Instituts für Medizinische
Psychologie, geschäftsführender Vorstand
des Humanwissenschaftlichen Zentrums der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Reinold, Klaus, StR

Ruppert-Gymnasium München

Schultz-Pernice, Florian, OStR

Bayerisches Staatsministerium für Unter-
richt und Kultus, München

Steinbusch, Michael, Dipl.-Ing.

Institut Gebäudelehre und Entwerfen, Fa-
kultät Architektur, Technische Universität
Dresden

Wagner, Ernst, Dr., StD

Staatsinstitut für Schulqualität und Bil-
dungsforschung, München

Wagner, Walter M., AkadOR

Didaktik der Chemie NW II, Universität
Bayreuth

Zebhauser, Severin, Dr.

Franz-Marc-Gymnasium Markt Schwaben

Zehetmair, Hans

Staatsminister a.D., Senator E.h., Vorsit-
zender der Hanns-Seidel-Stiftung, München

Verantwortlich:

Prof. Dr. Reinhard C. Meier-Walser

Leiter der Akademie für Politik und Zeitgeschehen, Hanns-Seidel-Stiftung, München

Herausgeber:

Paula Bodensteiner

Referentin für Schul- und Bildungspolitik, Akademie für Politik und Zeitgeschehen,
Hanns-Seidel-Stiftung, München

Prof. Dr. Ernst Pöppel

Vorstand des Instituts für Medizinische Psychologie, geschäftsführender Vorstand des
Humanwissenschaftlichen Zentrums der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dr. Ernst Wagner

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung, München

