

Wissen in Bildern. Zur visuellen Epistemik in Naturwissenschaft und Mathematik

DIETER MERSCH

Wissenschaft und Bildlichkeit

Naturwissenschaftliches Wissen gilt als wohlbegündetes Wissen. Es genügt den Strukturen der diskursiven Logik, der Berechenbarkeit, der Verknüpfung von Grund und Folge sowie den Gesetzen von Induktion und Kausalität. Seine Grundlage ist die Feststellung einer Tatsache und der Aussagesatz, dessen allgemeine Form die Prädikation, die Identifizierung von ›A ist p‹ darstellt und deren ›Wahrheit‹ sich wiederum aus einer Serie weiterer Sätze herleitet, die dieselbe Form besitzen, auch wenn ihre Kette durch keinen letzten Satz, der einen letzten Grund formuliert, geschlossen werden kann. Kein Wissen ist vollständig; es scheitert nicht nur an der Vorläufigkeit der Paradigmen und an der Lückenhaftigkeit der Empirie, sondern auch daran, dass es in einen unbestimmten Kranz von Nichtwissen eingebettet bleibt, von dem es *per definitionem* weder eine Theorie noch einen Begriff oder eine Bestimmung geben kann.

Nicht vergessen werden darf dabei jedoch, wie sehr Wissen gleichermaßen von seiner Darstellungsweise, seiner Medialität abhängt. Dominiert in den üblichen Bestimmungen naturwissenschaftlicher Episteme die Sprache und im Besonderen die Satzform der Prädikation, kommt darin der Bedeutung der Bildlichkeit als Erkenntnisverfahren und Instrument nur ein untergeordneter Status zu. Er wird in den Bereich des Vorprädikativen geschoben. So ist für wissenschaftsphilosophische Untersuchungen charakteristisch, dass sie entweder das Bildliche überhaupt ignorieren oder, zurückgehend auf Immanuel Kants Überlegungen zum Schematismus in der *Kritik der reinen Vernunft*, in ihm ein abstraktes Konzept erblicken, das gleichsam außerhalb der Wahrnehmung zu denken ist. Stellvertretend für viele macht etwa Wilfrid Sellars in *Empiricism and the Philosophy of Mind* den

Vorschlag, bildhafte Vorstellungen als »verbal imaginary« aufzufassen, die grundsätzlich in »mental Episoden« wurzeln, die wiederum als theoretische Konstrukte im Sinne sprachlich verfasster Episoden bestimmt werden müssen (Sellars 1981: 193). Dem Visuellen kommt dann keine eigenständige epistemische Funktion zu: Das Bild und Bildlichkeit überhaupt führen in der Wissenschaftstheorie, zumal der analytischen, ein Schattendasein.

Dem steht auf der anderen Seite eine Flut von Visualisierungsstrategien entgegen, wie sie in den Naturwissenschaften verwendet werden und einen essentiellen Bestandteil der Argumentation darstellen. Dazu gehören nicht nur die »konzeptionellen Bilder« einer abstrakten Visualisierung, wie sie in den letzten Jahrzehnten aufgetreten sind und vor allem im Nanobereich begonnen haben, ins prinzipiell Unsichtbare vorzustoßen und noch das sichtbar zu machen, was sich auf systematische Weise der Anschauung entzieht, sondern vor allem die für die Wissensproduktion unersetzblichen Methoden und Techniken der Graphik, Modellierung, Diagrammatik oder Illustrationen und dergleichen (Holländer 2000: 11). Sie sind in ihrer eigenen Medialität, ihrer besonderen Struktur und Darstellungsform kaum je zum Gegenstand eigener Analysen gemacht und sogar von der Philosophie vergessen worden. Bildverfahren gelten als nicht eigentlich epistemisch relevant, vielmehr lediglich als Zusatz, als eine Supplementierung, die einem anderswo gewonnenen und überprüften Wissen hinzugefügt wird (Mersch 2005a), um ihren Beweis zu unterstützen oder das Unanschauliche anschaulich zu machen.

Demgegenüber wären Bilder als genuine Verfahren der Wissenserzeugung und damit auch als Teil des epistemischen Prozesses ernst zu nehmen, deren anderer der Diskurs oder die Sprache ist. Denn Visualisierungen behaupten, wie »visuelle Argumente« überhaupt, ihre außerordentliche Bedeutung im Diskursiven, ja sogar ihre prinzipielle Gleichwertigkeit im Prozess der Wissensgenerierung, wie auch Ludwig Wittgenstein, der wie kaum ein anderer seine Überlegungen auf Skizzen, Modellen oder Figuren aufbaute, in seinen Nachlassnotizen nahelegte: »[G]ibt es eine bevorzugte, etwa besonders unmittelbare Art der Abbildung? Ich glaube nein! Jede Art der Abbildung ist gleichberechtigt.« (Wittgenstein 2000b: 4) Die Bemerkung aus dem Jahre 1929, die aus dem Umkreis seiner Aufzeichnungen zur Kritik der Bildtheorie des *Tractatus* stammt, enhierarchisiert Bild und Satz, denn das Wort »Abbildung« kennzeichnet jede Art von Repräsentation. Sie gibt dem Bildlichen den gleichen Rang wie der Sprache. Zwar hatte sich Wittgenstein, der den Anstoß zum Logischen Positivismus Rudolf Carnaps und damit zur analytischen Wissenschaftsphilosophie gab, zeitlebens vor allem der Beschreibung der Sprache gewidmet, doch machen die Nachlassnotizen inzwischen deutlich, dass es für Wittgenstein schlechtersdings keinen Grund gab, Bildverfahren als eine Form visuellen Denkens aus dem Kreis des Epistemischen auszuschließen oder ihnen auch nur ei-

nen geringeren Rang in den Praktiken der Wissenschaften beizumessen. Beide – Diskursivität und Visualität – teilen sich dann das Feld des Wissens mit unterschiedlichen Scan- und Messverfahren, der Akustik, Numerik oder Statistik wie auch, wie die Untersuchungen Hans-Jörg Rheinbergers der vergangenen zehn Jahre eindringlich gezeigt haben, der Instrumente und »epistemischen Dinge« (Rheinberger 2002: 58f.). Dennoch üben sie offensichtlich unterschiedliche Funktionen aus. Während *diskursive Verfahren* an der Hervorbringung und Überprüfung von *Wahrheitsansprüchen* arbeiten, fällt *Bildprozessen* die Produktion von *Evidenz* zu. Wechselseitig aufeinander bezogen macht ihre Aufgabenteilung deutlich, wie sehr sich Evidenzeffekte der Wahrnehmung und Wahrheitseffekte theoretischer Diskurse miteinander verschränken. Wissen verdankt sich mindestens beiden Registern: Gültigkeit ergibt sich dort, wo sie unmittelbar aufeinander reagieren.

Allerdings sind die verwendeten Strategien der Sichtbarmachung und Sichtbarkeit selber höchst disparat. Sie lassen sich vorläufig, wenn auch nicht scharf voneinander abgrenzbar, in drei grundlegende Klassen einteilen: *Erstens* solche Darstellungsweisen, deren wesentliche Funktion die *Zeugenschaft* ist und die das Visuelle als Beleg benutzen, *zweitens* solche, die das Wissen auf abstrakten Tableaus *anordnen* und als solches allererst *generieren*, mithin es in Bezug auf eine zugrunde liegende Datenmenge in logische oder berechenbare *Figuren* verwandeln, schließlich *drittens Dinge* und ihre Oberflächen wie Präparate und dergleichen. Sie erfüllen im Wissensprozess unterschiedliche Aufgaben, wenn auch z.T. in Bezug auf das gleiche Objekt, so dass wir es mit Bildpraktiken zu tun haben, die je auf ihre Weise visuell argumentieren. So verfahren Erstere *referenziell*; sie führen einen Existenzbeweis, markieren eine Spur oder einen Abdruck oder geben eine Probe, während zur Gruppe der Zweiten besonders diagrammatische oder »graphematische« Methoden gehören, etwa durch die Erstellung von Tabellen oder Matrizen. Dazu gehören gleichermaßen Pläne und Karten wie z.T. auch skizzenhafte Modellbildungen, deren Format die Schrift oder »Zeichnung« ist, die eine komplexe Struktur, ihre logische Struktur oder Relationsverhältnisse sichtbar machen. Sie sind – als Hybride zwischen Notationalität und Ikonizität – ausschließlich *konstruktiver Natur*, während sich die letzte Gruppe, die Dinge, auf Vorfindbares stützt, das aber insofern eine bildliche Verwendung findet, als sie ein singuläres Ereignis zu zeigen oder Effekte vorzuführen erlauben. Ihre Funktion ist folglich die Demonstration, die *Deixis*. Referenzialität, Konstruktivität und *Deixis* figurieren somit drei verschiedene Arten des Umgangs mit Visualisierungen oder visuellen Materialien, die jeweils andere Zwecke erfüllen und damit auch andere »Logiken« und Argumentationsweisen aufrufen.

Kurzer Abriss einer Geschichte der Wissensvisualisierungen

Bis ins 19. Jahrhundert schienen Bilder allerdings nahezu ausschließlich eine Sache der Kunst zu sein. Das gilt nicht nur für die Malerei, sondern auch für Kupferstichillustrationen oder die kunstvolle Verfertigung von Karten und Diagrammen. Dabei unterstand der schöpferische Prozess grundsätzlich der Freiheit des Künstlers, dem gleichsam die Hoheit und Kompetenz über das Sichtbare sowohl in Bezug auf die ästhetische Illusionsbildung als auch der wissenschaftlichen Darstellung aus Teleskopie, Mikroskopie und Ähnlichem zugebilligt wurde, während die Wissenschaften, die kein eigenes Bildrecht hatten, auf den Dialog mit den Künsten angewiesen blieben. Partizierte diese Aufteilung zwischen dem Ästhetischen und dem Epistemischen damit durchaus noch an einer Durchdringung von Wissenschaften und Künsten (Mersch/Ott 2006), war ihre Trennung in den philosophischen Diskursen, wie die Beispiele René Descartes, die englischen Empiristen oder auch Gottfried Wilhelm Leibniz zeigen, längst vollzogen. Sie sanktionierten eine Auffassung, die das vorbereiten half, was Lorraine Daston und Peter Galison erst für das 19. Jahrhundert ausgemacht haben, nämlich jene Verschiebung in den Objektivitätsstandards, die die künstlerischen Visualisierungen abwertete, um fortan nur noch Bilder zuzulassen, die sich einer »mechanischen Aufzeichnung« verdankten: »Nichtintervention – und nicht Ähnlichkeit – war das Herzstück der mechanischen Objektivität.« (Daston/Galison 2002: 94)

Entsprechend traten die Apparate in den Vordergrund und entthronten Geltung und Herrschaftswissen der Künstler, die die Präzision des Auges an die optischen Instrumente und ihre Messweisen abtraten. Der Wechsel implizierte zugleich einen Wandel im Status der Bildlichkeit. Denn *einerseits* haben wir es fortan ausschließlich mit *singulären* Abbildungen zu tun: Aufzeichnungen, die einen Moment festhielten und denen auf diese Weise ein Dokumentcharakter zugeschrieben wurde. An ihnen interessiert nicht das Typische, wie auch Daston und Galison ausführen, sondern sozusagen die Präzision der Umrisslinie, die die unverwechselbare Gestalt, das Aussehen und seine individuelle Form preisgeben. Dem entspricht *andererseits* die Entscheidung über eine in der Geschichte der Künste anhaltende Debatte, wie sie zuerst in der italienischen Renaissance entbrannte, nämlich zwischen dem Vorrang des *disegno* vor dem *colore*, der Zeichnung vor der Farbe, die Kant auf seine Weise durch die Privilegierung des Formaspekts vor dem bloß farbigen Beiwerk ausbuchstabierte. Sie wurde nunmehr mit Bezug auf die wissensrelevanten Fotografien und Abbildungen der Wissenschaften festgeschrieben, die vorzugsweise graphisch zu sein hatten und damit tendenziell, auch in Ansehung ihrer medialen Produktion, zur Inschrift, zur *Schrift* gerieten. Selbst Fehler wurden keineswegs retu-

schiert, sondern als Beglaubigungsmerkmal ihrer Authentizität beibehalten. Gegenüber der falliblen Subjektivität, die zur Täuschbarkeit und Verführbarkeit neigte und sah, was sie sehen wollte, bewahrten so die Apparate den Nimbus einer strikten Neutralität und Unbestechlichkeit, der zugleich auf die Gültigkeit ihrer Produkte zurückwirkte. Folglich hieß das Ideal der automatisch erzeugten Bilder ›Anästhesierung‹, wie umgekehrt die Evidenzerzeugung allein den Prozeduren der Automation genügte und mithin neue Abhängigkeiten schuf, diesmal zwischen dem Wissenschaftler und dem Ingenieur, dem die Konstruktion und Justierung der Maschinen und also auch das Urteil über deren Qualität überlassen werden musste.

Gelangte auf diese Weise mit der Mechanisierung eine ›graphematische‹ Struktur ins Bild, die sich ihm mittels einer ganzen Armada vergessener Instrumente wie Polygraphie, Phonographie, Tachistoskopie oder Phenakistiskopie und anderer imprägnierte, bildete ihr genaues Gegenstück die Ausschaltung von Zufall und Unberechenbarkeit, die tendenziell das Semantische auf das Syntaktische reduzierte. Dazu passt, dass selbst noch die Gravur handgezeichneter Graphen zum Zwecke der Publikation durch die entsprechende Fotografie ersetzt wurde, um den Eingriff des Graveurs zu vermeiden. Das gesamte diskursive Feld, worin Bilder als Wissensformen und ›visuelle Argumente‹ vorkamen, wurde dadurch determiniert. Entsprechend vermochten die Abbildungen nur dort Geltung zu beanspruchen, wo sie vollständig der Norm einer Abstraktion von ihrem Urheber genügten. Sämtliche im Rahmen der Naturwissenschaften angefertigten und verwendeten Visualisierungen sollten – im Unterschied zu den Kunstdbildern der Vergangenheit – diesen Status einnehmen. Wir bekommen es folglich mit einer grundlegenden Transformation, einem Platztausch zu tun, der das Ästhetische zugunsten von Technik und das Visuelle zugunsten exakter optischer und mathematischer Verfahren vertrieb und dessen Aufgabe zuletzt in der Dokumentation einer Spur oder eines Abdruks bestand, worin sich die »Sprache der Phänomene selbst« bekunden sollte (Daston/Galison 2002: 29, 85). Das Dokumentbild aber fungiert als Zeichen; es hat nicht länger ein visuelles Format, sondern ein konzeptuelles, das mit dem Beobachtungssatz im Experiment korrespondiert, jenem ›Protokoll‹ als einfachem Datum, das seit Rudolf Carnap zur Grundlage empirischer Wissenschaften überhaupt avancierte und dessen allgemeine Form »An der Stelle k befindet sich zum Zeitpunkt t ein x « der einfachen Aufzeichnung eines Vorkommnisses im Bild aufs Genaueste entsprach. Kurz, das Schema der Visualisierung verdankt sich der repräsentationalen Schreibung auf der Basis von Schreibgeräten und selbstregistrierenden Automaten, die ausschließlich Signale, Bewegungen, Reize und Ähnliches in eine graphische Markierung übersetzten (Chadarevian 1994: 142). Das Bild leistet nichts anderes: Es ist eine Marke, ein diskursives Element, wobei nicht länger dessen *ikonische* Merkmale im Sinne seiner Visualität zählen, sondern allein seine *indexikalischen*.¹ Sie gemahnen, im

Unterschied zur Bildlichkeit und ihrer Struktur des Zeigens, an das Diskrete einer Identifikation.

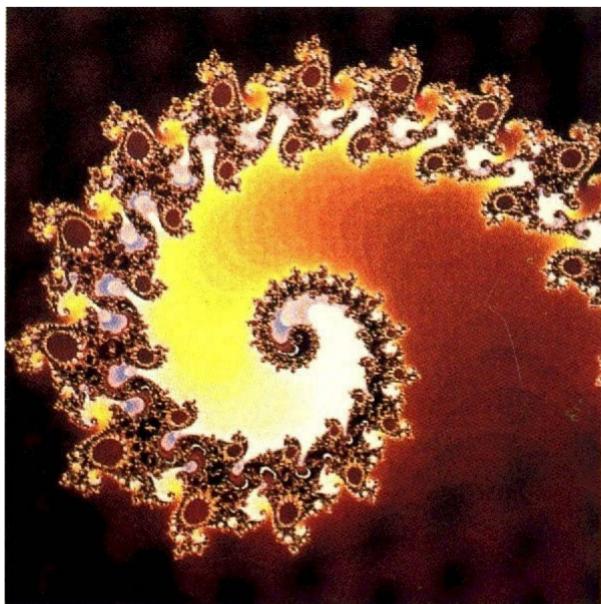
Auch wenn sich die Apparaturen keineswegs als unparteiisch entpupperten, hielt sich die Auffassung unangefochten bis ins frühe 20. Jahrhundert. Noch Rudolf Arnheim bekannte in seiner Filmtheorie, dass es, »seit wir die Photographie kennen, neue »anspruchsvolle Forderung an das Bild« gäbe: Nicht nur solle das Bild, wie in den Künsten, »dem Gegenstand ähnlich« sein, »sondern die Garantie für diese Ähnlichkeit dadurch geben, dass [es] sozusagen ein Erzeugnis dieses Gegenstandes selbst, d.h. von ihm selbst mechanisch hervorgebracht sei – so wie sich die beleuchteten Gegenstände der Wirklichkeit ihr Bild mechanisch auf die photographische Schicht prägen« (Arnheim 1977: 27). Sieht zudem das 20. Jahrhundert ein ganzes Arsenal neuer, bis dahin noch unbekannter Aufzeichnungsgeräte heraufziehen, die nicht nur auf chemischen Reaktionen oder der graphischen Abbildung elektrischer Signale und Schwingungen basieren, sondern Lichtimpulse, elektromagnetische Wellen, Elektronenschwingungen und andere theoretische Konstrukte ausnutzen, ermöglichen diese darüber hinaus den Übertritt vom Analogem zum Digitalen, das die mathematische Aufbereitung und Berechenbarkeit der Daten über das Sichtbare triumphieren lässt.

Tatsächlich birgt das numerische oder »errechnete« Bild (Kittler 2004) etwas völlig Neues, verlängert aber damit nur die ›mechanische‹ Tendenz des 19. Jahrhunderts, um sie zuletzt in die idealisierte Maschine, den mathematischen Algorithmus und sein technisches Korrelat, den Computer, zu überführen (Mersch 2005c). Das Neue besteht dabei in einem Sprung, der beinahe sämtliche klassischen Parameter der Bildlichkeit transformiert, sich vor allem aber darin ausdrückt, dass die mathematisch-technische Generierung des Visuellen vollständig von den ästhetischen abgelöst wird. Fortan verläuft durch das Bildliche ein Riss, der seine Tiefengrammatik von seiner Oberfläche trennt. Die Differenz zwischen Ästhetik und Technik scheint damit absolut: Wir sind lediglich noch mit einer Menge von Elementen konfrontiert, die in 0-1-Reihen geordnet Bestandteil des Rechnerspeichers sind und die im Sichtbaren um so ›schärfer‹ wirken, je größer ihre Anzahl ist, auch wenn der Begriff der Schärfe hier jeden Sinn verloren hat. Folglich gehorcht der Bildaufbau allein einer analytischen Matrix, deren Zeilen und Spalten durch den mathematischen Code definiert sind und deren Plätze einzeln ansteuerbar und folglich auch manipulierbar sind. Aus der selben Anzahl m von Ziffern können dann potenziell 2^m verschiedene Bilder entstehen (Couchot 1984; Hansen 2004: 7ff.; Kittler 2004). Lev Manovich schreibt ebenfalls:

»Für den Betrachter sind diese vom Computer hergestellten oder arrangierten Bilder ununterscheidbar von herkömmlichen Fotos oder Filmbildern, wohingegen sie auf der ›materiellen‹ Ebene ganz anders sind, da sie aus Pixeln gemacht sind

oder durch mathematische Gleichungen oder Algorithmen repräsentiert werden.«² (Manovich 2001: 180)

Abbildung 1: Computergenerierte Fraktalstruktur



Der Umstand impliziert, dass digitale Bilder grundsätzlich visuell *kontingent* werden. Deswegen hat Manovich darauf bestanden, dass sie noch eine Transition von der Indexikalität zu dem vollziehen, was er »Sequenzialität« nennt. Sie laden nicht zum Sehen ein, sondern zu ihrer Bearbeitung.

»Neue Medien verändern unseren Begriff vom Bild – denn sie verwandeln den Betrachter in einen aktiven Benutzer. Daraus folgt, dass ein Illusionsbild nicht mehr etwas ist, das ein Subjekt einfach anschaut. Das Bild der neuen Medien ist etwas, an dem der Benutzer aktiv teilnimmt und einzelne Teile heranholt oder auswählt [...].«³ (Manovich 2001: 183)

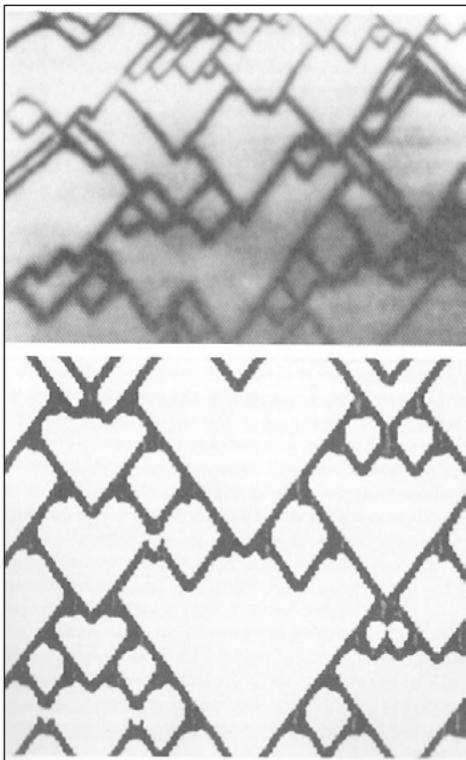
Wissenschaftsvisualisierungen gleichen folglich Werkzeugen, die eine Funktion in einem Prozess erfüllen. Jedes einzelne Bild nimmt darin den Status einer Marke in einer Serie ein. Dazu passt, dass Naturwissenschaften immer mehr Territorien besetzen, die, wie der subatomare Bereich, *per definitionem* der Wahrnehmbarkeit entzogen sind. Die Kompensation dieses Entzugs geschieht durch eine Mathematik, die durch graphische Modellierung virtuelle Sichtbarkeiten erzeugt, die dann freilich die Frage aufwerfen, *wovon* sie eigentlich *Images* sind und *was* wir auf ihnen zu sehen bekommen (Heintz/Huber 2002a).

Probleme bildlicher Episteme

Die Debatte um Visualisierung und Bildlichkeit in den Wissenschaften wurde bislang zu sehr ohne die Spezifität der Bildlogik geführt. Darunter ist nicht so sehr ein Logisches im Bildlichen gemeint als vielmehr seine besondere Strukturalität, sein Eigensinn, der es von diskursiven Schemen abhebt (Mersch 2003a, 2007). Dazu gehört *erstens* seine *Rahmung*, die die ikonische Signifikanz aufspannt, *zweitens* seine *>Logik des Zeigens*, die für die fehlende Syntax, insbesondere aber für die mangelnde Negation und die Nicht-Hypothetizität des Bildes verantwortlich ist (Mersch 2004a, 2006b), sowie *drittens* seine räumliche Organisation, die im Bild die *Form* oder *topologische Ordnung* auszeichnet (Mersch 2005a). Mit ihnen steht auf dem Prüfstand, was durch Bilder und deren Sichtbarmachung in den Wissenschaften geleistet und gewusst werden kann (Heßler et al. 2004). So ist insbesondere die Erzeugung von Signifikanz eine grundlegend andere als in der Sprache oder den Gebieten des Mathematischen, weil sie einerseits auf Kontrastierung und Vexierungen zwischen Figur und Hintergrund basiert (Boehm 1995a), andererseits auf Differenzsysteme der Farbgebung baut, woran vor allem Falschfarbensysteme anschließen. Ihre Erkennbarkeit ist in hohem Maße an Stilgeschichten und damit die Einschreibung von Wahrnehmungskonventionen gebunden (Bredekamp 2007). Die u.a. von Ludwig Wittgenstein auf vielfache Weise ins Spiel gebrachte *Logik des Zeigens* verknüpft darüber hinaus das Bildliche mit der Erfahrung von Evidenz, wie sie der Wahrnehmung überhaupt eignet, denn bezweifelt werden kann, was ich sehe, nicht aber, *dass* ich sehe, was ich sehe: »Der Mechanismus der Hypothese würde nicht funktionieren, wenn der Schein auch noch zweifelhaft wäre. [...] Wenn es hier Zweifel gäbe, was könnte den Zweifel heben?« (Wittgenstein 2000a: 19) Die Kraft und Eigenart der Bilder ist daran geknüpft: Zeigen ist nicht auf *Deixis* beschränkt, vielmehr enthält Zeigen einen Selbstverweis, der es unentscheidbar mit *Sichzeigen* vermischt. Schließlich unterliegt der Bildlichkeit trotz aller Integration von Bewegung eine primär räumliche Ordnung, wie sie klassischerweise durch das Tableau oder den Schirm vorgegeben war, worin sich Wissen platzieren und abzeichnen muss. Dem entspricht seit der Renaissancemalerei die Rasterung, die ihm eine Einteilung oder Metrik auferlegt, die bis heute die Bildpraxis der Wissenschaften dominiert und dafür sorgt, dass Identifizierung Lokalisierung heißt oder umgekehrt Zuordnungen, Skalen oder Proportionen geometrischen Transformationen folgen, die immer auch ihre eigenen Verzerrungen mit sich bringen. Was bei gewöhnlicher Auflösung unauffällig wirkt, kann dann beispielsweise durch extreme Komprimierung oder Verdichtung und Verkürzung relevante Aussagen hervorbringen, doch bleibt die ungeklärte Frage, wie Veränderung und Geltung auf diese Weise miteinander reagieren. Es ist die räum-

liche Organisation des Bildes, die damit eine eigene Art von Manipulation erlaubt und aus Daten hervorlockt, was anders nicht zu erkennen wäre, womöglich aber auch nur eine fiktive Bedeutsamkeit besitzt.

Abbildung 2: Simulation einer Oberflächenstruktur im Vergleich zu ihrer mikroskopischen Analyse



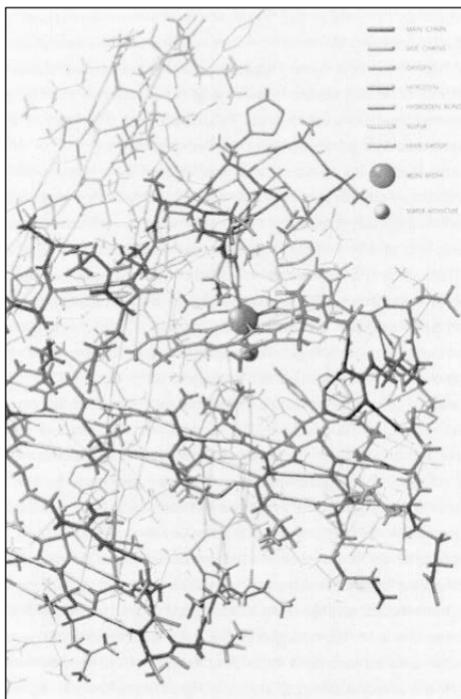
Klar ist dabei, dass solche Wissensproduktionen ohne Bezug auf die unterschiedlichen Visualisierungsstrategien, die ihnen zugrunde liegen, nicht beurteilt werden können, denn jede Konstruktion einer zentralperspektivischen Illusion macht anderes sichtbar als etwa eine diagrammatische Struktur oder eine Übersichtskarte. Wie außerdem Bruno Latour zu Recht hervorgehoben hat, gibt es >das Bild< in den Naturwissenschaften nicht, sondern immer nur synchrone und diachrone Bildreihen (Latour 2002), die allererst in Relation zueinander gebracht werden müssen. Visualisierungen verweisen dann auf andere Visualisierungen, sowie – quer zu ihnen – auf diskursive Prozesse der Kommentierung und Kontextualisierung, worin Bild, Schrift und Zahl miteinander interagieren. Was wir zu sehen bekommen, ist zumeist nur ein Exemplar, ein Schnitt durch eine Folge, deren Vorher und Nachher verhüllt bleibt und deren Aussagekraft darum nicht

vertikal generierbar ist, sondern gleichsam horizontal mit Bezug auf fundierende Texte oder Modelle. Darüber hinaus haben wir es bei fortlaufenden Transformationen oftmals mit unterschiedlichen Bildtypen zu tun, die eigenen »Logiken« und Grenzen gehorchen. So beschränkt sich die semiotische Funktion optischer Apparate oder anderer Aufzeichnungsinstrumente durchweg auf »Spur« und »Index«, während »abstrakte« Bildformen wie Graphen oder Diagramme Konstruktionen darstellen, die weit eher Theorien ähneln als Repräsentationen. Beide zu vermischen, kann zu Problemen vor allem hinsichtlich des ontologischen Status der betreffenden Aussagen führen; oft sind jedoch die Übergänge nicht kenntlich zu machen oder dem Bild nicht zu entnehmen. Insbesondere bilden solche Verfahren die bevorzugten Arbeitsinstrumente digitaler Bildprozesse, die in hohem Maße von der Implementierung graphischer Funktionen abhängen, die zu »Scharen« aufsummieren eine dreidimensionale Struktur, eine »Gebietskurve« als 3-D-Objekt entstehen lassen, die durch Inschriftung mannigfacher Konventionen einen optischen Eindruck suggerieren, der das vollständige Produkt eines visuellen Designs ist. Seine Lesbarkeit wird darum instabil, weil der Bezug zu den Daten im Sinne der Spur oder Indexikalität, denen immer noch ein Existenzmodus inhärent ist, fehlt oder kaum zu rekonstruieren ist.

Schrumpfen Spur und Index in CCD-Messungen zudem auf die »Anregung« einer empfindlichen Platte durch ein Photon, weist ihr epistemischer Gehalt bereits auf eine Vorgeschichte, die das technische Gerät nicht aus sich, sondern aus Theorien, Prototypen und Optimierungen verständlich macht. Visuelles Wissen findet darin gleichsam seine historische Relativität. Nicht nur geht in es eine komplette Technikgeschichte ein, sondern auch eine Geschichte der Gebrauchsweisen, der Justierung und Kalibrierung. Sie bleiben im Bildprodukt selbst unsichtbar. In der Tat gehört es zu den Grundsätzen des Medialen, dass das Medium im Mediatisierten untergeht, so gilt Vergleichbares ebenfalls für Bildprozesse, soweit was sichtbar macht, sich umgekehrt der Sichtbarkeit versperrt. Es handelt sich hier um dieselbe »Negativität des Medialen«, die die Bedingungen der Mediatisierung in dem Maße zurücktreten lassen, wie diese »anderes« konstituieren oder eine Realität verleihen (Mersch 2004b, 2005b). Sie impliziert, dass wir über den Bildstatus der Bilder systematisch im Unklaren bleiben. Waren der Transformierbarkeit von Bildern in Bilder seit je zeitliche, technische und materielle Grenzen gesetzt, erweist sie sich durch die Digitalisierung als tendenziell unbeschränkt. Auch diese Situation ist neu. Weil unterschiedliche Datensätze derselben Codierung unterliegen und dieselben Datensätze mehrfach adressierbar erscheinen, zeigen sie sich auf der Ebene der Algorithmen als universell »manipulierbar«, so dass Visualisierungseffekte als Oberflächeneffekte entstehen, die als Tiefeneffekte erscheinen. Die Sichtbarmachung gerät dann zum Gestaltungsprodukt. Es lässt – auf der Basis derselben Datensatzes – unterschiedliche Auswertun-

gen zu, und, da wir es stets nur mit mathematischen Funktionen zu tun haben, existiert prinzipiell kein Kriterium, das eine Darstellungsweise gegenüber einer anderen bevorzugt. Anders ausgedrückt: Nicht nur verschwinden die technischen Grundlagen der Visualisierung im Bild, sondern wir sind auch mit der Nichteindeutigkeit des sichtbar Gemachten konfrontiert, weil das Bild nicht länger *etwas Bestimmtes* darstellt, sondern lediglich eine *Möglichkeit*, die unterschiedliche Ausprägungen kennt, die wiederum unterschiedliche *Episteme* zulassen, deren gemeinsamer Nenner allein ihre Berechenbarkeit ist. Weil außerdem am Anfang diskrete Daten stehen, die bestenfalls auf Messungen beruhen, aber nicht notwendig optischer Natur sind, vielmehr nicht selten bereits auf theoretischen Annahmen und Rechnungen fußen, nähert sich ihr Bildliches – unter Abzug seiner Ästhetizität – der Schrift und ihrer diskursiven Textur. Geht man von Code und Programm aus, gibt ihre notationale Schreibung nicht einmal vor, *wie* sie aufbereitet wird, ob sie visuell, akustisch oder in einem anderen Wahrnehmungsmodus modelliert wird.

Abbildung 3: Ausschnitt der Ordnung eines Myoglobin-Moleküls nach Irvin Geis 1961



Im Unterschied zu klassischen Visualisierungsverfahren bildet darum nicht länger ein genuin Sichtbares den Ausgangspunkt, um zum Bild zu werden,

vielmehr ›Informationen‹ im kybernetischen Sinne, welche erst am Ende der Kette in visuelle Parameter verwandelt werden. Als diskrete Entscheidungsmaße, die in Wahrscheinlichkeitsbegriffen wurzeln, haben sie grundsätzlich, auch wenn sie optisch erzeugt wurden, einen anderen Status als visuelle Objekte. Zu ihrer Herstellung kommen digitale Scanner und Sensoren zum Einsatz, die, wie im Falle der Enzephalographie, elektrische Ströme oder, im Falle der Rastertunnelmikroskopie, Orte gleichen Tunnelstroms messen, um sie in dreidimensionale euklidische Raumbilder zu verwandeln. Für Letztere besteht keine notwendige Plausibilität, weil auch jede andere Form widerspruchsfreier Modellierung mit ihnen isomorph wäre (Hennig 2006). Sie müssen darum anders betrachtet werden als Bilder oder sichtbare Dinge: als interessante Möglichkeiten, die keine Entsprechung im Realen besitzen, sondern allein in den Methoden und Programmen ihrer Generierung. Zuweilen kommen dabei kartographische Ansätze ins Spiel, um ihnen Richtungen, Verteilungen oder räumliche Anordnungen zu imprägnieren, doch worauf sie auch immer fußen mögen, wovon sie ›Spur‹ oder ›Abdruck‹ sind (Heßler 2006: 18ff., 27ff.), sie enthüllen nichts Wirkliches, höchstens eine mathematische Topologie oder Relationen, die nicht als Proben oder Belege für ›Etwas‹ genommen werden können, sondern die, unabhängig von ihrer Ästhetik, als Abstrakta gelesen werden müssen, an denen Eigenschaften wie Symmetrie oder Strukturähnlichkeit und dergleichen auffallen. Folglich nehmen sie auch keinen repräsentationalen oder denotativen Status ein, sondern einen *diagrammatischen* oder *graphematischen*. Weit eher als dass sie ›Abdrücke‹ oder ›Indizes‹ wären, repräsentieren sie geordnete Syntaxen, deren epistemische Funktion nicht im Existenzbeweis liegt – wie es noch für die analoge Wissenschaftsfotografie und Röntgenologie gilt –, sondern in der digitalen ›Skulptur‹, der virtuellen Modellierung figuraler Formen, die gänzlich immateriell bleiben (Mersch 2005a: 337ff.).

Hybride Ordnungen des Diagrammatischen

Abzustecken wäre im Einzelnen, was unter diagrammatischen bzw. ›graphematischen‹ Visualisierungen zu verstehen ist. Zunächst seien darunter sämtliche ›bildschriftlichen‹ Hybride gefasst,⁴ die das Ikonische mit dem Skripturalen kreuzen, und zwar so, dass Graphen, Zeichnungen oder auch Zahlenkolonnen oder Strukturen *ins Bild* gesetzt und damit von vornherein visuell geordnet werden. So spricht Christian Stetter von graphischen Abbreviaturen, deren Basis »notationale Ikonizitäten« darstellen, wobei bemerkenswert ist, dass ihnen Syntaxen und damit auch logische Verhältnisse eingeschrieben sein können (Krämer 2005b: 41f.; Stetter 2005: 125). Dann können unter Diagrammen sämtliche Formen ›syntaktischer‹ Bilderzeugung gefasst werden, die auf diskreten Einteilungen der

Fläche fußen, vom Funktionsbild über Tabellen bis zu Schaltplänen oder computergestützten Sichtbarmachungen. Weil sie von vornherein bildlich, d.h. auch flächig oder räumlich angelegt sind, überspringen sie die Linearität von Schrift und Text auf Potenziale des Nicht-Linearen hin und können darum der Struktur- oder Mustererkennung dienen. Wird gewöhnlich zwischen Plan, Karte, Diagramm oder Modell und Graph unterschieden (Goodman 1995: 158ff., 163ff.), differieren die Termini allerdings in verschiedenen theoretischen Kontexten und Disziplinen und wechseln nicht selten die Seiten, so dass von keiner eindeutigen Definition auszugehen ist. So werden einmal mathematische Graphen als ›Kurvendiagramme‹, zum anderen logische oder mathematische Notationen als Diagramme (Pape 1997: 404ff.) und schließlich wieder Netzpläne, wie sie die Informatik verwendet, als ›Graphen‹ bezeichnet (Diestel 2000). Zwischen ihnen verlaufen keine strikten Trennungslinien, bestenfalls korrespondieren ihnen unterschiedliche Funktionen, nach denen sie Verwendung finden, um in der visuellen Wissensproduktion disparate Zwecke zu erfüllen. Dabei stehen nicht *technische* Bilderzeugungen im Mittelpunkt der Betrachtung, auch wenn sie der mathematischen Modellierung Grenzen ziehen, sondern die strukturalen Grundlagen der Modellierung selber, deren spezifische Verbindungen von Bildlichkeit und Textur, wie sie im Innern des Tableaus oder Rahmung Platz finden, entsprechen.

Demnach beinhaltet die Diagrammatik im Allgemeinen alle visuell-graphischen Formen, die Argumentationen wie Herleitungen, logische Beziehungen oder Anordnungen und dergleichen im Medium des Visuellen gestatten. Die Graphematik bildet davon ein Teilgebiet. Zwar existiert noch keine generelle Theorie des Diagrammatischen – sie wäre erst zu schreiben (vorläufig: Bertin 1983; Bonhoff 1993; Bogen/Thürmann 2003; Schmidt-Burkhardt 2005) – doch ist klar, dass sie sowohl skripturale als auch ikonische Elemente zu berücksichtigen hätte. Sie machen gleichermaßen logische wie relationale oder räumliche Verhältnisse durch ein System visueller Parameter sichtbar. Es sei hinzugefügt, dass die ikonischen Elemente nicht unbedingt contingent sind: Farben, die Dicke eines Ableitungsbalkens, Pfeile, die Richtungen markieren und Ähnliches können sich für die visuelle Aussage als durchaus konstitutiv erweisen. Doch sind weder ihr ›Sinn‹ noch ihre Darstellungsweise eindeutig – Linien oder Farben können mehrfach codiert sein und als Differenzmarker fungieren oder Gewichte und Relevanzen ausdrücken. Umberto Eco hat darüber hinaus unterschiedliche diagrammatische Visualisierungen desselben Problems diskutiert, wie sie sich bei Charles Sanders Peirce finden (Eco 1987: 260ff.). Welche Formen dabei Bevorzugung finden und welche nicht, ist vorderhand nicht zu entscheiden; nicht nur logische, sondern auch konventionelle Gründe wie Leserichtungen und dergleichen spielen dafür eine Rolle. Komplexe Relationen können auf diese Weise durch diagrammatische Darstellungen mehr oder weniger übersichtlich geordnet werden oder

auch Verwirrung stiften; doch bedeutet die Diagrammatik in jedem Fall die »Sichtbarmachung eines Denkens« (Pape 1997: 378ff.). Und wie die diskursive Rede Klarheiten wie Unklarheiten hervorzubringen vermag, gilt dies für die Diagrammatik genauso.

Diagrammtische Formen wie Karten, Graphen, Netze und Ähnliches bilden somit Zwischenformen, die gleichermaßen an Visualität wie an Diskursivität partizipieren und Sichtbarkeit und Lesbarkeit derart ineinander verschränken, dass Übertritte entstehen und Diskursives als Ikonisches und Ikonisches als Diskursives rezipierbar wird. Der bereits oben erwähnte Begriff der ›Bildschriftlichkeit‹ – im Unterschied zur Schriftbildlichkeit – denotiert diese eigentümliche Verschränkung, so dass Piktoralität und Skripturalität nicht als getrennte Register erscheinen, sondern im jeweils anderen aufgehen. Wir sind demnach mit einem unscharfen Zwischenbereich konfrontiert, der gerade darin seine Produktivität besitzt, dass diskrete Zeichen oder logische Beziehungen sich als Figuren oder räumliche Verteilungen zeigen, wie auf der anderen Seite die Bildelemente als wohlunterschiedene ›Marken‹ vorkommen, die, wie die seit Platon währende Debatte über die geometrischen Formen bezeugt, ›Idealisierungen‹ bilden, die als solche ›iterabel‹ sein müssen. Darum erscheint auch ihre Syntax maßgeblich, weniger ihre *Erscheinung*. Diagrammatische Formen enthalten ›Grammatiken‹, zu denen auch Regeln gehören, vor allem aber sowohl visuell als auch diskursiv ›lesbare‹ Strukturen.

Der Übergang von Bildlichkeit im eigentlichen Sinne zur ›Bildschriftlichkeit‹ bedingt daher eine Transformation vom Ästhetischen bzw. Aisthetischen zum Schema, woran vor allem seine Operationalität interessiert. Zwar kommen auch diese ohne ästhetische Interferenz nicht aus: Es gibt kein Bildliches ohne ästhetische Präsenz, weshalb keine ›visuelle Logik‹ existiert, die sich nicht zugleich am Ästhetischen bräche, wie gering auch immer; doch ist charakteristisch, dass die philosophische Diagrammatik seit je zu deren Blendung neigte, wie im philosophischen Diskurs überhaupt das Visuelle im Namen einer angenommenen Identität von Denken und Sprache depraviert wurde.⁵ Doch wie gleichermaßen der Übergang von der Schrift zur ›Schriftbildlichkeit‹ die Regime der klassischen Linguistik verlässt, um jenseits ihrer Festlegung auf den notationalen Raum eigener Prägung zu stoßen, in dem, unabhängig vom klassischen Zusammenhang zwischen Gedächtnis und Rede, neue Konfigurationen und Einsichten möglich werden (Krämer 2005b: 33), weist die diagrammatische ›Bildschriftlichkeit‹ auf einen Eigensinn des Ikonischen, der eine eigene Form ›visueller Logik‹ hervorbringt. Haben wir es zudem dort immer noch mit abstrakten ›Marken‹ und Buchstaben zu tun, beruhen bildschriftliche Figurationen auf einer Streuung von Punkten und Linien, die Häufungen oder Richtungen sichtbar machen oder Isomorphismen preisgeben, ebenso wie charakteristische Verläufe oder Extremwerte, Lücken und Sprünge. Sie erlauben Mustererkennung und Ähnlichkeiten oder andere

räumliche Aktionen. Tatsächlich verweisen ›Schriftbildlichkeit‹ und ›Bildschriftlichkeit‹ aufeinander, unterscheiden sich allenfalls durch die Art ihrer zugrunde liegenden Operationalität, auch wenn die Grenzen verwischen. Wird dort das Ikonische auffällig, so im Diagrammatischen das Schriftliche, beide aber auf die Eigenart eines visuellen Denkens, das mittels Positionen und Gestalten (*eidos*) Aussagen trifft, ohne auf Beweise oder rhetorische Tropen wie Metapher, Metonymie, Synekdoche oder Katakinese zurückzugreifen.

Damit inhäriert der Diagrammatik eine eigenständige Form visueller Performanz, die den Kern ihres Bild-Wissens ausmacht. Beruhen Schriften zudem, wie Nelson Goodman zu Recht betont hat, auf Äquivalenzklassensystemen, die die Konstruktion diskreter Notationen zulassen (Goodman 1995: 212), verschieben hybride Formate wie ›Bildschriftlichkeiten‹ und ›Schriftbildlichkeiten‹ die Perspektive in Richtung einer räumlichen ›Logik‹, die im Wesentlichen in *Topologik* gründet. Ihr Kriterium heißt »Interspatialität« (Krämer 2005b: 28ff.). Diagrammatische Strukturen nutzen ›Zwischenräumlichkeiten‹, wie Spatialität überhaupt ihr Grundprinzip bezeichnet. Nicht Distinktion im Sinne George Spencer-Browns oder ›Beobachtung‹ im Sinne Niklas Luhmanns ist das zentrale Thema einer Diagrammatik, sondern *Deixis*. Form, Aussehen (*eidos*) und *Deixis* spielen ineinander. Doch bedarf es dazu zunächst einer Formatierung des Raumes, um Orte festzulegen sowie Metriken und Skalierungen einzutragen, die die Inschriften in ein festes Bezugssystem einbinden. Grundbedingung jeder Diagrammatik ist darum ein vorab formatierter Raum. Formatierung geschieht durch Rahmung, z.T. durch deren mehrfache Setzung und Überbeschreibung – so wie z.B. Karten eine Multiplizität von Systemen vereinen, von der mathematischen Repräsentation räumlicher Relationen über ein schematisches Verzeichnis von Wegenetzen, Flussverläufen, Gebirgszügen und Ähnlichem bis zu Maßeinheiten, Namen, Zeit-, Klima- und Vegetationszonen etc. Die Formatierung erlaubt mithin eine Aufteilung des Raumes in relevante Teilräume, worin unterschiedliche graphische Elemente ihren Platz finden, und ebenso eine Zuordnung und Verdichtung der Daten zu Figuren und Gestalten, die disparate Informationen wiedergeben. Nur wenige Diagramme – wie etwa Venn-Diagramme – liegen ›rein‹ vor; die meisten bestehen aus der Überlagerung und Verschachtelung mehrerer Darstellungstypen, um allererst im wechselseitigen Bezug oder ihrer Abbildung aufeinander ihre charakteristischen Merkmale zu offenbaren. Desgleichen bedarf es Methoden der Vereinfachung, der Glättung oder Interpolation, um Verläufe und ihr charakteristisches Verhalten sichtbar zu machen. Sie werden erneut der ›Zeichnung‹ (*disegno*) oder Gestalt (*eidos*) entnommen. An ihnen lässt sich entdecken, was der korrespondierende Algorithmus im Modus der ›Zahl‹ verdeckt, wie umgekehrt abstrakte Gleichungen durch Sichtbarmachung allererst vorstellbar werden und womöglich neue Zusammenhänge enthüllen.

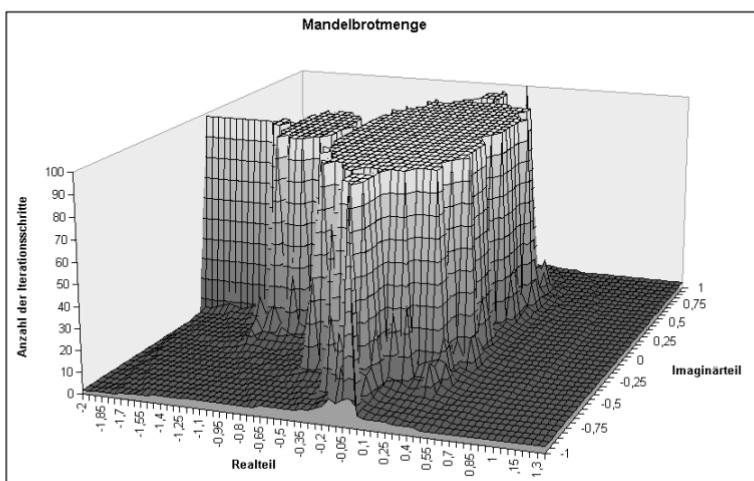
Räumlichkeit und Figürlichkeit fallen auf diese Weise genuin epistemische Funktionen zu. Dabei wird die ›visuelle Aussage‹ nicht primär durch Differenzbildungen erzeugt, so dass wir es nicht mit einem diskursiven Schema im strengen Sinne zu tun haben, sondern durch räumliche Korrelationen oder Kontraste, so dass sich analog von räumlichen Differenzierungen sprechen lässt, die mittels ›Lagen‹, Abständen oder nicht besetzten Plätzen usw. ›argumentieren‹ und in Sprache nur unzureichend übersetzbare sind.⁶ Ihre Textur konstituiert jenen ›visuellen Operationsraum‹, der die Struktur visueller Argumentationen im Wesentlichen als eine topologische ausweist, die durch direkte Konstruierbarkeit demonstriert, was der begrifflichen Reflexion verschlossen bleibt. Visualisierungsverfahren in Naturwissenschaften und Mathematik, wie sie vor allem auf der Basis graphematischer Verfahren wie MRT, Röntgenspektrogramm, Sonden- und Tunnelrastermikroskopie usw. entstehen und digital aufbereitet werden, sind von dieser Art, dass sie einzig auf Messungen basieren, die algorithmisch aufbereitet und weiterverarbeitet werden. Darauf lassen sich dann unterschiedliche Funktionen wie Klassifikation, Sortierung, Typologie oder Rasterung anwenden, die gleichermaßen der Bündelung wie Dynamisierung der Daten dienen, die auf paradoxe Weise sichtbar machen ohne optisches Korrelat.

Bildlosigkeit der Mathematik

Bestimmen demnach räumliche Ordnungen die Medialität des Diagrammatischen, konstituieren sie sowohl ein visuelles – d.h. primär zeigendes – als auch diskursives – d.h. primär sagendes – Feld des Wissens. Die dabei entstehenden Diagrammatiken erweisen sich jedoch als prinzipiell mehrdeutig, weil ihre Raumstrukturen unterschiedliche ›Abzeichnungen‹ desselben Datenmaterials zulassen. Weniger ist ihre Ambiguität ihrer Ästhetik geschuldet – diese implizierte vielmehr allein Unbestimmtheit –, sondern ihre ›Logiken‹ weichen nicht selten erheblich voneinander ab, weil dieselben Elemente aufgrund alternativer Strukturierungsformen wie Metriken und Skalierungen auch andere Inhalte visualisieren. Generell kann als diagrammatische Grundregel angenommen werden, dass die Eindeutigkeit des Wissens sich zum Grad ihres ikonischen Anteils umgekehrt proportional verhält. Je mehr bildliche Elemente in die Darstellung eingehen, desto uneindeutiger wird sie, weil ›Zeigen‹ alternative Deutungen zulässt und nie klar sein kann, worauf es zeigt. Umgekehrt schneidet der formale Graphismus die Ambivalenz des Bildes ab. Das gilt im besonderen Maße für Graphen im Sinne der mathematischen Graphentheorie als Untermenigen diagrammatischer Visualisierungen. Sie lassen sich als »mathematische Modelle für netzartige Strukturen« verstehen (Tittmann 2003: 11), die im Wesentlichen durch zwei Arten von Objekten bestimmt sind, näm-

lich Orte (›Knoten‹) und Verbindungen (›Kanten‹) (Diestel 2000: 2). Die Definition ist hinreichend einfach und allgemein, so dass alle Netzstrukturen aus Kombinationen beider Objekte hervorgehen und Aussagen über ihre Strukturalität ermöglichen; doch zeigen sie sich gegenüber ihrer visuellen Darstellung insofern als resistent, als allein solche Strukturbetrachtungen relevant erscheinen, nicht ihre Ikonizität (Stetter 2005: 125). Graphen zeichnen sich damit durch ihre weitestgehende Abstraktion von piktoralen Elementen aus, wobei die Tilgung der ästhetischen Mittel eine notwendige, nicht hinreichende Bedingung darstellt. Dies ergibt sich schon daraus, dass sie strukturell äquivalent sein können, auch wenn ihre piktoralen Darstellungen erheblich voneinander differieren. Strukturelle Äquivalenz oder Isomorphie ist eine Eigenschaft der Syntax, nicht der Bildlichkeit (Tittmann 2003: 24ff.). Graphen sind folglich ausschließlich syntaktische Systeme, die visuell ›blind‹ sind, so dass ihre Gestalt und damit ihre spezifische Visualität mit Blick auf die dargestellten Netzstrukturen irrelevant erscheinen; vielmehr wahren sie jenes Minimum an visueller Evidenz, wie es für die räumliche Anordnung der relationalen Schemata unerlässlich ist.

Abbildung 4: Graphische Darstellung der Mandelbrotmenge (›Apfelmännchen‹)



Dabei folgt die Unabhängigkeit des Graphischen vom Ikonischen aus dem Vorrang der Mathematik, deren Geltung der Bilder nicht bedarf. Zwar ist die Mathematik als Ganze nicht bilderlos, wie der seit der Antike bestehende Streit zwischen ›Zahl‹ und ›Linie‹ oder Arithmetik und Geometrie belegt, der seit der Frühen Neuzeit durch René Descartes' analytische Geometrie und der Algebraisierung der Mathematik seine scheinbare Versöhnung gefunden hat. Doch fungieren bereits im euklidischen System die geometrischen Objekte selber als abstrakte Figuren, an denen nicht ihr

›Aussehen‹ (*eikon*), sondern ihre formale Konstruktivität aus Zirkel und Lineal interessiert. Zudem haben die Differenzialrechnung und die Boole'sche Logik den Einfluss des Geometrischen und damit auch des Visuellen soweit zurückgedrängt, dass nicht länger das Piktoriale das Graphische determiniert, sondern die jeweilige Vorschrift oder Regel, aus denen sich geometrische Eigenschaften oder solche von Funktionsbildern berechnen lassen. Schließlich haben wir es bei den nichteuklidischen Geometrien und den Paradoxa des Unendlichen ausschließlich mit Kalkülen zu tun, die im Sinne David Hilberts nicht weniger formalistische Deutungen zulassen wie die anderen Teile der Mathematik auch – ja nichteuklidische Geometrien oder ›unendlich-dimensionale‹ Räume wie auch Fraktale mit gebrochenen oder irrationalen Dimensionszahlen erweisen sich überhaupt der Anschauung und damit der Vorstellbarkeit entzogen.

Dennoch sind auch Graphen, die seither die analytische Geometrie, Topologie oder Kombinatorik beherrschen, nicht ganz auf den Graphismus der Schrift rückführbar. Zwar folgt die Mathematik »aus der Struktur der Schrift« (Mersch 2005c), gleichwohl bleiben aufgrund der Ikonizität der Schrift visuelle Elemente irreduzibel. Man hat in Sonderheit hinsichtlich der Chaosmathematik von der »Wiederkehr der Bilder« und der Bedeutung des visuellen Denkens auch für die Mathematik gesprochen (Peitgen 1994), doch gilt dies allein für Muster, die graphische Iterationen erkennen lassen und die sich wiederum gegenüber der Gesetzlichkeit der zugrunde liegenden Funktionen als sekundär erweisen. Ihre Strukturen treten zwar figural hervor, so dass die vermeintlichen visuellen Erkenntnisse zuletzt auf Struktureigenschaften von Bildern fußen, doch fungieren diese als *Anzeigen*, nicht schon als Beweise. Die Sichtbarkeit der Logik und die Visualität mathematischen Denkens finden daran ihre Grenzen: Sie beziehen sich bestenfalls auf charakteristische Muster, nicht schon auf Bildlichkeit im eigentlichen Sinne.

Ersichtlich wird daraus, dass diagrammatische Visualisierungen, im Besonderen aber Graphen, um ›interpretiert‹ werden zu können, der Konventionalität und Regelhaftigkeit bedürfen. Keine Wissenschaftsvisualisierung kommt ohne diese oder diskursive Zusätze und Kommentar aus. Nicht nur verweisen Schrift und Bild im Diagrammatischen aufeinander, sondern die Diagrammatik selber erfordert den Text, der sie deutbar macht. Welche Funktion das Ikonische innerhalb der Wissenschaften im Einzelnen auch immer einnehmen mag – sei es als Skizze, Heuristik, Strukturdarstellung oder Wissensorganisation –, immer erfüllt es ein »Programm« (Wittgenstein 2000a: 39, 42–44), das durch den Diskurs noch beglaubigt werden muss. Modelle, Netze, Karten etc. gleichen daher eher Instrumenten, die wie die mechanischen auf das gesamte szientifische Dispositiv bezogen bleiben. Insofern entmaterialisieren diagrammatische und graphematische Visualisierungen das Bildliche und beschränken es – anders als die Kunst, deren Darstellungen stets ans Materielle gebunden bleiben – auf das *For-*

male, das *deiktische Zeichen*, die Zeichnung (*dissegno*) oder *Gestalt*. »Aber was macht einen Plan zum Plan?« fragt darum Wittgenstein in seinen nachgelassenen *Bemerkungen*,

»[d.]h. was unterscheidet ihn von einem beliebigen Gekritzeln? [...] [Z]u dem Plan gehört die Regel der Übersetzung [...]. So ist der Plan offenbar ein nützliches Instrument. Und das rechtfertigt seine Untersuchung seiner Wirksamkeit/Funktion.« (Wittgenstein 2000a: 43)

Deswegen genüge es auch nicht, »um den Plan zu verstehen [...], dass ich diese Zeichnung sehe [...]. Ich muss auch wissen, was es heißt, einem Plan zu folgen« (ebd.).

Damit ist ein grundlegendes Problem angezeigt. Denn Wittgenstein macht deutlich, dass diese Operation zuletzt bodenlos bleibt, weil kein Plan sich selbst erläutert. »Ich möchte sagen: einen Plan verstehen muss schon heißen, ihn anwenden«, wobei die Anwendung aus keiner weiteren Regel folgt, denn damit »würde wieder ein neuer Plan erzeugt, der der Erklärung so bedürftig wäre wie der erste.« Das bedeutet:

»Ich brauche keine weitere Abbildung, die mir zeigt, wie die Abbildung vor sich zu gehen hat, wie also die erste Vorlage zu benutzen ist, denn sonst brauchte ich auch eine Vorlage, um mir die Verwendung/Anwendung der zweiten zu zeigen usf. ad infinitum. [...] Der Plan ist als Plan [...] nicht zu beschreiben.« (Wittgenstein 2000a: 45f.)

Man müsste hinzusetzen: Graphen und diagrammatische Strukturen sind nicht selbsterklärend. Sie bedürfen der Einbettung in Diskurse, die ihnen gegenüber vorrangig erscheinen. Sie funktionieren deshalb auch nicht als Bilder, die etwas sehen lassen und sich im Zeigen erschöpfen, weshalb kein Hochtechnologiebild aus seiner Sichtbarkeit alleine entschlüsselbar wäre, sondern als theoretische Anweisungen, die nach einem Erklärungsrahmen verlangen, aus dem Lesbarkeit allererst hervorgeht, und ohne die keine Wissensvisualisierung existierte. Sie impliziert eine Indifferenz von Argument und Instrument.

Ontologisierung diagrammatischer Strukturen und die Unentscheidbarkeit der Referenz

Diese Indifferenz macht vor allem den prekären Status von Visualisierungen in den Wissenschaften im Zeitalter digitaler Verbildlichung aus. An sie sind zwei grundlegende Problemstellungen geknüpft, die die Frage ihrer Referenzialität als prinzipiell unbeantwortbar erscheinen lassen. Der erste Instabilitätspunkt entsteht dadurch, dass das, was es zu sehen gibt, auf instrumentell erzeugten Datenmengen beruht, die vermöge graphischer

Algorithmen in Bildpunkte übersetzt werden. Die Rechnung bedingt, wie ein Bildpunkt erscheint, d.h. welche Farbe er besitzt, doch bleibt der Rechnung die Herkunft des Datums selbst gleichgültig, sodass visuelle Signale auch anders dargestellt werden können. Dass in deren Existenz bereits Annahmen genauso einfließen wie informationelle Modellierungen, die überhaupt nur das registrieren, was sich dem Schema der Digitalisierung fügt und somit computertauglich ist, ist aus den Bildaufbereitungen selbst nicht zu erkennen. Vorerst kann dann auch nicht entschieden werden, was im Bild als Störung auftaucht und was nicht, weil Fehler, wie sie beispielsweise durch Dysfunktionalitäten oder Defekte der Instrumente hervorgerufen werden, prinzipiell denselben informationellen Status aufweisen und im Bild den gleichen Modus besitzen, nämlich als ein visuelles Element, das sich von anderen visuellen Elementen nicht unterscheidet. Die Transformation einer Datenreihe lässt im Visuellen keine Differenz zu; erst die instrumentelle Erzeugung und die Reflexion auf ihre Herstellungsbedingungen lassen entsprechende Rückschlüsse zu, die, wie die Geschichte der Instrumente zeigt, nicht immer leicht zu ziehen sind. Soweit jedoch das Sichtbare keinen Rekurs auf sein Ausgangsmaterial zulässt, weil es nicht länger als dessen ›Spur‹ oder ›Abdruck‹, sondern als ›Information‹ fungiert, bleibt die visuelle Präsenz des Errechneten gegenüber seiner zugrunde liegenden technischen und algorithmischen Tiefenstruktur ein Oberflächliches, dessen Quellen verdeckt bleiben. Wir haben es hier zwar grundsätzlich mit der Paradoxie zu tun, dass ein Medium sichtbar macht, ohne die Weise seiner Sichtbarmachung, d.h. auch seine Produktionsbedingungen und deren Dispositive, mit sichtbar zu machen, doch erzeugt diese Paradoxie in Bezug auf die technischen Bilder eine visuelle Opazität, die mit dem Grad ihrer Programmierung wächst.

Die zweite Problematik ergibt sich aus den spezifischen Verfahren des Computerdesigns und seiner digitalen Bildbearbeitung. Denn durch besondere Softwareangebote werden die zunächst diagrammatischen oder ›graphematischen‹ Visualisierungen referenziellen Bildern zunehmend angeglichen. Aus einer mathematischen Gebietskurve wird dann ein ›Gebirge‹, wie aus elliptischen oder hyperbolischen Scharen Krümmungen. Das Bedürfnis dazu entspringt spezifischen Sehtraditionen, die ihre Interpretierbarkeit erleichtern. Dazu gehören schon die Datenerhebung selbst, die vor der eigentlichen Bearbeitung geschieht und in die Bildgenerierung ein geht, ohne Teil von ihr zu sein. Denn die Auswahl der relevanten Daten trägt nicht nur unmittelbar dazu bei, was im Bild erscheint, sondern auch welche Wirkungen privilegiert werden, wobei die Geschichte des Auges und die Angleichung an seine Wahrnehmungsweise in die Auswahlkriterien bereits eingeht. Hinzu kommen zahlreiche Interpolationsverfahren, die Datenlücken ausgleichen, sowie Methoden der Rauschunterdrückung oder Filterung, die die Bilder bereits auf der Programmstruktur modellieren. Nichts anderes bedeutet Computergenerierung. Es handelt sich in Bezug

auf die Datenerhebungen um *nachträgliche* Methoden, deren Entscheidungen jedoch den Maschinen überlassen bleibt, sodass die Frage der Intervention sich schon vom ersten Augenblick an stellt, mithin als Frage irrelevant wird, weil sie keinen Gegenbegriff duldet. Ihr wichtigster Punkt ist dabei die Einschreibung von Bildstilen, die zwar den Visualisierungen seit je als imaginäre Verfahren implementiert wurden, nunmehr aber zu den einschlägigen Tools der Softwarepakete selber gehören, sodass diese gar nicht mehr anders können als in die graphischen Bildproduktionen beispielsweise perspektivische Rasterungen der Projektionsgeometrie, Fluchtpunktkonstruktionen, kohärente Licht- und Schattenwürfe, Objektumrisse oder fließende Bildübergänge usw. zu implementieren. Sie evozieren virtuelle 3-D-Effekte (vgl. Manovich 2001: 184ff.), auch wenn diese für die Visualisierung der biologischen, chemischen oder physikalischen Ereignisse ohne jeden Belang sind.

Mithin lässt sich eine Tendenz zur Inskription ästhetischer Regeln feststellen, die schon auf der Ebene des Algorithmus den abstrakten Graphen und Diagrammen einen konventionellen Bildrealismus aufzuerlegen suchen. Hier beginnt die Ideologie der Bildlichkeit, ihr impliziter Illusionismus. Er gemahnt an räumliche Objekte, deren Eindruck sich mimetischer Evidenzverfahren verdankt, die die Visualisierung nicht länger von ihrer abstrakten topologischen Ordnung her versteht, sondern als *Bild von Gegenständen mit eigener Identität und Kontur*. Sie avancieren zu stabilen, erforschbaren Objekten. Wir haben es also mit einer Transponierung von diskreten graphischen Strukturen zu ontologischen Entitäten zu tun, die mit dem Nimbus versehen sind, Eigenschaften zu besitzen und im Sichtbaren als verfügbare, veränderbare und bestimmbare Dinge aufzutreten. Die Weise digitaler Bildbearbeitung impliziert so eine Tendenz zur Verdinglichung. Sie überführt kraft ihrer ästhetischen Vorentscheidungen diagrammatische Skripturen in mimetische und verwandelt ihre graphematische Präsenz in eine referenzielle.⁷

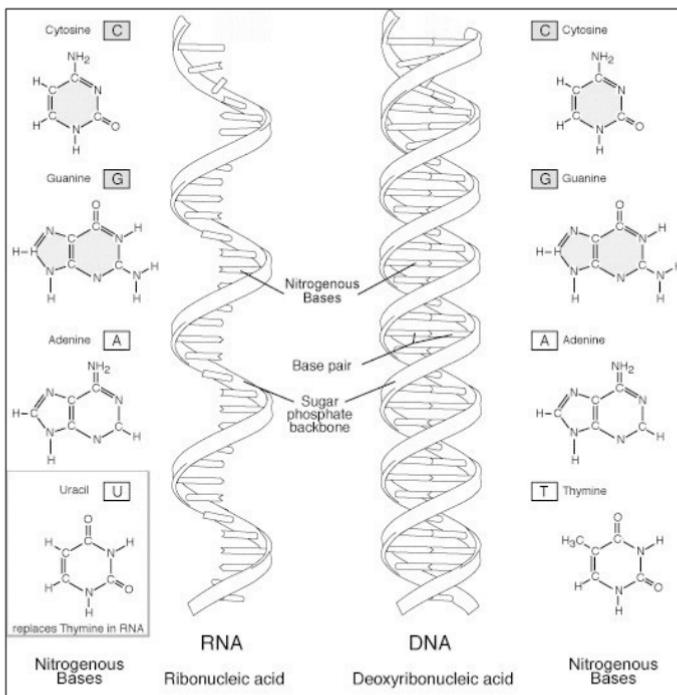
Eines der schlagendsten Beispiele dafür sind vielleicht die Bilder der Nanotechnologie. Sie bilden das Produkt eines Instruments, das in den 80er Jahren für Furore sorgte und das nicht im eigentlichen Sinne optisch funktioniert, sondern durch das punktweise Abtasten von Oberflächen. Dabei werden konstante Tunnelströme gemessen, die erst durch Apparatur und Experiment entstehen. Folglich haben wir es mit epistemischen Größen zu tun, die relativ zum Instrument und seiner Versuchsanordnung existieren und keinen repräsentierenden Status besitzen, die darum auch nicht auf etwas vor ihnen Liegendes referieren, sondern Theorien visualisieren (Hennig 2004). Die Frage, *was* das ist, was sich zeigt, erscheint dann obsolet, weil nicht *etwas* Bestimmtes zur Darstellung kommt, dem eine vorgängige Realität zugeschrieben werden kann, sondern ein Effekt der Messung selbst, der noch von metrischen Parametern sowie bestimmten Probabilitätsannahmen der Quantenphysik abhängt. Keine Messung erweist

sich im strikten Sinne als wiederholbar, weil sich in ihrem Verlauf das Gemessene mitverändert – ein Effekt, der ebenfalls zur Manipulation der Oberflächen genutzt wird, so dass wir es eher mit Ereignissen statt mit stabilen Werten zu tun haben. Gleichwohl lässt sich die Messung, die immer schon Manipulation oder Transformation ist, als Graph ausdrücken, der durch Bündelung mit anderen Graphen zu einem konsistenten Bildeindruck synthetisiert werden kann, von dem freilich unbestimmt bleibt, was er bedeutet. Gleicht die Visualisierung einer Kurve im dreidimensionalen Raum, die aus Messwerten entsteht, kann außerhalb dieser nicht gesagt werden, um was es sich handelt, weil sie allein auf die Abweichung der Tunnelströme reagiert, nicht auf eine vorliegende Sache. Die Interpretation als Abbildung atomarer Strukturen bildet dabei eine theoretische Hypothese, gestützt auf das Komplementaritätstheorem der Quantenmechanik und der Wahrscheinlichkeit, womit Teilchenströme die als undurchdringlich geltenden Atome >durchtunneln<. Wie die Quantenmechanik jedoch zuletzt zu einer Understellbarkeit subatomarer Beziehungen gelangt, die sich sekundär mathematisch erschließen, bilden demgegenüber die nanotechnologischen Visualisierungen vorn vornherein mathematische Graphen. Prinzipien, die zur Beschreibung der Welt gehören wie Identität, Gestalt und Materialität, werden folglich hinfällig. Entsprechend führt das aufbereitete >Bild< in die Irre. Gestaltet nach den Gesetzen der Zentralperspektive enthüllt es Objekte, die durch zwei imaginäre Lichtquellen beleuchtet erscheinen und dadurch den Anschein erwecken, als sähen wir >etwas< Bestimmtes, nämlich Atome auf einer Oberfläche. Flecken, dunkle Stellen oder Löcher, die ebenfalls im >Bild< zu sehen sind, deuten keineswegs auf Leerstellen hin, sondern auf Veränderungen des Tunnelstroms, die unentscheidbar lassen, ob sie auf Schwankungen der Messwerte zurückgehen oder auf Messfehler des Instruments (Hennig 2006).

Wurden solche Unschärfen in frühen Veröffentlichungen bewusst beibehalten, so dass die Medialität der technischen Erzeugung als Spur reflexiv im >Bild< mitaufbewahrt wurde, setzte sich mit zunehmender technischer Perfektion und unter Rückgriff auf kommerzielle Softwarepakete ein Ideal der Glättung durch, das die Konstruertheit des Bildes zu überdecken suchte.⁸ Entsprechend imitiert das Visualisierte eine kohärente Darstellung, die dem Sichtbaren eine *Referenzialität* auferlegt, sodass wir mit einer grundlegenden *Unentscheidbarkeit zwischen Denotat und Konstruktion* konfrontiert sind. Unklar bleibt dann, worauf sich die Visualisierungen beziehen oder ob sie überhaupt etwas darstellen, sodass zuletzt eine Instabilität zwischen diagrammatischen und referentiellen Bildverfahren entsteht. Die Differenz, die beide voneinander trennt, verwischt. Es ist letztlich diese Instabilität, die den Kern der epistemischen Problematik computergenerierter Wissenschaftsbilder ausmacht, gleichsam ihre immanente >Verblendung<, ihr *denotativer Schein*. Er impliziert einen Übergang vom Syntaktischen und Topologischen zur Indexikalität mit allen Attributen der

›Spur‹, des Belegs oder des Existenznachweises. Was einst der Fotografie angehörte, nämlich als Index an der ›Sache selber‹ zu partizipieren, wird nunmehr zum Konstrukt, dessen einziger Anhalt hochgradig unbestimmte und theoretisch allererst zu interpretierende Messvariablen sind. Nicht, dass solche ›Bilder‹ auf nichts verwiesen, wohl aber sind wir nicht mehr in der Lage zu entscheiden, was Spur, Denotat oder Konstruktion und Textur ist.

Abbildung 5: Schematische Darstellung einer rastertunnelmikroskopischen Aufnahme zur Demonstration des Wachstums von Gold auf einer einkristallinen Kohlenstoffoberfläche (HOPG)



Geschuldet ist diese Instabilität schließlich der Macht der Programme und ihrer implementierten Ästhetik. Dem Computerdesign fällt damit eine Schlüsselrolle zu. Man kann im Vergleich zwischen dem 18. und dem späten 20. Jahrhundert insofern von einem Rollentausch zwischen Künstler und Softwareengineer sprechen (dazu näher Heßler et al. 2004: 54ff.). Galt, wie nach den Ausführungen Dastons und Galisons bereits erwähnt, noch vor 1800 der Künstler als unumstrittener Experte des Sehens, der bei der Herstellung wissenschaftlicher Illustrationen im direkten Austausch mit den betreffenden Wissenschaftlern stand (vgl. Galison 1998; Daston/Galison 2002: 35ff.; Kemp 2003), um zunehmend mit Misstrauen über die

Authentizität des so Dargestellten belegt zu werden, besetzt nunmehr der Programmierer oder gar der programmierende Wissenschaftler selbst den vakant gewordenen Platz, um sich nicht selten als Künstler zu stilisieren. Keineswegs befreiten sich darum die Wissenschaften seit Mitte des 19. Jahrhunderts aus den Fesseln ästhetischen Herrschaftswissens, indem sie sich ausschließlich den Idealen einer mechanischen Objektivität verschrieben, vielmehr gaben sie sich in dem Maße, wie sie die Kreativität des Blicks den Apparaten überließen und die Technik an die Stelle des unzulänglichen Subjekts rückten, in neue Abhängigkeiten. Mit der Digitalisierung ist diese an die Computerindustrie übergegangen. Doch erweist sich deren Werk als ebenso opak, weil die verfügbaren Softwarepakete zumeist *en bloc* erworben werden und keinerlei Kontrolle oder Eingriff mehr dulden, wie ihre Herstellung, Zirkulation und Durchsetzung der Logik einer anonymen ökonomischen Maschinerie gehorcht, die anderen als nur wissenschaftlichen Interessen folgt.

Anmerkungen

- 1 Wenn an dieser Stelle Begriffe des Ikonischen und des Indexikalischen aufgerufen werden, dann nicht in ihrer semiotischen Bedeutung im Sinne Charles Sanders Peirce, sondern in Bezug auf ihre unterschiedlichen Funktionen. Daran schließt sich u.a. die umfangreiche Diskussion um den Index-Status der Fotografie an, wie sie besonders auf Philippe Dubois, *Der fotografische Akt. Versuch über ein theoretisches Dispositiv*, 1998, zurückgeht. Wenn auch die Indexikalität des Fotografischen mit Blick auf den Index-Begriff von Peirce kritisiert worden ist, so bezieht sich die Behauptung des Indexikalischen eben nicht auf diesen, sondern auf die elementare Funktion der Indexierung,
- 2 Im Original: »Visually, these computer-generated or manipulated images are indistinguishable from traditional photo and film images, whereas on the level of ›material‹ they are quite different, as they are made from pixels or represented by mathematical equations or algorithms.«
- 3 Im Original: »New media change our concept of what an image is – because they turn a viewer into an active user. As a result, an illusionistic image is no longer something a subject simply looks at [...]. The new media image is something the user actively *goes into*, zooming or clicking on individual parts [...].«
- 4 Wir haben es hier mit einer Umkehrung der ›Schriftbildlichkeit‹ zu tun, vgl. Krämer 2003, 2005a, wobei tatsächlich von einer Verschränkung auszugehen ist, weil beide Formen ineinandergreifen.
- 5 Dass Sprache und Denken zusammengehören, ist unbestreitbar, allerdings auch, was noch für die Philosophie der Aufklärung selbstverständlich war, dass Denken und Bildlichkeit bzw. Imagination aufeinander verweisen. Erst der *linguistic turn* hat vom frühen Wittgenstein her das Dogma formuliert, dass der Gedanke der Satz, die Proposition, ist und dass umgekehrt, was sich der Propositionalität nicht fügt, noch kein Denken ist. Allenfalls wurde entsprechend die Vorstellung oder Verbildlichung in den Bereich einer Vorstruktur verbannt, zum Preis eines Verlusts der Bedeutung des Ästhetischen. Diese ›Linguistizität‹ des Denkens gehört zu den Vorurteilen nahezu der ge-

- samten Philosophie und Erkenntnistheorie des 20. Jahrhunderts; das gleiche Präjudiz lässt sich entsprechend bei Heidegger und im Strukturalismus Saussure'scher Prägung finden.
- 6 Zu diesen Begriffen und Operationen siehe insbesondere Wittgensteins Umgang mit Bildern in seiner Spätphilosophie (vgl. Nyiri 2004, Mersch 2006b). Charakteristischerweise gibt es für diese und andere räumliche Operationen nur unzureichende sprachliche Entsprechungen. Das schwierige Verhältnis zwischen Bild und Sprache hängt daran. Es ist außerdem aufschlussreich, dass, vergleicht man die zehn Kategorien des Aristoteles mit der Kant'schen Kategorientafel, in Letzterer die visuellen Begriffe verschwunden sind, die, wie das Beispiel der ›Lage‹ bei Aristoteles zeigt, in Ersterer noch vorhanden sind. Die Geschichte des europäischen Denkens beinhaltet, trotz seiner Auszeichnung des Auges, auch eine konträre Geschichte der Abwertung des Visuellen.
 - 7 Zum Referenz-Problem und zu seinen unterschiedlichen Interpretationen sowie zur Differenz zwischen Lektüre und Betrachtung solcher ›Bilder‹ vgl. auch Heßler 2006: 34ff.
 - 8 Ich verdanke diese und die folgenden Hinweise der Zusammenarbeit mit Jochen Hennig. Die Ergebnisse seiner empirischen Forschungen wurden vorgetragen auf dem Workshop *Wissen für Entscheidungsprozesse* des BMBF, Berlin, 1./2.12.2005.

Literatur

- Arnheim, Rudolf (1977): *Kritiken und Aufsätze zum Film*, München, Wien: Hanser.
- Bertin, Jacques (1983): *Graphische Semiolegie, Diagramme, Netze, Karten*, Berlin: de Gruyter.
- Boehm, Gottfried (Hg.) (1995): *Was ist ein Bild?*, 2. Aufl. München: Fink.
- Boehm, Gottfried (1995a) »Die Wiederkehr der Bilder«. In: Gottfried Boehm (Hg.), *Was ist ein Bild?*, 2. Aufl. München: Fink, S. 11–38.
- Boehm, Gottfried/Brandstetter, Gabriele/Müller, Achatz von (2007): *Figur und Figuration*, München: Fink.
- Bogen, Steffen/Thürmann, Felix (2003): »Jenseits der Opposition von Text und Bild. Überlegungen zu einer Theorie des Diagramms und des Diagrammatischen«. In: Alexander Patschovsky (Hg.), *Die Bildwelt der Diagramme Joachims von Fiore. Zur Medialität religiös-politischer Programme im Mittelalter*, Ostfildern: Thorbecke, S. 1–22.
- Bonhoff, Ulrike Maria (1993): *Das Diagramm. Kunsthistorische Betrachtung über seine vielfältige Verwendung von der Antike bis zur Neuzeit*. Dissertation, Universität Münster, Münster.
- Bredenkamp, Horst (2007): *Bilder bewegen*, Berlin: Wagenbach.
- Chadarevian, Soraya von (1994): »Sehen und Aufzeichnen in der Botanik des 19. Jahrhunderts«. In: Michael Wetzel/Hertha Wolf (Hg.), *Der Entzug der Bilder*, München: Fink, S. 121–144.
- Couchot, Edmond (1984): »Image puissance image«. *Revue d'Esthétique* 7, S. 133–144.

- Daston, Lorraine/Galison, Peter (2002): »Das Bild der Objektivität«. In: Peter Geimer (Hg.), *Ordnungen der Sichtbarkeit*, Frankfurt/M.: Suhrkamp, S. 29–99.
- Diestel, Reinhard (2000): *Graphentheorie*, 2. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Dubois, Philippe (1998): *Der fotografische Akt. Versuch über ein theoretisches Dispositiv*, Amsterdam, Dresden: Verlag der Kunst.
- Eco, Umberto (1987): *Semiotik. Entwurf einer Theorie der Zeichen*, München: Fink.
- Galison, Peter (1998): »Judgement against objectivity«. In: Caroline A. Jones/Peter Galison (Hg.), *Picturing Science, Producing Art*, New York, London, S. 327–359.
- Geimer, Peter (2000) (Hg.): *Ordnungen der Sichtbarkeit*, Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Goodman, Nelson (1995): *Sprachen der Kunst*, Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Grube, Gernot/Kogge, Werner/Krämer, Sybille (Hg.) (2005): *Schrift. Kulturtchnik zwischen Auge, Hand und Maschine*, München: Fink.
- Hansen, Mark B.N. (2004): *New Philosophy for New Media*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Heintz, Bettina/Huber, Jörg (Hg.) (2002): *Mit dem Auge denken*, New York, Zürich: Edition Voldemeer, Springer.
- Heintz, Bettina/Huber, Jörg (2002a): »Der verführerische Blick. Formen und Folgen wissenschaftlicher Visualisierungsstrategien«. In: Bettina Heintz/Jörg Huber (Hg.), *Mit dem Auge denken*, New York, Zürich: Edition Voldemeer, Springer, S. 9–40.
- Hennig, Jochen (2004): »Vom Experiment zur Utopie: Bilder in der Nanotechnologie«. In: *Bildwelten des Wissens. Kunsthistorisches Jahrbuch für Bildkritik* 2, 2: 9–18.
- Hennig, Jochen (2006): »Die Versinnlichung des Unzugänglichen – Oberflächendarstellungen in der zeitgenössischen Mikroskopie«. In: Martina Heßler (Hg.), *Konstruierte Sichtbarkeiten*, München: Fink, S. 99–116.
- Heßler, Martina (2006): »Annäherungen an Wissenschaftsbilder«. In: Martina Heßler (Hg.), *Konstruierte Sichtbarkeiten*, München: Fink, S. 11–37.
- Heßler, Martina/Hennig, Jochen/Mersch, Dieter (2004): »Visualisierung in der Wissenskommunikation«. *Explorationsstudie für das BMBF*, Berlin: <http://www.sciencepolicystudies.de/dok/explorationsstudie-hessler.pdf>.
- Holländer, Hans (Hg.) (2000): *Erkenntnis, Erfindung, Konstruktion*, Berlin: Mann.
- Kemp, Martin (2003): *Bilderwissen. Die Anschaulichkeit naturwissenschaftlicher Phänomene*, Köln: DuMont.

- Kittler, Friedrich (2004): »Schrift und Zahl – Die Geschichte des errechneten Bildes«. In: Christa Maar/Hubert Burda (Hg.), *Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder*, Köln: DuMont, S. 186–203.
- Krämer, Sybille (2003): »»Schriftbildlichkeit« oder: Über eine (fast) vergessene Dimension der Schrift«. In: Sybille Krämer/Horst Bredekamp (Hg.), *Bild – Schrift – Zahl*, München: Fink, S. 157–176.
- Krämer, Sybille (2005a): »Zur Sichtbarkeit von Schrift oder: Die Visualisierung des Unsichtbaren in der operativen Schrift. Zehn Thesen«. In: Susanne Strätling/Georg Witte (Hg.), *Die Sichtbarkeit der Schrift*, München: Fink, S. 75–83.
- Krämer, Sybille (2005b): »»Operationsraum Schrift«. Über einen Perspektivenwechsel in der Betrachtung der Schrift«. In: Gernot Grube/Werner Kogge/Sybille Krämer (Hg.), *Schrift. Kulturtechnik zwischen Auge, Hand und Maschine*, München: Fink, S. 23–57.
- Krämer, Sybille/Bredekkamp, Horst (Hg.) (2003): *Bild – Schrift – Zahl*, München: Fink.
- Latour, Bruno (2002): *Iconoclash. Gibt es eine Welt jenseits des Bilderkrieges?*, Berlin: Merve.
- Manovich, Lev (2001): *Language of New Media*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Mersch, Dieter (2003) (Hg.): *Die Medien der Künste*, München: Fink.
- Mersch, Dieter (2003a): »Wort, Bild, Ton, Zahl. Modalitäten medialen Darstellens«. In: Dieter Mersch (Hg.), *Die Medien der Künste*, München: Fink, S. 9–49.
- Mersch, Dieter (2004a): »Bild und Blick. Zur Medialität des Visuellen«. In: Christian Filk/Michael Lommel/Mike Sandbothe (Hg.), *Media Syneasthetics*, Köln: Halem, S. 95–122.
- Mersch, Dieter (2004b): »Medialität und Understellbarkeit. Einleitung in eine ›negative‹ Medientheorie«. In: Sybille Krämer (Hg.), *Performativität und Medialität*, München: Fink, S. 75–96.
- Mersch, Dieter (2005a): »Das Bild als Argument«. In: Christoph Wulf/Jörg Zirfas (Hg.), *Ikonologien des Performativen*, München: Fink, S. 322–344.
- Mersch, Dieter (2005b): »Negative Medialität. Derridas Différence und Heideggers Weg zur Sprache«. *Journal Phänomenologie*, Jacques Derrida, 23: 14–22.
- Mersch, Dieter (2005c): »Die Geburt der Mathematik aus der Struktur der Schrift«. In: Gernot Grube/Werner Kogge/Sybille Krämer (Hg.), *Schrift. Kulturtechnik zwischen Auge, Hand und Maschine*, München: Fink, S. 211–233.
- Mersch, Dieter (2006a): »Naturwissenschaftliches Wissen und bildliche Logik«. In: Martina Heßler (Hg.), *Konstruierte Sichtbarkeit. Wissenschafts- und Technikbilder seit der Frühen Neuzeit*, München: Fink, S. 405–420.

- Mersch, Dieter (2006b): »Wittgensteins Bilddenken«. *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*: 925–942.
- Mersch, Dieter (2007): »Blick und Entzug. Zur Logik ikonischer Strukturen«. In: Gottfried Boehm/Gabriele Brandstetter/Achatz von Müller (Hg.), *Figur und Figuration*, München: Fink, S. 55–69.
- Mersch, Dieter/Ott, Michaela (Hg.) (2006): *Kunst und Wissenschaft*, München: Fink.
- Mersch, Dieter/Ott, Michaela (Hg.) (2006a): »Einleitung«. In: Dieter Mersch/ Michaela Ott (Hg.), *Kunst und Wissenschaft*, München: Fink, S. 9–31.
- Nyiri, Kristof (2004): »Wittgensteins Philosophie der Bilder«. In: Kristof Nyiri (Hg.), *Vernetztes Denken. Philosophie im Zeitalter des Internets*, Wien, S. 107–129.
- Pape, Helmut (1997): *Die Unsichtbarkeit der Welt*, Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Patschovsky, Alexander (Hg.) (2003): *Die Bildwelt der Diagramme Joachims von Fiore. Zur Medialität religiös-politischer Programme im Mittelalter*, Ostfildern: Thorbecke.
- Peitgen, Heinz-Otto (1994): »Mit den Fraktalen kehren die Bilder in die Mathematik zurück«. In: Florian Rötzer (Hg.), *Vom Chaos zur Endophysik*, München: Boer, S. 98–114.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2002): »Objekt und Repräsentation«. In: Bettina Heintz/Jörg Huber (Hg.), *Mit dem Auge denken*, New York, Zürich: Edition Voldemeer, Springer, S. 55–61.
- Rötzer, Florian (Hg.) (1994): *Vom Chaos zur Endophysik*, München: Boer.
- Schmidt-Burkhardt, Astrit (2005): *Stammbäume der Kunst. Zur Genealogie der Avantgarde*, Berlin: Akademie-Verlag.
- Sellars, Wilfrid (1981): »Der Empirismus und die Philosophie des Geistes«. In: Peter Bieri (Hg.), *Analytische Philosophie des Geistes*, Königstein/Ts.: Hain, S. 184–197.
- Stetter, Christian (2005): »Bild, Diagramm, Schrift«. In: Gernot Grubel/Werner Kogge/Sybille Krämer (Hg.), *Schrift. Kulturtechnik zwischen Auge, Hand und Maschine*, München: Fink, S. 115–135.
- Sträling, Susanne/Witte, Georg (2005) (Hg.): *Die Sichtbarkeit der Schrift*, München: Fink.
- Tittmann, Peter (2003): *Graphentheorie. Eine anwendungsorientierte Einführung*, Leipzig: Fachbuchverlag.
- Wetzel, Michael/Wolf, Hertha (Hg.) (1994): *Der Entzug der Bilder*, München: Fink.
- Wittgenstein, Ludwig (2000a): *Bemerkungen*, Wiener Ausgabe Bd. 3, Wien: Springer.
- Wittgenstein, Ludwig (2000b): *Philosophische Bemerkungen*, Wiener Ausgabe Bd. 3, Wien: Springer.