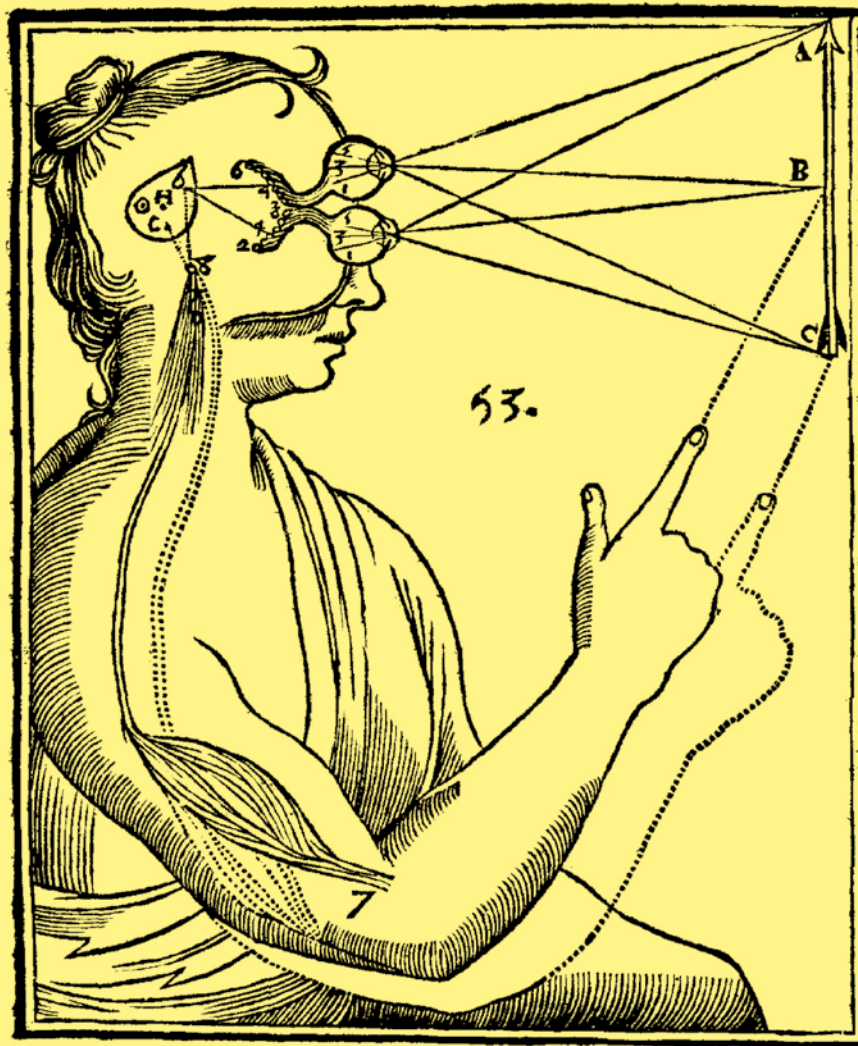


Bilder in den Naturwissenschaften und ihre Rolle im Erkenntnisprozess

Ingo Lemper

November 2015



Inhaltsverzeichnis

1 Geschichte

1.1	Kreislauf	2
1.2	Systematik	2
1.3	Beispiel	2
1.4	Metapher	2

2 Eigenschaften

2.1	Begriffe	3
2.2	Arten und Klassifizierung	3
2.3	Eigenschaften und Aspekte	3
2.4	Funktionen	3
2.4.1	Kommunikation	3
2.4.2	Dokumentation	3
2.4.3	Gegenstand der Forschung	3

3 Beispiele

3.1	Richard Feynman	4
3.1.1	Rolle der Bilder	4
3.1.2	Beispiel	4
3.2	Astronomie und Astrophysik	5
3.2.1	Rolle der Bilder	5
3.2.2	Beispiel	5
3.3	Fraktale Geometrie	6
3.3.1	Rolle der Bilder	6
3.3.2	Beispiel	6

4 Fazit

7

5 Referenzen

8

1 Geschichte

Bilder waren schon immer Bestandteil der wissenschaftlichen Arbeit. Aristoteles behauptete z.B. dass ein Denken ohne Vorstellung gar nicht möglich sei. Der Drang Gedanken und Erkenntnisse in Bilder zu fassen drückte sich einerseits in dem Versuch aus die Dinge immer realitätsnäher abzubilden oder abstrakte Sachverhalte verständlich zu visualisieren. Dadurch trugen sie neben rein geistigen Überlegungen immer zur Erkenntnisgewinnung und Erweiterung des Wahrnehmungshorizonts bei.

Wissenschaftliche Visualisierungen waren immer vom technischen Stand der Zeit abhängig. Dadurch war ihre Herstellung eng verknüpft mit den jeweiligen Experten der verwendeten Technik (Künstler, Ingenieure, Programmierer). Die Anzahl der wissenschaftlichen Bilder haben im historischen Verlauf durch vereinfachte Produktion und zunehmender Nachfrage immer mehr zugenommen. Ins-

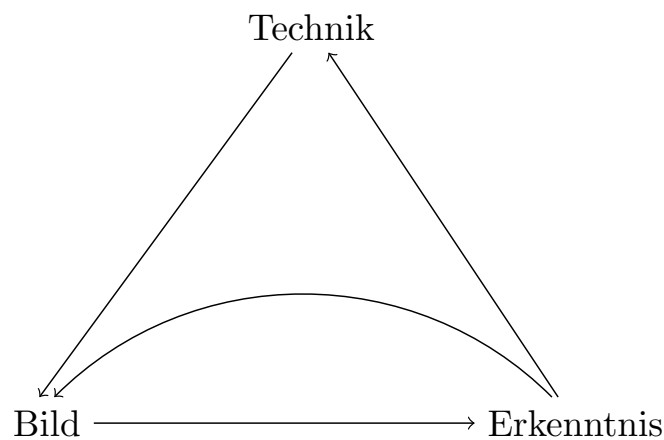
gesamt hat das Bild dadurch immer mehr an Bedeutung gewonnen und ist inzwischen in jeder Disziplin zu finden.

1.1 Kreislauf

Die Abhängigkeit und enge Zusammenarbeit mit der Technik lassen sie zu einem wichtigen Teil in der Geschichte der Wissenschaft werden.

Oft kann man einen Kreislauf zwischen Technik, Darstellungen und der wissenschaftlichen Erkenntnis feststellen. Die Technik erzeugt ein Bild. Das Bild trägt zur Erkenntnis des Forschers bei. Die Erkenntnis wirkt sich wiederum auf die Technik aus oder führt direkt zu neuen Bildern.

Die Technik der Darstellung lässt also Rückschlüsse auf die Technik der Untersuchung zu.



1.2 Systematik

Man kann wissenschaftliche Bilder historisch also wie folgt betrachten:

1. Was wurde untersucht?
2. In welcher visuellen Form ist es verfügbar?
3. Wer hat die Visualisierung hergestellt?

1.3 Beispiel

Am Beispiel der Zeichnung zur Erklärung des Sehvorgangs von René Descartes aus dem Jahr 1665 lassen sich stellvertretend einige Aspekte wissenschaftlicher Bilder in der Geschichte erläutern.

Descartes ging davon aus, dass die Zirbeldrüse der Ort der Wechselwirkung von Körper und Seele wäre. Grund für diese Annahme war, dass es einerseits kulturell untersagt war den menschlichen Körper zu sezieren und genauer zu untersuchen und andererseits die technischen Mittel nicht zur Verfügung standen. So konnte man z.B. feine Strukturen im menschlichen Körper nicht untersuchen da die Mikroskope noch nicht weit genug entwickelt waren. Descartes konnte also nur im Rahmen der von ihm empirischen und geistigen Untersuchungen, sowie ihm verfügbaren vorigen Erkenntnisse und Abbildungen urteilen.

So erhebt die Darstellung aber auch keinen Anspruch auf realistische Abbildung, sondern versucht die Annahme schematisch zu visualisieren, was die übereinandergesetzten Augen gut erkennbar machen. Trotzdem wurden Details wie die Haare ausgearbeitet, was auf eine Umsetzung durch einen Künstler hinweist. Die Art der Darstellung lässt also vermuten dass die Untersuchung wahrscheinlich ohne besonders präzise Werkzeuge durchgeführt wurde. Das Objekt der Untersuchung, der Mensch, repräsentiert außerdem einen zeitgenössischen Gegenstand der Naturwissenschaft.

1.4 Metapher

Darüber hinaus kann man das Bild stellvertretend für die Funktion des Bildes in der Wissenschaft verstehen. So ist es nicht die rein geistige Arbeit die zur Erkenntnis führt, sondern der visuelle Reiz ermöglicht erst den Impuls zur Handlung. Der Pfeil steht hier also für das wissenschaftliche Bild, das durch sinnliche Wahrnehmung im Gehirn interpretiert wird. In Kombination mit Wissen und Erfahrung führt diese Wahrnehmung zu einer Erkenntnis, die wiederum eine Handlung zur Folge hat. Die Handlung wirkt sich wiederum auf das Bild aus und schließt so einen Kreislauf.

2 Eigenschaften

2.1 Begriffe

Mit Visualisierung oder Veranschaulichung (Sichtbarmachen) meint man im Allgemeinen, abstrakte Daten (z. B. Texte) und Zusammenhänge in eine graphische bzw. visuell erfassbare Form zu bringen.

Unter Darstellung [...] versteht man die Umsetzung von Sachverhalten, Ereignissen oder abstrakten Konzepten mittels Zeichen, performativer Handlungen oder Modellen.

Diese Begriffe können allgemein unter dem Begriff „Bild“ zusammengefasst werden. Darunter fallen auch Bilder oder Abbildungen, die versuchen die Realität technisch abzubilden.

2.2 Arten und Klassifizierung

Wissenschaftliche Bilder treten in vielen Formen und Hybriden auf. Der Computer hat dabei inzwischen die Rolle des Beobachtungs-, Analyse- und Aussageinstruments eingenommen. Er erlaubt viele verschiedene Formen der Visualisierung und auch deren Manipulation.

Es gibt für diese Arten von Darstellungen mindestens so viele Klassifizierungen wie Texte über das Thema. Jede hat ihre Berechtigung, aber auch ihre Grenzen. Grundsätzlich wird das Bild und seine Funktion in der Wissenschaft noch als unzureichend untersucht betrachtet, weshalb daher keine allgemeingültige Klassifizierung existiert.

2.3 Eigenschaften und Aspekte

Es gelten gewisse Anforderungen an eine wissenschaftliche Darstellung, auch wenn diese schwer zu überprüfen sind. So ist das ideale Ziel eine möglichst objektive Darstellung des Untersuchten. Dafür müssen Quellen der Manipulation in der Herstellung ausgeschlossen werden. Manipulationen können durch den menschlichen Erzeuger oder die Maschine, die Bilder direkt erzeugt oder die Daten dafür liefert, entstehen.

Die Bewertung dieser Aspekte ist aber, seitdem Bilder allein durch Maschinen erzeugt werden, schwierig, da ein Bild nie eine eindeutige Auskunft über seine Herstellung geben kann.

Um ihre Fähigkeit komplexe und große Mengen an Inhalt zu transportieren erfüllen zu können müssen von Bildern drei Eigenschaften erfüllt werden: Extrahierbarkeit, sowie syntaktische und semantische Merkmale. Die Extrahierbarkeit gibt dabei Aufschluss über Eigenschaften des Bildes, die es ermöglichen die bereitgestellten Informationen ablesen zu können. Die syntaktische Auffälligkeit wird durch Eigenschaften gewährleistet die intuitiv als relevant erkannt werden. Die semantische Auffälligkeit gewährleistet dann dass die relevanten Details des Bilds auch vom Betrachter dekodiert werden können, er also ihre Bedeutung erkennt.

2.4 Funktionen

Bilder in der Naturwissenschaft können verschiedene Funktionen im Forschungsprozess einnehmen. In manchen Disziplinen treten sie in mehreren, in anderen nur in einer Rolle auf.

2.4.1 Kommunikation

Wissenschaftliche Darstellungen werden zur internen und externen Kommunikation verwendet. Ihre besondere Qualität besteht darin komplexe Inhalte schnell und verständlich erfassbar zu machen und so einen Mehrwert oder Ergänzung zum Text darzustellen. Insbesondere in der Kommunikation nach außen können sie repräsentativ und vermittelnd wirken. So können Sie z.B. ein Projekt fördern, es legitimieren oder dafür werben. Sie können hier also eine sehr öffentlichkeitswirksame und „unwissenschaftliche“ Rolle einnehmen.

2.4.2 Dokumentation

In der Dokumentation wissenschaftlicher Bilder dienen Bilder dazu Messungen, Erfahrungen und Erkenntnisse für die Nachwelt festzuhalten. Hier wirken die Bilder auch kommunikativ, verfolgen aber auch andere Zwecke. So kann es wichtig sein Bilder zu archivieren wenn ein Projekt nicht komplett abgeschlossen wurde und es z.B. keine genaue Benennung des Phänomens gibt. Auch noch fehlende Details können durch Bilder nachvollzogen werden und nachträglich hinzugefügt werden. Die Darstellungen können hier außerdem helfen die Objektivität zu wahren und sich neben der textlichen Dokumentation z.B auch auf Originalfotografien oder anderen, „mechanisch“ erzeugten, also „objektiven“, Bildern zurückgreifen zu können.

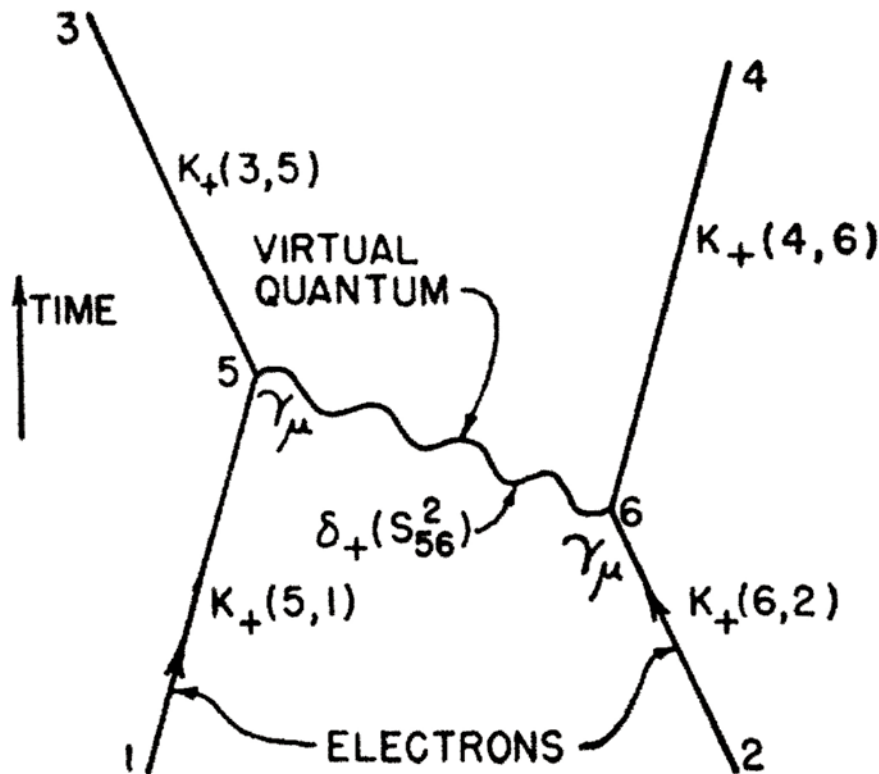
2.4.3 Gegenstand der Forschung

Desweiteren können Bilder der eigentliche Gegenstand der Forschung sein und nicht nur als Hilfsmittel auftreten. Hier unterscheidet man zwischen drei Arten: das Bild als Beleg, das Bild als Argument und als Grundlage eines Forschungszweigs. Darstellungen dienen als Beleg wenn es sich bei dem untersuchten Phänomen um etwas nicht direkt sichtbares handelt. Sie können dann etwas Abbilden das mit bloßem Auge nicht sichtbar ist und so Erkenntnisse zugänglich machen oder Forschungen rechtfertigen.

Im Falle des visuellen Arguments nimmt das Bild eine viel bedeutendere Rolle als die des Belegs ein. Es ist jetzt nicht nur ein Zeugnis für etwas, das durchaus anders ausgelegt werden kann, sondern es enthält bereits die Argumentation für eine Behauptung. Allerdings ist es umstritten diese Funktion allein dem Bild zuzuschreiben.

Die dritte Funktion eines Bildes in den Wissenschaften ist die als grundlegender Ansatzpunkt eines Forschungsprozesses. So können hier auch Modelle aus anderen Bereichen zur Erklärung von Phänomenen herangezogen werden und als Inspiration zu einer neuen Untersuchung dienen. Allerdings muss man hier den Aspekt des Abstrakten und Modellhaften beachten, der zu einer Fehldeutung führen kann und eine falsche Grundlage bildet. Bilder können hier also anregend und voranbringend funktionieren, sollten aber nicht als alleinige Grundlage verwendet werden.

3 Beispiele



3.1 Richard Feynman

Richard Feynman stellt als Physiker, wie so oft bei herausragenden Personen, eine Ausnahme dar. Ein durch die Erziehung seines Vaters gewecktes natürliches Talent für Physik und Mathematik wirkte sich schon früh auf seine Karriere aus. So war er bei der Entwicklung der Atombombe beteiligt und konnte bereits im Anschluß den wichtigsten Beitrag seiner Karriere zur damalig rätselhaften Quantenelektrodynamik machen.

Das Feynman-Diagramm ist die ungewöhnliche Art und Weise anhand einer Zeichnung die Wechselwirkung zwischen Elektronen in der Quantenmechanik zu beschreiben. Was komplizierte Berechnungen und die klügsten Köpfe der Zeit nicht durchschauten, betrachtete Feynman anhand seines Diagramms von einer anderen Perspektive. Damit schloß er die Probleme der Unendlichkeit aus und konnte so Vorhersagen treffen.

Als Professor und Lehrender versuchte Feynman die komplexen Gesetzmäßigkeiten der Quantenphysik einfach zugänglich zu machen. Seine Sammlung von Vorlesungen „Feynman Lectures on Physics“ sind heute ein Standardwerk.

Sein Vorsatz nur zu tun was ihm Spaß mache ließ ihn seine Fähigkeiten auch in anderen Gebieten ausleben. So war er auch in der Molekularbiologie tätig und machte dort Experimente zur DNA. Eine andere Leidenschaft war das professionelle Aktzeichnen, das er im fortgeschrittenem Alter von einem Künstler erlernte.

3.1.1 Rolle der Bilder

Visualisierungen spielen in Feynmans Fall eine grundlegende Rolle. Anstatt Formeln zu schreiben nutzt er kleine Skizzen um Gedanken zu folgen. Sie sind also entscheidend in seinem Erkenntnisprozess.

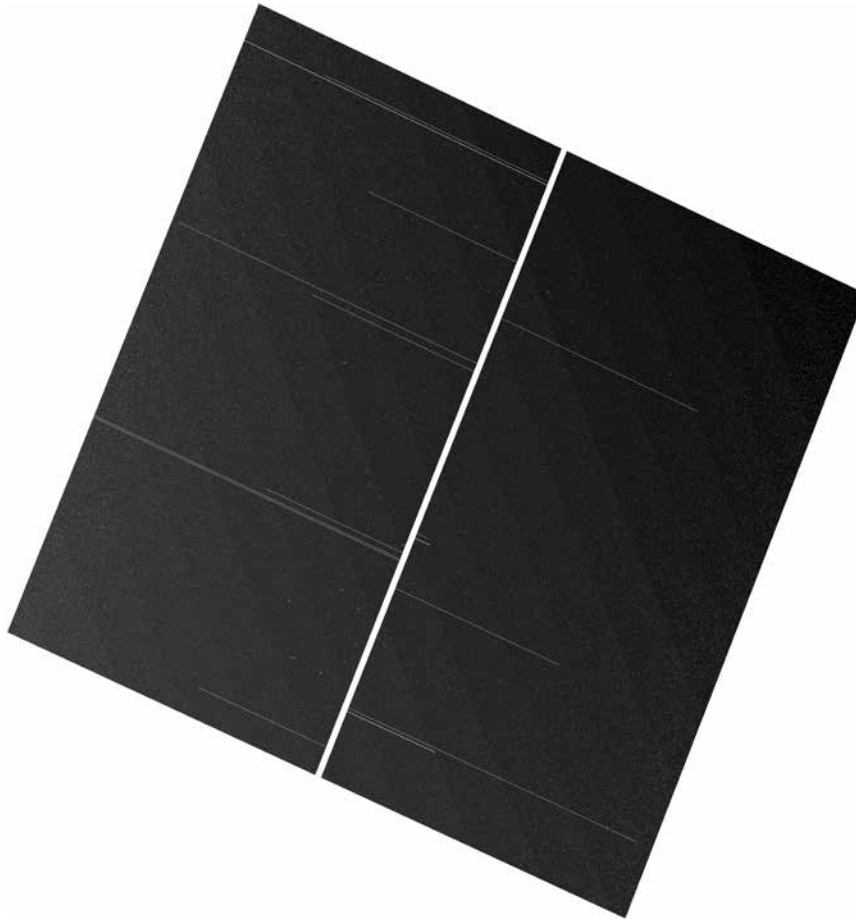
Feynman wird von Chakravarty auch als Beispiel für einen Synthesisten genannt. Demnach visualisiert er also einen Gedanken erst imaginär bevor er ihn in eine Formel übersetzt.

Besonders ist außerdem dass es durch ihn zu einem akzeptierten Modell wird einen Sachverhalt als Diagramm oder Zeichnung darzustellen. Dieses erscheint nicht nur ergänzend zu einer Formel oder Text, sondern stellt die eigentliche Formel dar.

3.1.2 Beispiel

Das Beispiel zeigt das erste veröffentlichte Feynman-Diagramm im Aufsatz „Space-Time Approach to Quantum Electrodynamics“ von Richard Feynman im Physical Review vom 15. September 1949.

Es ist eine Kurzschreibweise für komplexe Terme, die sich bei der Berechnung der n-Punkt-Funktionen in wenige kleine Bausteine auflösen (z.B. $4+x$). Anhand der sogenannten Feynman-Regeln werden diesen Bausteine dann Bildelementen zugeordnet.



3.2 Astronomie und Astrophysik

Die Astronomie ist ein der ältesten naturwissenschaftlichen Tätigkeiten. Schon immer wurde der Himmel betrachtet um sich über sich selbst und seine Position im Universum klar zu werden. Dabei war die Deutung immer stark mit dem aktuellen Weltbild verbunden.

Da es in der Astronomie unmöglich ist lokale Experimente durchzuführen und Vorhersagen ohne Beobachtungen treffen zu können, kommt ihr eine Sonderstellung in den Naturwissenschaften zuteil. Neue Erkenntnisse hängen einzig und allein vom technischen Fortschritt und den davon produzierten Bildern ab.

Der technische Fortschritt gliedert sich historisch in drei Schritte. Neben der stetig steigenden Reichweite der Beobachtungen änderte sich dabei auch die Art und Analyse der Bilder. Im ersten Schritt wurde im 17. Jahrhundert das Auge mit Hilfe des Teleskops erweitert. Man konnte nun den Himmel kartografieren und einige Rückschlüsse auf Position und Umlaufbahnen der Planeten schließen. Im zweiten Schritt transformierte sich im 19. Jahrhundert die Astronomie zur Astrophysik. Sterne wurden nun auf ihr Farbspektrum untersucht, was Auskunft über Alter und physikalisch-chemische Eigenschaft gab. Mit dem Computer als Übersetzer nutzte man seit dem 20. Jahrhundert nun auch unsichtbare Wellen wie Infrarot und Radiowellen um einen völlig neuen Blick ins Universum zu werfen. Der dritte Schritt ist die aktuelle Entwicklung der gänzlich computergestützten Beobachtung, in der Verarbeitung, Darstellung und Auswertung teilweise vollkommen technisch gelöst werden. Neue Formen der Datengewinnung erzeugen außerdem keine Bilder mehr, sondern Frequenzgraphen.

3.2.1 Rolle der Bilder

Bilder in der Astronomie und Astrophysik sind essentiell für das Bestehen der Disziplin. Sie sind Grundlage, Gegenstand der Forschung und deren Beweisstück zugleich.

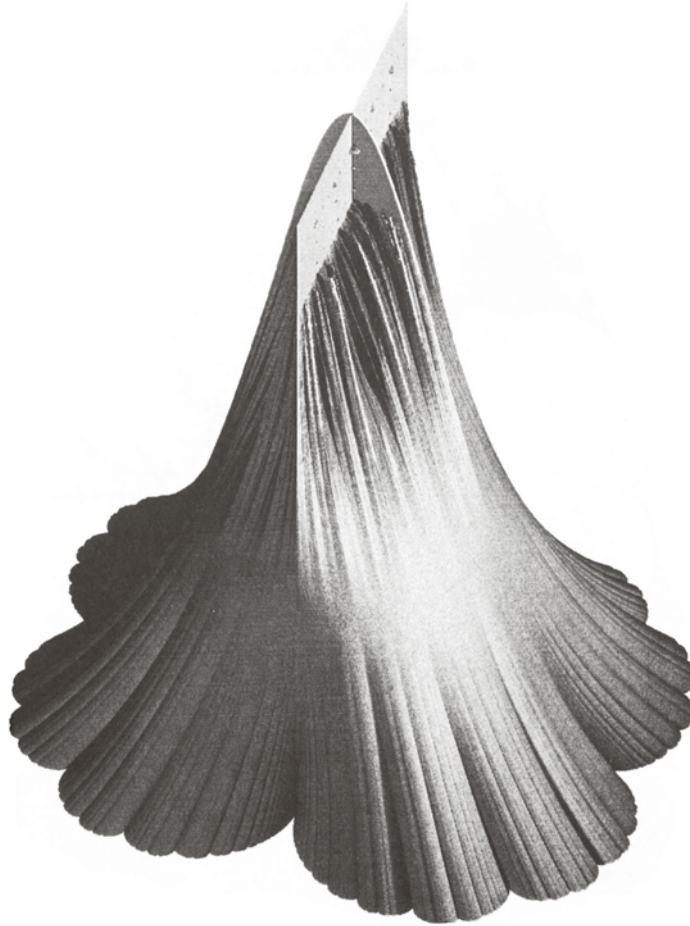
In der modernen Form der Astronomie entstehen sie aus dem Zusammenspiel mehrerer technischer Verfahren. Das zeigt ihr Potenzial, aber auch viele Problematiken, die Bilder in der Wissenschaft allgemein mit sich bringen.

So enthalten sie enorm viele Informationen und werten diese auf erstaunliche Art und Weise aus. Doch sind sie ohne hochtechnisierte Unterstützung nicht zu reproduzieren und enthalten daher viele Fehlerquellen und Manipulationspotenzial.

3.2.2 Beispiel

Das Beispiel zeigt eine invertierte Originalaufnahme des Satellitenteleskops Hubble. Es wurde mit der dort befindlichen Wide Field Camera 3 (WFC3) aufgenommen, die neben optischen auch für ultraviolette Wellen sensibel ist.

Zu sehen ist eines von vier Bildern einer Aufnahme von ultravioletten Wellen. Um ein analysierbares Bild daraus zu erhalten muss zuerst eine Korrektur und Kalibrierung der Kanäle vorgenommen werden. Danach werden die Kanäle überlagert und gegebenenfalls eingefärbt.



3.3 Fraktale Geometrie

Der Entdecker der fraktalen Geometrie, Benoît Mandelbrot, ist eine besondere Erscheinung in den Naturwissenschaften. Schon als Student visualisierte er mathematische Formeln eher vor seinem inneren Auge und verstand sie so. Während seiner Arbeit bei IBM nutzte er diese Fähigkeit und berechnete mathematische Formeln nicht nur, sondern visualisierte sie auch. Am Ende seiner Untersuchung entwickelte er eine eigene Menge: die Mandelbrot-Menge. Die Grundlage fraktaler Geometrie war geboren.

Die Idee der fraktalen Geometrie stellte ein ungewöhnliches Konzept in der Mathematik dar. Sie entsprach nicht der gewohnten euklidischen Mathematik, die hauptsächlich mit klaren Formen und geraden Linien arbeitete. Ihre Gebilde erscheinen eher unregelmäßig und haben noch nicht einmal eine eindeutige Dimension. Das machte es der Idee schwer akzeptiert zu werden und sie wurde als Programmier-Artefakt abgetan.

Doch Fraktale halfen viele Phänomene zu verstehen die von der klassischen Mathematik ungelöst waren. So erklärt sie z.B. die Verästelungen eines Baums und lässt sogar Rückschlüsse auf den Wald zu in dem er steht. Auch Wolken, Wellen und Berge haben fraktale Strukturen und können mit der fraktalen Geometrie berechnet werden.

Die Fähigkeiten seines Modells zeigte Mandelbrot in seinem Buch „Die fraktale Geometrie in der Natur“ auf und überzeugte damit viele Kritiker. Der fraktalen Geometrie wird zwar ein hoher praktischer Nutzen zugeschrieben, aber der geringe theoretische Beitrag zur Mathematik bemängelt.

3.3.1 Rolle der Bilder

Schon im Ansatz der Problemlösung spielt bei Mandelbrot die imaginäre Visualisierung eine bedeutende Rolle und nicht das rein geistige Denken. So nutzt er sie auch in seinem Erkenntnisprozess und als Gegenstand seiner Forschung.

Erst die Visualisierung ermöglicht ihm das Problem betrachten zu können und mathematisch darüber nachzudenken. Die Darstellungen und imaginären Visualisierungen ermöglichen ihm das Problem aus einer anderen Perspektive zu betrachten als nur aus der gelernten.

Die direkte Anwendung seiner Entdeckung ist demnach auch oft im visuellen Bereich hilfreich und dort besonders wirkungsvoll. Doch auch darüber hinaus kann sie Aussagen treffen und bleibt keine oberflächliche Behauptung.

3.3.2 Beispiel

Fraktale Geometrie kann man anhand von Iteration auf mehrere Art und Weisen mathematisch anwenden.

Im Beispiel hier handelt es sich um eine nichtlineare Transformation, die selbstinverse Fraktale erzeugt. Diese Art der Fraktale ergeben in der Visualisierung besonders organische und scheinbar unregelmäßige Formen. Doch sie weisen eine hohe Selbstähnlichkeit auf.

In der hier gezeigten Figur findet man diese besonders im Innern, wo sich eine fraktale Verästelung als Gerüst befindet.

4 Fazit

Bilder erleben nach wie vor zunehmende Relevanz und treten immer öfter im wissenschaftlichen Kontext auf. Das liegt einerseits an der größeren Präsenz in der Öffentlichkeit, die es erfordert Inhalte einfach und unterhaltsam darzustellen. Andererseits können Bilder auch ein Verkaufsargument für die eigenen wissenschaftliche Arbeit in Fachkreisen sein. In beiden Gebieten birgen sie durch ihre intuitive Wahrnehmung große Risiken, aber auch ungeweine Chancen. Seit mehreren Jahren wird daher in Bildung und Wissenschaft die fehlende Bildkompetenz bemängelt. Die genaue Betrachtung und Einschätzung ist immer noch nicht abgeschlossen und Wissenschaftler tun sie gerne als unwichtiges Beiwerk ab.

Besonders im Ideenprozess sind Bilder noch unterschätzt und kaum als Werkzeug genutzt. Die hier gezeigten Beispiele können jedoch aufzeigen dass Bilder von anfang an ein wirksames Mittel sein können um Sachverhalte umfangreicher und vielfältiger zu betrachten.

Angesichts dieser Entwicklung und den offenen Fragen zum Thema Bild in den Wissenschaften könnten Gestalter neue Impulse bringen. Bisher nur als Teil der Öffentlichkeitskommunikation am Ende des Forschungsprozesses als Oberflächengestalter in Verbindung mit den Wissenschaften getreten, könnten sie bei den aktuellen Themen über Bild und Kommunikation in den Wissenschaften ihre Kompetenzen und alternativen Perspektiven einbringen.

5 Referenzen

Geschichte

- Harry Robin: Die wissenschaftliche Illustration: Von der Höhlenmalerei zur Computergraphik. Springer Basel AG, 1992
- Nicola Mößner, Joerg R.J. Schirra, Dimitri Liebsch: Bild in der Wissenschaft, http://www.gib.uni-tuebingen.de/netzwerk/glossar/index.php?title=Bild_in_der_Wissenschaft, 22.10.2015
- Bild: Brain Architecture, http://larryswanson.com/?page_id=1523, 9.10.2015

Eigenschaften

- Nicola Mößner, Joerg R.J. Schirra, Dimitri Liebsch: Bild in der Wissenschaft, http://www.gib.uni-tuebingen.de/netzwerk/glossar/index.php?title=Bild_in_der_Wissenschaft, 22.10.2015

Richard Feynman

- "Richard Feynman", https://de.wikipedia.org/wiki/Richard_Feynman, 20.10.2015
- BBC Scotland, "The Fantastic Mr Feynman", <https://www.youtube.com/watch?v=LyqleIxXTpw>, 20.10.2015
- „Synästhesie“, https://de.wikipedia.org/wiki/Synsthesie#Syn.C3.A4sthesie_und_Kreativit.C3.A4t, 20.10.2015
- Richard Feynman: "Space-Time Approach to Quantum Electrodynamics", Physical Review 76, 769, 15.09.1949
- Bild: Richard Feynman, "Space-Time Approach to Quantum Electrodynamics", S.772; Physical Review 76, 769, 15.09.1949

Astronomie und Astrophysik

- Thorsten Ratzka: „Das Fenster zum Himmel“, Visualisierung und Erkenntnis : Bildverstehen und Bildverwenden in Natur- und Geisteswissenschaften. Herbert von Halem, 2012, S.237
- „Die Geheimnisse der Milchstrasse“, <https://www.youtube.com/watch?v=IDDeu-s5fq0>, 20.10.2015
- Bild: <https://mast.stsci.edu/portal/Mashup/Clients/Mast/Portal.html?searchQuery=Hubble>, 20.10.2015

Fraktale Geometrie

- Mandelbrot, Benoît B.: „Die fraktale Geometrie der Natur“, Birkhäuser, 1991
- „Fraktale - Die Faszination der verborgenen Dimension“, <https://www.youtube.com/watch?v=N4N4Fv5BMOA>, 4.10.2015
- Bild: Mandelbrot, Benoît B.: „Die fraktale Geometrie der Natur“, Birkhäuser, 1991, S.199