

PHILOSOPHIE

Kann man Atome sehen?

Rasterkraftmikroskopie und die Philosophie des Abbildens

Roland Bennewitz und Niko Strobach

In welchem Maße vermag die Rasterkraftmikroskopie, einzelne Atome abzubilden? Diese Frage zielt nicht nur auf den versierten Einsatz von Messgeräten. Vielmehr stellt sich dabei die grundsätzliche Problematik ein, was „Sehen“ und „Abbilden“ überhaupt heißen kann. Diesem konzeptuellen Problem können und sollten sich Physik und Philosophie gemeinsam stellen.

Sehen Sie Atome? Diese Frage stellte Hans-Joachim Güntherodt (1939 – 2014), der Basler Pionier der Rasterkraftmikroskopie, oft seinen Mitarbeitern beim Laborrundgang. Sie hatte nicht nur in den ersten Jahren nach der Einführung dieser experimentellen Methode ihre Berechtigung, sondern führt auf ganz grundsätzliche Aspekte. Diese lassen sich an einem aktuellen, sehr erfolgreichen Experiment diskutieren, bei dem ein einzelnes Pentacen-Molekül mit einem Rasterkraftmikroskop untersucht wird. In der Darstellung und Interpretation seines Ergebnisses (Abb. 1) greifen Schönheit der Darstellung, Klarheit der Aussage und konzeptionelle Verwirrung unmittelbar ineinander. Es stellen sich verschiedene Fragen, zum Beispiel ob die Einfärbung der Messergebnisse angemessen ist. Welchen Glauben an die Existenz von Atomen setzt es voraus, diese als schillernde Kugeln darzustellen? Ausgehend von diesen Fragen möchten wir hier zeigen, was Philosophen und Physiker in den gemeinsamen Blick nehmen können, um Grundsätzliches über Sehen und Abbilden in der Naturwissenschaft zu lernen.

Doch zunächst zur Funktionsweise eines Rasterkraftmikroskops: Dieses fährt mit einer extrem feinen Spitze mit einem Radius von nur wenigen Nanometern die zu untersuchende Oberfläche ab. Anhand der gemessenen Kräfte, die auf die Spitze wirken, lassen sich die Wechselwirkungen zwischen Spitze und Probe kartieren. Regelt man den Abstand der Spitze so nach, dass eine konstante Kraft wirkt, kann man eine Karte der Oberflächenform aufzeichnen. Im einfachsten Fall berührt die Spitze in Kontakt dabei die Probe. Die repulsiven Kräfte zwischen Spitze und Oberfläche sind über die Verbiegung einer mikroskopischen Blattfeder messbar, die an ihrem Ende die Spitze trägt. Die Spitze fährt also im repulsiven Kontakt die Form der Oberfläche nach. Das Ergebnis der Messung ist eine Zahlenmatrix, welche die vertikale Position der Spitze

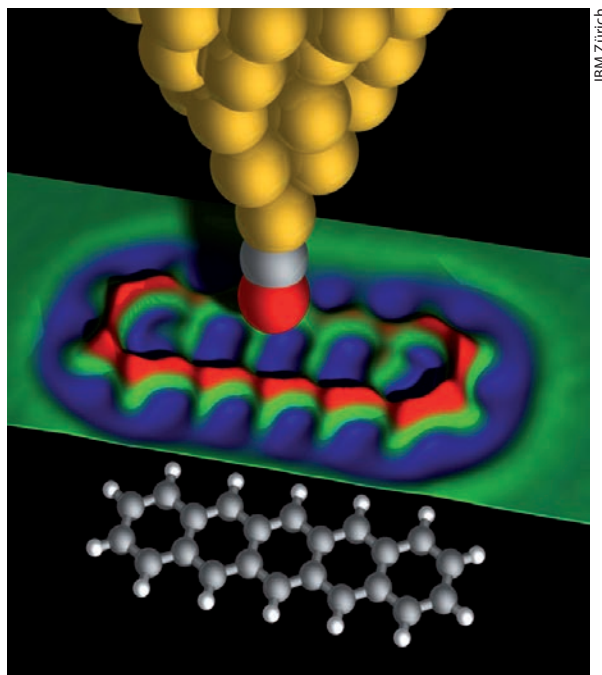


Abb. 1 Ein Pentacen-Molekül im Rasterkraftmikroskop, visualisiert für ein allgemeines Publikum: Man beachte die Darstellung der Atome, die Farbgebung der Messwerte und die verschiedenen Bildebenen. Ist dies ein gutes Bild, um das Experiment und sein Ergebnis zu erläutern?

als Funktion ihrer lateralen Position angibt. Daraus wird ein Bild erzeugt, in dem die vertikale Position als Farbe kodiert ist. Typische Farbskalen weisen höheren Zahlenwerten hellere Farbtöne zu. Kontraste werden eingestellt, indem der Farbverlauf an die Verteilung der gemessenen Höhenwerte angepasst wird. Der

KOMPAKT

- Mit Rasterkraftmikroskopen lassen sich Auflösungen von Bruchteilen eines Nanometers erreichen. Das liegt im Bereich der Größe von Atomen. Doch liefern Rasterkraftmikroskope wirklich Bilder von Atomen?
- Im Zuge der Erfindung des Mikroskops befassten sich bereits im 17. Jahrhundert Philosophen wie John Locke mit Fragen des Sehens und Abbildens.
- In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts haben Philosophen Ansätze für eine moderne Bildtheorie entwickelt, die sich auf die Rasterkraftmikroskopie anwenden lassen und zur aktuellen wissenschaftstheoretischen Debatte zwischen Realisten und Antirealisten führen.

Prof. Dr. Roland Bennewitz, INM – Leibniz-Institut für Neue Materialien, Campus D2 2, 66123 Saarbrücken; Prof. Dr. Niko Strobach, Philosophisches Seminar, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Domplatz 6, 48143 Münster

Farbverlauf ist in der Regel so gewählt, dass die topographischen Kontraste gut zu erkennen sind. Teilweise sind die Ergebnisse auch als berechnete Projektion einer dreidimensionalen Fläche dargestellt, wobei durch Beleuchtungs- und Schattierungseffekte Details der Topographie noch deutlicher hervortreten (Abb. 1 und Beispiel im Infokasten).

Für eine atomare Auflösung in der Rasterkraftmikroskopie muss die kurzreichweitige chemische Bindungskraft zwischen dem letzten Atom auf der Spitze und den Oberflächenatomen die Kraft zwischen Probe und Spitze dominieren. Dafür nutzt man einen Nichtkontaktmodus, in dem das äußerste Spitzenatom in atomarem Abstand entlang der Oberfläche geführt wird. Eine dynamische Messung der Kraft mittels einer vertikal oszillierenden Spitze ermöglicht es, den Gradienten der Kraft zu messen und ist somit empfindlich für die sich sehr schnell mit dem Abstand ändernde chemische Bindungskraft. Die Ergebnisse einer beeindruckenden Messung von Leo Gross und Kollegen am IBM Forschungslabor in Zürich sind in Abb. 2 dargestellt (und liegen auch Abb. 1 zugrunde): Ein Pentacen-Molekül auf einer Kupferoberfläche ist hier viermal abgebildet. Zwischen den Messungen wurde jeweils das letzte Atom bzw. Molekül an der Spitze ausgetauscht. Die verschiedenen erzielten Kontraste geben einen tiefen Einblick in die Natur der Wechselwirkungen, die zur Abbildung dienen. Gleichzeitig aber stellt sich die Frage, was eigentlich ein gutes Bild des Pentacen-Moleküls ist.

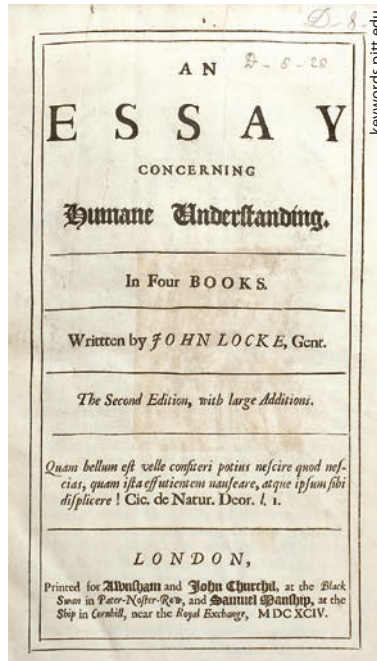


Abb. 3 Der englische Philosoph John Locke (1632–1704) stellte Ende des 17. Jahrhunderts grundsätzliche Überlegungen über die Eigenschaften von Materie und die Wahrnehmung an.

Materie, Mikroskopie und Farben

Welches Bild hat diese einführende Beschreibung von der Wirkungsweise eines Rasterkraftmikroskops vermittelt? Was hat sie offen gelassen? Vieles. Wie ernst war die Rede von Atomen gemeint? Was setzen wir voraus, wenn wir von einer Oberfläche sprechen oder von Kontakt? Was ist das Verhältnis der dabei entstehenden Zahlenmatrix zum erzeugten Bild? Ist sie ein Hilfsmittel zum Herstellen einer Abbildung der Oberfläche? Oder ist sie alles, was es zu messen gab, und ist der farbige Output ein Hilfsmittel, mit dem wir uns die Zahlenmatrix zugänglich machen? Keine der im Folgenden vorgestellten Stimmen äußert sich unmittelbar zur Rasterkraftmikroskopie, wohl aber zu den Fragen, die ihre Beschreibung aufwirft.

Im Buch „An Essay Concerning Human Understanding“ von 1690

[2] des englischen Philosophen John Locke findet sich das Kapitel „On Solidity“ ([2], II 4) (Abb. 3). Darin führt er das Konzept der *solidity* als das Ausfüllen des Raumes durch Materie ein. Die *idea* der *solidity* erwirbt der Mensch durch die Extrapolation von Tasterfahrungen (eine *idea* ist, grob gesagt, ein Bild im Geist oder ein Begriff, der genug anschaulichen Gehalt hat, um sinnvoll zu sein): Beim Tasten spüren wir Widerstand. Wir verstehen deshalb, was es heißt, wenn Körper einander Widerstand entgegensetzen. Etwas hat *solidity*, falls es sogar unüberwindlichen Widerstand bietet. Für Locke sind das die Atome seiner Korpuskulartheorie der Materie. Indem er eine solche Theorie befürwortet, verlässt er sich darauf, dass auch un wahrnehmbar kleine Körper eine Reihe von Eigenschaften wie die *solidity* haben, von denen er sich durch den Kontakt mit wahrnehmbar großen Körpern eine *idea* machen kann – ein riskanter, aber für ihn unverzichtbarer Analogieschluss über das Wahrnehmbare hinaus. Obwohl sich einige Überlegungen Lockes auch mit den naturwissenschaftlichen Möglichkeiten seiner Zeit hätten widerlegen lassen, zum Beispiel durch die Kompressibilität der Luft, kann es im Zusammenhang mit der Rasterkraftmikroskopie doch sinnvoll sein, Atomen etwas Ähnliches wie Lockes *solidity* zuzuschreiben. Repulsive Kräfte verhindern das Eindringen der Spitze in die Probe und erlauben so das Abbilden der Oberflächenatome.

Locke war fasziniert von der Erfindung der ersten Mikroskope ([2], II 23). Im Jahr 1687 besuchte er den Pionier der optischen Mikroskopie Leeuwenhoek in Delft. Dass Blut durch das Okular des Mikroskops betrachtet gar nicht durchgängig rot aussieht, beeindruckte ihn tief. Durch Mikroskope mit noch besserer

Wiedergabe mit Genehmigung aus L. Gross et al. [3]

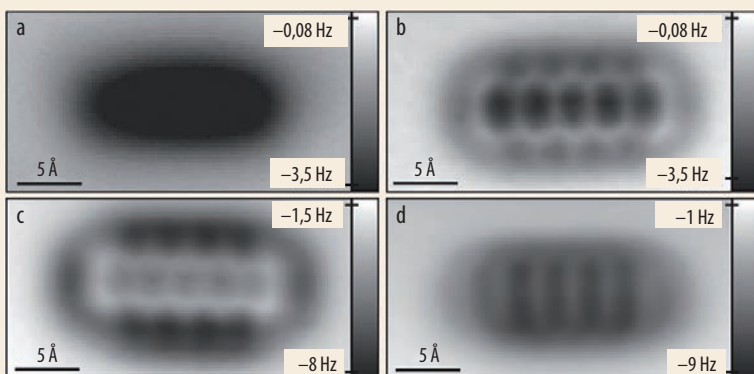


Abb. 2 Ergebnisse der Rasterkraftmikroskopie an einem Pentacen-Molekül auf einer Kupferoberfläche: Die vier Bilder wurden durch Rastern der Spitze bei konstanter Höhe aufgenommen, nachdem die Spitze verschiedene Atome

oder Moleküle aufgenommen hatte: Ag (a), CO (b), Cl (c) und Pentacen (d). Die Kraft wird bestimmt als Frequenzverstimmung der mechanischen Resonanz des Kraftsensors.

Auflösung sollten, so Locke, auch noch die durchs Mikroskop rot erscheinenden Blutkörperchen keine Farbwahrnehmung mehr bewirken, sondern nur noch ihre Oberflächenstruktur sehen lassen. Damit beschreibt Lockes Theorie bereits die Grundlagen des heutigen erfolgreichen Forschungsprogramms, makroskopisch beobachtbare Eigenschaften durch Rückgriffe auf die physikalische Mikrostruktur zu erklären. Dass Schmetterlingsflügel unter dem Rasterkraftmikroskop eine Riffelung zeigen, welche die schillernden Farben erzeugt, hätte Locke sicher sehr befriedigt.

Von Descartes' Gefängnis...

Lässt man sich auf sie ein, so können Texte aus dem 17. Jahrhundert zur Besinnung auf stillschweigende Voraussetzungen und konzeptuelle Grundlagen des Mikroskopierens dienen. Allerdings ist nicht nur die in ihnen angenommene Physik völlig veraltet. Auch eine Grundannahme ihrer philosophischen Methode sollte man fallen lassen, um dem folgen zu können, was heutige Philosophen zur Wissenschaftstheorie und zur Bildtheorie sagen. Locke und sein älterer Zeitgenosse Descartes mögen zwar zu vielen Fragen unterschiedliche Meinungen gehabt haben, aber sie teilten die Grundannahme, dass man bei der philosophischen Begründung von dem ausgehen muss, was der Introspektion zugänglich ist. Bei Locke sind das die *ideas*. Sie sind dem Geist unmittelbar zugänglich. Ihr großer Vorteil ist, nach Lockes Ansicht, dass man sich über sie nicht täuschen kann. Doch allein sind sie eine sehr schmale Basis. Sie lassen sich nicht aus der Innenperspektive heraus mit den physikalischen Gegenständen der Außenwelt vergleichen. Wie also kann man beweisen, dass es diese Gegenstände überhaupt gibt? Wie beweisen, dass sie die *ideas* hervorbringen? Und, selbst wenn beides gelingen sollte: Wie beweisen, dass die *ideas* den Gegenständen ähneln, sie zuverlässig abbilden? Locke setzt einfach voraus, dass manche *ideas* gewissen Beschaffenheiten der Dinge ähnlich sind, etwa im Falle der Form oder der Oberflächenstruktur eines physikalischen Gegenstandes. Doch was heißt hier „ähnlich“, wenn man *ideas* und physikalische Gegenstände aus der Innenperspektive prinzipiell nicht vergleichen kann? Im kritischen Rückblick ergibt sich folgende Situation: Man lässt als Basis für Begründungen nur das zu, was aus der Innenperspektive zugänglich ist. Dies wird als Aufenthalt im „kartesischen Gefängnis“ bezeichnet, in das Descartes die Philosophen – trotz seiner großen Verdienste – gebracht hat.

Ab den 1950er-Jahren haben die Philosophen dieses Gefängnis verlassen. Sie gönnen sich heute einfach eine breitere Basis: eine Umwelt, die voll ist von physikalischen Gegenständen und forschenden Mitmenschen. Einen wichtigen Anstoß dafür hat Ludwig Wittgenstein (1889 – 1951) in seinem Spätwerk „Philosophische Untersuchungen“ gegeben. Heutige Vertreterinnen und Vertreter der Wissenschafts- und Bildtheorie sind nicht mehr der Meinung, dass man alles durch



Thomas Kundry

Abb. 4 Oliver Scholz von der Universität Münster entwickelte eine Gebrauchstheorie des Bildes.

Rückführung auf *ideas* begründen muss. Sie fragen sich: Was ist das Besondere an einem solchen physikalischen Gegenstand, der ein Bild ist? Und: Was für Aussagen über die Wirklichkeit beanspruchen Wissenschaftler? Beide Fragen kommen einander beim Nachdenken über Verfahren wie die Rasterkraftmikroskopie besonders nahe. In welchem Sinne soll man behaupten, der Teil einer Seite in einer Fachzeitschrift, unter der das Wort „Abbildung“ steht, sei ein Bild eines Teils der Nanowelt? Was beansprucht also ein Wissenschaftler, wenn er den zweidimensionalen Output eines Rasterkraftmikroskops als Bild darstellt? Stellt er das Ergebnis einer Messung dar oder das gemessene Ding selber? Alle diese Fragen führen uns zu einer Beschäftigung mit der Bildtheorie und zur Debatte darüber, ob es überhaupt hilfreich ist, die Existenz von unbeobachtbar kleinen Dingen zu behaupten.

... zur Gebrauchstheorie

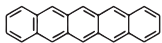
Unter den Ansätzen der Bildtheorie scheint uns im Zusammenhang mit der Rasterkraftmikroskopie besonders derjenige beachtenswert zu sein, den Oliver Scholz (Abb. 4) und seit einigen Jahren auch Bas van Fraassen vertreten ([4, 5]): die Gebrauchstheorie des Bildes. Grundlage dafür ist die Sprachphilosophie im Spätwerk Wittgensteins, der zufolge oft die Bedeutung eines Wortes dessen Gebrauch ist. Davon ausgehend fragt Scholz nicht nach einer abstrakten Definition des Bildes, sondern „Wann ist ein Bild?“. Die Antwort: Dann, wenn man etwas erfolgreich als Bild gebraucht. Das setzt nicht voraus, dass das Bild einem Abgebildeten ähnlich ist. Beispielsweise gibt es sehr gute Einhorn-Bilder, die das Kriterium der Ähnlichkeit von guten Bildern mit dem Abgebildeten sinnlos machen. Denn Bilder *von* Einhörnern können sie nicht sein. Daher fragt man besser, unter welchen Umständen ein Objekt als Bild funktioniert. Für Scholz stellt sich insbesondere die Frage, wann etwas als Zeichen in einem bildlichen Zeichensystem fungiert. Bildliche Zeichensysteme weisen typischerweise Eigenschaften auf, die der Philosoph Nelson Goodman unter dem Stichwort „Dichte“ thematisiert hat: Beim bildlichen Zeichen können kleinste Abweichungen in einzelnen Gestaltungsaspekten zu einem Bedeutungsunterschied führen. Mit den Buchstaben unseres Alphabets ist es



Abb. 5 Bas van Fraassen (links) und Ian Hacking sind wichtige Vertreter einer antirealistischen bzw. realistischen Haltung in der Wissenschaftstheorie.

anders. Zwar gibt es zwischen zwei verschieden großen „A“s immer noch ein weiteres (etwa zwischen einem in 11 pt und einem in 10 pt noch eines in 10,5 pt), aber das spielt für den Gebrauch des Alphabets keine Rolle. Dafür kommt es nur darauf an, dass man ein „A“ vor sich hat und nicht ein „B“ oder einen anderen Buchstaben.

Achtet man darauf, so sieht man zum Beispiel: Obwohl das nebenstehende Symbol für das Pentacen-Molekül an die sich abzeichnende Form in Abb. 2 erinnern soll, ist es viel eher eine schematische Formel als ein Bild. Die Frage, was für ein Zeichensystem die Zuordnung einer Farbskala bei Darstellung der digitalisierten Werte eines AFM-Experiments darstellt, ist weniger schnell zu beantworten. Obwohl sich die Farbskala physikalisch gesehen kontinuierlich aufbauen lässt, werden Farben als disjunkt wahrgenommen. Während also die kontinuierliche Helligkeitsskala in Abb. 2 keine Kontraste in den Kraftwerten besonders hervorhebt, ordnet die Farbskala in Abb. 1 die Werte in Oberfläche, nähere Umgebung des Moleküls und Molekül selbst. Die Wahl der disjunkt wahrgenommenen Farbuordnung kann eine Interpretation von Bildelementen als Zeichen für ein physikalisches Ding nahelegen.



Die Einordnung von Bildern in eine Theorie der Zeichen ist in der Bildphilosophie nicht unumstritten. Sie gibt uns aber die Gelegenheit, über die Rolle von Bildern nachzudenken. Eine Gebrauchstheorie der Bilder gestattet, über das Herstellen, Verwenden und Verstehen von Bildern zu sprechen, deren Gebrauch in der Regel dem historischen Wandel unterworfen ist. Sie lenkt den Blick auf die kommunikativen Absichten des Bildproduzenten und auf die Interpretationsgemeinschaft, die sein Bild gebrauchen soll. Die Anwendung der Gebrauchstheorie auf Bilder als Ergebnisse der Rasterkraftmikroskopie liegt nahe. Gewisse visuelle Aufbereitungen von Messdaten können so suggestiv sein, dass man sie als unangemessen rügen muss [6]. Die Kriterien dafür können nur die jeweiligen wissenschaftlichen Gemeinschaften im Austausch mit der Öffentlichkeit festlegen. Für Abb. 1 könnte man

die Farbgebung der Messergebnisse, die eineindeutig mit den Messwerten verknüpft ist, als angemessen betrachten. Dagegen erscheint uns die weit verbreitete Einfärbung von Bildelementen in elektronenmikroskopischen Aufnahmen, die auf der individuellen Einschätzung des Bildbearbeiters beruht, als unangemessen. Der Gebrauch des Bildes einer wohlgeordneten Pyramide verschiedenfarbiger schillernder Kugeln für die Darstellung der Atome der Messspitze in Abb. 1 scheint zumindest fragwürdig.

Realismus und Antirealismus

Die Anwendung einer Gebrauchstheorie der Bilder auf die Darstellung von Atomen in der Mikroskopie führt uns schließlich zur philosophischen Debatte über Realismus und Anti-Realismus in der Wissenschaftstheorie und zur Rolle der Mikroskopie in dieser Debatte: Wollen wir Bilder aus Messdaten nur gebrauchen, um die Messdaten selbst anschaulich darzustellen? Oder erheben wir mit dem Gebrauch von Bildern aus Messdaten den Anspruch, etwas abzubilden? Fragen Sie jemanden, ob sie oder er glaube, dass Atome wirklich existieren. Antwortet er mit ja, haben Sie einen Realisten bezüglich der Atome vor sich. Fragen Sie danach, ob Atome ganz bestimmte Eigenschaften haben. Antwortet sie mit ja, hat man eine Realistin bezüglich dieser Eigenschaften von Atomen vor sich. Der Realist bezüglich der Existenz von Atomen muss nicht auch die Position der Realistin bezüglich der ganz bestimmten Eigenschaften von Atomen teilen, zum Beispiel weil er die zugrundeliegende Theorie für zu einfach hält. Antirealisten antworten auf die entsprechenden Fragen mit nein, aus unterschiedlichen Motivationen. Typisch für die Entwicklung der Debatte in jüngerer Zeit sind die Positionen des Realisten Ian Hacking und des Antirealisten Bas van Fraassen (Abb. 5)

In seinem Buch „Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften“ gibt Ian Hacking einen Überblick über Aussagen von Realisten und Anti-Realisten zur Mikroskopie [7]. Er bezieht sich insbesondere auf die Ausführung von Fraassens in seinem Buch „The Scientific Image“ [8], dass man *durch* ein Teleskop etwas sehe, während man durch ein optisches Mikroskop nichts sehe. Denn die im Teleskop sichtbaren Dinge seien in hinreichender Nähe auch mit dem bloßen Auge sichtbar, während mikroskopische Objekte dem bloßen Auge unter keinen Umständen zugänglich seien. Hacking hingegen erläutert die Beugungstheorie optischer Mikroskope und argumentiert, dass man auch mit einem Mikroskop sehe, wenn es eine Karte von Wechselwirkungen mit dem Objekt erzeuge, die die strukturellen Verhältnisse im Objekt wiedergeben. Hacking meint allerdings nicht, dass das schon ausschlaggebend dafür ist, dass man Realist im Hinblick auf die Gegenstände der Nanowelt und gar der Elementarteilchen sein sollte. Seine Motivation für eine Haltung des Realismus sind vielmehr zwei Praktiken der wissenschaftlichen Mikroskopie. Die eine Praxis

ist die korrelative Mikroskopie, die Beobachtungen mittels zweier unterschiedlicher physikalischer Wechselwirkungen bestätigt, so zum Beispiel die Abbildung kleiner Punkte in Thrombozyten durch optische und Elektronenmikroskopie an derselben Probe. Die zweite Praxis ist die Veränderung von mikroskopischen Objekten durch gezieltes Eingreifen, dessen Erfolg durch Mikroskopie gezeigt werden kann wie die Manipulation von Zellen mit dem Patch-Clamp-Verfahren. In der ersten Praxis wäre die Koinzidenz des Nachweises eines Objektes mittels verschiedener Wechselwirkungen zu hoch, um anders als durch dessen reale Existenz erklärt zu werden, in der zweiten wird die Realität von Objekten nach Hacking durch deren kontrollierte Veränderbarkeit offensichtlich.

Frühe Vertreter des Antirealismus lehnten den traditionellen Wahrheitsbegriff ab, demzufolge eine Theorie wahr ist, wenn die Dinge so sind, wie die Theorie sagt. Sie suchten nach einem anderen Begriff der Wahrheit. Bas van Fraassen hat hingegen bereits 1980 einen Antirealismus entwickelt, der die doch recht plausible traditionelle Charakterisierung der Wahrheit beibehält. Nur ist es, so van Fraassen, gar nicht die Sache der Wissenschaftlerin, nach der Wahrheit zu streben. Vielmehr soll eine Theorie erfolgreich „die Phänomene retten“. Sie darf dem mit bloßem Auge Wahrnehmbaren nicht widersprechen. Die allgemeine Theorie van Fraassens können wir auf die Physik der abgebildeten Atome anwenden. Atome kann man, falls jemals, so doch sicher nicht mit dem bloßen Auge sehen. Eine Physikerin legt sich deshalb mit der Behauptung, sie akzeptiere die mit dem Begriff des Atoms operierende Theorie, weil sie sehr erfolgreich die Phänomene rettet, nicht auf die Behauptung fest, dass es Atome gibt. Die Behauptung „Atome gibt es“ ist nach van Fraassens Ansicht gerade dann wahr, wenn es Atome gibt. Damit soll betont werden, dass die Wendung „es gibt“ im Sinne der Existenz von Atomen ernst

genommen wird. Ob sie wahr ist, ist aber nach van Fraassen für Physiker uninteressant. Naturwissenschaft hat demnach mit der Suche nach der Wahrheit nichts zu tun. Dennoch ist Naturwissenschaft sinnvoll. Denn sie ist die Suche nach empirisch adäquaten Theorien: Theorien, die die Phänomene retten.

Ausgehend von einer produktiven Rolle neuartiger Experimente und der Bedeutung von Theorien in ihrer Interpretation bevorzugt van Fraassen die Metapher „engines of creation“ für wissenschaftliche Instrumente [5] gegenüber der Metapher „windows on the invisible world“, die Hacking benutzt hatte. Er sieht das Experimentieren als Fortsetzung der Theoriebildung mit anderen Mitteln an. Denn jedes Mikroskop erzeugt neue beobachtbare Phänomene, die vorhandene Theorien herausfordern. Schließlich sind die Bilder, die man aus den Messdaten des Rasterkraftmikroskops fabriziert, sehr wohl mit dem bloßen Auge wahrnehmbar. Die Bilder selbst sind neue Phänomene, die nach einer Theorie verlangen, welche auch ihrer Beschaffenheit gerecht wird.

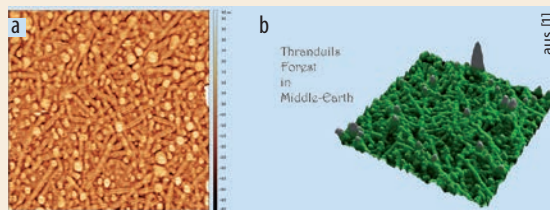
Van Fraassens Anwendung seiner Position auch auf die einfachsten optischen Mikroskope führt uns zurück zu Bildtheorien. Er unterscheidet verschiedene Arten von Bildern. Für manche Bilder (zum Beispiel Fotos und Skulpturen) ist es typisch, dass sie selbst Dingcharakter haben und öffentlich zugänglich sind. Andererseits gibt es private Bilder, die anderen nicht zugänglich sind wie etwa Traumbilder. Eine Mittelstellung nehmen die öffentlichen Halluzinationen ein, für die van Fraassen als Beispiele die Reflexionen eines Baumes an einer Seeoberfläche und Regenbögen anführt. Die Reflexion eines Baumes hat keinen Dingcharakter, ist aber doch öffentlich, denn verschiedene Beobachter können sie sehen, wenn auch an verschiedenen Orten. Immerhin geht sie auf den Baum zurück und wird daher zurecht als *copy* eines Dings eingeordnet. Der Regenbogen dagegen ist eine solche öffentliche Halluzination, der

EIN INTERDISZIPLINÄRER KURS

Dieser Artikel ist aus einem **interdisziplinären Seminar** entstanden, das die Autoren mit Studentinnen und Studenten der Philosophie, der Physik und anderen Fachrichtungen an der Universität des Saarlands und an einer Sommerakademie der Studienstiftung des deutschen Volkes durchgeführt haben. Bei diesem Seminar haben alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer Messungen mit dem Rasterkraftmikroskop durchgeführt, die Ergebnisse zu Bildern verarbeitet und präsentiert, philosophische Texte gelesen und an den lebhaften teils kontroversen Diskussionen teilgenommen [1].

In vielen Präsentationen wurden die eigenen Messergebnisse sowohl in möglichst direkten bildlichen Repräsentationen als auch in imaginativen Bearbeitungen vorgestellt. Eine solche doppelte Präsentation kann als Beispiel für die **Gebrauchstheorie der Bilder** dienen: Die beiden nebenehenden Bilder sind beide aus demselben Datensatz hervorgegangen. Während die Darstellung in **Abb. a** zu einer Diskussion der Probenstruktur einlädt, suggeriert **Abb. b** durch die Wahl einer grünen Farbskala und die Beschriftung „Thranduils Forest in Middle Earth“ das Bild eines Waldes aus Tolkiens „Herr der Ringe“.

Die meisten Studentinnen und Studenten waren den antirealistischen Konzepten van Fraassens gegenüber aufgeschlossen, bezeichneten sich selber aber als Realistinnen in der täglichen Arbeit. Zum Erfolg des interdisziplinären Ansatzes dieses Seminars hat möglicherweise beigetragen, dass von den beiden Autoren der Physiker den antirealistischen Blickwinkel, der Philosoph den realistischen einbrachte.



Aus einer Präsentation von Ergebnissen der Experimente im Seminar: *Topographie einer Probe mit Kohlenstoff-Nanoröhrchen und metallischen Katalyse-Partikeln, aufgenommen im Kontaktmodus eines Rasterkraftmikroskops. (a) und (b) sind bildliche Repräsentationen desselben Datensatzes.*⁺⁾

⁺⁾ Für die Überlassung der Bilder danken wir Charlotte Beelen, Niklas Henning und Nemo Nonnenmacher.



4028mcl09/CC-BY-SA-3.0

Abb. 6 Wir sagen: „Ich sehe einen Regenbogen.“ Aber existiert ein Ding namens Regenbogen? Wo? Mit welcher Rückseite? Für den Philosophen Bas van Fraassen gehört der Regenbogen zu den öffentlichen Halluzinationen. Produzieren Rasterkraftmikroskope (oder selbst schon optische Mikroskope) ebenfalls nichts als öffentliche Halluzinationen?

nicht einmal ein reales Ding zugrunde liegt (Abb. 6). Van Fraassen ordnet Beobachtungen mittels Mikroskopie der Kategorie öffentlicher Halluzinationen zu, die wir gewöhnlich als *copies* von Dingen einordnen. Ob wir dies zurecht tun, wird aber umso fragwürdiger, je kleiner das Untersuchte ist. Im Falle der Rasterkraftmikroskopie ist das also sehr fragwürdig.

Wenn wir nochmals die in Abb. 2 zusammengefassten Ergebnisse mit Bezug auf die Standpunkte Hackings und van Fraassens betrachten, können wir für beide Standpunkte Anhaltspunkte finden. Das kontrollierte Aufsammeln einzelner Atome und die beobachtete Änderung der Abbildungseigenschaften kann für die Realität der Atome sprechen, ebenso spricht die Reproduzierbarkeit seiner Struktur unter verschiedenen Wechselwirkungen für die reale Existenz des Pentacen-Moleküls. Andererseits ist die Unterschiedlichkeit der mit verschiedenen Spitzenatomen aufgenommenen Bilder ein gutes Beispiel für die produktive Rolle des Experiments und für eine Sicht auf das Instrument als „engine of creation“. Man mag im Sinne van Fraassens fragen, ob wir diese Bilder überhaupt ernsthaft als *copies* des Moleküls einordnen sollten. Es lohnt sich vielleicht, noch einmal Abb. 1 zu betrachten und sich zu verdeutlichen, warum sie nach van Fraassens Ansicht vollkommen verkehrt ist und auch nach Hackings Ansicht nicht unproblematisch. Verhilft die philosophische Reflexion zum kritischen Blick auf etwas, das man sonst hingenommen hätte, so verändert sie, wenn auch nicht die tägliche Arbeit mit dem AFM, so doch vielleicht die Meinung dazu, was Physikerinnen und Physiker damit verfolgen.

Mit den wenigen vorgestellten Beispielen erheben wir natürlich nicht den Anspruch auf einen auch nur annähernd vollständigen Überblick zum Thema. Wir hoffen aber, damit zur Beschäftigung mit den angerissenen Fragen anzuregen. Es wäre erfreulich, wenn Experimentalphysik, Wissenschaftstheorie und Bildwissenschaft noch stärker als bisher miteinander ins Gespräch kämen, nicht zuletzt über die eingangs

erwähnte ebenso schlichte wie tiefe Frage von Hans-Joachim Güntherodt.

*

Bei weiterem Interesse am Thema empfehlen sich u. a. die Arbeiten von Hennig zu visuellen Strategien in der frühen Nanotechnologie [9], von Dickson über Kantianismus auf der Nanoskala [10], von Goodsell über das Sehen auf der Nanoskala [11] oder von Tourmey über Bilderstürmerei und Nanotechnologie [12]. Eine Fülle von Anregungen liefert das Glossar des DFG-geförderten Netzwerks Bildphilosophie [13] sowie die Website des interdisziplinären Labors „Bild Wissen Gestaltung“ an der HU Berlin [14].

Literatur

- [1] R. Bennewitz und N. Strobach, *Journal of Nano Education* **6**, 30 (2014)
- [2] J. Locke, *An Essay Concerning Human Understanding*, Clarendon Press, Oxford (1975); deutsch: *ders.*, Versuch über den menschlichen Verstand, 5. durchges. Aufl., Felix Meiner, Hamburg (2006)
- [3] L. Gross et al., *Science* **325**, 1110 (2009)
- [4] O. R. Scholz, *Bild, Darstellung, Zeichen*, Klostermann Rote Reihe, Frankfurt (2009)
- [5] B. C. Van Fraassen, *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*, Clarendon Press, Oxford (2010)
- [6] J. C. Pitt, *When is an image not an image?*, *Techné: Research in Philosophy and Technology* **8** (3), 24 (2005)
- [7] I. Hacking, *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*, Reclam, Ditzingen (1995); engl.: *ders.*, *Representing and Intervening*, Cambridge University Press, Cambridge (1983)
- [8] B. C. Van Fraassen, *The Scientific Image*, Oxford University Press, Oxford (1980)
- [9] J. Hennig, *Bildpraxis. Visuelle Strategien in der frühen Nanotechnologie*, transcript, Bielefeld (2011)
- [10] M. Dickson, *Kantianism at the Nano-scale*, in: T. Vogt, W. Dahmen und P. Binev (Hrsg.), *Modeling Nanoscale Imaging in Electron Microscopy*, Springer, New York (2010), S. 1
- [11] D. S. Goodsell, *Seeing the Nanoscale*, *nanotoday* **1**, 44 (2006)
- [12] C. Tourmey, *Images and Icons*, *Nature Nanotechnology* **5**, 3 (2010)
- [13] *Gesellschaft für Interdisziplinäre Bildwissenschaft (GIB)*, Glossar der Bildphilosophie, www.gib.uni-tuebingen.de/netzwerk/glossar
- [14] www.interdisciplinary-laboratory.hu-berlin.de

DIE AUTOREN

Roland Bennewitz (FV Oberflächenphysik, Metall- und Materialphysik) studierte Physik in Freiburg und Berlin und wurde 1997 nach experimentellen Arbeiten zur Oberflächenphysik von Isolatoren promoviert. Nach einer Assistentenzeit in Basel und einer Professur an der McGill University in Montreal leitet er seit 2008 den Programmbereich Nanotribologie am Leibniz-Institut für Neue Materialien (INM) und lehrt als Honorarprofessor an der Universität des Saarlandes. Roland Bennewitz glaubt, dass Atome ein sehr erfolgreiches Konzept sind.



Niko Strobach studierte in Münster und Edinburgh Philosophie und wurde 1995 mit einer Arbeit zur Philosophie der Zeit promoviert. Nach Stationen in Rostock, Berlin, Dresden und Saarbrücken ist er seit 2011 Professor für Logik und Sprachphilosophie an der Universität Münster. Seine Forschungsschwerpunkte sind die analytische Metaphysik und die Philosophie der Antike. Niko Strobach glaubt, dass Atome existieren.

