

erscheint in Friedrich Gethmann (ed.) *Lebenswelt und Wissenschaft: Kolloquiumsband des XXI. Deutschen Kongresses für Philosophie*, Hamburg: Meiner

Alfred Nordmann

Was wissen die Technowissenschaften?¹

Die in der Überschrift dieses Beitrags gestellte Frage setzt einen Kontrast voraus, da sie sich offenbar abheben will von der auch nicht unbescheidenen Frage: "Was wissen die Wissenschaften?" Dieser Kontrast soll hier aber nicht in einem historischen Sinne verstanden werden, dem zufolge die anwendungsorientierten Technowissenschaften in den letzten Jahren an die Stelle der grundlagenforschenden Wissenschaft getreten seien. Dem entsprechend geht es im Folgenden auch nicht etwa um eine Verfallsgeschichte oder Geschichte einer Deformation, wonach beispielsweise das kritisch-reflektierte wissenschaftliche Wissen vom naiven Realismus des technowissenschaftlichen Praxisbezugs verdrängt werde.²

Statt mich hier an einer historischen These zu versuchen, will ich lieber zwei Wissenstypen kontrastieren, die vielleicht immer schon, aber jedenfalls heutzutage nebeneinander her bestehen. Und bei diesen Wissenstypen geht es wiederum nicht darum, das Wissen einzelner Forscher zu charakterisieren – wie und auf Grund welcher Evidenz kommt diese oder jene Person dazu, dies oder das zu glauben? Vielmehr soll es um Wissen gehen, wie es sich etwa in der Veröffentlichung einer Fachzeitschrift findet, also um das entpersönlichte, objektive Wissen, das von einer Forschergemeinschaft zumindest implizit und zeitweilig anerkannt wird. Einerseits erschwert dies meine Aufgabe, da sich Erkenntnistheorien mit anonym geteiltem Wissen allemal schwerer tun als mit individuellen Wissensbehauptungen, die auf die guten Gründe rückführbar sind, die in den Wissenserwerb Eingang fanden. Andererseits wird meine Aufgabe erleichtert, da ich nun gar nichts Allgemeines über "die Technowissenschaften" im Gegensatz zu "der Wissenschaft" sagen muss. Stattdessen kann ich mich darauf beschränken, die beiden Wissensbegriffe idealtypisch zu charakterisieren und offen zu lassen, ob sie nun in Reinform vorkommen oder nicht, ob sich Wissenschaft und Technowissenschaften nicht vielleicht immer gegenseitig durchdringen. Auch wenn es nur eine, im methodischen Kern immer gleiche Wissenschaft und gar keine Technowissenschaft gäbe, würde die Frage noch gelten, wie wir gewisse Wissensansprüche verstehen sollen, die uns in Fachzeitschriften derzeit überall begegnen.

1 Wissenschaftliches Wissen

Was für ein objektives Wissen kommt in technowissenschaftlichen Forschungsbeiträgen zum Ausdruck und wird in den entsprechenden Publikationen kommuniziert? Um nun diese Frage zu profilieren, will ich zunächst ganz stereotyp das in einem wissenschaftlichen Artikel dargestellte Wissen charakterisieren und mich dabei an der Konvention orientieren, die dieses

¹ Dieser Beitrag basiert auf „Was wissen die Technowissenschaften?“ in Friedrich Gethman, Hg., *Lebenswelt und Wissenschaft: Kolloquiumsband des XXI. Deutschen Kongresses für Philosophie*, Hamburg: Meiner, 2010. Während diese deutlich ausführlichere Darstellung den Wissensbegriff der Technowissenschaften zwischen naturwissenschaftlichem Theoriewissen und technischem Dingwissen verortet, dient die Frage nach der Wissensproduktion hier vor allem einer Charakterisierung der Neuen Technologie,

² An dieser Stelle kann keine gründliche Unterscheidung von "Wissenschaft" und "Technowissenschaft" erarbeitet werden, ein umfassenderer Ansatz dazu findet sich in A. Nordmann, „Technowissenschaft“. Für die Zwecke dieses Beitrags bedarf es jedoch keiner vorgängigen Unterscheidung.

Genre bestimmt. Es geht also um die typische wissenschaftliche Publikation, wie sie sich insbesondere Wissenschaftstheoretiker vorgestellt haben. Dieser stereotypen Genrekonvention zufolge steht am Anfang des Artikels eine Frage, ein Problem oder ein Puzzle, eine Anomalie oder Wissenslücke. Mehr oder weniger explizit werden dann eine oder mehrere Hypothesen angeboten, die die Frage beantworten könnten oder wenigstens einen Beitrag zu ihrer Beantwortung leisten. Nach einem Methodenteil wird dann beschrieben, wie durch Laborexperiment oder Feldbeobachtung neue Evidenz gewonnen wurde, die die Hypothesen widerlegen, bestätigen, gewichten kann. Entsprechend schließt der Artikel mit einer einschätzenden Bewertung der betrachteten Hypothesen.³

In einem solchen wissenschaftlichen Beitrag geht es somit um epistemisches Wissen, also um das, worauf die Leser geführt werden und was sie mit zunehmender Sicherheit glauben dürfen.⁴ Die Hypothese ist insofern buchstäblich ein Glaubenssatz, nämlich eine sprachliche Aussage, die Gegenstand einer Überzeugung wird, wobei die Überzeugung darin besteht, den Satz für wahr oder falsch, für mehr oder weniger plausibel oder wahrscheinlich zu halten. Nun macht es das Verhältnis von Wissenschaft und Philosophie wesentlich aus, dass die Philosophie über epistemisches Wissen seit Jahrtausenden sehr viel zu sagen hat. Kanonisch wurde insbesondere die Definition, der zufolge Wissen eine wahre Überzeugung ist, für die der Wissende gute Gründe anführen kann. Die Grenzen dieser Definition sind ausführlich diskutiert worden, zumindest seitdem gezeigt wurde, dass sie allenfalls notwendige, nicht aber hinreichende Bedingungen angibt.⁵ In Bezug auf das in einer Publikation enthaltene objektive, wissenschaftliche Wissen ist diese Definition darüber hinaus begrenzt, weil bei intersubjektiv geteiltem wissenschaftlichem Wissen die wahre Überzeugung des Individuums außen vor bleibt – wie auch die wahre Überzeugung der wissenschaftlichen Gemeinschaft als Ganzer, sofern einer Gemeinschaft überhaupt Überzeugungen zugeschrieben werden können. Der wissenschaftliche Artikel macht seinen Lesern nur ein Angebot zur Festigung oder Schwächung ihrer Überzeugungen, indem er darstellt, dass die hier vorgelegte Evidenz eine Hypothese mehr oder minder deutlich bestätigt oder ihr zuwiderläuft. Statt die Rechtfertigung eines Wahrheitsanspruchs vollständig zu liefern, macht sich eine wissenschaftliche Publikation somit zum Teil eines im Prinzip un abgeschlossenen öffentlichen Rechtfertigungsprozesses, der sich auf gemeinsame methodische Standards bezieht und das wissenschaftliche Wissen als wahre Überzeugung intendiert.⁶ Einen von diesem Prozess unabhängigen Zugang zur Wahrheit hat dieses Wissen nicht. Darum spricht der Wissenschaftssoziologe Robert Merton davon, dass das Ziel der Wissenschaft darin bestehe, den Bestand des öffentlich beglaubigten Wissens auszubauen.⁷

³ Dass diese Präsentationsform dem tatsächlichen Verlauf der Wissensproduktion nicht entspricht, ist schon lange bekannt, siehe etwa P.B. Medawar, „Justified True Belief“ oder K. Knorr-Cetina, *Fabrikation von Erkenntnis*. Für den gegenwärtigen Zusammenhang ist nur wichtig, dass diese Präsentationsform einer für den Rechtfertigungszusammenhang angemessenen Forschungslogik entspricht: Wenn es das (auch nur: vorgebliche) Ziel der Forschung ist, Hypothesen zu bestätigen, zu widerlegen oder zu modifizieren, bedarf es einer klaren Auszeichnung neuer Evidenz und ihrer Relevanz für die Beurteilung von Hypothesen.

⁴ Mein Gebrauch des scheinbar tautologischen Begriffs "epistemisches Wissen" geht auf Martin Carrier's Unterscheidung von "epistemic and applied science" zurück (z.B. M. Carrier, „Knowledge Gain“). Gemeint ist also ein Wissen, das sich einem epistemischen Interesse verdankt.

⁵ Siehe E. Gettier, „Justified True Belief“ und etwa P. K. Moser, *Empirical Knowledge*.

⁶ Ich lasse hier ganz bewusst Versuche beiseite, den Überzeugungsgrad der wissenschaftlichen Gemeinschaft als Ganzer festlegen zu wollen. Meine grobe Charakterisierung des offenen angelegten Erkenntnisprozesses mag Popperianisch klingen, ist aber durchaus kompatibel mit einem Bayesianischen Ansatz, wonach die in einer Zeitschrift veröffentlichte Evidenz den Überzeugungsgrad der Leser modifiziert, wobei unterschiedliche Leser unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsannahmen ("prior probabilities") mitbringen und die Revision ihres Urteils zu entsprechend unterschiedlichen Überzeugungsgraden führt ("posterior probabilities"). Dies wiederum könnte zum Prozess einer graduellen Annäherung aller Einzelüberzeugungen gehören.

⁷ R. Merton, *Sociology of Science*, 270 und J. M. Ziman, *Public Knowledge*.

Unter der Voraussetzung, dass es bei der wissenschaftlichen Wissensproduktion langfristig um die Gewinnung gerechtfertigter und schließlich auch wahrer Überzeugungen geht, lässt sich nun ganz grob folgendes über die Bewertung von Hypothesen in einer wissenschaftlichen Publikation sagen. Aussagen bedürfen einer Rechtfertigung, um letztendlich als wissenschaftliches Wissen gelten zu können. Dass eine Aussage mit der Wirklichkeit übereinzustimmen scheint, ist hierfür nicht hinreichend, es bedarf darüber hinaus einer systematischen Darstellung, empirischen Evidenz oder theoretischen Erklärung, aus der sich gute Gründe für die Annahme der Aussage ergeben.⁸ So dient das öffentliche Verfahren einer Hypothesenprüfung dazu, den Glauben an die Hypothese zu stärken oder zu schwächen, sie dient der graduellen Fixierung einer wahren Überzeugung.⁹ Die Konvention für das Genre des wissenschaftlichen Aufsatzes entspricht somit einer klassisch wissenschaftstheoretischen Auffassung: Wissenschaftliches Wissen ist ganz den öffentlichen Rechtfertigungsprozessen verpflichtet und die Fixierung der Überzeugungen kann sich nur im Rahmen eines im Prinzip unendlichen Aufklärungsprojekts aus diesen Rechtfertigungsprozessen ergeben.

2 Epistemisches Wissen und Dingwissen

Wenn es nun heißt, dass technowissenschaftliche Publikationen eine ganz andere Art von Wissen darstellen, sollten wir zunächst einmal nach einer alternativen Erkenntnistheorie Ausschau halten. Wer hier vor allem das Wort "Technik" im Begriff "Technowissenschaften" hört, mag dabei zunächst an das Können denken und ein implizites oder persönliches Wissen, das etwa in handwerklicher Praxis verkörpert ist, also Wissen des Typs "Ich weiß, wie man Fahrrad fährt".¹⁰ Aber ganz offensichtlich ist diese Art von Wissen hier nicht gemeint, da es um objektives Wissen gehen soll, wie es in einer wissenschaftlichen Publikation angezeigt wird. Ein Kandidat für die Charakterisierung dieses Wissens mag Davis Bairds Theorie des Dingwissens oder "thing knowledge" sein.¹¹ Zunächst werde ich daher dieses Dingwissen dem epistemischen Wissen gegenüberstellen, um dann zu zeigen, dass es zwar ungefähr in die richtige Richtung weist, das Wissen der Technowissenschaften aber immer noch nicht angemessen charakterisiert.

Bairds Konzeption des Dingwissens geht auf die Bemerkung Ian Hackings zurück, dass Wissenschaftler auf zwei grundverschiedene Weisen der verwirrenden Komplexität der wirklichen Welt Herr werden. Einerseits formulieren sie im Kopf ewig gültige Naturgesetze, andererseits stabilisieren sie im Labor Phänomene, die unbeirrbar fortbestehen werden, egal ob und wie sie theoretisch gedeutet werden.¹² Baird betrachtet nun auch die von Hacking an zweiter Stelle genannte Zunahme der Phänomenbeherrschung als eine Art der Wissensproduktion. Für seine Sichtweise spricht unter anderem, dass wir durch experimentelle oder technische Praxis den Phänomenbestand der Welt kennen lernen und dadurch erfahren, wie sich die Dinge verhalten und was dazu gehört, um sie verlässlich zu reproduzieren. Im Gegensatz zum wissenschaftlichen Wissen mit seiner komplizierten Beziehung zwischen jetzt stattfindenden öffentlichen Rechtfertigungsprozessen und einer irgendwann feststehenden Überzeugung, rechtfertigt sich das Dingwissen unmittelbar selbst, ist in Hackings Worten "self-vindicating": Die technisch implementierte Phänomenbeherrschung erweist sich in der Verlässlichkeit und Wiederholbarkeit ihrer

⁸ Zum systematischen, bzw. systematisierenden Charakter der Wissenschaften (nicht aber der Technowissenschaften), siehe den Beitrag von Paul Hoyningen-Huene zu diesem Symposium.

⁹ C. S. Peirce, „Festlegung einer Überzeugung“.

¹⁰ G. Mildenberger, *Wissen und Können*.

¹¹ D. Baird, *Thing Knowledge*.

¹² I. Hacking, *Philosophie der Naturwissenschaft*, 374.

Erzeugung selbst und das Wissen um das Phänomen fällt mit seiner materiellen Darstellung zusammen. Das Phänomen repräsentiert sich selbst, weswegen es auch ganz unangemessen wäre, hier von Wahrheit und Falschheit zu sprechen. Wahr und falsch können Sätze sein, die etwas *über* die Welt aussagen. Das Funktionieren eines Geräts ist nicht wahr oder falsch – das Gerät funktioniert oder es funktioniert nicht. Um ein Beispiel Bairds anzuführen, sind elektrische Schaltkreise zwar ähnlich artikuliert wie sprachliche Aussagen, bedürfen aber keiner Übereinstimmung mit einer von ihnen repräsentierten Welt, da sie einen verlässlichen Wirkungszusammenhang zwischen materiellen Dingen institutionalisieren, der gewissermaßen für sich spricht.¹³

Daraus ergibt sich eine unausweichliche, aber gutartige Zirkularität des Dingwissens. Ausdruck des Dingwissens ist das verlässliche Funktionieren eines Geräts und gleichzeitig ist das Funktionieren des Geräts Beweis für das Vorhandensein des Dingwissens. Diese Zirkularität besteht zwar auch für aktuell gegebene individuelle Überzeugungen, nicht aber für das im Forschungsprozess intendierte epistemische Wissen. Ausdruck einer Überzeugung ist eine ihr entsprechende Verhaltensdisposition: meine wahre oder auch falsche Überzeugung zeigt sich darin, dass ich unter bestimmten Bedingungen ihr gemäß handle. Gleichzeitig werden vorhandene wahre oder falsche Überzeugungen durch meine Verhaltensweisen offenbart. Dagegen steht aber das epistemische Wissen in einer kritischen Distanz zu bloßen Überzeugungen, schon weil sie womöglich weder wahr noch gerechtfertigt sind.

Bairds Konzeption des Dingwissens geht von Hackings Unterscheidung zweier Tätigkeiten aus, wonach Wissenschaftler einerseits einen epistemischen Wissensproduktionsprozess vorantreiben und andererseits Dingwissen erzeugen. Baird legt dem entsprechend Wert darauf, dass er einen Typ wissenschaftlichen Wissens expliziert. Nun lässt sich meines Erachtens aber nicht zwischen wissenschaftlichem und nicht-wissenschaftlichem Dingwissen unterscheiden. Die Phänomenbeherrschung eines Forschers im Labor, eines Ingenieurs in einer Entwicklungsabteilung, eines Arbeiters an der Maschine, aber auch eines Nutzers technischer Geräte läuft auf das gleiche hinaus, nämlich dem Umgang mit einem physisch implementierten Wirkungszusammenhang. Wenn Baird von wissenschaftlichem Dingwissen spricht, meint er nur, dass dem Dingwissen Attribute zukommen, die auch die epistemische Wissensproduktion in den Wissenschaften auszeichnet. Auch das Dingwissen, so Baird, ist objektiv, öffentlich und kommunizierbar, und auch die Entwicklung des Dingwissens gehört zu den wesentlichen Errungenschaften der Wissenschaft.¹⁴ Nach Baird kommen in Karl Poppers Welt 3 des objektiven Wissens nicht nur Sätze vor, die in Form von Hypothesen publiziert und der Wissenschaftlergemeinschaft zur Diskussion vorgelegt werden, es kommen dort auch materielle Konstruktionen vor, die man sich zeigen kann, die von Hand zu Hand gereicht, auseinander genommen und zusammengesetzt werden, um ihre Funktionsweisen kennen zu lernen und gegebenenfalls abzuwandeln.¹⁵ Selbst einen wissenschaftlichen Fortschritt kann es also auf der Ebene reiner und gewissermaßen sprachloser Phänomenbeherrschung geben.

Die Gegenüberstellung von epistemischem Wissen und Dingwissen lässt sich auf die Form ihrer jeweiligen Wissensbehauptungen zuspitzen. Eine epistemische Wissensbehauptung wählt sich die schriftliche Form einer Publikation: Hier ist eine Frage oder Hypothese und für diejenigen, die die jeweilige Fachsprache verstehen, ist ihre Bedeutung ganz in ihrer Formulierung enthalten – diese Bedeutung besteht darin, dass die Hypothese etwa aufgrund ihrer Wahrheitsbedingungen einen öffentlichen Rechtfertigungsprozess anstößt. Und hier ist

¹³ D. Baird, *Thing Knowledge*, 8f.

¹⁴ A.a.O., 127f.

¹⁵ A.a.O., 15f./115f. und K. Popper, *Objektive Erkenntnis*.

nun zweitens experimentelle, durch Beobachtung oder Berechnung gewonnene Evidenz, die die Hypothese bewertet oder zu ihrer Modifikation führt. Der intendierte Wissenszuwachs steckt in dem sprachlichen Gehalt der Hypothese zusammen mit der dargestellten Evidenz und dies beides mit dem Ziel einer öffentlichen Beglaubigung und letztlich der Festlegung einer wahren Überzeugung. Dagegen ist behauptetes Dingwissen in einem Gerät oder Experimentalaufbau verkörpert: Hier bin ich, schau mich an, nimm mich auseinander und setze mich wieder zusammen, bastele an mir herum, variiere meine Bestandteile, erarbeite dir ein Gefühl für mein Funktionieren und lerne die Art und Weise kennen, wie mein Mechanismus Eingaben und Ausgaben miteinander verknüpft. Die mit dem Dingwissen behauptete Verlässlichkeit und die damit einhergehende Stabilisierung gewisser Phänomene steckt in den Dingen.

Die Gegenüberstellung dieser Wissensbehauptungen und -ansprüche zeigt zwar sehr schön deutlich, dass nicht alles in Forschungslaboren erzeugte Wissen epistemisches Wissen ist, aber sie erfasst nicht, was ich als technowissenschaftliches Wissen bezeichnen möchte. Bairds Dingwissen ist nämlich so emphatisch allen versprochenen Wissensformen entgegen gesetzt, dass ihm auf bedrucktem Papier allenfalls eine Bauanleitung, Konstruktionszeichnung oder die Beschreibung eines irgendwo existierenden Geräts entsprechen würde. Mit technowissenschaftlichem Wissen sind aber materialwissenschaftliche, nano- oder biotechnologische Forschungsergebnisse gemeint und all das, was die so genannte anwendungsorientierte Grundlagenforschung publiziert, also durchaus auch die Forschungsergebnisse der synthetischen Chemie und der Ingenieurwissenschaften. Hier handelt es sich um öffentliches, kommunizierbares, objektives und objektiviertes Wissen, das nicht schon im bloßen Funktionieren oder nicht-Funktionieren einer materiellen Apparatur besteht.

Technowissenschaftliches Wissen

Ein technowissenschaftlicher Forschungsbeitrag beginnt nicht mit einer Problemstellung und einer Hypothese. So beginnt beispielsweise ein *Letter to Nature* aus dem Jahr 2004, also ein Text in der Zeitschrift *Nature*, dessen Auszeichnung als "Brief" auf ein klassisches Forschungsberichtsformat anspielt:

Nanoelectromechanical systems (NEMS) hold promise for a number of scientific and technological applications. In particular, NEMS oscillators have been proposed for use in ultrasensitive mass detection, radio-frequency signal processing, and as a model system for exploring quantum phenomena in macroscopic systems. Perhaps the ultimate material for these applications is a carbon nanotube. They are the stiffest material known, have low density, ultrasmall cross-sections and can be defect-free. Equally important, a nanotube can act as a transistor and thus may be able to sense its own motion. In spite of this great promise, a room-temperature, self-detecting nanotube oscillator has not been realized, although some progress has been made. Here we report the electrical actuation and detection of the guitar-string-like oscillation modes of doubly clamped nanotube oscillators. We show that the resonance frequency can be widely tuned and that the devices can be used to transduce very small forces.¹⁶

Am Anfang dieses Textes steht die Herausforderung, gewissen Erwartungen daran gerecht zu werden, was in der schönen neuen Nanowelt alles möglich sein soll. Die Forscher treten auf ihrer Reise in diesen Möglichkeitsraum ein, wählen sich dort die geeigneten Materialien und experimentellen Verfahren, um etwas herzustellen, was sie selbst und was dann insbesondere

¹⁶ V. Sazonova et. al, „Tunabel carbon nanotube“, 284.

die Herausgeber von *Nature* als eine Gitarre bezeichnen.¹⁷ Ein Kohlenstoff-Nanoröhrchen wird wie eine Saite aufgespannt, lässt sich in Schwingungen versetzen und kann sogar gestimmt werden. Dieser Text sagt nicht "hier ist eine Hypothese und hier ist Evidenz zu ihrer Bestätigung oder Widerlegung", er sagt auch nicht "hier ist ein Apparat, schau mal, wie er funktioniert", sondern sagt "hier ist ein Zeichen oder Beweis dafür, was wir in unserem Labor leisten können." In diesem Fall wurde eine Nanogitarre gebaut, manchmal wird bei Raumtemperatur das gemacht, was andere nur unter speziellen Temperaturbedingungen hinkriegen, manchmal wird auch etwas präziser gemessen oder besser modelliert, als es bisher möglich war. Der Text erzählt dann, wie die mehr oder weniger erstaunliche Tat vollbracht wurde. Ohne den Lesern die Nachahmung beizubringen, gibt er genügend Anhaltspunkte, um sie wenigstens dazu herauszufordern, die beschriebene Fertigkeit selbst zu erwerben und sogar weiter zu entwickeln. Oft, aber keineswegs immer, wird dann noch gezeigt, dass das erstaunliche Phänomen mit bestehendem epistemischem Wissen kompatibel ist, dass es also mit vorhandenen Mitteln modelliert, bzw. simuliert werden kann, was dann manchmal als Erklärung des Phänomens bezeichnet wird. Der Text endet ungefähr so, wie er angefangen hat: "The combination of high sensitivity, tunability, and high-frequency operation make nanotube oscillators promising for a variety of scientific and technological applications"¹⁸. Die wissenschaftliche Errungenschaft ist hier nicht in der Bedeutung der Hypothese angelegt und besteht auch nicht im Funktionieren einer Apparatur, sondern in dem Nachweis der erworbenen vielversprechenden Fertigkeit, also dem glaubwürdigen Bericht oder einem auf den Internetseiten von *Nature* hinterlegten Datensatz oder Film.

In der Tat besteht das Erkenntnisinteresse der Technowissenschaften vor allem in der Aneignung und im Nachweis grundlegender Fertigkeiten. Grundlegend sind diese Fertigkeiten, weil es zumindest in universitärer technowissenschaftlicher Forschung trotz aller technischen Versprechen und trotz großen Anwendungsdrucks keineswegs um die Erfindung und Entwicklung von Geräten oder gar Produkten geht – eine wichtige Ausnahme stellen hier allein die wissenschaftlichen Instrumente selbst dar. Vielmehr handelt es sich um eine technologische Grundlagenforschung, in der es zum Beispiel um Fertigkeiten der Visualisierung, der Charakterisierung von Stoffen, des Messens, des Modellierens und Simulierens geht, aber natürlich auch des Eingriffs und der Phänomenbeherrschung. Eine gern gesehene Fertigkeit in bio- und nanotechnologischer Forschung besteht etwa darin, Kohlenstoff Nanoröhrchen gezielt zu platzieren und kontrolliert wachsen zu lassen oder mit einer ganz neuen Technik den Namen des eigenen Labors zu schreiben.¹⁹ Auf den Entdeckungsreisen in neu erschlossene Möglichkeitsräume künftiger Technologien werden überraschende Eigenschaften auf ihre Funktionalisierbarkeit hin erprobt – und so weiter.

Gemäß den einleitenden Bemerkungen wird hier offen gelassen, wie typisch derartige Veröffentlichungen sind, in denen es nicht um die Wahrheit und Falschheit von Aussagen geht, sondern um den Nachweis einer erworbenen Fertigkeit. Wer sich für den Aufstieg der Technowissenschaften und den Niedergang der Wissenschaft interessiert, sollte die relative Häufigkeit der verschiedenen Publikationsformate zählen. Nach meinem Eindruck gibt es eine Reihe heute besonders prominenter Forschungszweige, in denen fast ausschließlich so publiziert wird. Aber selbst wenn es sich hier nur um ein Nischenphänomen in der Forschungslandschaft handelte, stellt sich immer noch die Frage nach dem Wissen, das in diesen Texten dargestellt und kommuniziert wird.

¹⁷ A. N. Cleland, „Carbon nanotubes“.

¹⁸ V. Sazonova et. al, „Tunable carbon nanotube“, 287.

¹⁹ A. Nordmann, „Nanotechnoscience“.

In einer ersten Annäherung an diese Aufgabe wähle ich ein etwas komplizierteres Beispiel technowissenschaftlicher Berichterstattung. Es erlaubt mir, das Verhältnis von epistemischem Theoriewissen und technowissenschaftlichem Fertigkeitwissen näher zu betrachten. Hier handelt es sich um einen ebenfalls 2004 erschienenen und in der Zeitschrift *Nanotechnology* publizierten Text. Es geht darin um temperaturabhängige Effekte im Übergang von einer Elektrode aus Gold in einen aus einem organischen Molekül bestehenden Draht. Die ersten drei Sätze dieses Texts bringen recht unterschiedliche Vorstellungen ins Spiel, die zwischen epistemischen Wissensansprüchen und Fertigkeitwissen zu oszillieren scheinen, aber letztlich ganz im technowissenschaftlichen Idiom aufgehen:

The recent surge of activity in molecular electronics is driven by expectations of scientific inroads into the realm of the molecular state and by the anticipation of a high technological payoff. Continued progress in this area depends critically on developing a thorough understanding of the fundamental processes of charge conduction through individual or small assemblies of molecules connected between two reservoirs of charge carriers, usually metallic leads. This understanding relies on concepts and theoretical methodologies that have been developed and applied to study molecular charge transfer in donor-bridge-acceptor systems.²⁰

Dem obligatorischen Hinweis auf das technologische Potenzial folgt hier zunächst die Forderung nach einem grundlegenden Verständnis gewisser Prozesse. Es wird dann betont, dass dieses Verständnis auf bereits entwickelten Begriffen und theoretischen Methoden beruht. Bedeutet dies nun, dass der Erwerb technowissenschaftlichen Fertigkeitwissen kein eigenständiges Forschungsprogramm konstituiert und nur im Kontext fortgesetzten epistemischen Wissenserwerbs bestehen kann? Auf den ersten Blick möchte es so scheinen, aber bei näherer Betrachtung dessen, was hier mit dem gründlichen Verständnis eines fundamentalen Prozesses gemeint ist, zeigt sich, dass dieses Verständnis ganz in der Sphäre des Fertigkeitwissen bleibt und eben nicht zu theoretischer Erkenntnis "aufsteigt". Dabei spielt epistemisches Wissen durchaus eine große Rolle. Es geht nämlich als Wissens- und Methodenbestand in die Konstruktion von Fertigkeitwissen ein – aber nicht wie ein Kuhnsches Paradigma, das notwendige Voraussetzungen für die Identifizierung und Lösung von Problemen schafft und geradezu notgedrungen weiterentwickelt oder artikuliert wird. Stattdessen stellt das in den letzten dreihundert Jahren erarbeitete Wissen so etwas wie einen Werkzeugkasten dar, auf dessen durchaus heterogene, inkommensurable Begriffe, Darstellungstechniken, Algorithmen und Modelle opportunistisch zugegriffen werden kann, um Phänomene und Effekte mit theoretischen Mitteln darzustellen, ohne dass diese Darstellung theoretisch motiviert wäre oder etwa auf die Theoriebildung zurückwirkt.²¹ Das akkumulierte epistemische Wissen geht in den Erwerb von Fertigkeiten ein, geht aber nicht aus ihm hervor. Dies deutet sich zumindest an, wenn im weiteren Verlauf der Darstellung gezeigt wird, wie die hier zitierten Forscher ihre Suche nach gründlichem Verständnis verfolgen.

Recently, we began to investigate the role of thermally activated conduction in conjugated molecules that span a gold electrode gap. We observed a temperature-induced transition between coherent tunnelling and thermally activated incoherent hopping conduction in single molecule junctions, which is in good agreement with theoretical predictions. Here, we extend the analysis of these two transport mechanisms as they pertain to our experimental system, and present experimental data that suggests local heating due to dissipation in the molecule might also contribute to the transition from one to the other. More specifically, these data suggest that it is the vibrational temperature of the

²⁰ Y. Selzer et al., „Molecular junction“, 483.

²¹ Siehe hierzu und zum Folgenden auch die systematischere Darstellung in A. Nordmann, „Nanotechnoscience“.

molecule rather than the temperature of the overall system (i.e. bath temperature) that determines the dominant conduction mechanism.²²

Entscheidend für den beobachteten Effekt sei die Vibrationstemperatur des einzelnen Moleküls und nicht die Temperatur des Gesamtsystems, stellen die Forscher hier also fest – und tun dies nicht etwa im Modus einer Hypothesenprüfung, mittels derer ihr Befund zur Entscheidung zwischen verschiedenen Theorien beitragen würde oder wenigstens eine Anomalie konstatiert, die einer theoretischen Behandlung harret. Stattdessen wird ein Faktor identifiziert, der bei der praktischen Systembeherrschung, nämlich der Konstruktion eines verlässlichen Mechanismus, für den Elektronentransport eine Rolle spielt. Dass dieser Befund mit nachträglich in einem Simulationsmodell konstruierten theoretischen Voraussagen gut übereinstimmt, heißt nur, dass es eine qualitative Ähnlichkeit zwischen dem beobachteten Experimentalsystem und dem in der Simulation aus Theoriebausteinen konstruierten Modellsystem gibt, dass hier also zwei Fertigkeiten zusammenkommen, die sich gegenseitig validieren – die Fertigkeit der Experimentatoren und die Fertigkeit der Modellierer. Dem entspricht die Zusammenfassung der Ergebnisse, die auf eine weitere Differenz zwischen wissenschaftlichen und technowissenschaftlichen Wissen hinweist:

The effect of temperature on conduction through a molecular junction [...] has been studied. Qualitative and semi-quantitative agreement with theory has been observed. Open issues regarding the observed activation energy of the thermal conduction process, as well as the difference between the effective temperatures of the junction and of the surrounding system have been discussed. These results further suggest that the exact temperature dependent conduction behaviour of a given molecular junction will depend critically on the specific molecular structure, in particular the rotational barriers between adjacent rings and conduction units. Such structural correlation studies are now underway in our laboratories and should elucidate further important details of the fundamental conduction mechanisms.²³

Was hier weiter untersucht werden soll, sind grundlegende Mechanismen, die von spezifischen molekularen Strukturen abhängen, wobei wie immer in der Nanoforschung davon auszugehen ist, dass es in diesem Größenbereich keine naturgesetzlichen Struktur-Eigenschaftsbeziehungen gibt, dass die hier angestrebten Forschungen also nicht theoretisch verallgemeinerbar sind und es so viele dieser Mechanismen geben könnte, wie es Moleküle gibt. Der wesentliche Beitrag besteht also darin, die Fertigkeit zu entwickeln, mit der diese Mechanismen im je besonderen Fall identifiziert, modelliert und kontrolliert werden können.

Weder um epistemisches Wissen und die Festlegung einer wahren und gerechtfertigten Überzeugung geht es in dieser Forschung, noch um Dingwissen oder das verlässliche Funktionieren eines Geräts. Wie stark sich technowissenschaftliches Fertigkeitwissen gleichermaßen von wissenschaftlichem Wissen und handwerklichem Können unterscheidet, lässt sich vielleicht verdeutlichen, indem die Aneignung und der Nachweis grundlegender Fertigkeiten als ein Typ objektiven Wissens charakterisiert wird, das sich nicht nur in technowissenschaftlichen Publikationen, sondern beispielsweise auch in Einspielungen klassischer Musik nachweisen lässt. Was für die Konstrukteure der Nanogitarre gilt, das lässt sich auch für eine Schallplattenveröffentlichung des Pianisten Alfred Brendel sagen, der damit den Nachweis seines Klavierspiels einer Schubert-Sonate produziert: Hier wird nicht nur eine Fertigkeit demonstriert, sondern auch ein neuer Blick eröffnet und ein neues Phänomen etabliert, das objektiv gegeben, kommunizierbar und lehrbar ist, das Hör-, Handlungs- und Erwartungsmuster erzeugt.

²² Y. Selzer, „Molecular junction“, 484.

²³ Y. Selzer et al., „Molecular junction“, 287f.

Abschließend soll diese Analogie noch ein Stück weit verfolgt und damit fünf Attribute technowissenschaftlichen Fertigkeitenswissens dargestellt werden. Dieses Fertigkeitenswissen ist nämlich erstens objektiv und öffentlich, indem es ausgestellt und dokumentiert wird. Es ist zweitens nicht allgemein wie das auch Laien verfügbare Dingwissen sondern setzt eine je spezifische Wissenskultur voraus. Drittens ist es kommunizierbar, auch ohne dass damit die Fertigkeit selbst oder ein bestimmtes Verstehen schon kommuniziert oder gelehrt wäre. Das Fertigkeitenswissen beinhaltet viertens eine Kenntnis von Kausalbeziehungen und sedimentiert sich fünftens als Verhaltensgewohnheit im Sinne von Charles Sanders Peirce. Diese fünf Attribute sind keine Kriterien für grundlegendes, beispielgebendes Fertigkeitenswissen, an denen sich Behauptungen dieses Wissens bewähren müssten. Vielmehr ergeben sie sich mit der Aneignung und dem Nachweis dieses Wissens von selbst: es kann überhaupt nur beansprucht werden, wenn die Kriterien bereits erfüllt sind. Was für epistemisches Wissen von dessen Geltungskriterien geleistet wird, ist hier im Hintergrund einer spezifischen Wissenskultur aufgehoben, der disziplinären Sozialisation des Wissenschaftlers also oder dem musikologischen und aufführungshistorischen Zusammenhang des Komponisten. All dies kann hier nur kurz angedeutet werden.

Zunächst ist das Fertigkeitenswissen also objektiv und öffentlich. Es wird aber nicht etwa in der Form von Rezepten veröffentlicht, also nicht als Konglomerat von Theorien, Methoden und Ableitungen, wobei sich seine Objektivität aus seiner Prüfbarkeit, Wiederholbarkeit und Übereinstimmung mit einer Vorgabe herleiten würde. Es ist nicht die Strenge des Verfahrens, das die Objektivität der Nanogitarre ausmacht, und nicht die Umsetzung der Partitur beim Einspielen der Klaviersonate. Die Fertigkeiten werden auch nicht in der Form von hergestellten Artefakten veröffentlicht, also als buchstäblich objektiver, bzw. dinglicher Schaltkreis, als Modell oder Experimentalaufbau, als Schallplatte oder CD. Stattdessen wird ein Zeichen oder Beweis des Gelingens veröffentlicht. Im Gegensatz zur rein individuellen und bloß subjektiven Errungenschaft, beruht das objektive Fertigkeitenswissen auf seiner Verbreitung, dem kollektiven Plausibilitäts- oder Angemessenheitsurteil und einer internationalen Vernetzung der individuellen Fertigkeiten. Dies ist es auch, was das Fertigkeitenswissen des Pianisten Brendel objektiviert und von dem eines beliebigen anonymen Klavierspielers unterscheidet.

Zweitens gehört das Fertigkeitenswissen einer spezifischen Wissenskultur an, auf der es beruht und in die es gehört, auch ohne den Bestand dieser Wissenskultur zielgerichtet fortzuentwickeln. Technowissenschaftliches Fertigkeitenswissen wird durch einen Überfluss traditioneller wissenschaftlicher Wissensbestände ermöglicht. Diese fließen in Form von experimentellen und rechnerischen Verfahren, erkannten Gesetzmäßigkeiten, Kausalbeziehungen, bewährten Algorithmen in das Fertigkeitenswissen ein, auf sie kann opportunistisch zu Zwecken theoretischer Modellierung und somit "Erklärung" zurückgegriffen werden. Ähnlich ist das Fertigkeitenswissen Alfred Brendels in spezifische, musikwissenschaftliche und klaviertechnische Zusammenhänge eingebettet, ohne dass er durch seine Einspielung einer Sonate zum musikologischen Wissen beitragen will oder Annahmen zur Klavierakustik prüft. Die Überzeugungen, die dem Fertigkeitenswissen zugrunde liegen und es ermöglichen, spielen dabei keine Rolle, – sie werden durch Aneignung und Demonstration einer grundlegenden Fertigkeit nicht eigens thematisiert oder problematisiert, kritisiert oder verbessert.

Das Fertigkeitenswissen ist drittens kommunizierbar, aber nicht als in Aussageform publizierbarer Gehalt, der von allen Mitgliedern einer Sprachgemeinschaft erfasst werden kann. Anders als das Dingwissen wird das Fertigkeitenswissen auch nicht dadurch kommuniziert, dass es in Form eines Geräts oder kodifizierten Verfahrens von Labor zu

Labor weitergereicht wird. Es ist schließlich auch kein stillschweigendes oder implizites Wissen, das durch eine Lehre oder Sozialisation in gemeinsame Praktiken mitgeteilt würde, denn das hier gemeinte Fertigkeitwissen ist wesentlich neu und schafft neue Handlungs- oder Verhaltensgrundlagen. Schließlich wird es im Rahmen einer Veröffentlichung auch nicht gelehrt, so wenig wie Alfred Brendels Einspielung uns das Klavierspiel oder die Auffassung einer Schubert-Sonate lehren kann. Kommuniziert wird gar nicht das Fertigkeitwissen selbst, sondern nur, dass es von jemandem angeeignet und nachgewiesen wurde. Sinnvoll ist diese Kommunikation nur unter der Voraussetzung einer institutionellen Struktur, die einen nachvollziehenden und dabei unabhängigen Erwerb der Fertigkeiten auch denen ermöglicht, die nur eine Nachricht von ihrer Existenz erhalten haben. Eine solche institutionelle Struktur wird einerseits durch Laborarchitekturen und Experimentalkulturen geboten, andererseits etwa durch Orchester und Musikakademien.

Viertens umfasst das Fertigkeitwissen eine intime, gewissermaßen atheoretische Kenntnis von Kausalbeziehungen. Systemeigenschaften werden physisch artikuliert und in ihrer Abhängigkeit voneinander spürbar – so wie Simulationsmodelle ein Gefühl für eine quasi-organismische Dynamik, für Parameterabhängigkeiten und Systemgrenzen vermitteln.²⁴ Durch systematische Parametervariationen können so genannte INUS-Bedingungen ermittelt und eine technisch-praktische Kausalanalyse vollzogen werden.²⁵ Und gerade dieser Aspekt ist es, der eine Kontinuität von wissenschaftlichen und technowissenschaftlichen Ansätzen suggeriert, zumal er unsere Aufmerksamkeit auf die technisch-praktische Seite auch epistemischer Wissensproduktion lenkt. Hinsichtlich impliziter und expliziter Verfahren der Kausalanalyse scheint der Unterschied zwischen den Technowissenschaften und der Wissenschaft nur noch in ihren Zielsetzungen zu bestehen, dass es der epistemisch orientierten Wissenschaft nämlich um das richtige Verstehen und die Systematisierung von Kausalzusammenhängen geht und nicht um ihre Nützlichkeit in Fragen der Messung, Visualisierung, Modellierung, Phänomenbeherrschung.²⁶ Dass dies aber nur eine scheinbare Kontinuität ist, verdeutlicht an dieser Stelle der Vergleich mit dem Fertigkeitwissen des Pianisten, der eine intime und gewissermaßen experimentelle Kenntnis ästhetischer Wirkungszusammenhänge entwickelt. Auch ein Pianist kann Effekte erzeugen und bleibt dabei weit entfernt von den Anstrengungen jeglicher Wahrnehmungspsychologie, die verstehen will, welche Kausalzusammenhänge bei der Erzeugung ästhetischer Wirkungen zum Tragen kommen.

Schließlich sedimentiert sich das Fertigkeitwissen als Verhaltensgewohnheit im Sinne von Peirce.²⁷ Wie die Technowissenschaften nach den Wissenschaften kommen, indem sie die über Jahrhunderte angesammelten Theorien und Techniken zu nutzen wissen, ohne darum angewandte Wissenschaft zu sein, so entsteht die Peirce'sche Verhaltensgewohnheit mit dem Verschwinden der geistigen Tätigkeit. Wo wir uns gefühlsmäßig auf intersubjektiv verlässliche Wirkungszusammenhänge auch in komplexen Situationen einlassen können und statt zugrunde liegender Gesetzeswahrheiten vor allem diese Verlässlichkeit oder Robustheit selbst erkennen, entsteht die Gewohnheit als höchster Ausdruck eines gar nicht mehr artikulierbaren Wissens. Die kollektive, verlässliche, öffentlich ausgestellte und intersubjektiv zugängliche Aneignung und Kontrolle eines Systemverhaltens, somit auch eine Anpassungsleistung an die Gegebenheiten einer spezifischen, hochkomplexen Welt bedeutet vor allem und ganz einfach, dass wir uns zurechtfinden – Alfred Brendel in der Partitur Schuberts, technowissenschaftliche Forscher in einer durch das Rastersondenmikroskop

²⁴ J. Lehnhard, „Computersimulation und Nanowissenschaft“, 163.

²⁵ J. L. Mackie, *The Cement of the Universe*.

²⁶ M. Carrier, „Knowledge Gain“.

²⁷ C. S. Peirce, „Festlegung einer Überzeugung“.

erschlossenen Nanowelt. In diese elementare Phänomen- oder Systembeherrschung fließt das epistemische Wissen der klassisch disziplinären Wissenschaften ein und verschwindet in der Herausbildung von Gewohnheiten, die sich auf die intime Vertrautheit mit dem Verhalten eines Systems oder komplexen Zusammenhangs gründen. Die gerechtfertigten Überzeugungen oder Wissensbestände aus klassischer Physik und Quantenchemie, aus Hydrodynamik und Komplexitätstheorie erscheinen gar nicht mehr als theoretische Aussagen oder Überzeugungen, sondern informieren stillschweigend technowissenschaftliches Handeln. Ontologisch indifferent²⁸ leisten es sich die Technowissenschaften, ohne angestrenzte Reflexion auf Methoden und Begriffe an das für sie wesentliche Geschäft zu gehen, sich nämlich eine schöne neue Welt zu bauen.²⁹

Literaturverzeichnis

Baird, Davis: *Thing Knowledge*, Berkeley 2004

Carrier, Martin: „Knowledge Gain and Practical Use: Models in Pure and Applied Research“, in: D. B. Gillies (Hg.): *Laws and Models in Science*, London 2004, 1-17

Cleland, Andrew N.: „Carbon nanotubes tune up“, in: *Nature* 431 (2004), 251-252

Galison, Peter: *The Pyramid and the Ring*. Tagungsbeitrag, Gesellschaft für analytische Philosophie (GAP), Berlin 2006

Gettier, Edmund: „Is Justified True Belief Knowledge?“, in: *Analysis* 23 (1963), 121-123

Hacking, Ian: *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*, Stuttgart 1996

Knorr-Cetina, Karin: *Die Fabrikation von Erkenntnis*. Zur Anthropologie der Naturwissenschaft, Frankfurt 1984.

Lenhard, Johannes: „Mit dem Unerwarteten rechnen? Computersimulation und Nanowissenschaft“, in: A. Nordmann/J. Schummer/ A. E. Schwarz (Hgg.): *Nanotechnologien im Kontext*. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven, Berlin 2006, 151-168

Mackie, John Leslie: *The Cement of the Universe*. A study of Causation, Oxford 1974

Medawar, Peter B.: „Is the scientific paper a fraud?“, in: ders.: *The Threat and the Glory*. Reflections on Science and Scientists, Oxford 1991, 228-233

Merton, Robert: *The Sociology of Science*. Theoretical and Empirical Investigations, Chicago 1973

Mildenberger, Georg: *Wissen und Können im Spiegel gegenwärtiger Technikforschung*, Berlin 2006

Moser, Paul K. (Hg.): *Empirical knowledge*. Readings in contemporary epistemology, Lanham MD 1996

Nordmann, Alfred: „Was ist Technowissenschaft? – Zum Wandel der Wissenschaftskultur am Beispiel von Nanoforschung und Bionik“, in: T. Rossmann/C. Tropea (Hg.): *Bionik*. Aktuelle Forschungsergebnisse in Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaften, Berlin 2004, 209-218

²⁸ P. Galison, *Pyramid and the Ring*.

²⁹ Ich danke Daniel Quanz für die umsichtige Lektüre dieses Textes und einer Reihe von Diskutanten in Essen, München und Paderborn.

Nordmann, Alfred: „Vor-Schrift – Signaturen der Visualisierungskunst“, in: W. Krohn, (Hg.): *Ästhetik in der Wissenschaft. Interdisziplinärer Diskurs über das Gestalten und Darstellen von Wissen*, Hamburg 2006, 117-129

Nordmann, Alfred: „Philosophy of Nanotechnoscience“, in: G. Schmid/ H. Krug/ R. Waser/ V. Vogel/ H. Fuchs/ M. Grätzel/ K. Kalyanasundaram/ L. Chi (Hgg.): *Nanotechnology, Vol. 1. Principles and Fundamentals*, Weinheim 2008, 217-244

Peirce, Charles Sanders: „Die Festlegung einer Überzeugung“, in: ders./K.-O. Apel (Hg.): *Schriften I. Zur Entstehung des Pragmatismus*, Frankfurt/Main 1967, 293-325

Popper, Karl Raimund: „Erkenntnistheorie ohne ein erkennendes Subjekt (Kapitle 3)“, in: ders.: *Objektive Erkenntnis. Ein evolutionärer Entwurf*, Hamburg 1972, 109-157

Sazonova, Vera/Yaish, Yuval/Üstünel, Hande/Roundy, David/ Arias, Tomás A./ McEuen, Paul L.: „A tunable carbon nanotube electromechanical oscillator“, in: *Nature* 431 (2004), 284-287

Selzer, Yoram/Cabassi, Marco A./Mayer, Theresa S./Allara, David L.: „Temperature effects on conduction through a molecular junction“, in: *Nanotechnology* 15 (2004), 483- 488.

Ziman, John M.: *Public Knowledge: An Essay Concerning the Social Dimension of Science*, London 1968