

# Physik ist Grundlage der Technik und Teil der Kultur

Stephan Hartmann und Jürgen Mittelstraß\*

## Zusammenfassung

Die moderne Welt verdankt sich in ihren wesentlichen Teilen den Leistungen des wissenschaftlichen Verstandes. Das heißt: Wissenschaft ist ein integraler Bestandteil der modernen Welt und zugleich Inbegriff der Rationalität einer technischen Kultur, die das Wesen der modernen Welt ausmacht. Ohne Wissenschaft verlöre die moderne Welt ihre Natur und die moderne Gesellschaft ihre Zukunft. Physik bildet von Anfang an den Kern der europäischen Wissenschaftsentwicklung. Sie ist das ursprüngliche Paradigma von Wissenschaft, die Grundlage der Technik und ein konstitutiver Teil einer rationalen Kultur. Sie wird auch in Zukunft eine methodische Leitdisziplin bleiben und ihre Stärken in inter- und transdisziplinären Kollaborationen fruchtbar einsetzen.

---

\*Eine leicht erweiterte Fassung dieses Aufsatzes erschien in dem von der Deutschen Physikalischen Gesellschaft herausgegebenen Band *Physik: Themen, Bedeutung und Perspektiven physikalischer Forschung*. Bonn: DPG 2000, 185-188.

# 1 Physik und Kultur

Wissenschaft und Kultur bilden keine Gegensätze. Wissenschaft ist vielmehr ihrem Wesen nach Kultur. Der Versuch, Wissenschaft aus ihrer integralen Beziehung zur Kultur zu lösen, wäre selbst ein Dekultivierungsphänomen, d.h. Ausdruck von Unkultur. Verlierer wären dann die Wissenschaft, die ihr kulturelles Wesen, ihre kulturelle Natur verliere, und die (allgemeine) Kultur, die wesentliche Teile ihrer rationalen Form verliere. Die Welt suchte dann in andere kulturelle Formen, ohne Wissenschaft und Technik, zurückzukehren. Doch ein derartiger Versuch wäre von vornherein zum Scheitern verurteilt. Nicht eine andere Welt als die moderne wäre die Folge, sondern die Zerstrung der Welt. Die Wirklichkeit der Welt, ihre kulturelle und technische Wirklichkeit, ist eben auch die Wirklichkeit des wissenschaftlichen Verstandes. Mit seinem Werden ist das Werden der Welt, einer Welt, die mit wissenschaftlichen und technischen Steinen baut, untrennbar verbunden.

Zur kulturellen Wirklichkeit gehört auch die Wirklichkeit des gebildeten Verstandes. Bildung ist nur die andere Seite der Kultur: Kultur zur (individuellen) Lebensform gemacht. Und dies bedeutet in einer Welt, die zu immer größeren Teilen Produkt des wissenschaftlichen Verstandes ist, dann auch, dass Wissenschaft selbst Teil der Bildung ist, und nicht, wie viele glauben, Gegenteil oder zumindest etwas ganz anderes als Bildung. Zwar hat die Vorstellung der europäischen Aufklärung, dass allein das wissenschaftliche Bewusstsein wahrhaft gebildet ist, ihre Geltung verloren, doch ändert dies nichts an dem Umstand, dass in der modernen Welt Wissenschaft, gerade auch Naturwissenschaft, zur Bildung gehört. Wäre Bildung das, was Naturwissenschaft nicht ist, dann gehörte sie allein den Erziehungs- und Geisteswissenschaftlern, die sie erforschen und (gelegentlich) zu verwalten suchen. Bildung führte dann aus der Welt, in der wir leben, heraus, nicht - was wahre Bildung immer zu leisten hat - in diese hinein. Deshalb ist es im übrigen auch so wichtig, dass die Naturwissenschaften ein obligatorischer Teil unserer schulischen Wirklichkeit bleiben.

Dass dies keine überflüssigen Bemerkungen sind, macht nicht nur die Wirklichkeit unseres derzeitigen Bildungs- und Ausbildungssystems mit seiner notorischen Vernachlässigung naturwissenschaftlicher Teile deutlich, sondern auch die Rede von den zwei Kulturen, womit einerseits die naturwissenschaftliche, andererseits die geisteswissenschaftliche Kultur gemeint ist und Bildung als ein Teil der letzteren erscheint. Demnach wäre Shakespeare gelesen zu haben, Bildung, den 2. Hauptsatz der Thermodynamik zu kennen, nicht.

Kein Zweifel, dass diese Vorstellung von einem einseitigen Verständnis von Bildung zeugt, allerdings einem weit verbreiteten. Wer die Welt unter Bildungsgesichtspunkten derart zerlegt, hat sie als moderne Welt schon verloren. Also kommt es darauf an, sie wieder in ihrer Einheit zu begreifen. Und zu dieser Einheit gehören unter den Stichworten Kultur und Bildung die Naturwissenschaften - und die Phänomene, die sie erforschen - ebenso wie die Geisteswissenschaften. Nur müssen dies viele Geisteswissenschaftler, die sich in der Zwei-Kulturen-Unterscheidung mittlerweile zufrieden eingerichtet haben, wohl erst noch lernen. Umgekehrt müssen die Naturwissenschaftler durch ihre Arbeit stärker als bisher deutlich machen, dass auch ihr Tun und ihr Wissen zur kulturellen Form und zur Bildungsform der modernen Welt gehören.

Was allgemein vom Verhältnis zwischen Wissenschaft, moderner Welt, Kultur und Bildung gilt, trifft in besonderem Maße auf die Physik zu. Die Physik teilt den kulturellen Charakter aller Wissenschaften, und sie ist zugleich, als Grundlage einer technischen Kul-

tur, die das Wesen der modernen Welt ausmacht, die erste aller Wissenschaften. Ohne Physik keine Technik und ohne Physik keine wissenschaftliche Orientierung, die sich in Begriffen wie Gesetz und Erklärung theoretischen, methodischen und instrumentellen Ausdruck verschafft und zugleich in den Kategorien von Raum und Zeit die Architektur der Welt beschreibt.

## 2 Zur Geschichte der Physik

Der besondere Charakter der Physik als Grundlage der Technik und Teil einer rationalen Kultur spiegelt sich in ihrer Geschichte. Es waren die Griechen, die die Möglichkeit von Wissenschaft, die Möglichkeit, die Welt mit wissenschaftlichen Augen zu betrachten, entdeckten, und es war die Naturphilosophie, in der die Rationalität die Augen aufschlug. Es war nur ein kleiner Schritt von der milesischen Naturphilosophie, die den Abschied von einer mythischen Auffassung der Welt bedeutete, bis zur Aristotelischen Physik. Die wiederum gilt bis zum 16. Jahrhundert als Paradigma einer wissenschaftlichen, die Welt erklärenden Theoriebildung und zugleich als Realisierung der Idee einer Einheit der Natur. Ihre wesentlichen Bestandteile waren (1) eine Elemententheorie und eine Theorie natürlicher Körper (der Elemente), die kosmologisch ein geozentrisches System zur Folge hat, (2) die Annahme, dass jede Orts- und Geschwindigkeitsänderung die Existenz einer wirkenden Kraft voraussetzt, und (3) die Teilung des Kosmos in einen sublunaren Teil, der Gegenstand einer terrestrischen Physik ist, und einen supralunaren Teil reiner Sphärenharmonie, der Gegenstand der Astronomie ist. Mit der Aristotelischen Physik begann sich der Mensch in einer geordneten und erklärbaren Welt einzurichten. In diesem Sinne waren auch Physik und Philosophie eins.

Auf die Aristotelische Physik mit ihren sowohl kausalen als auch teleologischen, durch Ziele und Zwecke bestimmten Strukturen und einer durch diese Strukturen beschreibbaren Aristoteles-Welt folgte mit der Newtonschen Physik eine Newton-Welt, in der sich nur noch schwere Massen in absoluter Zeit durch einen absoluten Raum bewegen und die Stabilität der Welt, d.h. ein Ausgleich des Energieverlusts, Sache Gottes ist. Zugleich bestimmt der 'Mechanismus' der Newton-Welt, ausgedrückt in einer Mechanik der Gravitationsbewegungen, nicht nur ein Begreifen der anorganischen Natur, sondern, im sogenannten Newtonianismus, auch ein Begreifen des organischen, des psychischen und des sozialen Kosmos. Wieder bildet die in der Newtonschen Physik ausgedrückte Einheit der Natur auch eine Einheit des wissenschaftlichen Begreifens.

Die Situation wird komplizierter mit dem Aufkommen der Elektrodynamik bei Faraday und Maxwell. Das äußert sich z.B. darin, dass nun neben materiellen Körpern auch Felder zur Ausstattung der Welt gehören, wodurch ein einheitliches Verständnis der Natur zunächst erschwert, jedoch schließlich sogar befördert wird. Ein im Hinblick auf dieses Ziel verfolgter Weg war die von Entwicklungen in der Thermodynamik inspirierte Energetik von Ostwald und anderen. Hier wurde die sich in verschiedenen Formen zeigende und wandelbare Energie zum alleinigen fundamentalen Substrat der Natur. Obwohl sich dieses Programm schließlich nicht in befriedigender Weise durchführen ließ- und darüber hinaus sehr stark weltanschaulich durchsetzt war -, blieb es doch der alten Idee der Einheit der Natur verpflichtet.

Diese Situation ändert sich im Laufe der Wissenschaftsgeschichte erst wieder mit der

Einsteinschen Physik, insbesondere mit der Allgemeinen Relativitätstheorie. In dieser bahnbrechenden Theorie ist die dynamisierte Geometrie der als eine Einheit verstandenen Raum-Zeit-Struktur der Welt untrennbar mit der Gravitationskraft verbunden. Die Welt, die die Physik erklärt, wird damit unanschaulich, sie wird zur Einstein-Welt. Allerdings bleibt sie, wie die Newton-Welt, weitgehend deterministisch. (Dieser Punkt ist unter Interpreten der Allgemeinen Relativitätstheorie jedoch unstritten.)

Diese Sicht der Welt ändert sich unter dem Einfluss der Quantenmechanik und ihrer Kopenhagener Deutung. In weiten Teilen des Mikrokosmos und zuweilen auch auf mesoskopischer Ebene (der Heisenberg-Welt) regiert der Indeterminismus, der insbesondere beim quantenmechanischen Messprozess seine unanschaulichen Wirkungen zeigt. Die Quantenmechanik ist es auch, die ein einheitliches Verständnis der Welt zunächst in immer weitere Ferne rücken lässt. Neue fundamentale Kräfte wie die starke und schwache Kraft wurden in den 30er und 40er Jahren des 20. Jahrhunderts entdeckt; es zeigte sich, dass sich diese Kräfte einer konzeptionellen Verbindung mit dem Elektromagnetismus und vor allem mit der Gravitation hartnäckig entziehen. Die Existenz der beiden neuen Fundamentalkräfte macht weiterhin klar, warum der von Einstein und anderen initiierte Versuch, eine einheitliche geometrische Formulierung von Elektrodynamik und Allgemeiner Relativitätstheorie zu finden, misslingen musste. Derzeit liegt mit dem Standardmodell eine glänzend bestätigte vereinheitlichte Theorie der elektromagnetischen Wechselwirkung mit der starken und schwachen Kraft vor. Eine Einbeziehung der Gravitationskraft steht hingegen immer noch aus. Moderne Ansätze wie die Superstringtheorie greifen dieses ehrgeizige Ziel ("Einsteins Traum") erneut auf; man darf gespannt sein, wie durch diese Ansätze unsere Sicht der Welt verändert wird.

Unabhängig von besonderen Theoriebildungen in der Physik gilt, dass sie immer unanschaulicher, aber zugleich auch anwendungstärker wird, je weiter sie sich von einer Aristoteles-Welt entfernt. Die Technik, die heute die Welt verändert und diese zu einer technischen Kultur werden lässt, ist ein Kind der Newtonschen, der klassischen Physik und der modernen physikalischen Entwicklung. Dabei bleibt die Physik das Paradigma einer 'empirischen Philosophie' (Kant) bzw. einer empirischen Wissenschaft und zugleich das Paradigma einer wissenschaftlichen Kultur, die ein Höchstmaß an theoretischer Abstraktheit mit einem Höchstmaß an Anwendungsstärke in sich vereinigt. Allerdings verändert sich in neueren Entwicklungen ihr Verhältnis zu den anderen Naturwissenschaften. Aus einem hierarchischen Verhältnis, mit der Physik als unangefochtener, weltbildkonstituierender Mutterdisziplin, wird zunehmend ein kooperatives Verhältnis. In diesem aber gewinnt die Physik erneut unter methodischen und anderen Gesichtspunkten an Bedeutung.

### **3 Transdisziplinarität und die Zukunft der Physik**

Zwei Aspekte dürften in der weiteren Entwicklung der Physik eine entscheidende Rolle spielen. Erstens werden zunehmend Problemstellungen und auf sie bezogene Forschungsprogramme in den Vordergrund treten, die thematisch zwischen den Fächern und Disziplinen angesiedelt sind und deren Bearbeitung Kompetenzen in mehr als einem Fach oder einer Disziplin voraussetzt. Ein einschlägiges Beispiel für inter- oder transdisziplinäre Forschungsprogramme der so verstandenen Art sind die jüngsten Entwicklungen auf dem

Gebiet der Nanotechnologie. Die in diesem Zusammenhang untersuchten Strukturen fallen in die Domäne von drei naturwissenschaftlichen Disziplinen; Physiker, Chemiker und Biologen bemühen sich gemeinsam um das Verständnis und die Herstellung von Objekten, deren Ausdehnung in der Größenordnung von Nanometern liegt. Man denke etwa an die aufsehenerregenden Studien zu Fullerenen (“bucky-balls”) und die nicht weniger bedeutsame Herstellung mikroskopischer Schläuche aus einigen wenigen Kohlenstoffatomen, aber auch an zahlreiche biologisch wichtige Makromoleküle.

Zur Herstellung von Nanostrukturen im Labor bringen Physiker und Chemiker ihre jeweiligen Kompetenzen ein. So starten Physiker im allgemeinen mit einer vorgegebenen Struktur, z.B. einer Oberfläche, die sie dann auf geschickte Weise mit physikalischen Methoden bearbeiten, bis die gesuchten Strukturen zutage treten (“top-down-Ansatz”), während Chemiker direkt auf der Ebene der Atome und Moleküle ansetzen und von hier aus systematisch immer komplexere Strukturen synthetisieren (“bottom-up-Ansatz”). Ziel der Biologen ist es schließlich, in der Natur bereits existierende extrem kleine Strukturen im Hinblick auf ihre funktionalen Eigenschaften zu untersuchen. Alle drei Zugänge nanotechnologischen Forschens sind, wie sich zeigt, eng miteinander verbunden. Fortschritte in der einen Disziplin ziehen in der Regel Fortschritte in den beiden anderen Disziplinen nach sich.

Zweitens werden disziplinenübergreifende Wissenschaften in Zukunft eine größere Rolle spielen und die “alten” Wissenschaften sowohl inhaltlich inspirieren als auch untereinander näher zusammenführen. Diese Wissenschaften befassen sich mit formalen Strukturen und Konzepten, die in anderen Wissenschaften Anwendung finden. Vor allem ist hier die Informationswissenschaft zu nennen, deren Resultate in den Ingenieur- und Naturwissenschaften auf fruchtbaren Boden fallen. Beispiele wie Biocomputer und Quantencomputer zeigen zugleich, dass diese Entwicklung auch nachhaltige Auswirkungen auf die Technik hat, die von den neuen Entwicklungen in beträchtlichem Maße profitiert. Es erweist sich, dass Fortschritte in der Technik nicht an Disziplinengrenzen gebunden sind. Technische Herausforderungen erfordern vielmehr eine Bündelung von Kompetenzen aus unterschiedlichen Bereichen.

Ebenso wie die Technik kennt auch die Natur keine Disziplinengrenzen. Die Zerlegung der Natur in einzelne Bereiche, mit denen sich bestimmte Disziplinen auseinandersetzen, ist keine natürliche, sondern eine künstliche, die sich historisch aus mehr oder weniger pragmatischen Gründen ergeben hat. Sie nährt die Hoffnung, dass das Ganze der Natur einer wissenschaftlichen Untersuchung zugänglich wird. Zugleich gibt es Fragestellungen, die sich einer solchen Zerlegung widersetzen. Insofern sind es gerade die transdisziplinären Forschungsprogramme und die disziplinenübergreifenden (Struktur-)Wissenschaften, die den alten Gedanken einer Einheit der Natur wieder mit Leben füllen.

Man mag fragen, ob die gegenwärtige fachliche und disziplinäre Ordnung langfristig Bestand hat. In dem Maße, in dem transdisziplinär orientierte Aufgaben wachsen, werden die fachlichen und disziplinären Grenzen blass, verlieren sie ihre alte Bedeutung vor dem Hintergrund einer überkommenen Wissenschaftssystematik. Vielleicht erweist es sich auch als sinnvoll, neue Disziplinen (z.B. Nanoscience) zu begründen und einige Fächer und Disziplinen in einer sich verändernden Forschungssituation ganz fallen zu lassen. Eine solche Entwicklung erscheint jedoch wenig plausibel, zumal es sich als sehr effizient erweist, aus den gegebenen Fächern und Disziplinen Experten zur Bearbeitung eines neuen Problemkomplexes zusammenzuführen. Das mag auf einer institutionellen Basis, wie etwa

im Falle des Center for Nanoscience (CeNS) der Universität München, geschehen oder in einer lockeren Form von Zusammenarbeit. In jedem Fall wird es in Zukunft unter konkreten Problemstellungen verstärkt zu wechselnden Kooperationen unter den Wissenschaften kommen. Starke Disziplinen sind in diesem Zusammenhang eine notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche transdisziplinäre Arbeit. Aufgrund ihrer methodischen und inhaltlichen Breite ist die Physik hier wiederum ein idealer Partner für andere Disziplinen.

Die Physik wird daher auch in Zukunft ihre Rolle als methodische Leitdisziplin wahren, und zwar in dreierlei Hinsicht: Erstens sind und bleiben die Untersuchungsmethoden und Beurteilungsstandards der Physik, d.h. die methodischen Kriterien der Physik im engeren Sinne, ein wesentlicher Leitfaden naturwissenschaftlicher Forschung. Zweitens bildet die physikalische Theoriebildung einen Maßstab für jede theoretische Forschung überhaupt. Und drittens wird auch in Zukunft die Forschung in anderen Disziplinen mithilfe von (Meß-)Instrumenten durchgeführt, die von der Physik für (zunächst) allein physikalische Problemstellungen entwickelt wurden (z.B. NMR-Methoden, Lithographie etc.). Im übrigen werden die Grenzen zwischen den Fächern und Disziplinen zunehmend offener; Methoden aus einer Disziplin werden verstärkt von anderen Disziplinen aufgegriffen werden. Die zuvor beschriebene Rolle als weltbildkonstituierende Wissenschaft wird sich die Physik dabei in Zukunft wohl mit anderen Disziplinen teilen, z.B. mit der Biologie, doch wird sie auch in dieser Verbindung, eben als Leitdisziplin im beschriebenen Sinne, theoretische und methodische Grundlage der Naturwissenschaften bleiben.