

Unverkäufliche Leseprobe aus:

Lisa Randall
Die Vermessung
des Universums

Wie die Physik von Morgen
den letzten Geheimnissen
auf der Spur ist

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Text und Bildern,
auch auszugsweise, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlags
urheberrechtswidrig und strafbar. Dies gilt insbesondere
für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung
in elektronischen Systemen.

© S. Fischer Verlag GmbH, Frankfurt am Main

Kapitel 1

Was für dich so klein ist, ist für mich so groß

Unter den vielen Gründen für meine Entscheidung, Physik zu studieren, gab es den Wunsch, etwas zu tun, das eine bleibende Wirkung hätte. Wenn ich so viel Zeit, Energie und Engagement investieren würde, dann für etwas mit Anspruch auf Dauer und Wahrheit. Wie die meisten Menschen betrachtete ich naturwissenschaftliche Fortschritte als Ideen, die den Test der Zeit bestehen.

Meine Freundin Anna Christina Büchmann studierte Englisch am College, während ich Physik im Hauptfach studierte. Ironischerweise studierte sie aus demselben Grund Literatur, der mich zur Mathematik und Naturwissenschaft hinzog. Sie liebte es, wie eine erkenntnisreiche Geschichte die Jahrhunderte überdauerte. Als ich viele Jahre später mit ihr über Henry Fieldings Roman *Tom Jones* sprach, erfuhr ich, dass die Ausgabe, die ich gelesen und die mir durch und durch gefallen hatte, diejenige war, die sie mit Anmerkungen zu versehen half, als sie ihr Aufbaustudium absolvierte.¹

Tom Jones wurde vor 250 Jahren veröffentlicht, doch die Themen des Romans und sein Witz finden bis zum heutigen Tag Anklang. Auf meiner ersten Japanreise las ich die weitaus ältere *Geschichte vom Prinzen Genji* und bewunderte ebenfalls die Unmittelbarkeit seiner Charaktere trotz der tausend Jahre, die vergangen sind, seit Murasaki Shikibu über sie schrieb. Homer schuf die *Odysee* etwa zweitausend Jahre früher. Doch trotz ihres ganz verschiedenen Zeitalters und Kontexts genießen wir auch weiterhin die Erzählung von Odysseus' Reise und ihre zeitlose Beschreibung der menschlichen Natur.

Naturwissenschaftler lesen selten solche alten – geschweige denn antiken – naturwissenschaftlichen Texte. Gewöhnlich überlassen wir das den Historikern und Literaturkritikern. Dennoch wenden wir das Wissen an, das über die Zeit hinweg erworben wurde, sei es von Newton im 17. Jahrhundert oder von Kopernikus noch mehr als hundert Jahre früher. Wir mögen zwar die Bücher selbst vernachlässigen, aber wir achten sorgfältig darauf, die wichtigen Gedanken, die sie möglicherweise enthalten, zu bewahren.

Die Naturwissenschaft besteht gewiss nicht in der statischen Feststellung universaler Gesetze, von denen wir alle in der Grundschule hören. Auch ist sie keine Sammlung willkürlicher Regeln. Die Naturwissenschaft ist ein sich entwickelnder Wissensbestand. Viele der Ideen, die wir gegenwärtig erforschen, werden sich als falsch oder unvollständig erweisen. Naturwissenschaftliche Beschreibungen verändern sich gewiss, wenn wir die Grenzen überschreiten, die dasjenige umschreiben, was wir wissen, und uns in entferntere Gebiete begeben, wo wir Hinweise auf die darüber hinaus existierenden, tieferen Wahrheiten erhaschen können.

Das Paradox, mit dem Naturwissenschaftler sich auseinandersetzen müssen, liegt darin, dass wir häufig Ideen erforschen, zu deren Veränderung oder Aufgabe uns experimentelle Daten oder ein besseres Verständnis zwingen werden, während wir zugleich Dauerhaftigkeit anstreben. Der solide Kern von Wissen, das geprüft wurde und auf das man sich bisher verlassen hat, wird immer von einer undeutlichen Grenze an Ungewissheiten umgeben, die Gegenstand der gegenwärtigen Forschung sind. Die Ideen und Vorschläge, die uns heute begeistern, werden bald vergessen sein, wenn sie schon morgen von überzeugenderen oder umfassenderen experimentellen Arbeiten für ungültig erklärt werden.

Als der republikanische Präsidentschaftskandidat von 2008, Mike Huckabee, sich auf die Seite der Religion gegen die Naturwissenschaft stellte – zum Teil weil naturwissenschaftliche »Überzeugungen« sich ändern, während die Christen als ihre Autorität einen ewigen, unveränderlichen Gott anerkennen –, sah er die Sache nicht völlig falsch, zumindest seiner Auffassung nach. Das Universum entwickelt sich, und unser naturwissenschaftliches Wissen, das wir ihm abgewinnen, entwickelt sich ebenfalls. Mit der Zeit schälen die Naturwissenschaftler Schichten der Wirklichkeit ab, um das freizulegen, was sich unter der Oberfläche verbirgt. Wir erweitern und bereichern unser Verständnis in dem Maße, in dem wir zunehmend entfernte Größenmaßstäbe erkunden. Das Wissen macht Fortschritte, und das unerforschte Gebiet weicht zurück, wenn wir diese schwer zugänglichen Abstände erreichen. Naturwissenschaftliche »Überzeugungen« entwickeln sich dann im Einklang mit unserem erweiterten Wissen.

Trotzdem geben wir die Theorien, die erfolgreiche Vorhersagen im Hinblick auf die Entfernungen und Energien oder Geschwindigkeiten und Dichten machten, die uns in der Vergangenheit zugänglich waren, nicht unbedingt auf, selbst wenn eine bessere Technik ein breiteres Spektrum von Beobachtungen ermöglicht. Naturwissenschaftliche Theorien

wachsen und werden erweitert, um ein größeres Wissen aufzunehmen, während sie die zuverlässigen Teile von Gedanken beibehalten, die vorausgingen. Dadurch baut die Naturwissenschaft das alte, bewährte Wissen in das umfassendere Bild ein, das sich aus einem weiteren Spektrum von experimentellen und theoretischen Beobachtungen ergibt. Solche Veränderungen bedeuten nicht unbedingt, dass die alten Regeln falsch sind, aber sie können z. B. bedeuten, dass diese Regeln nicht mehr auf kleinere Größenverhältnisse, bei denen neue Bestandteile entdeckt wurden, anwendbar sind. So kann das Wissen zwar alte Ideen annehmen, aber sich doch über die Zeit hinweg erweitern, obwohl sehr wahrscheinlich immer etwas zu erforschen übrigbleiben wird. Genauso wie das Reisen fesselnd sein kann – auch wenn Sie nie jeden Ort auf der Erde (geschweige denn im Kosmos) besuchen werden –, bereichert auch unser wachsendes Verständnis der Materie und des Weltalls unsere Existenz. Das verbleibende Unbekannte dient zur Anregung weiterer Forschung.

Mein eigenes Forschungsgebiet der Elementarteilchenphysik untersucht zunehmend kleinere Abstände, um immer kleinere Bestandteile der Materie zu erforschen. Die gegenwärtige experimentelle und theoretische Forschung versucht freizulegen, was die Materie verbirgt – das, was immer tiefer in sie eingebettet ist. Aber trotz der häufig gebrauchten Analogie ist die Materie nicht einfach wie eine russische Matroschka-Puppe, bei der sich ähnliche Elemente in immer kleineren Größenmaßstäben wiederholen. Was die Erforschung immer winzigerer Skalen interessant macht, ist die Tatsache, dass sich die Regeln ändern können, wenn wir neue Regionen erreichen. Neue Kräfte und Wechselwirkungen können bei diesen Größenverhältnissen auftreten, deren Wirkung zu klein war, um sie bei den größeren Abständen festzustellen, die zuvor untersucht wurden.

Der Begriff des Maßstabs, der den Physikern den Bereich von Größen oder Energien angibt, die für jede einzelne Untersuchung relevant sind, ist für das Verständnis des naturwissenschaftlichen Fortschritts entscheidend – sowie für viele andere Aspekte der uns umgebenden Welt. Indem wir das Universum in verschiedene verstehbare Größen einteilen, erfahren wir, dass die Gesetze der Physik, die die Realität am besten beschreiben, nicht unbedingt für alle Prozesse dieselben sind. Wir müssen Begriffe, die besser auf einen bestimmten Größenmaßstab zutreffen, mit denen verbinden, die bei einem anderen nützlicher sind. Wenn wir auf diese Weise kategorisieren, können wir alles, was wir wissen, in ein widerspruchsfreies Bild einfügen, während es uns gestattet, radikale Ver-

änderungen bei Beschreibungen auf verschiedenen Längenskalen vorzunehmen.

In diesem Kapitel werden wir sehen, wie die Einteilung nach den Größenmaßstäben – welcher Maßstab auch immer relevant sein mag – bei der Klärung unseres Denkens hilft, und zwar sowohl des naturwissenschaftlichen als auch des sonstigen, und warum die subtilen Eigenschaften der Bausteine der Materie auf Skalen, mit denen wir in unserem Alltagsleben zu tun haben, so schwer zu bemerken sind. Dabei geht dieses Kapitel auch näher auf die Bedeutung von »Richtig« oder »Falsch« mit Bezug auf die Naturwissenschaft ein und auf die Frage, warum selbst scheinbar tiefgreifende Entdeckungen nicht unbedingt drastische Veränderungen im Bereich der Größenmaßstäbe erzwingen, mit denen wir bereits vertraut sind.

Es ist unmöglich

Allzu häufig verwechselt man sich entwickelndes naturwissenschaftliches Wissen mit überhaupt keinem Wissen und hält eine Situation, in der wir neue physikalische Gesetze entdecken, für das völlige Fehlen zuverlässiger Regeln. Ein Gespräch mit dem Drehbuchautor Scott Derrickson während eines kürzlichen Besuchs in Kalifornien half mir dabei, den Ursprung einiger dieser Missverständnisse herauszuschälen. Zu jener Zeit arbeitete Scott an ein paar Filmszenarien, die mögliche Verbindungen zwischen der Naturwissenschaft und Phänomenen darstellten, von denen er glaubte, dass Naturwissenschaftler sie wahrscheinlich als übernatürlich abtun würden. Da Scott ein starkes Interesse daran hatte, größere Schnitzer zu vermeiden, wollte er seinen phantasievollen Ideen für die Geschichten dadurch naturwissenschaftlich absichern lassen, dass er sie von einem Physiker prüfen ließ – nämlich von mir. Wir trafen uns also zum Mittagessen in einem Straßencafé, um unsere Gedanken auszutauschen und gemeinsam das Vergnügen eines sonnigen Nachmittags in Los Angeles zu genießen.

In dem Bewusstsein, dass Drehbuchautoren die Naturwissenschaft häufig falsch darstellen, wollte Scott also seine besonderen Geister- und Zeitreisegeschichten mit einem angemessenen Maß an naturwissenschaftlicher Glaubwürdigkeit schreiben. Die besondere Herausforderung, mit der er als Drehbuchautor konfrontiert war, bestand in seinem Bedürfnis, seinem Publikum nicht nur interessante neue Phänomene zu

bieten, sondern auch solche, die sich wirkungsvoll auf eine Kinoleinwand übersetzen ließen. Obwohl er keine naturwissenschaftliche Ausbildung besitzt, hat Scott eine schnelle Auffassungsgabe und ist empfänglich für neue Ideen. Also erklärte ich ihm, warum trotz des Einfallsreichtums und des Unterhaltungswerts einiger seiner Handlungen die Beschränkungen der Physik sie aus naturwissenschaftlicher Sicht als unhaltbar erscheinen ließen.

Scott antwortete, dass Naturwissenschaftler schon häufig bestimmte Phänomene für unmöglich gehalten haben, die sich später als wirklich herausstellten. »Haben die Naturwissenschaftler nicht früher bezweifelt, was uns die Relativitätstheorie heute sagt?« »Wer hätte je gedacht, dass der Zufall irgendeine Rolle in grundlegenden physikalischen Gesetzen spielt?« Trotz seines großen Respekts vor der Naturwissenschaft fragte sich Scott immer noch, ob die Naturwissenschaftler – angesichts des sich entwickelnden Wesens der Naturwissenschaft – sich nicht manchmal über die Implikationen und Begrenztheiten ihrer Entdeckungen irrten.

Manche Kritiker gehen sogar noch weiter und behaupten, dass, obwohl Naturwissenschaftler eine Menge vorhersagen können, die Zuverlässigkeit dieser Vorhersagen stets zweifelhaft sei. Ungeachtet naturwissenschaftlicher Belege beharren Skeptiker darauf, dass es immer einen Haken oder eine Lücke geben könnte. Vielleicht könnten Menschen von den Toten zurückkehren oder zumindest durch ein Portal in das Mittelalter oder zur Mittel Erde reisen. Diese Zweifler trauen einfach den Behauptungen der Naturwissenschaft nicht, dass etwas ein für alle Mal unmöglich ist.

Trotz der vernünftigen Einstellung, einen offenen Geist zu wahren und zu erkennen, dass neue Entdeckungen auf uns warten, verbirgt sich in dieser Logik jedoch ein tiefer Fehlschluss. Das Problem wird deutlich, wenn wir die Bedeutung solcher Behauptungen wie der oben gemachten analysieren und insbesondere den Begriff des Maßstabs anwenden. Diese Fragen ignorieren die Tatsache, dass wir, obwohl es immer unerforschte Entfernung- oder Energiebereiche geben wird, in denen die Gesetze der Physik sich ändern könnten, die Gesetze der Physik bezogen auf menschliche Größenmaßstäbe äußerst gut kennen. Im Laufe der Jahrhunderte hatten wir ausgiebig Gelegenheit, diese Gesetze zu prüfen.

Als ich der Choreographin Elizabeth Streb im Whitney Museum begegnete, wo wir beide auf einem Podium über das Thema Kreativität sprachen, unterschätzte sie ebenfalls die Widerstandsfähigkeit naturwissenschaftlichen Wissens bezogen auf menschliche Größenmaßstäbe. Eli-

zabeth stellte eine Frage, die jenen ähnlich war, die Scott gestellt hatte: »Könnten die winzigen Dimensionen, die von Physikern vorgestellt werden und zu einer unvorstellbar kleinen Größe eingerollt sind, nicht trotzdem die Bewegung unserer Körper beeinflussen?«

Ihre Arbeit ist wunderbar, und ihre Untersuchungen der Grundvoraussetzungen von Tanz und Bewegung sind faszinierend. Aber der Grund, warum wir nicht bestimmen können, ob neue Dimensionen existieren oder was ihre Rolle wäre, wenn es sie gäbe, ist gerade, dass sie für uns zu klein oder zu unkenntlich sind, als dass wir sie entdecken könnten. Damit meine ich, dass wir ihren Einfluss auf irgendeine Größe, die wir bislang beobachten konnten, noch nicht festgestellt haben, selbst nicht durch extrem detaillierte Messungen. Nur wenn die Auswirkungen von Extra-Dimensionen auf physikalische Phänomene erheblich größer wären, könnten sie auf wahrnehmbare Weise die Bewegung irgendeiner Person beeinflussen. Und wenn sie einen solchen bedeutenden Einfluss hätten, hätten wir ihre Wirkungen auch schon beobachtet. Deshalb wissen wir, dass die Grundlagen der Choreographie sich nicht ändern werden, auch wenn sich unser Verständnis der Quantengravitation verbessert. Ihre Wirkungen sind viel zu gering im Verhältnis zu allem, was in einem menschlichen Größenmaßstab wahrnehmbar ist.

Wenn sich Naturwissenschaftler in der Vergangenheit irrten, dann häufig deshalb, weil sie ganz kleine oder große Entfernungen oder extrem hohe Energien oder Geschwindigkeiten noch nicht untersucht hatten. Das hieß nicht, dass sie sich wie Technikfeinde gegenüber der Möglichkeit des Fortschritts verschlossen hatten. Es bedeutete nur, dass sie ihren allerneuesten mathematischen Beschreibungen der Welt und ihren erfolgreichen Vorhersagen der bislang beobachtbaren Gegenstände und Verhaltensweisen Vertrauen schenkten. Phänomene, die sie für unmöglich hielten, konnten manchmal bei Entfernungen oder Geschwindigkeiten auftreten, die sie nie zuvor erlebt oder geprüft hatten – und das taten sie manchmal auch. Aber natürlich konnten sie noch nichts von neuen Ideen und Theorien wissen, die sich letztendlich für den Bereich dieser winzigen Entfernungen oder gewaltigen Energien, mit denen sie noch nicht vertraut waren, durchsetzen würden.

Wenn wir Naturwissenschaftler sagen, dass wir etwas wissen, meinen wir nur, dass wir bestimmte Ideen und Theorien haben, deren Vorhersagen über einen bestimmten Bereich von Entfernungen und Energien gut geprüft wurden. Diese Ideen und Theorien sind nicht unbedingt die ewigen Gesetze für alle Zeiten oder die grundlegendsten physikalischen

Gesetze. Sie sind Regeln, die so gut zutreffen, wie es für jedes beliebige Experiment zu prüfen möglich ist, nämlich über den Bereich von Parametern, die der gegenwärtigen Technik zur Verfügung stehen. Das bedeutet nicht, dass diese Gesetze niemals von neuen überholt werden. Newtons Gesetze sind hilfreich und korrekt, aber sie treffen bei oder nahe der Lichtgeschwindigkeit nicht mehr zu, wo Einsteins Theorie gilt. Newtons Gesetze sind zugleich sowohl korrekt als auch unvollständig. Sie gelten für einen begrenzten Bereich.

Das weiter fortgeschrittene Wissen, das wir durch bessere Messungen gewinnen, ist in Wirklichkeit eine Verbesserung, die ein Licht auf neue und verschiedene zugrunde liegende Begriffe wirft. Wir kennen viele Phänomene, die die Menschen der Antike mit ihren begrenzten Beobachtungstechniken nicht ableiten oder entdecken konnten. Insofern hatte Scott recht, dass die Naturwissenschaftler sich manchmal geirrt haben und Phänomene für unmöglich hielten, die sich am Ende als vollkommen wirklich erwiesen. Aber das bedeutet nicht, dass es keine Regeln gibt. Geister und Zeitreisende werden nicht in unseren Wohnungen auftauchen, und Aliens werden nicht plötzlich aus unseren Wänden hervortreten. Extra-Dimensionen des Raumes könnten existieren, aber sie müssten winzig oder verzerrt oder auf eine andere Weise verborgen sein, damit wir erklären können, warum sie noch keinen wahrnehmbaren Beleg für ihre Existenz gezeitigt haben.

Es mag in der Tat exotische Phänomene geben. Aber solche Phänomene werden nur in Größenmaßstäben auftreten, die schwer zu beobachten sind und die sich zunehmend weit entfernt von unserem intuitiven Verstehen und unseren gewöhnlichen Wahrnehmungen befinden. Wenn sie für immer unzugänglich bleiben, sind sie für Naturwissenschaftler nicht besonders interessant. Und sie sind auch weniger interessant für Autoren erfundener Geschichten, wenn sie keine beobachtbare Wirkung auf unser Alltagsleben haben.

Es sind zwar sonderbare Dinge möglich, aber diejenigen, für die sich Nichtphysiker verständlicherweise am meisten interessieren, sind solche, die wir beobachten können. Wie Steven Spielberg in einer Diskussion über einen Science-Fiction-Film sagte, den er in Erwägung zog: Eine seltsame Welt, die nicht auf einer Filmleinwand dargestellt werden kann – und welche die Figuren in dem Film nie erleben würden –, ist für den Zuschauer nicht besonders interessant. (Abbildung 1 belegt das auf amüsante Weise.) Nur eine neue Welt, zu der wir Zugang haben und die wir bewusst wahrnehmen können, könnte interessant sein. Obwohl beide

Vorstellungsvermögen erfordern, unterscheiden sich abstrakte Ideen und erfundene Geschichten und haben verschiedene Ziele. Naturwissenschaftliche Ideen könnten für Bereiche gelten, die zu weit weg sind, um für einen Film oder für unsere Alltagsbeobachtungen von Interesse zu sein. Dennoch sind sie für unsere Beschreibung der physikalischen Welt wesentlich.



Abb. 1: Ein XKCD-Comic, der das verborgene Wesen winziger, eingerollter Dimension zum Ausdruck bringt.

Falsche Abzweigungen

Trotz dieser deutlichen Trennung durch verschiedene Entfernungen nehmen Menschen häufig Abkürzungen, wenn sie versuchen, schwierige Naturwissenschaft und die Welt zu verstehen. Und das kann leicht zu einer übereifrigen Anwendung von Theorien führen. Eine solche Fehlanwendung von Naturwissenschaft ist nicht neu. Im 18. Jahrhundert, als Naturwissenschaftler eifrig den Magnetismus in ihren Laboratorien untersuchten, beschworen andere die Vorstellung des »animalischen Magnetismus« herauf – eine vermutete magnetische »Lebensflüssigkeit« in Lebewesen. Ein französischer königlicher Ausschuss, der 1784 von Ludwig XVI. eingesetzt wurde und unter anderen Benjamin Franklin einschloss, war notwendig, um diese Vermutung ausdrücklich als Mythos zu entlarven.

Heute kommen solche irregeleiteten Extrapolationen eher im Zusammenhang mit der Quantenmechanik vor – wenn manche Leute versuchen, sie in makroskopischen Größenordnungen anzuwenden, wo ihre Konsequenzen sich ausmitteln und keine messbaren charakteristischen Signaturen hinterlassen.² Es ist beunruhigend, wie viele Menschen sol-

chen Ideen vertrauen, wie sie z. B. in Rhonda Byrnes Bestseller *Das Geheimnis* dargestellt sind, in dem es darum geht, wie positive Gedanken Wohlstand, Gesundheit und Glück anziehen. Genauso beunruhigend ist Byrnes Behauptung: »In der Schule habe ich zwar nie Naturwissenschaft oder Physik gelernt, aber als ich schwierige Bücher über Quantenphysik las, habe ich sie vollkommen verstanden, weil ich sie verstehen wollte. Das Studium der Quantenphysik half mir dabei, ein tieferes Verständnis *des Geheimnisses* auf der Ebene der Energie zu erlangen.«

Wie sogar der Nobelpreisgewinner und Pionier der Quantenmechanik Niels Bohr bemerkte: »Wenn Sie von der Quantenmechanik nicht völlig verwirrt werden, verstehen Sie sie nicht.« Folgendes ist ein weiteres Geheimnis (das zumindest genauso wohlgehütet ist wie die Geheimnisse in einem Bestseller): Die Quantenmechanik ist berüchtigt dafür, dass sie missverstanden wird. Unsere Sprache und Intuition leiten sich vom *klassischen Denken* her, das die Quantenmechanik nicht berücksichtigt. Aber das bedeutet nicht, dass jedes absonderliche Phänomen auf der Grundlage der Quantenlogik möglich ist. Selbst ohne ein grundlegendes, tieferes Verständnis wissen wir, wie sich die Quantenmechanik verwenden lässt, um Vorhersagen zu machen. Die Quantenmechanik wird gewiss nie Byrnes »Geheimnis« bezüglich des sogenannten Prinzips der Anziehung zwischen Menschen und entfernten Dingen oder Phänomenen erklären. Bei diesen großen Entfernungen spielt die Quantenmechanik keine messbare Rolle. Aus diesem Grund hat die Quantenmechanik nichts mit vielen der extrem verlockenden Ideen zu tun, die man ihr häufig zuschreibt. Ich kann ein Experiment nicht dadurch beeinflussen, dass ich es anstarre, die Quantenmechanik bedeutet nicht, dass es keine zuverlässigen Vorhersagen gibt, und die meisten Messungen werden durch praktische Begrenzungen, und nicht durch das Unbestimmtheitsprinzip eingeschränkt.

Solche Fehlschlüsse waren das Hauptthema in einem überraschenden Gespräch, das ich mit Mark Vicente führte, dem Regisseur des Films *What the Bleep do we (k)now!?* – ein Film, der der Fluch der Naturwissenschaftler ist –, in dem verschiedene Personen behaupten, dass der Einfluss des Menschen sich auf Experimente auswirkt. Ich war mir nicht sicher, wohin dieses Gespräch führen würde, aber ich konnte Zeit erübrigen, da ich mich mehrere Stunden auf der Rollbahn des Flughafens Dallas / Fort Worth befand und auf Mechaniker wartete, die eine Delle im Flügel reparieren sollten (welche zuerst als zu klein, um Auswirkungen zu haben, beschrieben wurde – aber dann »mit technischen Geräten« ge-

messen wurde, bevor das Flugzeug abheben konnte, wie ein Mitglied der Crew uns nützlicherweise erklärte).

Aber auch mit dieser Verzögerung wurde mir klar, dass, wenn ich überhaupt mit Mark sprechen würde, ich wissen musste, wie er zu seinem Film stand – mit dem ich aufgrund der zahlreichen Leute in meinen Vorlesungen vertraut war, die mir anhand dessen, was sie in ihm gesehen hatten, verrückte Fragen stellten. Marks Antwort überraschte mich. Er hatte eine recht frappierende Kehrtwendung gemacht. Er vertraute mir an, dass er sich der Naturwissenschaft ursprünglich mit vorgefassten Meinungen genähert hatte, die er nicht genug in Frage stellte, dass er jetzt aber sein früheres Denken eher als ein religiöses betrachtete. Schließlich kam Mark zu dem Schluss, dass das, was er in seinem Film dargestellt hatte, keine Naturwissenschaft war. Quantenmechanische Phänomene auf der Ebene des Menschen anzusiedeln, war vielleicht oberflächlich zufriedenstellend für viele Zuschauer, die seinen Film gesehen hatten, aber dadurch wurde es nicht wahr.

Selbst wenn neue Theorien radikal andere Annahmen erfordern – was bei der Quantenmechanik gewiss der Fall war –, bestimmen letztendlich doch gültige naturwissenschaftliche Argumente und Experimente, dass sie wahr sind. Es handelt sich nicht um Zauberei. Die wissenschaftliche Methode in Kombination mit Daten und der Suche nach Sparsamkeit und Widerspruchsfreiheit hatte den Naturwissenschaftlern gezeigt, wie sie ihr Wissen über das hinaus, was bei unmittelbar zugänglichen Größenmaßstäben intuitiv einsichtig ist, auf ganz andere Ideen ausdehnen können, die sich auf Phänomene beziehen, welche der Intuition nicht entsprechen.

Der nächste Abschnitt sagt mehr darüber, wie der Begriff des Maßstabs verschiedene theoretische Begriffe systematisch miteinander verbindet und uns gestattet, sie in ein einheitliches Ganzes einzubauen.