

Instinktive Kenntnis

Wie allseits bekannt, ist der Instinkt ein natürlicher und angeborener Antrieb, der ohne das Zutun von Verstand oder Nachdenken ein bestimmtes Verhalten auslöst. Ein Beispiel sind Reaktionen wie die, den Kopf einzuziehen, wenn uns unversehens ein lautes und nicht zuzuordnendes Geräusch erschreckt. So formuliert, ist schwer nachzuvollziehen, wieso wir zur Schwerkraft einen instinktiven oder irrationalen Bezug haben sollen. Und doch ist dem so.

Wer einmal mit einem Neugeborenen zu tun hatte, hat vielleicht selbst schon den *Moro-Reflex* beobachtet, der nach dem österreichischen Kinderarzt Ernst Moro (1874–1951) benannt ist. Dieser zählt zu den wichtigsten Reflexen von Säuglingen und wird ausgiebig dazu genutzt, um die Funktionstüchtigkeit des Zentralen Nervensystems zu beurteilen. Um ihn auszulösen, hebt man das Neugeborene schon wenige Sekunden nach der Geburt in eine waagrechte Lage und lässt es sanft, aber schnell nach unten sinken. Auf diesen «gefühlten» Verlust seines Halts reagiert der Säugling, indem er auf der Suche nach etwas, an dem er sich festklammern kann, die Arme ausstreckt und die Finger ausspreizt, wie Abbildung 1.1 zeigt.

Aus medizinischer Sicht ist dieser auftretende Reflex ein wichtiger Hinweis darauf, dass das Zentrale Nervensystem des Neugeborenen physiologisch einwandfrei funktioniert. Deswegen sind wir alle einst dieser Überprüfung unterzogen worden. Wer ihr als Elternteil beige-wohnt hat – ich schon dreimal –, kennt sehr gut die sich einstellende Erleichterung, wenn das eigene Kind auf den Reiz richtig reagiert.

Aus anthropologischer Sicht erinnert der Moro-Reflex an unsere Vergangenheit als Primaten, als wir aller Wahrscheinlichkeit nach jederzeit bereit sein mussten, uns an den Schultern unserer Mütter festzuklammern, wenn die Reise weiterging. Aber was hier mehr interessiert, ist die Bedeutung aus physikalischer Sicht. Dass dieser Instinkt schon wenige Sekunden nach der Geburt – wenn wir, noch ganz hilflos, von der Welt um uns herum nichts wissen – in Erscheinung tritt, offenbart tatsächlich etwas Bedeutendes dazu, wie wir auf die Schwerkraft reagieren: Wir sind instinktiv mit ihr vertraut, noch ehe wir mit dem übrigen physischen Universum in eine bewusste Interaktion treten. Nach neun bequem verbrachten Monaten im Mutterleib, in dem wir



Abb. 1.1: Ein Beispiel für den Moro-Reflex: Ein Neugeborenes reagiert instinktiv auf den Verlust des Halts, streckt die Arme aus und versucht, sich an etwas festzuklammern, um seinen Sturz aufzuhalten.

fast gegen alles abgeschottet waren, können wir urplötzlich auf die Schwerkraft reagieren. Das ist keine Kleinigkeit.

Der Moro-Reflex verschwindet nach ungefähr sechs Lebensmonaten. Auch wenn unsere Kenntnis der Schwerkraft teilweise instinkthaft bleibt, verändert sie sich folglich mit der Zeit, wenn wir unsere Fähigkeit weiterentwickeln, das physische Universum zu beobachten und seine Gesetze zu verstehen.

Rationale Kenntnis

Je mehr wir unsere Welterfahrung erweitern und unsere geistigen Fähigkeiten verfeinern, desto stärker verschiebt sich unsere Kenntnis der Schwerkraft weg vom Instinktiven hin zum Rationalen. Sie wird zu einem festen Teil der Erwartungen, die wir den Abläufen in der Welt um uns herum entgegenbringen. Klar nachgewiesen wurde dies anhand einfacher visueller Experimente mit Kleinkindern, denen Trickfilme gezeigt wurden. Obwohl manche der kleinen Probanden noch nicht einmal laufen konnten, zeigten sie schon die Fähigkeit, die Bewegung eines dinglichen Objekts so zu interpretieren, dass ein Schwerfeld auf

es einwirkt. Das klassische Beispiel ist eine Kugel, die über einen Tisch rollt. Die Kinder reagieren – mit Mimik und Augenbewegungen – unterschiedlich, je nachdem, ob die Kugel, wenn sie den Tischrand erreicht hat, entweder herunterfällt oder ihre Bewegung unverändert fortsetzt oder sogar davonfliegt. Dies bestätigt einmal mehr, wie tief die Kenntnis der Gravitation als einer «Kraft» in unserem Verstand verankert ist.

Sie spielt eine grundlegende Rolle bei unserer rationalen Wahrnehmung der Welt, und ebendieser tiefgreifenden Prägung verdankt unser Gehirn seine Fähigkeit, selbst komplexe Probleme, die mit Bewegungsabläufen zu tun haben, in kürzester Zeit – und im Grunde mühelos – zu lösen. Ein einfaches Beispiel ist die Aufgabe, eine Treppe hinabzueilen. Sie stellt Wissenschaftler, die Roboter programmieren, vor größte (und bislang noch unbewältigte) Herausforderungen, aber wir Menschen werden mit ihr fertig, ohne uns überhaupt bewusst mit ihr auseinanderzusetzen. Dabei ist es alles andere als einfach, zu ermitteln, in welcher Abfolge und mit welcher Geschwindigkeit wir die einzelnen Bewegungen ausführen müssen, ohne dass dabei das labile Gleichgewicht zwischen der Gravitation und den verschiedenen anderen einwirkenden Kräften aus der Balance gerät.

Und schließlich hat die Schwerkraft noch eine weitere Eigenschaft, über die sich ein Nachdenken lohnt: ihre Fähigkeit, unsere Fantasie zu beflügeln.

Imaginative Kenntnis

Wenn klar ist, dass wir von der Gravitation eine zugleich instinktive und rationale Kenntnis haben, dann leuchtet wohl ebenso klar ein, dass sie auch auf unsere Fantasie eine unwiderstehliche Anziehungskraft ausübt. Eben weil wir unser gesamtes Leben in einem Schwerfeld zubringen und ihm unterworfen sind, faszinieren uns Szenarien, in denen die Gravitation nur schwach wirkt oder ganz aufgehoben ist. Wer hätte noch nie davon geträumt, sich von einer hohen Felsklippe oder vom Gipfel eines Berges in die Tiefe zu stürzen und ... davonzufliegen? Wer hätte sich noch nie vorgestellt, als Astronaut an Bord der internationalen Raumstation oder als Figur in einem Science-Fiction-Film schwerelos dahinzugleiten. Mir passiert dies oft ... Mit anderen Worten, die Gravi-

tation zieht unsere Aufmerksamkeit auf sich und beflügelt unsere Fantasie, gerade deshalb, weil sie die einzige «Kraft» ist, die wir bewusst erleben und von der wir wissen, wie schwierig es ist, uns ihr zu entziehen. Was, wenn nicht die Fantasie, trieb Newton und später Einstein dazu an, die Gesetze, die die Schwerkraft regieren – auf ganz unterschiedlich Art –, zu erklären?

Auch wenn es für die gewaltige Anziehungskraft, die die Gravitation auf unsere Fantasie ausübt, vielfältige Beispiele gibt, beschränke ich mich auf ein einziges, das ich repräsentativ und leicht nachvollziehbar finde. 2013 drehte der Regisseur Alfonso Cuarón den Film mit dem symbolträchtigen Titel *Gravity*. In den annähernd zwei Stunden, die er dauert, ist von nichts anderem als von der Schwerkraft oder, besser, von deren Abwesenheit die Rede. Aber nur wenige wissen, dass *Gravity* unter den im Herbst herausgekommenen Filmen am ersten Wochenende einen neuen Einnahmenrekord aufstellte. Selbst wenn dieser Erfolg vor allem den beiden Superstars Sandra Bullock und George Clooney in den Hauptrollen zu verdanken sein könnte, spielte meiner Meinung nach dabei auch eine entscheidende Rolle, dass wir uns – ob wir wollen oder nicht – der Schwerkraft und ihrer unwiderstehlichen Faszination nicht entziehen können.

Eine von vier, aber so ganz anders als die anderen

Dies führt uns denn auch zu der Rolle, welche die Schwerkraft innerhalb unseres Naturverständnisses spielt. Wie uns die moderne Physik lehrt, gibt es fundamentale Wechselwirkungen oder Grundkräfte der Physik, die im Kern alle Abläufe im Universum beschreiben: die *elektromagnetische*, die *starke*, die *schwache* und die *gravitative Kraft*.

Der ersten, der elektromagnetischen Wechselwirkung, verdanken Sie es unter anderem, dass Sie dieses Buch lesen können, unabhängig davon, welches Format Sie nutzen. Tatsächlich breiten sich von der Seite, auf die Sie schauen, elektromagnetische Wellen (Photonen oder, einfacher, Licht) aus, die unter anderem auch auf die Netzhaut Ihrer Augen treffen. Dort werden sie in elektrische Signale umgewandelt und über den Sehnerv bis ins Gehirn weitergeleitet, das sie – dank einer vielfältigen Kombination aus elektrischen und chemischen Abläufen –

in die Worte übersetzt, die Sie soeben gelesen haben. Die elektromagnetische Wechselwirkung ist zudem dafür verantwortlich, dass sich die Moleküle, aus denen wir bestehen, verbinden und zusammenhalten können. Ohne sie würden wir als Menschen gar nicht existieren, und unsere Grundbausteine würden sich wie Papierfetzen im Wind zerstreuen. Die Theorien zu dieser Kraft sind wohlbekannt, sowohl in der klassischen Physik (wo die Maxwell-Gleichungen herrschen) als auch in der Quantenphysik, die zur Beschreibung der Elementarteilchen gebraucht wird (mit der Theorie der Quantenelektrodynamik, QED).

Die zweite, die starke Wechselwirkung entfaltet sich dagegen auf der kleinsten uns zugänglichen Skala der Natur, in einer Größenordnung von wenigen Fermi (oder Femtometer): die einiger tausendstel milliardstel Millimeter. Rund hundert Mal stärker als die elektromagnetische wirkt diese Grundkraft der Physik zwischen *Quarks*, also den Teilchen, die zu den Grundbausteinen von Elementarteilchen wie Protonen und Neutronen gehören. Tatsächlich findet diese Wechselwirkung auch auf etwas größeren Skalen statt, nämlich im Inneren der Atomkerne (die im Allgemeinen eine Ausdehnung in der Größenordnung um 10 Fermi haben), wo sie als *starke Atomkraft* bezeichnet wird. In beiden Fällen wird die starke Wechselwirkung durch unterschiedliche Teilchen vermittelt: Im ersten Fall durch sogenannte *Gluonen* und bei der starken Atomkraft durch *Pionen*. Die starke Wechselwirkung ist gleichsam der Leim, der die Atomkerne zusammenhält, von den kleinsten (denen des Wasserstoffs) bis zu den größten (zum Beispiel denen des Urans). Zudem beherrscht sie die sich einstellende Dynamik, wenn zwei Protonen mit nahezu Lichtgeschwindigkeit aufeinandergeschossen werden oder wenn ein Neutronenstern entsteht (wovon im Einzelnen noch in Kapitel 5 die Rede sein wird). Die ausgefeilte Theorie, die diese Wechselwirkung beschreibt, wird als *Quantenchromodynamik* (QCD) bezeichnet. Leider ist es wegen der Komplexität dieser Theorie und der sie beschreibenden Gleichungen häufig schwierig, präzise Vorhersagen zu treffen, insbesondere dann, wenn wie bei den Neutronensternen hohe Energien oder eine große Anzahl an Teilchen beteiligt sind.

Die dritte, die schwache Wechselwirkung, ist für den radioaktiven Zerfall mancher Atomkerne verantwortlich und wirkt zwischen *Leptonen* – eine Klasse von Teilchen, zu der auch die Elektronen als die sicherlich «vertrautesten» der Gruppe gehören – und Quarks. Ihr ist es zu verdanken, dass *Neutrinos* – ultraleichte Teilchen, die bei hoher Dichte