

The book cover is a vibrant collage of scientific and mathematical concepts. At the top, a yellow banner contains the name 'Albert Einsteins'. Below it, a large white banner displays the title 'RELATIVITÄTS-THEORIE' in bold, black, serif capital letters. The central focus is a stylized, cartoonish portrait of Albert Einstein with his characteristic wild white hair and mustache, wearing a dark suit and tie. Surrounding the portrait are several circular diagrams: a sun with rays, an atomic model with a central nucleus and orbiting electrons, a globe with arrows pointing towards it, a diagram of a satellite in orbit, and a diagram of a particle or wave. The background is dark with a grid of white lines and various mathematical symbols and equations, including $G_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$, $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$, $E = mc^2$, Δx , and Δt . The overall design is colorful and detailed, reflecting the complexity of the theory of relativity.

RELATIVITÄTS- THEORIE

Albert Einsteins

von Carl Wilkinson

mit Illustrationen von James Weston Lewis

INSEL

INHALT

4 • WER WAR ALBERT EINSTEIN?

6 • SCHWERKRAFT

8 • ZEIT

10 • RAUM

12 • LICHT

14 • RELATIVITÄT

16 • EINSTEINS WUNDERJAHR: 1905

18 • DIE VIER ARBEITEN

22 • DIE SPEZIELLE RELATIVITÄTSTHEORIE

26 • ZEITDILATATION

28 • DAS ZWILLINGSPARADOXON

30 • LÄNGENKONTRAKTION

32 • DAS 4-D-UNIVERSUM

34 • $E = mc^2$

36 • DIE ALLGEMEINE RELATIVITÄTSTHEORIE

40 • EINSTEINS SELTSAME ENTDECKUNGEN

42 • DIE FORM DES UNIVERSUMS

44 • DER BEWEIS!

46 • DIE VERÖFFENTLICHUNG

48 • DAS PHÄNOMEN EINSTEIN

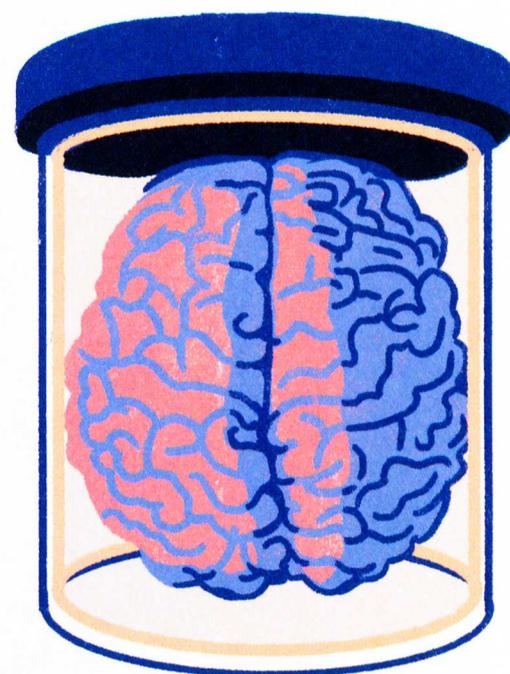
50 • 1921 ERHÄLT EINSTEIN DEN NOBELPREIS

52 • WAS EINSTEINS ENTDECKUNGEN
DER MODERNEN WELT GEBRACHT HABEN

56 • WAS WIR HEUTE WISSEN

60 • WAS KOMMT NACH EINSTEINS
RELATIVITÄTSTHEORIE?

62 • GLOSSAR



WER WAR ALBERT EINSTEIN?

»Würde jeder so ein Leben führen wie ich, bräuchte man keine Romane mehr«, schrieb der 22-jährige Einstein in einem Brief an seine Schwester Maja, vier Jahre bevor er seine Relativitätstheorie veröffentlichte.

Albert Einstein veränderte die Welt. Seine Ideen zum Aufbau unserer Welt – vom winzigsten Atom bis zum Licht der entferntesten Sterne – revolutionierten die Wissenschaft und veränderten unseren Blick auf das Universum.

Sein außergewöhnlicher, rebellischer Charakter stellte die Art und Weise, in der die Menschen über sich und den Planeten, auf dem sie wohnen, nachdachten, auf eine harte Probe.

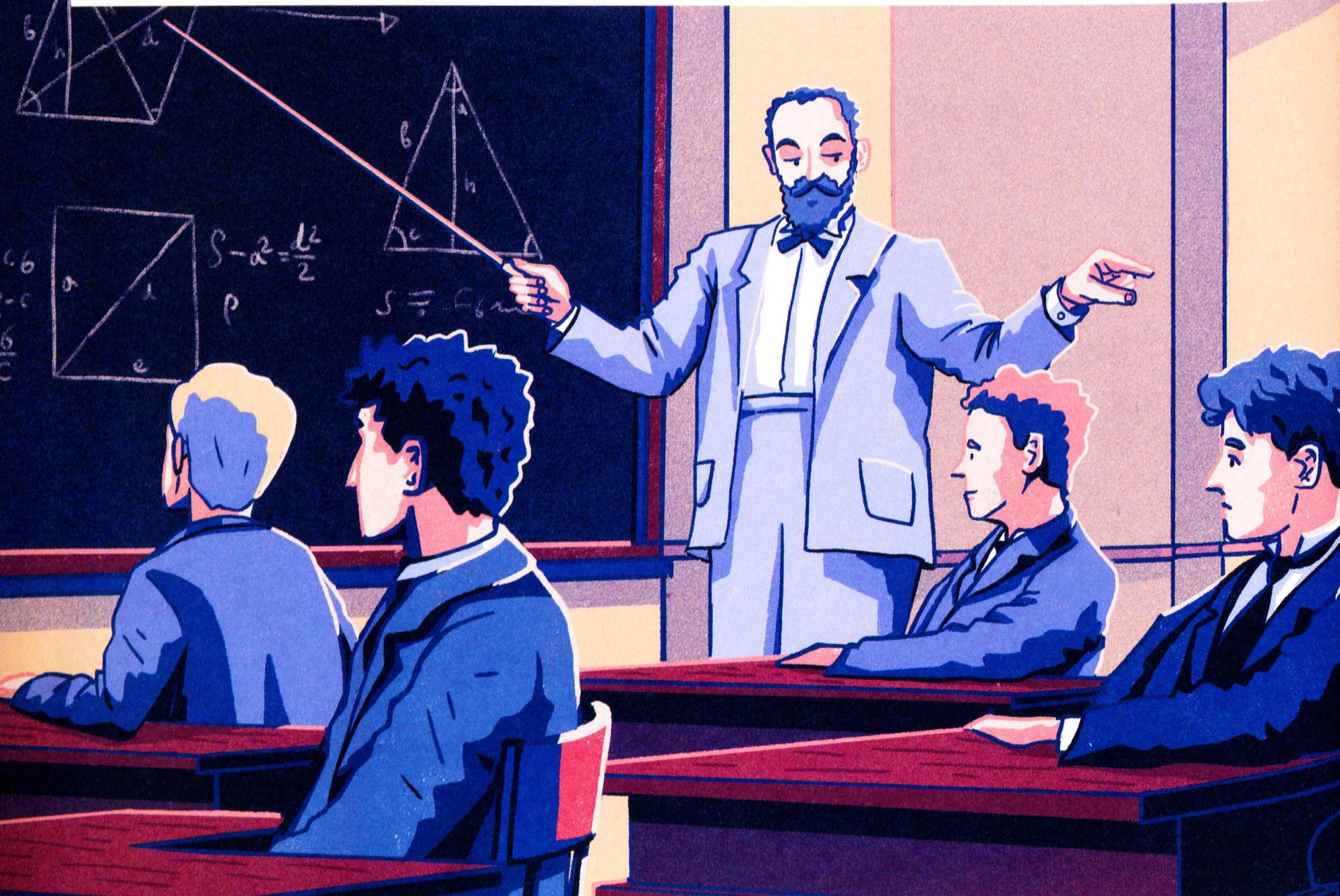
DIE BEIDEN WUNDER

Am 14. März 1879 in der süddeutschen Stadt Ulm geboren, wurde Albert Einstein zu einer der weltweit bekanntesten Persönlichkeiten. Schon in seiner Kindheit zeigte sich sein naturwissenschaftliches Interesse.

Einstein war gerade einmal fünf Jahre alt und lag krank im Bett, da gab ihm sein Vater einen Kompass. Der Junge war fasziniert von der unsichtbaren Kraft, die die Nadel anzog und dafür sorgte, dass diese immer zum Nordpol zeigte, egal in welche Richtung man den Kompass drehte.

Dann, mit zwölf, bekam er ein kleines Buch über Geometrie – die Lehre von der Gestalt, Größe und Position der Dinge –, das er sein »heiliges Geometriebüchlein« nannte.

Einstein sprach von diesen beiden Gegenständen später als von seinen »beiden Wundern«, denn sie entfachten sein Interesse für das »Wie« und »Warum« des Universums und wiesen ihm die ersten Schritte auf dem Weg zu seinen bahnbrechenden Theorien.



GEDANKENEXPERIMENTE

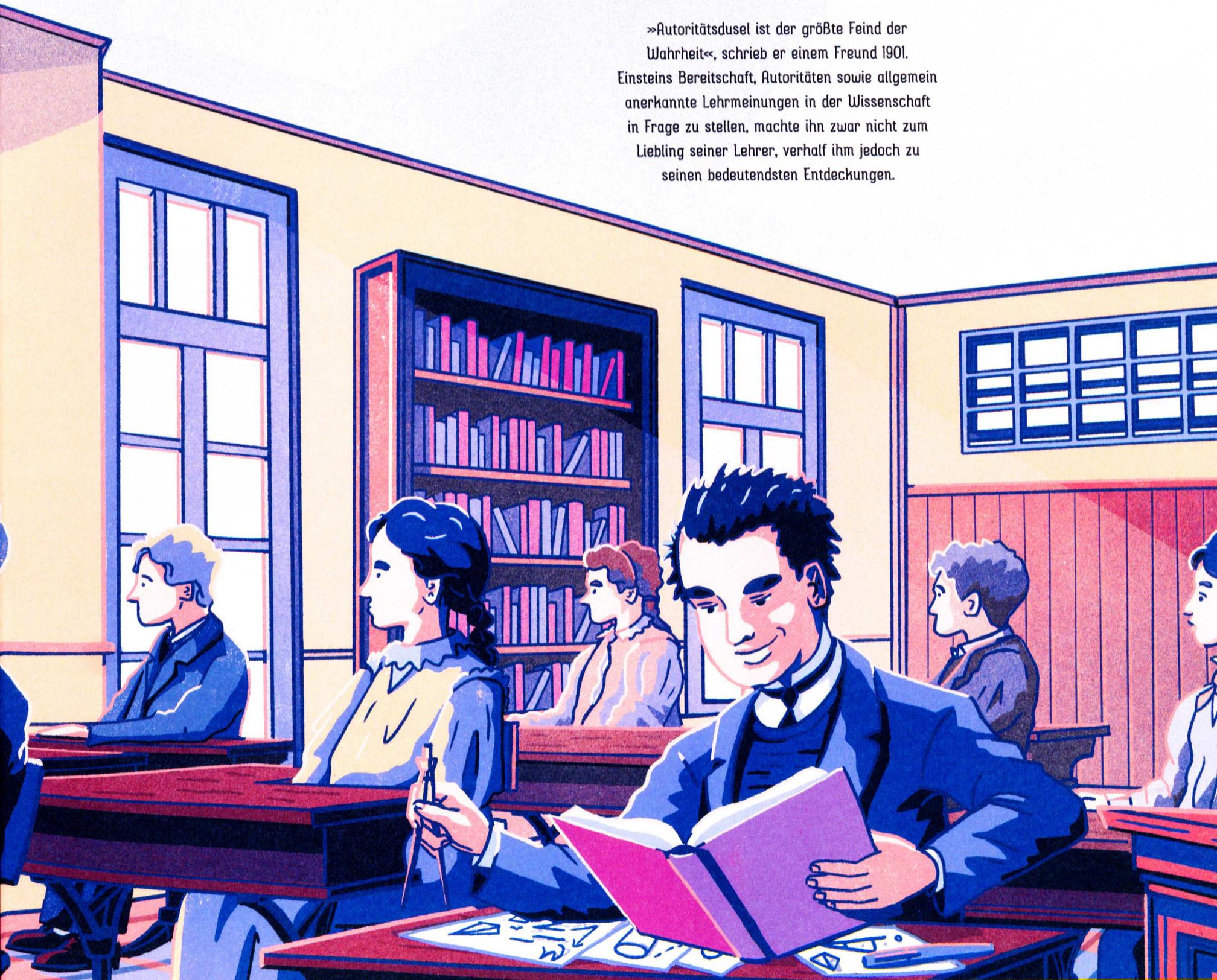
Beim Sprechlernen hinkte Albert Einstein den anderen hinterher. Später sagte er, diese Lernschwierigkeiten hätten ihm wahrscheinlich dazu verholfen, Dingen wie Raum und Zeit, die andere Menschen als selbstverständlich hinnehmen, mit Tagträumen zu begegnen, fast wie ein Kind.

Außerdem dachte er mehr in Bildern als in Worten. Ihm fiel es leichter, sich komplexe Ideengebäude bildlich vor Augen zu führen, als diese in Worte zu fassen.

1895, im Alter von 16 Jahren, besuchte er ein Jahr lang eine Schule in der Schweizer Stadt Aarau, um sich auf sein Studium im Zürcher Polytechnikum (heute ETH) vorzubereiten. Dort lernte er, wie man Gedankenexperimente zur Entwicklung seiner Ideen einsetzen kann – eine Methode, mit deren Hilfe er sich später an die Lösung der bedeutendsten naturwissenschaftlichen Fragen heranwagte.

Albert Einstein war kein guter Schüler, zumindest nach der Meinung vieler seiner Lehrer. Aber in Mathematik leistete er Außergewöhnliches. Schon in der Grundschule löste er aus Spaß an der Freude komplexe Algebra-Aufgaben und wurde Klassenbesten, aber sein rebellisches Verhalten brachte die Lehrer gegen ihn auf. 1894, im Alter von 15 Jahren, flog er sogar von der Schule.

»Autoritätsdusel ist der größte Feind der Wahrheit«, schrieb er einem Freund 1901. Einsteins Bereitschaft, Autoritäten sowie allgemein anerkannte Lehrmeinungen in der Wissenschaft in Frage zu stellen, machte ihn zwar nicht zum Liebling seiner Lehrer, verhalf ihm jedoch zu seinen bedeutendsten Entdeckungen.



SCHWERKRAFT

Wie man zu Einsteins Zeiten darüber dachte

Was sorgt dafür, dass unsere Füße auf dem Boden bleiben? Die Schwerkraft, natürlich. Aber was genau ist das?

Warum die Dinge auf die Erde fallen und unsere Füße nicht vom Boden abheben, beschäftigt Denker und Naturwissenschaftler schon seit mehr als zweitausend Jahren. Eine der ersten Vorstellungen darüber stammt von dem griechischen Philosophen Aristoteles. Er hielt die Erde für den Mittelpunkt des Universums und glaubte, dass alles im Universum sich aus den vier Elementen Erde, Wasser, Luft und Feuer zusammensetzt. Dabei ging er davon aus, dass diese Elemente sich ihren natürlichen Platz suchen: die Erde – als das schwerste von ihnen – in der Mitte, darum herum wie ein Ring das Wasser, dann die Luft und schließlich das Feuer. Außerhalb dieser vier Ringe der Elemente gab es seiner Ansicht nach noch ein fünftes Element, welches den Raum ausfüllt – den geheimnisvollen Äther.

Eine interessante Theorie, auch wenn wir heute wissen, dass sie so nicht stimmt.



DER HAMMER UND DIE FEDER

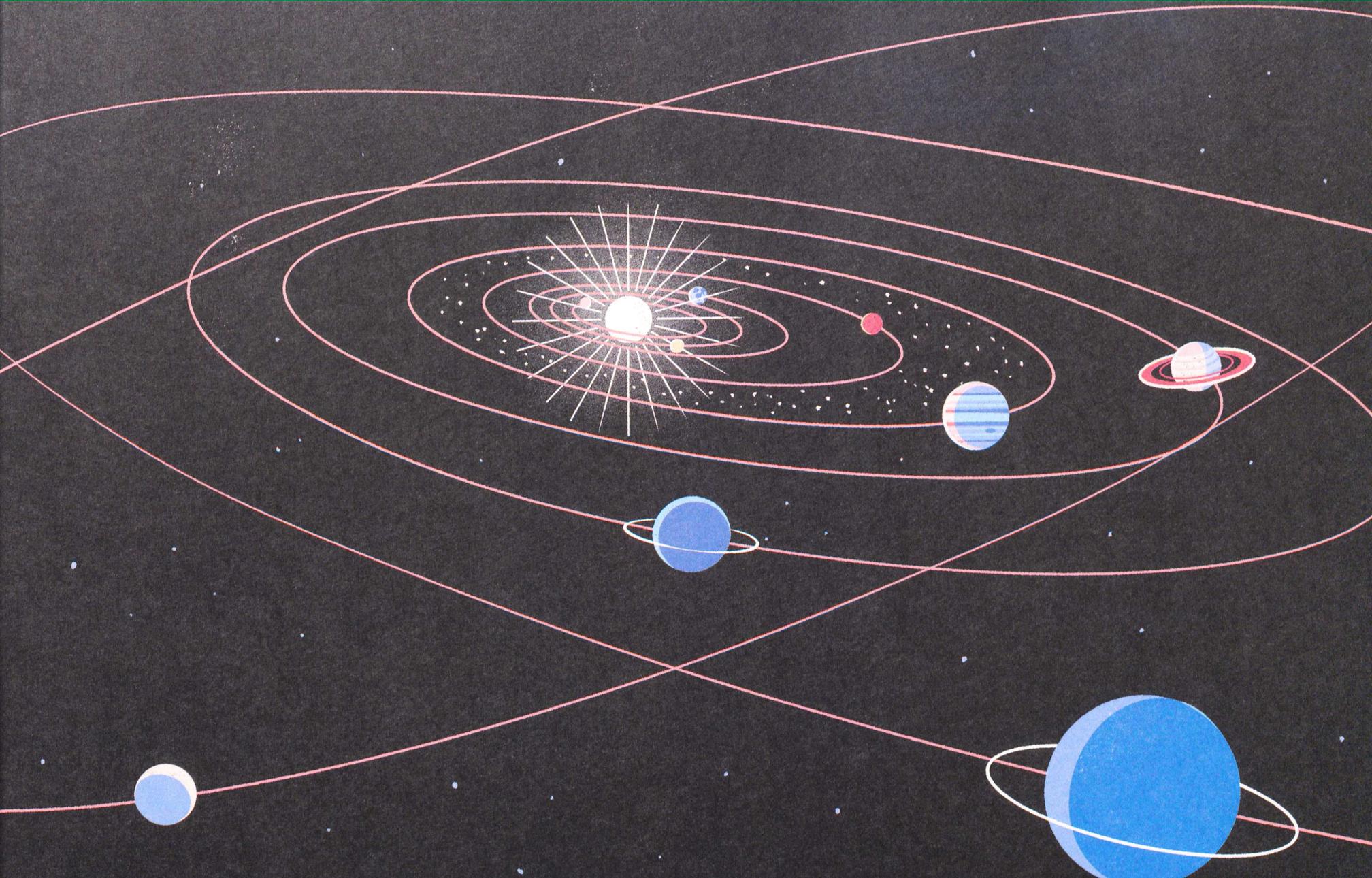
Die nächsten bahnbrechenden Gedanken über die Schwerkraft stammen von dem italienischen Universalgenie Galileo Galilei. Um das Jahr 1590 soll er Kanonenkugeln vom Schiefen Turm von Pisa fallen gelassen haben, um seine Theorie zu beweisen – eine hübsche, wahrscheinlich aber erfundene Geschichte. Auf jeden Fall ließ er Kugeln unterschiedlichen Gewichts eine schiefe Ebene hinunterrollen, maß deren Tempo und widerlegte den griechischen Universalgelehrten Aristoteles, indem er herausfand, dass jedes Ding – egal wie groß oder schwer es ist – gleich schnell von der Schwerkraft angezogen wird.

Das heißt, dass ein schwerer Gegenstand – wie ein Hammer – und ein leichter – wie eine Feder – zur selben Zeit am Boden ankommen, wenn man sie gleichzeitig aus derselben Höhe fallen lässt!

Solltet ihr das allerdings nachmachen, wird die Feder ganz bestimmt länger brauchen als der Hammer, weil sie (wie Galilei feststellte) durch den Luftwiderstand aufgehalten wird.

Fast 400 Jahre später jedoch, 1971, nach der Mondlandung von Apollo 15, wiederholten die Astronauten Galileos Experiment. David Scott, der Kommandant, ließ einen Hammer und eine Falkenfeder aus derselben Höhe herabfallen.

Und obwohl die Feder so viel leichter war als der Hammer, fielen beide mit der gleichen Geschwindigkeit und trafen gleichzeitig auf der Mondoberfläche auf, weil es auf dem Mond keinen Luftwiderstand gibt.



DER FALLENDE APFEL

Etwas mehr als 200 Jahre bevor Einstein seine Relativitätstheorie vorlegte, verfasste der englische Naturwissenschaftler Isaac Newton eines der wichtigsten Bücher über die Prinzipien und Grundlagen des Universums. Dieses Buch mit dem Titel *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (kurz: *Principia*) erschien am 5. Juli 1687. Newtons Entdeckungen waren so bedeutend, dass sie die Grundlage für die »Klassische Mechanik« bildeten, die die Bewegung aller Objekte im Raum beschreibt.

Newton soll die Schwerkraft entdeckt haben, als er unter einem Apfelbaum saß und über das Universum nachdachte. Als ihm plötzlich ein Apfel auf den Kopf fiel, fragte er sich: Wie kommt es, dass Äpfel immer geradewegs nach unten fallen?

Um dieses Problem zu lösen, entwickelte Newton sein Gravitationsgesetz, welches erklärt, warum zwei beliebige Objekte sich gegenseitig anziehen.

Er schrieb: »Ich leitete ab, dass die Kräfte, die die Planeten in ihren Umlaufbahnen halten, dem Quadrat ihrer Abstände von jenen Zentren, um die sie laufen, reziprok sein müssen. Deshalb setzte ich die Kraft, die notwendig ist, den Mond in seiner Bahn zu halten, mit der Schwerkraft auf der Erdoberfläche in Beziehung: und fand, dass sie sich ziemlich genau entsprechen.«

GERINGERE MASSE = GERINGERE KRAFT



MEHR MASSE = MEHR KRAFT



Newton hatte herausgefunden, dass die Stärke der Schwerkraft sowohl von der Masse (oder Menge an Materie) der zwei Objekte abhängt als auch von ihrer Entfernung voneinander. Über je weniger Masse sie verfügen und/oder je weiter sie voneinander entfernt sind, desto geringer ist die Anziehungskraft, die sie aufeinander ausüben.

Kaum zu glauben – aber dank seiner Theorie war es möglich, von der Umlaufbahn des Planeten Uranus erfolgreich auf die Existenz des Planeten Neptun zu schließen. Es gab nur ein Problem: Newtons Theorie bot keine Erklärung für die merkwürdige Umlaufbahn des Merkur. Diese konnte man erst erklären, nachdem Einstein seine Relativitätstheorie entwickelt hatte, die Newtons Ideen und Vorstellungen vervollkommnete.



ZEIT

Wie man zu Einsteins Zeiten darüber dachte

Wie spät ist es gerade? Um diese einfache Frage zu beantworten, braucht ihr nur einen Blick auf eure Uhr zu werfen. Aber das verrät euch bloß die Uhrzeit an eurem aktuellen Aufenthaltsort und nicht, wie spät es gerade auf der gegenüberliegenden Seite der Erde ist. Wie spät ist es also gerade? Und was genau ist mit dieser Frage gemeint?

ABSOLUTE ZEIT

In seinem Buch *Principia* schrieb Newton: »Die absolute, wahre mathematische Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig und ohne Beziehung zu einem Gegenstand.«

Als er 1687 seine drei Gesetze formulierte, ging Newton davon aus, dass es im gesamten Universum eine letztgültige Zeit gibt, die im Hintergrund tickt, egal wo man sich gerade befindet.

Nach Newton würden zwei Uhren für einen bestimmten Vorgang dieselbe Zeit anzeigen, obwohl sich die eine Uhr im Raum und die andere gar nicht bewegt.

Die Zeit, die wir Menschen tatsächlich erleben, nannte Newton die »relative, scheinbare und gewöhnliche Zeit«.

Er glaubte, dass wir den Verlauf der Zeit dadurch erleben, dass wir Objekte wie den Mond und die Sonne über den Himmel ziehen sehen und das Ticken der Uhren vernehmen.

ZEITMESSUNG

Früher war selbst etwas für uns so Selbstverständliches wie eine Stunde nicht festgelegt.

So dauerten die Stunden im Sommer tagsüber länger, da die Zeit zwischen Sonnenaufgang und -untergang einfach durch zwölf geteilt wurde. Im Winter ging die Sonne später auf und früher unter, so dass die Stunden dementsprechend kürzer waren.

Bis zum 18. Jahrhundert las jede Stadt ihre Zeit von lokalen Sonnenuhren ab. Das bedeutete, dass zwischen benachbarten Städten erhebliche Zeitunterschiede auftreten konnten und man seine Uhr anpassen musste, wenn man von einer Stadt in die andere kam.

Als die Städte immer mehr miteinander verbunden wurden, musste man sich über eine gemeinsame Zeit verständigen.



SYNCHRONISATION DER UHREN

Um 1840 führten die Bahngesellschaften in England eine einheitliche Zeit (die sogenannte Eisenbahnzeit) ein, damit man Zugreisen besser planen konnte.

In Deutschland wurde erst 1893 die mittlere Sonnenzeit des fünfzehnten Längengrades östlich von Greenwich (MEZ) als gesetzliche Uhrzeit festgelegt.

Während seiner Zeit am Berner Patentamt – kurz bevor er mit seiner bahnbrechenden Theorie an die Öffentlichkeit trat – bestand eine von Einsteins Hauptaufgaben darin,

Patentanträge für Erfindungen zur Synchronisation von Bahnhofsuhrn entlang der Eisenbahnstrecken zu prüfen.

Diese Erfahrung brachte Einstein dazu, alles,

was wir über die Zeit zu wissen glauben, auf den Kopf zu stellen und die »absolute Zeit« Newtons durch den Begriff der »relativen Zeit« zu ersetzen. »Der Unterschied zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft«, schrieb er später, »ist für uns Wissenschaftler eine Illusion, wenn auch eine hartnäckige.«

»Der Unterschied zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft ist für uns Wissenschaftler eine Illusion, wenn auch eine hartnäckige.«

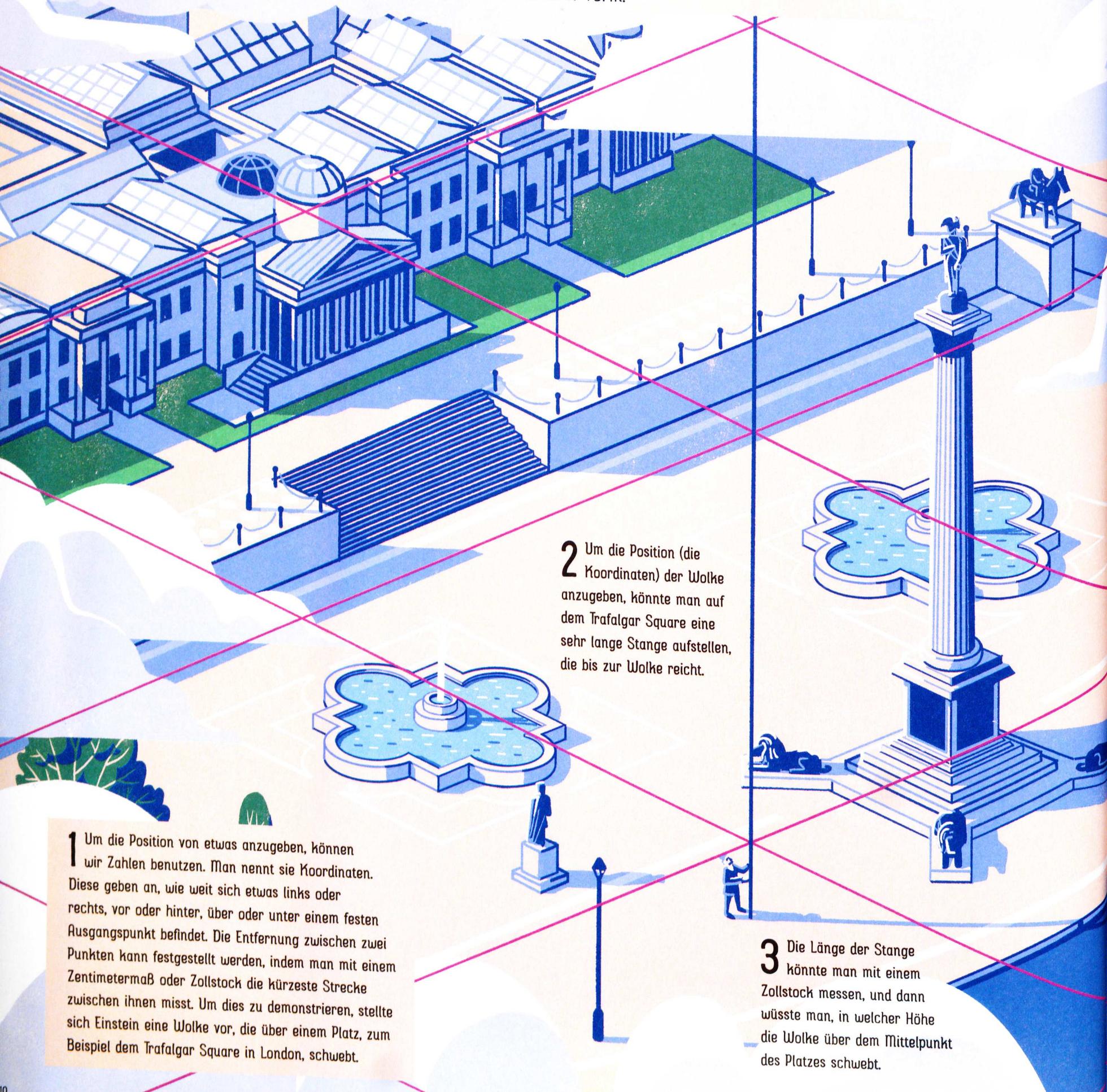
Was also ist Zeit wirklich?

RAUM

Wie man zu Einsteins Zeiten darüber dachte

Wo bist du gerade? Kannst du beschreiben, wo du dich aufhältst, ohne auf Dinge um dich herum zu verweisen? Versuche es einmal.

Nicht nur über die Schwerkraft und die Zeit haben sich Wissenschaftler jahrhundertlang den Kopf zerbrochen, sondern auch über den Raum. So gab es zum Zeitpunkt, als Einstein an seiner Relativitätstheorie arbeitete, ein paar allgemein anerkannte Vorstellungen über die Geometrie. Geometrie – wörtlich »das Vermessen der Erde« – beschäftigt sich mit dem Maß und der Position von Gegenständen, ihrem Verhältnis zueinander sowie mit ihrer Form.



1 Um die Position von etwas anzugeben, können wir Zahlen benutzen. Man nennt sie Koordinaten. Diese geben an, wie weit sich etwas links oder rechts, vor oder hinter, über oder unter einem festen Ausgangspunkt befindet. Die Entfernung zwischen zwei Punkten kann festgestellt werden, indem man mit einem Zentimetermaß oder Zollstock die kürzeste Strecke zwischen ihnen misst. Um dies zu demonstrieren, stellte sich Einstein eine Wolke vor, die über einem Platz, zum Beispiel dem Trafalgar Square in London, schwebt.

2 Um die Position (die Koordinaten) der Wolke anzugeben, könnte man auf dem Trafalgar Square eine sehr lange Stange aufstellen, die bis zur Wolke reicht.

3 Die Länge der Stange könnte man mit einem Zollstock messen, und dann wüsste man, in welcher Höhe die Wolke über dem Mittelpunkt des Platzes schwebt.

»Der Mensch ist ein Teil des Ganzen,
das wir Universum nennen, ein in
Raum und Zeit begrenzter Teil.«
– Einstein

4 Was die Anwendung eines Koordinatensystems angeht, schrieb Einstein: »Jede Beschreibung von Ereignissen im Raum erfordert die Verwendung eines starren Körpers, auf den solche Ereignisse bezogen werden müssen.«

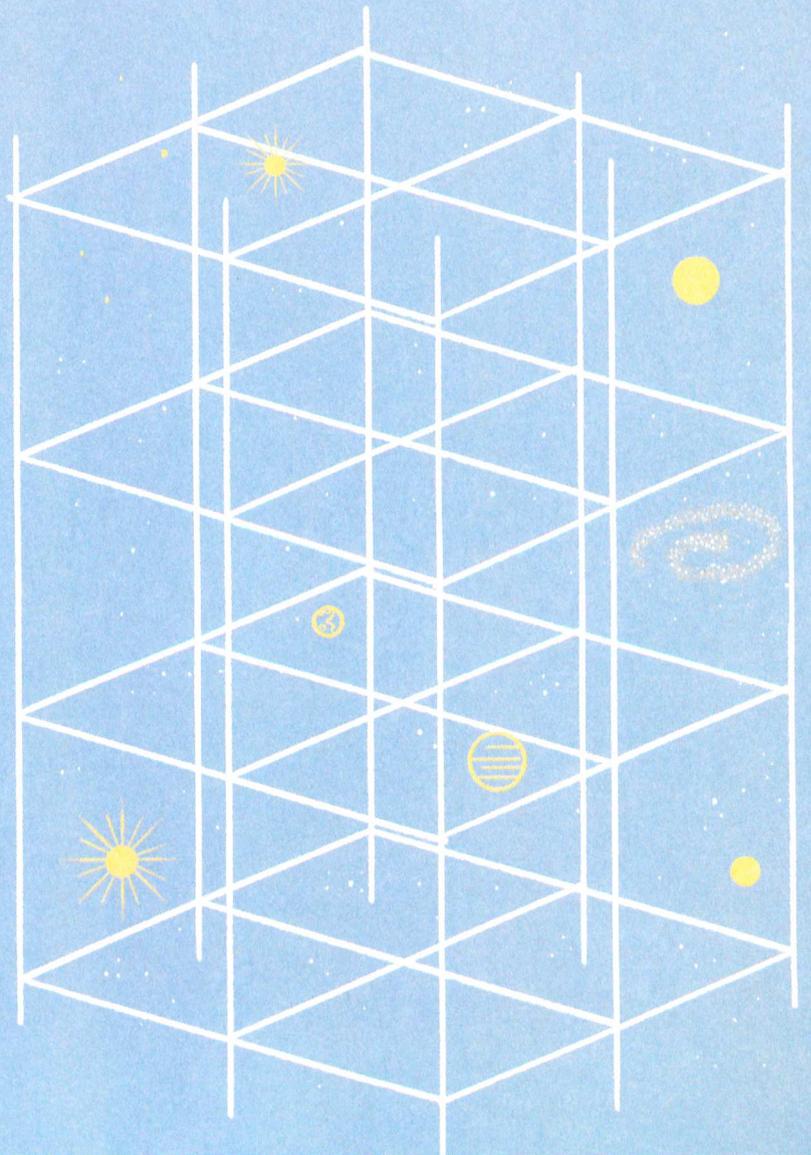
5 In unserem Beispiel ist dieser »starre Körper« der Trafalgar Square. Ohne sich auf diesen Platz (oder einen fest dort verankerten Gegenstand wie die Säule oder einen der steinernen Löwen) zu beziehen, wäre es nicht möglich, zu erklären, wo sich die Wolke befindet.

ABSOLUTER RAUM

Obwohl bereits Aristoteles die Idee vom absoluten Raum (ebenso wie die von der absoluten Zeit) formulierte, blieb es Isaac Newton vorbehalten, diese Vorstellung klar und deutlich zu entwickeln. Gleich nachdem er in seiner *Principia* erklärt hatte, »die absolute, wahre mathematische Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig und ohne Beziehung zu einem Gegenstand«, schrieb er: »Der absolute Raum bleibt vermöge seiner Natur und ohne Beziehung auf einen äußeren Gegenstand stets gleich und unbeweglich.«

Die Idee dahinter war, dass man unsere Welt – und darüber hinaus das gesamte Universum – in ein Gitternetz aus gleich langen, in die drei Raumrichtungen weisenden Stäben aufteilen und auf diese Weise den gesamten Raum vermessen könnte. Die Entfernungen blieben dabei stets dieselben, egal was man tut und wohin und wie schnell man sich bewegt.

Das klingt vernünftig. Wenn man einige Stühle im Raum verteilt und ihren Abstand voneinander misst, so bleibt dieser unverändert (es sei denn, man verteilt die Stühle neu). Aber wie zuvor schon bei der Zeit bewies Einstein, dass diese Vorstellung falsch war.



LICHT

Wie man zu Einsteins Zeiten darüber dachte

Was genau ist Licht? Woraus besteht es? Wie bewegt es sich? Und wie überwindet es den leeren Raum zwischen der Sonne und uns auf der Erde? Das sind nur einige der Fragen, die Wissenschaftler und Philosophen tausende von Jahren beschäftigt haben und die entscheidenden Einfluss auf Einsteins Entwicklung der Relativitätstheorie hatten.

JENSEITS DES REGENBOGENS

Auch einige der grundlegenden Erkenntnisse über das Licht verdanken wir Isaac Newton. So stellte er nicht nur seine drei wichtigen Gesetze auf, die erklären, wie Kräfte im Universum wirken, sondern machte darüber hinaus bahnbrechende Entdeckungen über das Licht, die er 1704 in dem Buch *Opticks* veröffentlichte.

In einem berühmt gewordenen Experiment gelang es Newton, weißes Licht in das Spektrum seiner verschiedenen Farben zu zerlegen, indem er es durch ein Prisma fallen ließ.

PRISMA EINS



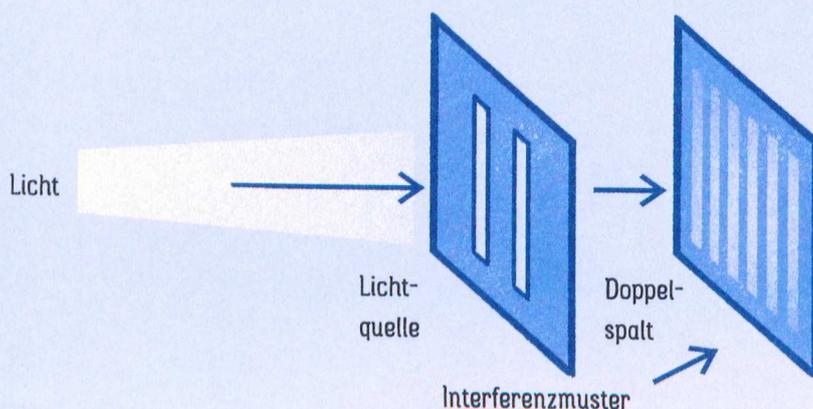
Dann leitete er die farbigen Lichtstrahlen durch ein zweites Prisma und fand heraus, dass die Strahlen ihre jeweilige Farbe behielten. Das Prisma fügte dem Licht also keine neuen Farben zu, sondern das weiße Licht selbst musste sich aus verschiedenen Farben zusammensetzen. Das war der Beweis, dass die uralte, seit Aristoteles gültige Vorstellung, Licht sei in und an sich weiß und seine Farben stammten ausschließlich von den Dingen um uns herum, nicht stimmen konnte.

LICHTWELLEN

Besteht Licht aus einem Strom von Teilchen oder hin und her schwingenden Wellen? Auch diese Frage war Gegenstand jahrhundertelanger Diskussionen. Newton glaubte, dass Licht aus Teilchen besteht – oder »Korpuskeln«, wie er sie nannte –, und diese Idee wurde von den meisten geteilt. Es gab jedoch auch andere Physiker, die das genaue Gegenteil behaupteten: Licht sei eine Welle, die durch die Luft dahinschwinge. Schließlich, im Jahr 1801, führte Thomas Young ein aufschlussreiches Experiment durch – das »Doppelspaltexperiment« –, um den Streit zu beenden.

Er ließ Licht durch ein so kleines Loch einfallen, dass es einen einzigen Strahl ergab. Dann stellte er eine Blende mit zwei vertikalen, parallelen, sehr feinen Spalten vor dieser Lichtquelle auf. Sollte das Licht aus einem Strom von Teilchen bestehen, so würden diese – den beiden Spalten entsprechend – auf dem Schirm auftreffen und zwei Streifen bilden. Bestünde das Licht jedoch aus Wellen, würden sich diese nach dem Passieren der Spalte überlagern, und auf dem Schirm wäre ein Streifenmuster zu sehen.

Und genau das passierte. Die beiden Strahlen bildeten auf dem Schirm ein Muster aus hellen und dunklen Streifen und widerlegten so Newtons Annahme, dass Licht aus Teilchen (Korpuskeln) besteht.



MAGNETISMUS UND ELEKTRIZITÄT

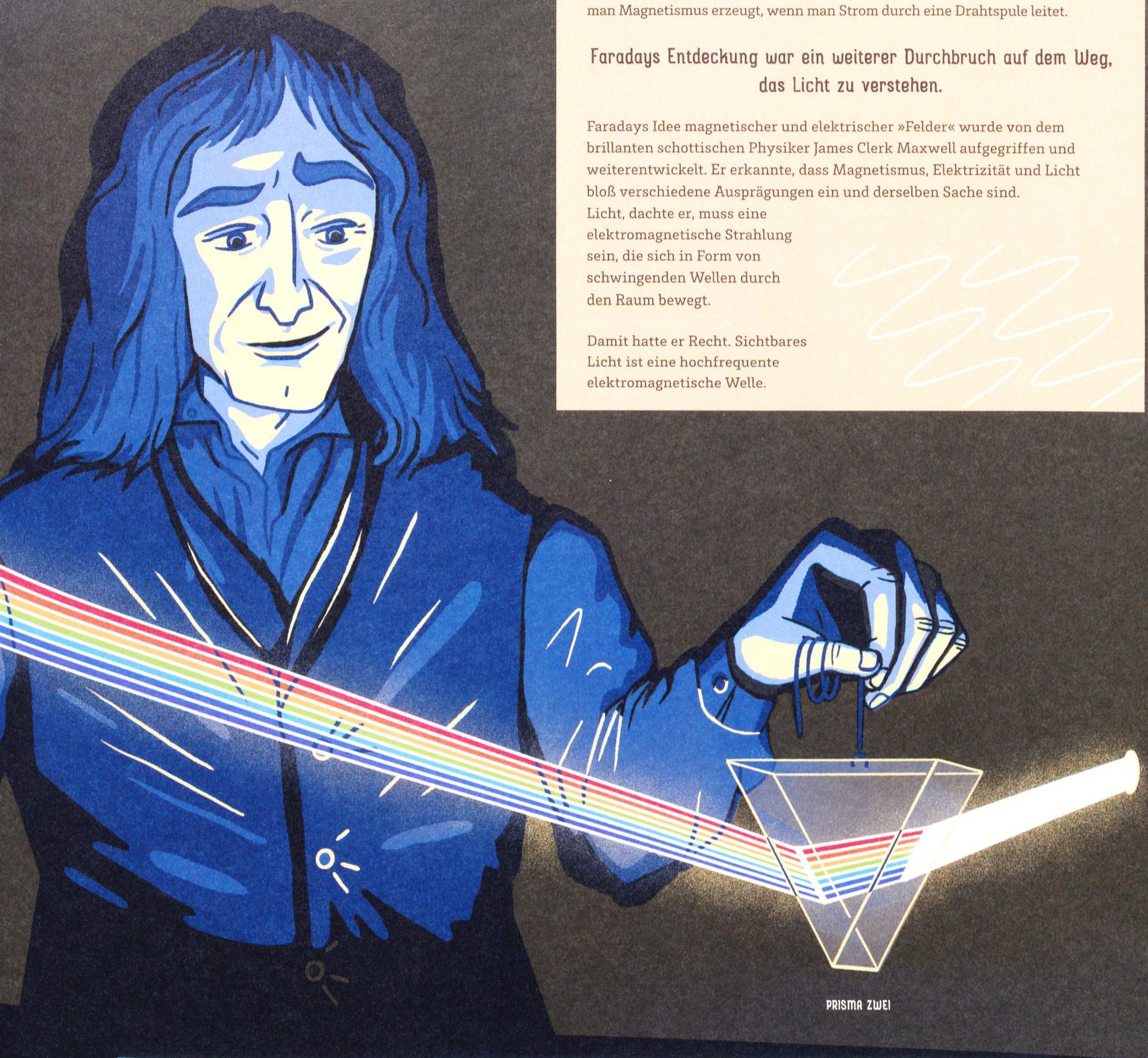
Im 19. Jahrhundert entdeckte Michael Faraday, dass man Elektrizität erzeugen kann, wenn man einen Magneten in einer Kupferdrahtspule bewegt. Und dass man Magnetismus erzeugt, wenn man Strom durch eine Drahtspule leitet.

Faradays Entdeckung war ein weiterer Durchbruch auf dem Weg, das Licht zu verstehen.

Faradays Idee magnetischer und elektrischer »Felder« wurde von dem brillanten schottischen Physiker James Clerk Maxwell aufgegriffen und weiterentwickelt. Er erkannte, dass Magnetismus, Elektrizität und Licht bloß verschiedene Ausprägungen ein und derselben Sache sind.

Licht, dachte er, muss eine elektromagnetische Strahlung sein, die sich in Form von schwingenden Wellen durch den Raum bewegt.

Damit hatte er Recht. Sichtbares Licht ist eine hochfrequente elektromagnetische Welle.



PRISMA ZWEI

GESCHWINDIGKEITS- BEGRENZUNG IM UNIVERSUM

Eine der bedeutenden Entdeckungen Maxwells war die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Egal wie schnell wir selbst unterwegs sind oder wie schnell die Lichtquelle sich fortbewegt – Licht bewegt sich immer mit derselben Geschwindigkeit: der Lichtgeschwindigkeit!



Wie schnell ist das? Unglaublich schnell! Licht (im luftleeren Raum) bewegt sich mit genau 299.792 Kilometern in der Sekunde. Könnte man einen Lichtstrahl um den Äquator schicken, so bräuchte dieser gerade mal eine Sekunde, um die Erde siebeneinhalb Mal zu umrunden.

RELATIVITÄT

Wie man zu Einsteins Zeiten darüber dachte

Das »Relativitätsprinzip« gilt als eins der am meisten anerkannten und verbreiteten physikalischen Erkenntnisse. Die Idee dahinter ist ziemlich einfach: Die physikalischen Gesetze gelten immer, egal ob man steht oder sich bewegt.

Erstmalig erwähnt wurde das Relativitätsprinzip in Galileos 1632 erschienenem Buch *Dialog über die zwei wichtigsten Weltsysteme*. Er glaubte, dass die Erde nicht im Mittelpunkt des Universums ruht, sondern sich um die Sonne dreht. Einige waren jedoch der Meinung, dass, würde die Erde sich tatsächlich bewegen, man das spüren müsste. Das widerlegte Galileo jedoch mit einem klugen Gedankenexperiment.

Man stelle sich vor, man schließe sich in der Kajüte eines Schiffes ein, lasse »einige Mücken, Schmetterlinge und ähnliches fliegendes Getier« frei, verschaffe sich »eine große Schüssel mit Fischen« - sowie eine Wasserflasche, aus der das Wasser langsam in ein darunter gestelltes Gefäß tropft. Dann könnte man sehen, wie die Tiere umherfliegen, die Fische munter in alle Richtungen schwimmen und die Tropfen in das Gefäß tropfen.

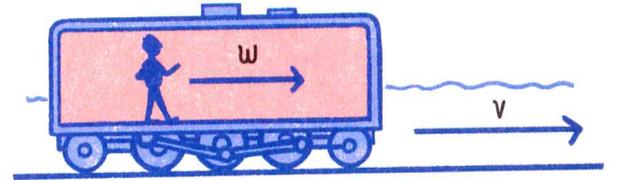
Würde das Schiff nun die Segel setzen und sanft, gleichförmig und ohne zu schwanken aufs Meer hinausfahren, so würde sich im Inneren der Kajüte nichts ändern. Ja, man würde nicht einmal sagen können, ob sich das Schiff überhaupt bewegt.

Das liegt daran, dass sich die Luft in der Kajüte und das Wasser in der Schüssel mit derselben Geschwindigkeit vorwärtsbewegen wie man selbst.



ALLES IST RELATIV

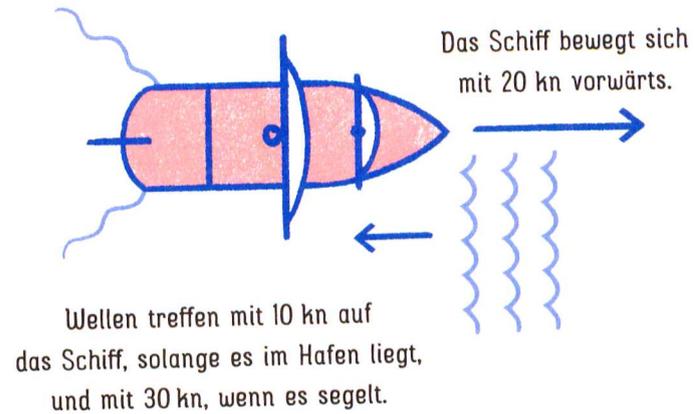
In seinem Buch über die Relativitätstheorie stellt Einstein sich die Frage, wie es sich verhält, wenn ein Reisender in einem Zug durch den Waggon schreitet. Wenn der Zug mit konstanter Geschwindigkeit (er bezeichnet sie mit v) fährt und der Mann sich mit der Geschwindigkeit w in derselben Richtung wie der Zug vorwärtsbewegt, »wie schnell, oder anders gesagt, mit welcher Geschwindigkeit W im Verhältnis zum Bahndamm bewegt sich der Mann im Waggon«?



Wenn man darüber nachdenke, schrieb er, liege die Antwort auf der Hand. Solange der Mann im fahrenden Zug an seinem Platz bleibt, legt er im Verhältnis zur Trasse die gleiche Strecke zurück wie der Waggon. Wenn er sich nun aber seinerseits im fahrenden Waggon bewegt, beträgt seine Gesamtgeschwindigkeit im Verhältnis zur Trasse die Summe aus der Geschwindigkeit des Zuges und seiner eigenen.

Einstein notierte das so: $W = v + w$

Doch kommen wir noch einmal auf Galileos Schiff zurück. Vorausgesetzt, die Wellen schlagen mit 10 Knoten schräg von vorn gegen das im Hafen liegende Schiff, dann würden sie das mit 30 Knoten tun, sobald das Schiff ihnen mit 20 Knoten entgegensegelt. Einstein fragte sich nun: Wäre das beim Licht entsprechend?



SITZT DU BEWEGUNGSLOS?

Selbst wenn du in aller Ruhe zu Hause sitzt, ohne einen Muskel zu rühren, bewegst du dich sehr schnell! Die Erde dreht sich mit 1670 km/h um sich selbst, und wir drehen uns mit ihr mit. Gleichzeitig rast die Erde mit 108.000 km/h um die Sonne, aber das Einzige, was wir davon mitkriegen, ist, wie die Sonne langsam über den Himmel wandert.

Viele tausend Jahre lang wusste niemand, ob es die Sonne ist, die sich um die Erde dreht, oder ob die Erde sich um die Sonne bewegt. Jetzt wissen wir, dass es die Erde ist, die die Sonne umkreist.

EINSTEINS WUNDERJAHR: 1905

»Phantasie ist wichtiger als Wissen, denn Wissen ist begrenzt,
Phantasie hingegen umfasst die ganze Welt.« – Einstein

Was würde man sehen, wenn man neben einem Lichtstrahl herlaufen könnte?

Diese Frage stellte sich Einstein 1895, mit gerade einmal 16 Jahren. Laut der zu jener Zeit gültigen Lehrmeinung hätte er einen starren Lichtstrahl sehen müssen, in dem sich ein elektromagnetisches Feld vor und zurück bewegte. Aber das kam Einstein irgendwie komisch vor. »Im Wahrnehmen dieses Paradoxons zeichnete sich bereits der Keim der speziellen Relativitätstheorie ab«, schrieb er später.

Dieses Problem beschäftigte Einstein die nächsten zehn Jahre. Er entwickelte seine Ideen mit einer Mischung aus harter Arbeit, Genialität und – Zufällen.

1905 – in Einsteins sogenanntem »Wunderjahr« – gelang ihm schließlich eine Reihe von Durchbrüchen, die den Lauf der Naturwissenschaft verändern sollten.

Aber wie kam er zu diesen bahnbrechenden Entdeckungen? Es gab einige Dinge, die Einsteins Denken beeinflussten und ihm dazu verhalfen, seine revolutionären Ideen zu entwickeln.

ARBEIT

Trotz seiner Intelligenz hatte Einstein jahrelang Mühe, einen geeigneten Job zu finden. Er verdingte sich als Hauslehrer und bemühte sich vergeblich um eine Stelle als Assistent am Polytechnikum. Schließlich, im Jahr 1902, verhalf ihm ein Freund zu einer Anstellung als Hilfskraft am Schweizer Patentamt in Bern.

Wenn Erfinder neue Ideen austüfteln, melden sie diese zum Patent an. Das hält ihre Erfindung fest und schützt sie davor, von jemand anderem abgekupfert zu werden. Während Einsteins Zeit beim Patentamt in Bern schickten viele Erfinder Anträge für Ideen, die sich mit der Synchronisation von Uhren befassten. Ein Problem, das in Einsteins spezieller Relativitätstheorie eine große Rolle spielen sollte.

Am Fuße der Zytglogge hatte Einstein eine bahnbrechende Idee. Eines Tages, im Mai 1905, hörte er die Glocke läuten ...

Was würde wohl passieren, fragte sich Einstein, wenn er sich mit Lichtgeschwindigkeit vom Turm entfernen würde?



MOTOREN UND MAGNETEN

Einsteins Onkel Jakob war Ingenieur und machte ihn mit der Algebra bekannt, als er zwölf war. Zusammen lösten sie mathematische Rätsel. Später half Einstein seinem Onkel in seiner Freizeit, die Spulen und Magneten in den elektrischen Generatoren weiterzuentwickeln, die jener bei seiner Arbeit einsetzte. Das half ihm, seine Theorien über Elektromagnetismus in die Praxis umzusetzen.

Bewegt sich ein Magnet im Verhältnis zu einer Kupferdrahtspule, entsteht elektrischer Strom.

Egal ob sich der Magnet in der Spule bewegt oder die Spule im Magneten – die Menge elektrischen Stroms ist stets dieselbe.

Trotzdem hatten Physiker jener Zeit verschiedene Erklärungen für die beiden Fälle. Das kam Einstein unsinnig vor – und es ärgerte ihn. Das führte ihn zu einer weiteren Idee, die er in seiner speziellen Relativitätstheorie entwickeln sollte.

DER BERNER ZEITGLOCKENTURM

Mitten in Bern, ganz in der Nähe des Patentamts, in dem Einstein arbeitete, steht ein berühmter Glockenturm, die Zytglogge.

Der mittelalterliche Steinturm stammt aus dem frühen 13. Jahrhundert. Jede Stunde, sobald die Glocke läutet, setzt sich ein Glocken- und Figurenspiel in Bewegung: Unterhalb eines springenden Narren hält der bärtige Chronos, der Gott der Zeit bei den alten Griechen, ein Stundenglas in der Hand, während eine Reihe bewaffneter Bären unter ihm im Kreis paradiert. Alle Uhren und Mechanismen werden von ein und demselben Uhrwerk angetrieben.

Wenn sich Einstein mit Lichtgeschwindigkeit von der Turmuhr entfernt, kann ihn das Licht nicht einholen, und so ist er nicht imstande, zu sehen, wie die Zeit vergeht.

während seine eigene Uhr ganz normal weiterticken würde.

So hätte er den Eindruck, sie hielte an ...

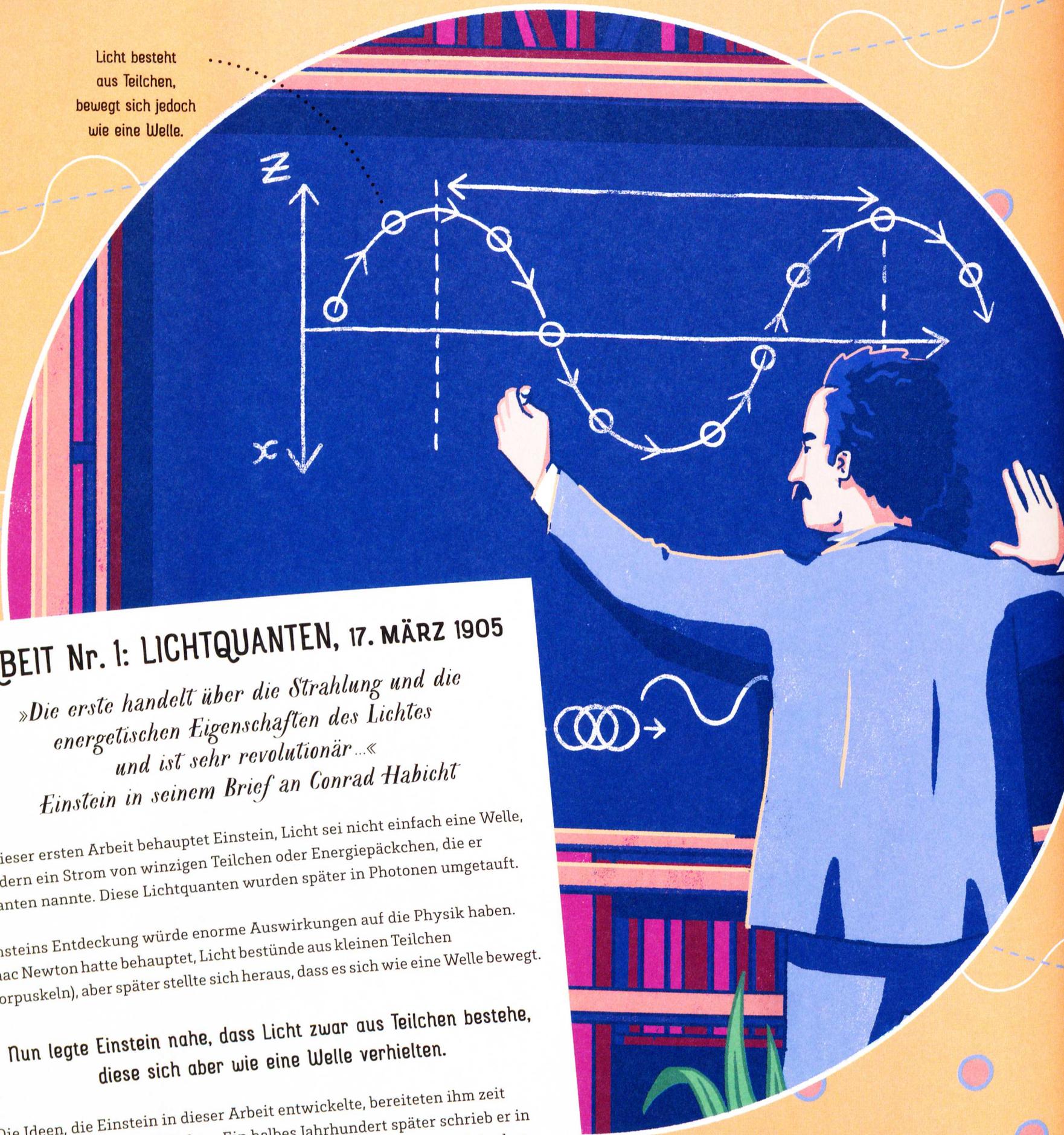


DIE VIER ARBEITEN: TEIL 1

Im Jahr 1905 fasste Einstein seine Entdeckungen in vier bahnbrechenden Arbeiten zusammen.

In einem Brief, den er 1905 an seinen Freund Conrad Habicht schreibt, entschuldigt er sich zunächst für sein »wenig bedeutsames Gepappel«, bevor er ihm von den revolutionären Ideen berichtet, an denen er gerade arbeitet. Die vier Arbeiten, die den Lauf der Naturwissenschaft, ja der Welt an sich verändern sollten, waren:

Licht besteht aus Teilchen, bewegt sich jedoch wie eine Welle.



ARBEIT Nr. 1: LICHTQUANTEN, 17. MÄRZ 1905

*»Die erste handelt über die Strahlung und die energetischen Eigenschaften des Lichtes und ist sehr revolutionär...«
Einstein in seinem Brief an Conrad Habicht*

In dieser ersten Arbeit behauptet Einstein, Licht sei nicht einfach eine Welle, sondern ein Strom von winzigen Teilchen oder Energiepäckchen, die er Quanten nannte. Diese Lichtquanten wurden später in Photonen umgetauft.

Einsteins Entdeckung würde enorme Auswirkungen auf die Physik haben. Isaac Newton hatte behauptet, Licht bestünde aus kleinen Teilchen (Korpuskeln), aber später stellte sich heraus, dass es sich wie eine Welle bewegt.

Nun legte Einstein nahe, dass Licht zwar aus Teilchen bestehe, diese sich aber wie eine Welle verhielten.

Die Ideen, die Einstein in dieser Arbeit entwickelte, bereiteten ihm zeit seines Lebens Kopfzerbrechen. Ein halbes Jahrhundert später schrieb er in einem Brief an seinen Freund Michele Besso: »Auch 50 Jahre Nachdenken haben mich der Antwort auf die Frage, was Lichtquanten sind, kein Stück nähergebracht.«

ARBEIT Nr. 2: ATOMGRÖSSE, 30. APRIL 1905

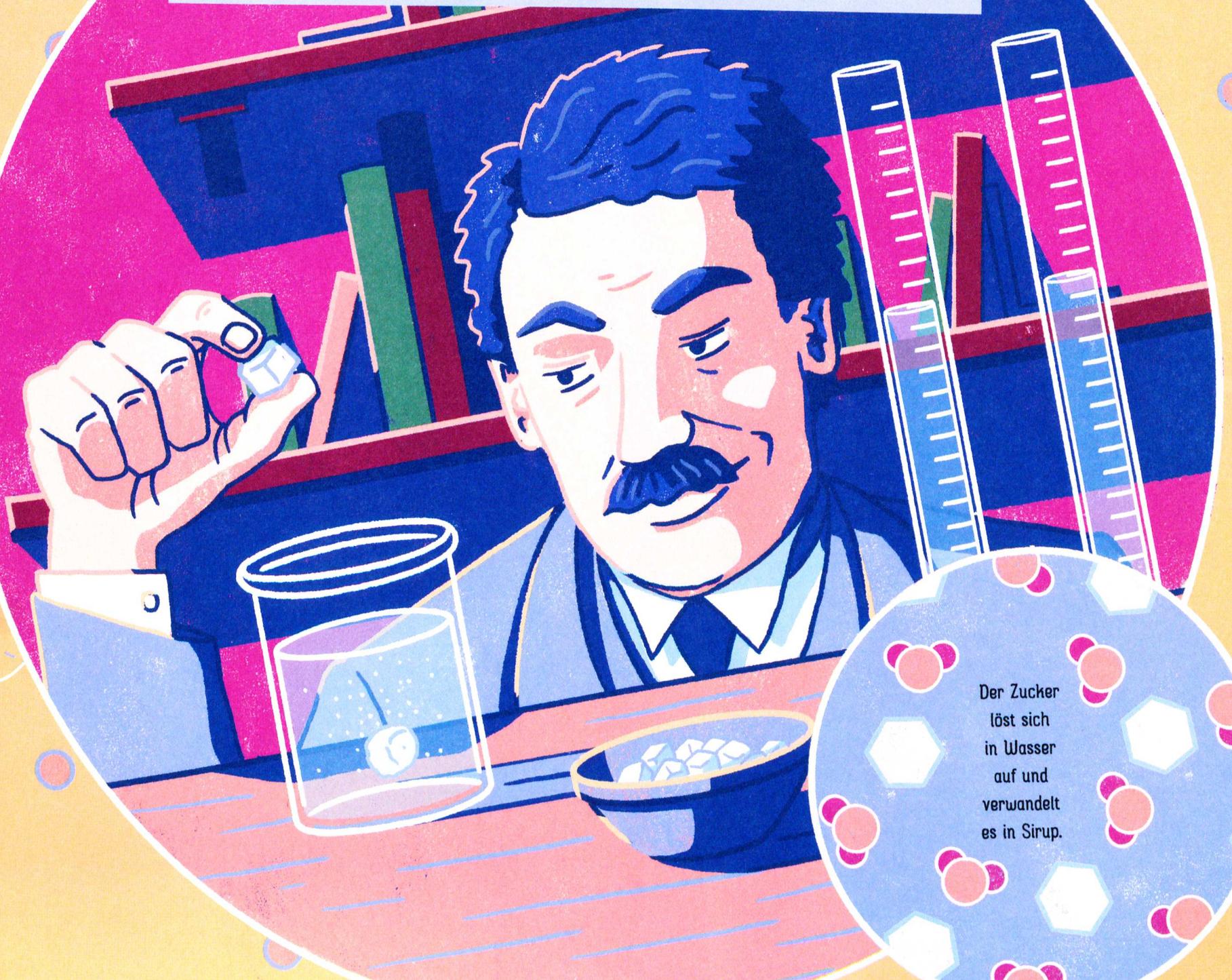
*»Die zweite Arbeit ist eine Bestimmung der wahren Atomgröße.«
Einstein in seinem Brief an Conrad Habicht*

Heute wissen wir, dass sich alles aus winzigen Atomen zusammensetzt, aber 1905 hatte sich diese Erkenntnis noch nicht überall durchgesetzt. Einstein entdeckte einen Weg herauszubekommen, wie groß diese Moleküle und Atome tatsächlich sind.

Ein Jahrhundert vor Einstein ging der italienische Physiker und Chemiker Amedeo Avogadro davon aus, dass jedes Gas bei derselben Temperatur und demselben Druck in einem gegebenen Volumen von 22,4 Litern – genannt ein Mol – dieselbe Anzahl von Molekülen enthält. Diese sogenannte Avogadro-Konstante ist unfassbar groß. Würde man sie in Sandkörnern statt in Molekülen darstellen, könnte man damit die gesamte Fläche der Sahara um zwei Meter aufstocken.

Bis dahin hatte man die Zahl von Atomen und Molekülen mit Hilfe der Avogadro-Konstante in Gasen ermittelt. Einstein zeigte, wie man dies sehr viel einfacher in ruhenden Flüssigkeiten bewerkstelligen konnte.

Wenn man Zucker in Wasser auflöst, wird das Wasser dickflüssiger, wie Sirup. Je mehr Zucker man hinzufügt, desto schwerer ist es für ein Objekt, das Wasser zu durchqueren, und desto langsamer wird es. Einstein schlug nun vor, die Zähigkeit (Viskosität) als Maß zu nutzen. Er stellte Gleichungen auf, die zeigten, wie groß die Zuckermoleküle waren und wie viele sich im Wasser befanden. Diese Arbeit war für alles zu gebrauchen, vom Zementmischen bis zur Sprühdose, und sie war es, die Einstein seinen Dokortitel einbrachte: Jetzt war er Dr. Einstein.



Der Zucker
löst sich
in Wasser
auf und
verwandelt
es in Sirup.

DIE VIER ARBEITEN: TEIL 2

ARBEIT Nr. 3: BROWNSCHE BEWEGUNG,

11. MAI 1905

*»eine wahrnehmbare ungeordnete Bewegung ...
welche durch die Wärmebewegung erzeugt ist ...«
Einstein in seinem Brief an Conrad Habicht*

Einsteins dritte Arbeit löste ein Rätsel, das den Physikern 80 Jahre lang Kopfzerbrechen bereitet hatte – und lieferte den endgültigen Beweis, dass Atome und Moleküle tatsächlich existieren.

Beobachtet man mikroskopisch kleine Teilchen in einer Flüssigkeit, scheinen diese sich wahllos hin und her zu bewegen. Diese merkwürdige Erscheinung war 1828 zuerst von dem schottischen Botaniker Robert Brown entdeckt worden, als er beim Blick durchs Mikroskop beobachtete, wie winzige Pollen im Wasser umhertanzten. Aber warum taten sie das? Waren Strömungen im Wasser dafür verantwortlich? Oder der Einfluss des Lichts? Niemand wusste es.

Einstein erkannte, dass die Teilchen in der Flüssigkeit von Wassermolekülen angestoßen und gestupst wurden.

Ein einzelnes Wassermolekül hat bloß einen Bruchteil der Größe eines Pollenstückchens und wäre nie in der Lage, dieses zu bewegen. Prallen jedoch tausende von ihnen ständig gegen das Pollenstückchen, so führt das häufiger dazu, dass mehr Moleküle von der einen als von der anderen Seite das Stückchen anstoßen, und dann bewegt es sich.

Anstatt nun aber jede kleine Bewegung zu zählen, stellte Einstein Vorhersagen auf, inwieweit Teilchen sich abhängig von ihrer Größe und der Temperatur der Flüssigkeit bewegen würden. Die nähere Untersuchung der Zusammenstöße lieferte den Beweis, dass Moleküle und Atome tatsächlich existieren.



ARBEIT Nr. 4: ZUR ELEKTRODYNAMIK BEWEGTER KÖRPER, 30. JUNI 1905

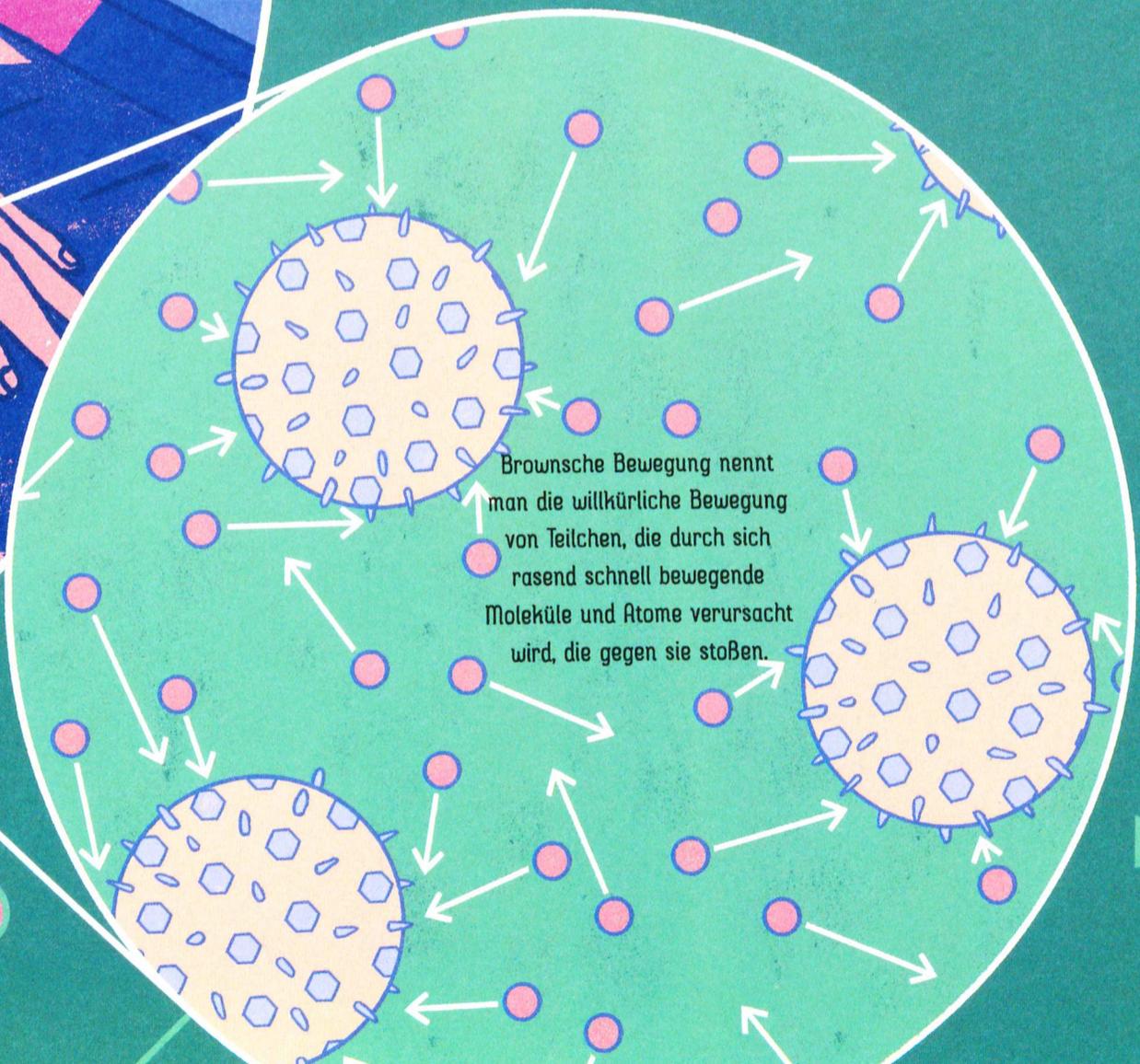
*»Die vierte Arbeit ... ist eine Elektrodynamik
bewegter Körper unter Benützung einer
Modifikation der Lehre von Raum und Zeit ...«
Einstein in seinem Brief an Conrad Habicht*

Schon Einsteins Veröffentlichungen in den Monaten zuvor waren bahnbrechende Entdeckungen, aber die bedeutendste sparte er sich für den Schluss auf.

1905 sah er sich einem Dilemma gegenüber. Er war auf einen Widerspruch zwischen zwei anerkannten Vorstellungen gestoßen: dass Licht sich immer mit einer konstanten Geschwindigkeit von 299.792 Kilometern pro Sekunde bewegt und dass die Gesetze der Physik, auf Grund des Relativitätsprinzips, immer gelten, im Ruhezustand ebenso wie in Bewegung.

Allein mit Hilfe von Gedankenexperimenten überwand Einstein Isaac Newtons Vorstellung vom absoluten Raum und der absoluten Zeit und veränderte so die Art und Weise, wie wir uns das Universum vorstellen.

**Einsteins vierte Arbeit wurde bekannt als die
spezielle Relativitätstheorie.**



Brownsche Bewegung nennt man die willkürliche Bewegung von Teilchen, die durch sich rasend schnell bewegende Moleküle und Atome verursacht wird, die gegen sie stoßen.