



»Die guten Seiten der Zukunft«

31. Folge

Die Physiker und die Zeit

Ein Essay von Harald Lesch

Anmoderation Manuel Schneider

Hallo zusammen – willkommen zu einer weiteren Folge unseres oekom podcast. Am Mikrofon ist Manuel Schneider.

„Die Physiker und die Zeit“, so lautet der Titel, den der bekannte Astrophysiker und Naturphilosoph Harald Lesch dem Essay gegeben hat, den er heute in unserem Podcast vortragen wird. Im Zentrum steht die Zeit – das große Rätsel des Universums, über das sich die Physiker seit ihren ersten Himmelserkundungen Gedanken gemacht haben, „ihre Hirne zermarterten“, wie es bei Lesch heißt.

Der nun folgende Essay behandelt zwar zentrale Probleme der Physik. Er steht aber im Kontext der ganz grundsätzlichen Frage, wie wir Menschen mit Zeit umgehen, welches Verständnis von Zeit wir mit der Zeit von ihr entwickelt haben und welche Rolle dabei insbesondere unser physikalisch geprägtes Weltbild spielt. Dieses war über Jahrhunderte hinweg deterministisch und mechanistisch geprägt: alles im Universum schien analysierbar, in seine Einzelteile zerlegbar zu sein, die Prozesse kausal miteinander verbunden und daher prinzipiell vorhersehbar.

Eine trügerische Hoffnung, wie wir nicht nur immer wieder im Alltag erleben, wo sich die Zeit ständig dem sie beherrschenden Zugriff entzieht. Auch in der Physik hat sich spätestens mit der Relativitätstheorie Albert Einsteins das Verständnis von Zeit und dem Zusammenwirken von Raum und Zeit grundlegend geändert.

In einem zentralen Punkt hat sich jedoch aber auch mit Einstein nichts geändert: Zeit ist und bleibt unumkehrbar. In Räumen können wir uns vorwärts und rückwärts bewe-

gen. Die Zeit hingegen kennt nur *eine* Richtung. Abgesehen von Science-Fiction-Filmen sucht man den Rückwärtsgang bei der Zeit vergebens. Und genau hierin liegt auch der Kern ihrer prinzipiellen Unverfügbarkeit.

So endet der Essay von Harald Lesch denn auch mit den Plädoyer, bei allem Streben nach technischer Naturbeherrschung in der Zeit immer auch dieses Unverfügbare zu sehen, das sich, wie er schreibt, „weder durch Maschinen noch durch Uhren gängeln, drangsalieren oder gar beherrschen lässt“. Das gilt zumal dann, wenn es sich bei der Zeit um unsere eigene Lebenszeit handelt. Dies ist auch die Grundthese des Buches, das Harald Lesch zusammen mit den Zeitforschern und Beratern Karlheinz und Jonas Geißler im oekom verlag veröffentlicht hat und dem wir den Text entnommen haben: *“Alles eine Frage der Zeit. Warum die ‚Zeit ist Geld‘-Logik Mensch und Natur teuer zu stehen kommt.“* So lautet der vielsagende Titel.

Für diejenigen von Ihnen, die Harald Lesch nicht kennen sollten: Er ist Physiker, Naturphilosoph, Bestsellerautor und bekannter Fernsehmoderator, unter anderem für die Sendung „Terra X“ und Lesch’s Kosmos. Er lehrt als Professor für Theoretische Astrophysik an der Ludwig-Maximilians-Universität München und als Lehrbeauftragter für Naturphilosophie an der Hochschule für Philosophie in München. Hören Sie nun den Essay „Die Physiker und die Zeit“ von und mit Harald Lesch.

+++++

Essay von Harald Lesch¹

Die Physiker und die Zeit

Eigentlich hassen die Physiker die Zeit. Die Physiker wollen die Zeit nur messen, aber sie merken, dass die Zeit an ihnen nagt. Sie lässt sie nicht nur älter werden, sondern sie passt auch einfach nicht in die Physik der Physiker. Die Physik der Physiker, das ist die Physik der immer und überall reproduzierbaren experimentellen Resultate. Ergebnisse, die zwar nicht hundertprozentig immer exakt die Gleichen sind, aber die im Rahmen experimenteller Fehlerquellen eben nur ganz kleine Schwankungen aufweisen. Vor allem kennt die Physik der Physiker experimentelle Ergebnisse, die sich nicht widersprechen, die sich wiederholen, und zwar möglichst genauso wie von den physikalischen Theorien vorhergesagt, unabhängig vom Ort oder Zeitpunkt.

¹ Die Textpassagen des Essays sind entnommen dem Buch von Harald Lesch, Karlheinz A. Geißler und Jonas Geißler: *Alles eine Frage der Zeit. Warum die „Zeit ist Geld“-Logik Mensch und Natur teuer zu stehen kommt.* oekom verlag, München 2021, S. 65-84. – Der Podcast basiert auf dem gleichnamigen Hörbuch.

Die Physik der Physiker ist immer und überall reproduzierbar, sie ist unabhängig von der Zeit. Aber das stimmt leider nur unter ganz besonderen Umständen, in der Wirklichkeit stimmte es noch nie. Die Zeit ließ sich einfach nicht zähmen. Die Zeit ist nämlich die Welt, wie sie sich verändert, verwandelt und ständig ohne Unterbrechung immer weiter entwickelt. Die Zeit ist nicht verfügbar, weil die Welt nicht verfügbar ist. Die Zeit kann man nicht zurückdrehen, dann müsste man die ganze Welt zurückdrehen. Das kann kein Geschöpf des Universums. Deshalb ist alles unwiederbringlich – die Physiker sprechen vom Irreversiblen. Zeit ist das ganz große Rätsel des Universums. Die besten unter den Physikern haben sich ihre Hirne zermartert: Wieso hält sich die Zeit bloß nicht an die Regeln der beobachteten Naturgesetze?

Wie im Himmel so auf Erden

Dabei hat alles so schön angefangen, damals vor über vierhundert Jahren. Nikolaus Kopernikus, Tycho Brahe und Johannes Kepler, das erste Dreigestirn der Astronomie – sie stehen als die ersten Himmelsmechaniker vor der damaligen Welt, denn ihnen gelingt es, den Himmel auf die Erde zu holen, in ihr Studierzimmer. Mit Berechnungen und Beobachtungsinstrumenten, aber noch ohne Fernrohr, schaffen sie es, die Bewegungen der Planeten zu berechnen. Seit über vierhundert Jahren kann man begründet vorhersagen, wo sich wann welche Planeten, ihre Monde, unser Mond und die Sonne befinden werden. So können Mond- und Sonnenfinsternisse, aber auch die merkwürdigen Schleifenbahnen des Mars erklärt werden. Die periodisch wiederkehrenden Vorgänge dort droben am Firmament machen es möglich, die Vergangenheit und die Zukunft des Sonnensystems zu rekonstruieren und vorauszusagen, für fast alle Körper, aus denen es besteht. Insbesondere Johannes Kepler liefert mit seinen drei Gesetzen die Grundlagen der Mechanik des Himmels. Und dank des italienischen Genies Galileo Galilei gelang es, die Vorhersagen des neuen, heliozentrischen Weltbildes gegen alle Widerstände zu bestätigen. Eine neue Welt wird entdeckt, der Himmel wird berechenbar. Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wird zum Qualitätsmerkmal Nummer Eins. Von nun an bestimmt das Credo »Wie im Himmel, so auf Erden« die neue Wissenschaft von der Natur, denn wer das Universum berechnen kann, kann alles berechnen. Und wer rechnen kann, der kann auch die Zeit beherrschen, denn es entsteht ein kosmischer Kalender, genauestens kalkuliert. Dank des britischen Genius Issak Newton wird alles in einem Naturgesetz zusammengefasst. Die Natur wird in Gleichungen gepresst. Und weil alles im Voraus zu berechnen ist, weil die Welt eine Uhr zu sein scheint, in der alle Zahnräder perfekt ineinander greifen, wird die genaue Zeitmessung zum Fetisch der beginnenden Neuzeit. Von nun an ist die Zeit im Ticktack der mechanischen Uhren gefangen. Zeit wird zur Zahl, wird in Stunden, Minuten und Sekunden in Schubladen eingeschlossen. Die Newtonsche Mechanik ist pure Berechenbarkeit, hier ist alles genau vorherbestimmt, determiniert. Wer die Orte und Geschwindigkeiten aller Teilchen kennt, der kann dank Newtons Kraftgesetzen die Welt perfekt berechnen, von Ewigkeit zu Ewigkeit.

Dieser Laplacesche Dämon wird zu Beginn des 19. Jahrhunderts den Zeitgeist beherrschen, denn die Mechanik kennt nur Differentialgleichungen. Sie sagen dem Berechnenden ganz genau, was das Ding in jedem Zeitpunkt unter dem Einfluss der Kräfte macht. In jedem Experiment, in jeder Beobachtung kann man die Uhr wieder auf null stellen und das Ganze geht wieder von vorne los. Und weil sich so auch der Himmel verhält, so perfekt berechenbar, werden Maschinen die neuen Taktgeber. Mathematik und Physik bändigen die Naturzeit und machen aus ihr die dressierte Maschinenzeit. Aus der Urzeit der Natur wird die Uhrzeit des Menschen.

Die Physik ist nicht zu stoppen

Natürlich genießt die Welt der großen Geister damals, im 17. und 18. Jahrhundert, die Sicherheit des deterministisch-mechanischen Weltbildes. In ihm wird die Erde, wird alles was in ihr steckt, zum reinen Gebrauchsgegenstand, den sich der Mensch untertan machen kann. Theologie und Ökonomie finden ein gemeinsames Ziel: Die Unterwerfung der Natur unter den Menschen. Für einige religiöse Strömungen wird der wirtschaftliche Erfolg gar zum Beweis für den göttlichen Segen. Und der Erfolg der Vorausberechnung, der exakten Wiederholung mechanischer Maschinen, der heiligt alle Mittel. Geschwindigkeit, also Weg pro Zeit, wird zum neuen Namen der Zeit. Je schneller umso besser. Maschinen machen es möglich, das alles sich immer schneller bewegt. In Lokomotiven eingesperrt in ihren Dampfkesseln rasen die Kolben und Pumpen, mit Geschwindigkeiten, die für Menschen unerreichbar sind. Kräfte und Energien werden dabei freigesetzt und umgesetzt, die jedes menschliche Maß bei weitem übersteigen. Die neue Physik der Thermodynamik kennt den Druck als Kraft pro Fläche und Kraft ist laut Newton die Änderung der Geschwindigkeit, also Beschleunigung. Je schneller alles wird, je höher die Beschleunigung, desto mehr Druck wird ausgeübt auf die Kolben der Dampfdruckkessel genauso wie auf die Menschen, die die Maschinen betreiben.

Und obwohl sich bei der physikalischen Beschreibung der Wärmekraftmaschinen zum ersten Mal leise Zweifel an der alten Physik und ihrem Verhältnis zur Zeit geweckt werden, spielt die Zeit in der Physik des 19. Jahrhunderts nach wie vor eine rein passive Rolle. Für Newton und seine Schüler ist die Zeit absolut und lässt sich mit mechanischen Uhren genau messen. Selbst in der Physik der geladenen Teilchen, der Theorie von James Clark Maxwell, der die Gleichungen für elektrische und magnetische Effekte und Erscheinungen zusammenstellte, ist die Zeit nur ein Laufbursche, eine Variable, die beliebig oft wieder von vorne anfangen kann. Zwar braucht er Kraftfelder, die auf die elektrisch geladenen Teilchen wirken, aber die Zeit wirkt nicht, sie wird nur gemessen und gezählt. Einfach die Uhr auf null stellen und jeder physikalische Vorgang wiederholt sich wie gehabt. Von Neuigkeiten kann in dieser Welt keine Rede sein, das Schicksal der Welt liegt in Newtons und Maxwells Hand – Gentlemen mit

tickenden Uhren an silbernen Ketten. Selbst die Weltreise wird genau vorausberechnet, wird in 80 Tagen erledigt, garantiert. Auch wenn am Ende der Reise merkwürdigerweise ein Tag übrig bleibt.

Bemerkenswert ist, dass die ersten Zeitgeber alle aus Europa stammen. Das christliche Europa entwickelt die Methoden zur Weltbeherrschung durch Maschinen und Technik. Abgeleitet von der Mechanik des Himmels, der Naturzerlegung in seine Einzelteile und der Reduktion auf möglichst isolierte Bereiche, wird der Takt vorgegeben. Die Menschen in Europa nehmen die Zeit selbst in die Hand und sind sich sicher, sie mittels der genauen Messung zu beherrschen. Man weiß sogar, was die Uhr woanders auf unserer Erde geschlagen hat, denn der Planet wird vermessen und aufgeteilt. Zwar gibt es noch störende Jahreszeiten, aber deren Beherrschung scheint auch nur eine Frage der Zeit.

Dieser Erfolg der Physik hat seine ökonomischen und geistesgeschichtlichen Konsequenzen auch außerhalb von Europa. Dank der »neuen Welt« und ihrer unbegrenzten Möglichkeits- und Freiheitsvorstellung wird die Zeit zum Konsumgut, Menschen geben ihre Lebenszeit für Geld her, Maschinen treiben sich und die Menschen an. Die messbare Zeit wird dank Mathematik, Physik und Technik zur Ware und kann nicht nur berechnet und gemessen werden, sondern auch gespart und besessen werden. Die Technik der elektrischen Maschinen erreicht als Geschwindigkeit Mitte des 19. Jahrhunderts die höchste Grenze des Wirkungstransports im Universum: Der elektrische Strom wirkt mit Lichtgeschwindigkeit. Die Physik drängt den Rand der erkennbaren Wirklichkeit damit in den Alltag der Moderne. So schnell wie nur möglich, es ist geschafft.

Die Geschichte der Natur

Trotz aller Erfolge der Physik regen sich aber immer wieder Zweifel, ob die physikalischen Vorgänge von Raum und Zeit, von Energie und Materie durch Mechanik, Elektrodynamik und Thermodynamik auch wirklich richtig beschrieben werden. Mitte des 19. Jahrhunderts entstehen historische Naturwissenschaften, für die die Geschichte der Natur grundlegend ist. In der Biologie tritt die Evolution, die Entwicklung des Lebens in den Mittelpunkt. Man entdeckt, dass das Vorher über die Möglichkeiten des Nachher entscheidet. Lebewesen passen sich an und vererben an ihre Nachkommen neue Eigenschaften, die zwar nur durch Zufall als Mutation entstanden sind, die aber bleiben, sich in den folgenden Generationen sogar bevorzugt erhalten und sich immer weiter entwickeln.

Woher kommt diese Energie des Lebens? Hat sie einen anderen Ursprung als die Energien der Physik, oder können Lebewesen auch mittels physikalischer Naturgesetze beschrieben werden? Hält sich das Leben an diese Gesetze? Oder steht es etwa

außerhalb der Natur? Natürlich nicht! Je besser der Aufbau der belebten und unbelebten Materie bekannt wird, umso deutlicher wird die ununterbrochene Verbindung zwischen Leben und Umwelt, zwischen toter und lebendiger Materie. Überall herrschen die gleichen Gesetze, wie sich Atome zu Molekülen verbinden, wie Energie und Materie ausgetauscht werden. Und da tauchen sie wieder auf, die Zweifel an der Physik der einfachen Prozesse, denn wenn das stimmt, dann sind fixe Vorhersagen wie bei den Himmelserscheinungen nicht mehr möglich. Man kann bei einem Lebewesen die Zeit nicht zurückstellen, denn es entwickelt vom Zeitpunkt seiner Geburt hin zum Tod. Und man kann es nicht beliebig auseinandernehmen, denn sonst stirbt es. Lebendig sein bedeutet eine besondere Organisationsform nicht nur einmal zu bilden, sondern sie zu erhalten, mit Energie zu versehen und Abfallstoffe abzutransportieren. Leben ist nicht zurückführbar – der Traum vom Jungbrunnen bleibt ebenso unerfüllt wie der Traum vom Reisen in der Zeit, denn auch unser Planet als Ganzes unterliegt einer Entwicklung, einer planetaren Evolution.

Und damit sind wir bei der zweiten historischen Naturwissenschaft, der Geologie, der Kunde vom Planeten Erde und seiner Geschichte. Hier zeigt sich durch die Funde der Fossilien und der Untersuchung der Kontinente, dass sich die Erde ständig verändert. Die Erosion von Wind und Wetter verwandelt Küsten in Meeresboden, trägt die Berge ab und zertrümmert Gesteine zu Sand. Auch in den Meeren strömt und strudelt es, die Flüsse transportieren Land ins Meer und aus den Vulkanen tritt glutflüssiger Gesteinsbrei explosionsartig an die Oberfläche. Bereits im 19. Jahrhundert war klar, dass sich die Dynamik der Erde nur in Zeitläufen von Milliarden Jahren erklären ließ. Auch das Leben selbst hat nicht in den hochentwickelten Formen der Jetztzeit begonnen, sondern muss sich über viele Milliarden Jahre entwickelt haben. So wird auch hier, in der Geologie, die Zeit aus ihrer passiven Rolle entlassen, sie ist die Herrin des Geschehens, die Bedingung der Möglichkeit für all die Neuerungen und Veränderungen, die sich in Flora und Fauna auf dem Planeten Terra vollzogen haben muss. Nicht zuletzt wird sogar der Mensch selbst ein Gegenstand naturhistorischer Betrachtung. Auch Menschen waren nicht immer so wie heute, sondern sind das Ergebnis einer langen Evolution. Als Darwin diese Thesen veröffentlichte, war das ein Schlag ins Gesicht all derjenigen, die sich für die alles beherrschende Krone der Schöpfung hielten.

In der Physik hielt man diese Historisierung zunächst für ein eher marginales Problem: Wenn man nur genügend forschen würde, dann würde sich alles schon mechanisch lösen lassen. Das Unvorhersehbare der Naturgeschichte, das Irreversible und deshalb nicht Zurückführbare wurde einfach ignoriert. Stattdessen machte man in der Physik weiter mit einer Zeit, die sich nicht einmischt in die Vorgänge.

Einstein dehnt die Zeit

Während um die Physiker herum in Geologie und Biologie die Geschichte der Erde und des Lebens immer mehr im Mittelpunkt stand, stand die Zeit der Physiker still. Das heißt, sie stand nicht wirklich still, aber sie war jederzeit schnell wieder zurück auf $t=0$ gestellt. Die Physiker hatten ein ziemliches Problem mit der Geschwindigkeit, mit der sich Licht ausbreitete. Offenbar war die nämlich immer gleich, ganz egal, wie schnell oder langsam sich eine Lichtquelle bewegte. Das war insofern merkwürdig, als bis dahin jede bewegte Schallquelle oder Wasserkanone wie erwartet Auswirkungen auf die Geschwindigkeit der Schallwellen oder des Wassers hatte. Die Geschwindigkeiten addierten sich einfach. Beim Licht stimmte das aber nicht. Alle Experimente zeigten ganz eindeutig, dass die Geschwindigkeit, mit der sich elektromagnetische Strahlung ausbreitet, immer gleich bleibt, unabhängig von der Bewegung der Strahlungsquelle. Der Mann, der dieses Problem löste, hieß Albert Einstein. Er veröffentlichte im Jahr 1905 einen Artikel mit dem Titel »Die Elektrodynamik bewegter Körper«, der Anfang der speziellen Relativitätstheorie. Einstein startete mit folgender Annahme: Die Lichtgeschwindigkeit ist eine Konstante, unabhängig vom Bewegungszustand der Lichtquelle. Vergleicht man Signale aus zwei verschiedenen, sich mit konstanter Geschwindigkeit aufeinander zubewegenden Bezugssystemen, ergeben sich aus dieser Annahme, dass sich Zeit und Raum ganz anders verhalten als uns ansonsten bekannt – aber nur, wenn die relative Geschwindigkeit nahe bei der Lichtgeschwindigkeit liegt. Dann so, Einsteins Gleichungen, gehen Uhren umso langsamer, je schneller sie sich bewegen. Aber Achtung, hier geht es um die Zeit, die die Uhr anzeigt. Bewiesen wurde diese Vorhersage im 20. Jahrhundert durch eine ganze Reihe von Experimenten, vor allem mit Elementarteilchen, die bis auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt wurden.

In der zehn Jahre später entwickelten Allgemeinen Relativitätstheorie ergibt sich noch zusätzlich, dass eine Uhr tief im Gravitationsfeld im Vergleich langsamer geht als wenn sie weiter davon entfernt ist. Dies wurde in Experimenten hier auf der Erde tatsächlich nachgemessen. Auf einem Turm von nur 20 Meter Höhe geht eine Uhr bereits schneller als auf dem Erdboden. In einem schwarzen Loch würde eine Uhr einfach stehen bleiben. Die Uhr, nicht die Zeit!

Denn die Zeit bleibt auch bei Einstein immer nur in der Uhr. Seine Relativitätstheorien behandeln die Zeit auch nur als messbaren, quantitativen Parameter, nicht als Qualitätsmerkmal für Veränderungen, als Ausdruck für Geschichte. Die Zeit Einsteins ist immer passiv, auch wenn sie sich als Uhrzeit im Vergleich zu dehnen scheint. Übrigens: Egal, wie langsam die Uhren der Relativitätstheorien auch immer gehen mögen, Reisen zurück in der Zeit sind auch dort unmöglich. Auch wenn Einstein mal behauptet haben soll, die Zeit sei nur eine Illusion, auch er ist in der Zeit gealtert.

Die geteilte Zeit der Quantenmechanik

Auf der Suche nach der verlorenen Zeit waren die »goldenen Zwanziger Jahre« fast ein Totalverlust. Nach dem ersten Weltkrieg lief die Inventur der Natur auf vollen Touren. In diesen zehn Jahren haben sich die Physiker vor allem der Struktur der Materie zugewandt. Nun ging es in die Tiefe der Dinge: Aus welchen Teilchen besteht die Materie? Das war die große Frage, der alle Genies der theoretischen und experimentellen Physik auf der Spur waren. Und da diese elementaren Teilchen per Definition ewig existieren, also zeitlos und für immer existieren, hätte eine Diskussion über die Zeit dabei nur gestört.

Dieses Beiseiteschieben der Zeit zog sich bis fast ans Ende des zwanzigsten Jahrhunderts. So lange wird an immer größeren Beschleuniger gebastelt, um das Credo der Quantenmechanik »Alles ist quantisiert und quantifizierbar, zählbar, auch die Energie« in die Tat umzusetzen. Denn je kleiner die Teilchen sind, die da ewig umeinander herschwirren, die sich sogar im völlig leeren Raum in Materie-und-Antimaterie-Paaren immer wieder zeigen, umso größer muss die Energie der Anlagen werden. Will man kleine, ewige Teilchen entdecken, braucht man kilometerlange Beschleuniger, untertage, wo die Teilchen im Kreis rasen, bis sie die Lichtgeschwindigkeit erreichen. Dort, so die Relativitätstheorie, steht die Zeit. Die Teilchen sind dann tatsächlich ewig, weil sie zeitlos sind.

Zeit ist für diese Physiker-Generation keine Messgröße, hat keine Bedeutung. Auch wenn sie selbst darüber alt werden. Ihre Suche nach den allerletzten, nicht mehr teilbaren Grundbausteinen der Materie, das war die große Ära der Physik. Eröffnet haben sie die Quantenmechaniker Heisenberg, Schrödinger, Pauli, Stern, Gerlach, Bohr und viele andere Nobelpreisträger. Aber die Zeit spielte bei der Formulierung und Überprüfung der Quantenmechanik und ihrer Nachfolger nie eine Rolle. Die Zeit blieb ein Stiefkind, sie war in Uhren gefangen, die Atome machen immer dasselbe, und sie war zumeist in so winzigen Zeiteinheiten überhaupt relevant, dass niemand sich darüber ernsthaft Gedanken machte.

Naja, nicht ganz, denn die Entdeckung des radioaktiven Zerfalls mancher Atomkerne machte es zum ersten Mal möglich, das Alter von Gesteinen und damit der ganzen Erde zu bestimmen. Die Kernphysik teilte den Geologen mit, dass die Erde über 4,5 Milliarden Jahre alt sein müsse, denn man habe Kerne entdeckt, die als Tochterprodukte bei radioaktiven Zerfällen entstünden, deren Zerfallszeit bei 4,5 Milliarden Jahren liege. Und nicht nur solche alten Zerfallshuren wurden entdeckt, sondern auch viele ganz kurze, darunter die Uhr des Kohlenstoffs, dessen eine Variante mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren zerfällt und damit für die Archäologen und Anthropologen enorm wichtig ist. Mumien der Pharaonen, aber auch Neandertaler und Cro Magnon lassen sich damit datieren, denn alle bestehen als Lebewesen aus Kohlenstoff, und ein wenig von der radioaktiv zerfallenden Variante ist da immer dabei. Das

Alter der Dinge konnte dank der zerfallenden Kerne nun bestimmt werden. Damit hätte man eigentlich eine richtige Naturgeschichte erzählen können, aber das wollten die Mechaniker der Quanten nicht. Sie suchten nach elementaren Bausteinen und grundlegenden Theorien, da würde eine Geschichte von Entwicklung und Veränderung nur stören.

Unterm Strich: Die Zeit war auch bei der Quantenmechanik dabei, aber eben wieder nur als Uhrwerkzeit. Nur war das Uhrwerk jetzt eben die Materie selbst. Nicht umsonst messen Atomuhren als präziseste Uhren der Welt mithilfe der neu entdeckten zerfallenden Kerne. Schon die moderne Definition einer Sekunde als das 9.192.631.770-fache der Periodendauer der elektromagnetischen Strahlung, die dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Kerns ^{133}Cs entspricht, verrät die enge Verbindung zwischen Materieaufbau durch Atome (mit Atomkernen, die von Elektronen in wohl definierten Energieniveaus umschwirrt werden) und der Messung der Zeit. Gerade aber diese Präzision der Bestimmung von Zeit verweist auf die neuen Möglichkeiten der exakten Messung in allen Bereichen. Aus der Quantenmechanik folgt als technische Neuerung die Technik der digitalen Signalverarbeitung mittels Stoffen, deren Eigenschaften sich nur dank der Quantenmechanik verstehen und künstlich erzeugen lassen. Die gesamte Digitalisierung, eine ganze Armee von Technologien für automatische Kontrolle, Steuerung und vor allem Kommunikation, fußt auf den Erkenntnissen der 1920er. Die Quantenmechanik macht es möglich, die Währung Zeit in den kleinsten möglichen Münzen zu messen und zu zählen.

1929 allerdings geschieht, weitgehend unbemerkt, eine kosmische Revolution, ganz ohne Opfer und Bastille. Nur ein katholischer Priester, ein Astronom und ein großes Teleskop reichten aus, um den Anfang aller Anfänge, den Tag ohne Gestern zu entdecken.

Die Geburt der Zeit – mit und ohne Uhr

Erst in den 1920ern begann man in der Astronomie zu verstehen, dass das Universum viel größer und auch viel älter ist, als man sich das in den kühnsten Träumen vorstellen konnte. Erst 1923 gelang es Edwin Hubble mittels ausgeklügelter Beobachtungen, zu beweisen, dass milchige Nebelflecken am Himmel keine Gaswolken der Milchstraße waren, sondern selber Galaxien wie die Milchstraße. Von einem Tag auf den anderen wuchs das Universum von 100.000 Lichtjahren auf Milliarden Lichtjahre.

Schon der Begriff Lichtjahr verrät den Wahnsinn, die absurde Größe des Raumes und der Zeiträume des Kosmos. Licht legt knapp 300.000 Kilometer pro Sekunde zurück, es braucht von der Sonne acht Minuten, um die Erde zu erreichen. Die Strahlung der Sterne in Andromeda war über 2,5 Millionen Jahre auf dem Weg, bevor es unsere

Teleskope erreicht. Und das ist nur die unmittelbare kosmische Nachbarschaft. In den folgenden Jahren wurden immer weiter entfernte Galaxien und Galaxienhaufen entdeckt.

Und dann entdeckte wieder der geniale Edwin Hubble im Jahre 1929, dass Galaxien sich offensichtlich umso schneller von der Milchstraße entfernen, je weiter sie bereits von uns entfernt sind. Zwei Jahre zuvor hatte ein belgischer Priester, Georges Lemaitre, die Idee niedergeschrieben, dass das Universum expandiere, dass alle Objekte sich im Universum voneinander entfernen. Damit war der Gedanke in der Welt, dass der Kosmos einen Anfang gehabt haben muss. Denn wenn es sich ausbreitet, dann war es gestern kleiner, vorgestern noch kleiner – und dann war es vor sehr langer Zeit so klein wie ein Atom, oder sogar ein Atomkern. Dieser Moment war der Anfang von allem, auch der Zeit. Damals begann der kosmische Zeitpfeil, der seitdem ungebremst immer weiter rast und das Universum auseinandertreibt. Gleichzeitig kühlt es sich ab, also konnte eine Zeit-Temperatur-Beziehung berechnet werden – »Hey Universum, sag mir deine Temperatur und ich sage dir wie alt du bist«.

Die ganz große Uhr hat damals zu ticken begonnen, eine, die niemals mehr auf null gestellt werden kann. Nichts kann mehr zurückgenommen werden, der Raum zwischen den Galaxien wächst immer weiter, immer neue Dinge entstehen. In der kosmischen Geschichte passiert ständig was Neues. Gas verdichtet sich zu Galaxien, in Galaxien entstehen Sterne, die alle Elemente des Periodensystems erbrüten. Sterne explodieren, ihre Hüllen rasen in den Raum zwischen den Sternen und machen die Entstehung von Planeten möglich – und damit auch die Entstehung des Lebens.

Die größte Geschichte aller Zeiten konnte nun endlich erzählt werden. Die Astronomie wird zur Geschichtswissenschaft, zur Ahnenforschung. Von nun an ist alles mit der Zeit verbunden, die Zeit wird zur Grande Dame der Natur. Sie wird zum wichtigsten Bindeglied zwischen allen Naturwissenschaften. Wann war das Universum so heiß wie ein Kernreaktor, wann gab es die ersten Sterne und wann entstanden die ersten Planeten? Alles eine Frage der Zeit. Sie hatte jetzt Eigenschaften, Qualitäten, war der reinen Messung durch Uhren entzogen. Es war die Kosmologie, die Wissenschaft vom ganzen Universum, die alles miteinander verbindet, das Allergrößte mit dem Allerkleinsten. Die Kosmologie war auch die Hebamme der Zeit, als Maß für Veränderung, für Entwicklung bis hin zur Evolution des Lebens.

Nach all den Jahrhunderten der Entdeckungen und Experimente steht die Physik der Zeit jetzt vor der Phase der Synthese, des großen Zusammendenkens aller Facetten der Natur. Und es zeigen sich noch ganz andere Qualitäten der Zeit, ihre Fähigkeit etwa, komplexe Systeme so zu verändern, dass sie bleiben, dass sie überleben und sich an die neuen Zeiten und ihre Bedingungen anpassen. Die Zeit wird entscheidend und empfindlich.

Die Zeit der Wirklichkeit

Seit kurzem hat sich die Zeit in der Physik also Gehör verschafft. Sie ist nicht mehr die passive Größe, die man einfach wieder auf null stellen kann, wenn es dem Experimentator gefällt. Und auch die Theorien haben aufgehört, die Zeit nur als völlig freien Parameter zu behandeln, der nur als Laufvariable ein Mauerblümchendasein spielt. Spätestens seit dem Bericht des Club of Rome über die Grenzen des Wachstums 1972 macht man sich auch in der Physik sehr intensive Gedanken über den Verlauf der Dinge. Die Physik will die Wirklichkeit beschreiben und erklären.

Das grundsätzliche Problem der Physiker ist, dass das Experiment isoliert, die Wirklichkeit aber verbindet. Physikalische Experimente auf der Suche nach den reinen Phänomenen, wie Elementarteilchen oder möglichst ungestörten Prozessen, sind Isolierstationen. Sie trennen das im Experiment untersuchte explizit von der Umgebung, der Realität ab. Man findet keine Elementarteilchen auf der Wiese oder im Supermarkt. Man findet sie in Beschleunigeranlagen, bei sehr niedrigen Dichten, mit starken Magnetfeldern und untertage. Der große Hadronenbeschleuniger in der Schweiz liegt hundert Meter unter der Erdoberfläche und besteht aus einem Ring von 27 Kilometer Länge, der evakuiert wird, bevor man mit supraleitenden Spulen, die bei 3 Kelvin knapp über dem absoluten Nullpunkt gehalten werden, so starke Magnetfelder erzeugt, dass man die elektrisch geladenen Teilchen auf ihre Bahnen zwingen kann. Die Präzision dieser Experimente dort ist so, als ob man in New York eine Nähnadel mit Lichtgeschwindigkeit über den Atlantik jagt, die in Lissabon durch ein Nadelöhr fliegt. Und zwar treffgenau jedes Mal! So genau muss die Physik heute sein.

Solche und viele andere Experimente zeigen, wie gut die Physik im Messen von Längen und Zeiten und damit auch Geschwindigkeiten heute ist. Und doch sind es immer isolierte Experimente, grandiose Einzelstücke, aber eben nicht das Gesamtkunstwerk Wirklichkeit.

In der Wirklichkeit passiert unglaublich viel, und zwar gleichzeitig. In der Wirklichkeit vollzieht sich ständig Veränderung, hängen einzelne kleine Prozesse mit dem großen Ganzen so zusammen, dass man beides nicht voneinander trennen kann, ohne alles zu zerstören. Die Wirklichkeit ist mehr als die Summe ihrer Teile. Je deutlicher die Konsequenzen der getrennten Inventur der Einzelteile der Natur und ihrer technischen Umsetzung wurden, umso klarer wurde die Bedeutung der Zeit als aktivem Teil dieser Wirklichkeit.

In Wahrheit nämlich ist die Zeit die Bedingung der Möglichkeit, dass sich etwas verändert. Vom Vorher hängt in Wirklichkeit alles ab für das Nachher. Und damit ändert sich auch für die Physik alles. Denn in wirklichen Systemen regiert die Zeit den Raum. Was im Raum überhaupt physikalisch passieren kann, hängt von den vorherigen Veränderungen ab.

Diese neue, zeitfokussierte Physik beschreibt zunächst viele alte Fragen. Sie nimmt sich der Vergangenheit als konstitutivem Gegenstand an. Nach der über vier Jahrhunderte vollzogenen Forschung nach den notwendigen Naturgesetzen und deren Auswirkungen kommt jetzt den Anfangsbedingungen und Randbedingungen dieser Naturgesetze in der Physik eine immer größere Bedeutung zu. Sie stellen nämlich den »Tatsachengehalt der Welt« dar, wie Bernd Olaf Küppers es einmal in seinem Buch *Die Berechenbarkeit der Welt* genannt hat. Dem platonischen Ideal der vollständig mathematischen theoretischen Physik mit ihren Gleichungen, Symmetrien und ewigen Prinzipien steht jetzt das Einzigartige, Unmittelbare und stetig sich Wandelnde der Realität gegenüber. Klima und Leben, Chaos und Komplexität, Nichtlinearität und Rückkopplung, das sind die neuen Zauberworte der Physik. Und an allem nagt der Zahn der Zeit.

Aus der ewig den Kosmos durchdringenden Zeit des Universums eines Newtons oder Einsteins oder auch des quantenmechanischen Tickens eines Heisenbergs oder Bohrs wird die Zeit der Wirklichkeit. In ihr zerspringen Tassen, sterben Menschen, wachsen Bäume, wehen Winde und brennen Häuser. Ob das Klima sich demnächst radikal ändert, hängt von allem ab, was vorher und jetzt passiert. Ob Leben auf einem Planeten entstehen kann, hängt vom Vorher ab, aber auch vom Drumherum, das sich eben ständig ändert. Wäre Leben so passiv wie die Zeit der Differentialgleichungen der Physik, dann würde es kein Leben geben. Die Wirklichkeit reagiert auf sich selbst, und zwar sehr empfindlich. Komplexe Systeme sind derart mit- und ineinander vernetzt und rückgekoppelt, dass bereits kleinste Variationen dramatische Auswirkungen haben können.

Die guten alten Zeiten der Himmelsmechanik und ihrer präzisen Vorhersagen sind damit vorbei. Prognosen sind für komplexe Systeme ganz schwierig. Aber auch das sind alles Erkenntnisse der Physik. Sie untersucht heute eben auch solche wirklichen, komplexen Systeme, und zwar mit den erfolgreichen Methoden der Experimente und Theorien. Sie verbindet den »alten Erfolg« mit neuen Herausforderungen, in dem sie der Zeit Rechnung trägt. Stabilität und Widerstandsfähigkeit von natürlichen Systemen sind abhängig von ihrer Geschichte. Je mehr Optionen, also Möglichkeiten ein System besitzt – man könnte auch sagen: je vielfältiger es aufgebaut und vernetzt ist –, umso stabiler reagiert es auf äußere Störungen. Dazu gehört vor allem auch zeitliche Vielfalt. Viele ineinander geschachtelte Hierarchien von Prozessnetzen und Prozessketten machen ein natürliches System zu dem, was es ist – ein höchst anpassungsfähiges Netzwerk. In seiner höchsten Ausformung ist dies das als Leben, unter anderem das menschliche Leben und dort ganz besonders das Selbstbewusstsein. In uns wird sich Materie seines Selbst bewusst.

Und das hat natürlich Konsequenzen.

Die Zeit und wir

Die Physik als die technische Leit- und Grundlagenwissenschaft entscheidet darüber, wie wir mit der Zeit umgehen. Ihr Erfolg über die Jahrhunderte begründet das große Vertrauen, das die Gesellschaft in die Ergebnisse physikalischer Forschung heute hat. Die Vorstellung einer von allem völlig unabhängigen Zeit, die von den mechanischen und später elektrischen und quantenmechanischen Messinstrumenten und Uhren scheinbar gebändigt und damit auch beherrscht und manipuliert werden kann, gehört in das Arsenal der Physik des Seins. Uhren sperren die Zeit in Takt und Maschine ein und machen sie uns untertan – so wie es über drei Jahrhunderte die Aufgabe der Naturwissenschaften insgesamt war, den biblischen Auftrag »Macht Euch die Erde untertan« zu erfüllen. Die Inventur der Natur hat uns einen Begriff von Zeit gegeben, der starr und fest ist. Eine Zeit, mit der wir machen können, was wir wollen. Das hat sich natürlich auch in unseren Technologien und in unserem Umgang mit den Rhythmen der Natur niedergeschlagen.

Die neue Physik des Werdens, des sich Entwickelns, wie Ilya Prigogine, Nobelpreisträger in Chemie, es einmal genannt hat, verfolgt einen ganz anderen Begriff von Zeit. Die Physik der komplexen technischen und natürlichen Systeme berücksichtigt die unterschiedliche Dynamik der verschiedenen Zeitformen. Sie nimmt vor allem auch die einzelnen Ereignisse als wichtige Bestandteile der Wirklichkeit in den Fokus. Wenn nämlich vernetzte und rückgekoppelte komplexe Prozessketten, seien sie nun natürlich oder technisch, so empfindlich von der mittelbaren und unmittelbaren Vorgeschichte der Umgebung abhängig sind, dann kommt es im wahrsten Sinne des Wortes auf jeden Augenblick an. In einem Moment kann sich alles entscheiden, wenn ein System im entsprechend angespannten Zustand ist. Ob es sich dabei um ein fast vollständig gefülltes Glas Wasser handelt, eine Tasse direkt an der Tischkante oder unser Klima, immer ist es möglich, dass unmittelbar danach etwas Unwiderruffliches passiert. Eine Entscheidung findet statt, und damit werden alle Optionen zerstört. Eine Entscheidung, ob nun persönlich, technisch oder natürlich, ist immer zugleich Verzicht auf alle wegfallenden Optionen – die neue Situation folgt und damit ist alles anders.

Unsere Verantwortung für unsere Entscheidungen, vor allem als technisierte Gesellschaft, speist sich aus den Kenntnissen der alten und der neuen Physik. Diese neue Physik der Komplexität, der sich selbstorganisierenden technologischen und natürlichen Systeme, macht den Weg frei für eine ganz neue Sicht auf die Zeit. Sie ist nämlich alles andere als kristallhart, starr und unverrückbar. Sie ist nicht nur eine gemessene Zahl, eine Quantität.

Im Zusammenspiel der verschiedenen Hierarchieebenen beginnen Zeiträume, sich wechselseitig zu beeinflussen. Langsame natürliche Vorgänge werden beeinflusst von unseren schnellen und intensiven Eingriffen in natürliche Rhythmen. Aber genauso wirken diese langsamen Vorgänge auf uns zurück. An unserer eigenen Lebenszeit zum

Beispiel können wir nichts drehen und ändern. Aber wir können bei dem was wir tun an die nächsten Generationen denken. Die Zeit unserer Kinder und Kindeskindern wird maßgeblich durch unsere heutigen Entscheidungen bestimmt werden. Und gerade die rein natürlichen Sphären von Erde, Luft und Wasser auf unserem Planeten unterliegen einem uralten Wechselspiel, das sich von unseren Zielen und Zwecken nicht ein Jota beeinflussen lässt. Aber wir können durch entsprechenden Respekt und Rücksicht für die nachfolgenden Generationen Spielräume schaffen. Spielräume für neue Optionen, für Möglichkeiten neuer Übergänge, für sehr positive Überraschungen. Pflanzen wir ihnen aber einen völlig unangemessenen Begriff von Zeit ein, der mehr Maschinen als Lebewesen entspricht, wie es zum Beispiel durch den unregelmäßigen Einsatz von Algorithmen und Computern geschieht, dann nehmen wir der Zukunft ihre Zukunft.

Je mehr wir von der Zeit verstehen, umso klarer wird unsere Stellung in der Welt. Wir sind das Tier, das mit der Zeit umgehen kann. Zeit als Partner, die sich mit uns durchs Leben bewegt und ihm eines Tages auch ein Ende machen wird. Zeit aber auch als etwas Unverfügbares, das sich weder durch Maschinen noch durch Uhren gängeln, drangsalieren oder gar beherrschen lässt. Die Physik beschäftigt sich per definition nur mit dem, was sich messen und zählen lässt. Die, die Physik betreiben, sind in diesem Sinne die Messinstrumente ihrer eigenen Lebenszeit. Insofern liefert sie uns schon immer nur eine sehr beschränkte Vorstellung von Zeit. Wenn wir das verstehen, dann werden wir nicht mehr nur auf die Uhr gucken. Dazu ist es nie zu spät.

+++++

Prof. Dr. Harald Lesch ist Physiker, Naturphilosoph, Bestsellerautor und Fernsehmoderator. Er lehrt als Professor für Theoretische Astrophysik an der Ludwig-Maximilians-Universität München und als Lehrbeauftragter für Naturphilosophie an der Hochschule München.

Harald Lesch im oekom verlag

- Harald Lesch, Karlheinz A. Geißler und Jonas Geißler: *Alles eine Frage der Zeit. Warum die „Zeit ist Geld“-Logik Mensch und Natur teuer zu stehen kommt.* oekom verlag, München 2021
<https://www.oekom.de/buch/alles-eine-frage-der-zeit-9783962382483>
- Hörbuch-Fassung, gelesen und kommentiert von Harald Lesch
<https://www.oekom.de/special/lesch-geissler-alles-eine-frage-der-zeit/hoerbuch/c-502>