

Hardwin Jungclaussen

Die Zeit im Computer und im Gehirn

Vortrag gehalten auf dem Kolloquium „Zeit und Zyklizität in Natur und Gesellschaft“, Dresden. 02.04.2002; abgedruckt in: Texte zur Philosophie, Heft 11, Rosa-Luxemburg-Stiftung Sachsen e.V. 2002

Das in den vorangehenden Vorträgen über die Zeit Gesagte möchte ich um einige Gedanken eines Informatikers ergänzen. Ich bin mir bewusst, dass die folgenden Überlegungen nicht bis in alle Konsequenzen durchdacht sind. Aber welcher Gedanke kann das für sich in Anspruch nehmen. Nachdenken ist Suchen und Versuchen.

Meine Überlegungen gehen von einem charakteristischen Unterschied zwischen der Arbeitsweise eines Computers und der eines Gehirns aus. Die Prozesse im Gehirn sind im ständigen Fluss. Sie wiederholen sich niemals ganz genau. Man kann nicht zweimal exakt dasselbe denken, auch dann nicht, wenn man zweimal ein und dieselbe Rechenaufgabe löst. Nicht nur die Denkwege können unterschiedlich sein, auch die Möglichkeit des Irrrens besteht immer. Das Denken des Menschen kann nicht zweimal in denselben Fluss der Gedanken springen, um mit Heraklit zu sprechen.

Ganz anders im Falle des Computers. Er „denkt“ exakt reproduzierbar, d.h. auf ein und dieselbe Frage gibt er stets ein und dieselbe Antwort (vorausgesetzt, die Hardware arbeitet fehlerfrei und die Software enthält keinen Programmierfehler). Sogar jeder Computer, der über die notwendigen Ressourcen verfügt, gibt dieselbe Antwort, einerlei, ob er dafür eine Sekunde oder einen Tag benötigt. Es sieht so aus, als existiere die Zeit für den Computer nicht, während sie für das menschliche Denken eine wesentliche Rolle spielt. Warum ist das so?

Um das zu erklären, führe ich eine problemangepasste „Definition“ der Zeit ein. Ich beginne mit einem Gedanken aus dem Buch „Was ist Zeit?“ von Friedrich Seemann [Friedrich W. Seemann: Was ist Zeit? Berlin: Wissenschaft und Technik Verlag, 1997, S. 136], den ich verkürzt wiedergebe: Die Zeit ist diejenige physikalische Größe, die am präzisesten messbar und am unpräzisesten erfassbar ist. Zeit lässt sich auf 13 Stellen genau messen; das entspricht einer Ungenauigkeit von einer Sekunde in 300 000 Jahren Messzeit. Andererseits zeichnet sich die Zeit dadurch aus, dass sie nicht direkt wahrgenommen werden kann, sie ist nicht „anfassbar“. Eine Länge kann man abschreiten oder zwischen die Finger nehmen, die Masse eines Steines empfindet man, wenn man ihn anhebt, Schall hört man, Licht sieht man, Druck und Temperatur fühlt man über die Haut, einen elektrischen Strom empfindet man, wenn man einen Schlag bekommt. Die Zeit aber übt keinerlei direkte Wirkung aus, weder auf unsere Sinnesorgane noch auf das übrige Geschehen in der Welt. Zeit an sich hat keine Wirkung. In diesem Sinne gibt es keine wirkende Zeit, oder etwas provokanter ausgedrückt: Es gibt keine „wirkliche“ Zeit. Wie kommt es dann zum Zeitempfinden und zum Zeitbegriff?

Besonders deutlich empfindet man die Zeit, wenn man auf etwas wartet. Doch wartet man nicht auf die Zeit, sondern auf ein Ereignis, von dessen Eintreten das eigene Handeln abhängt. Das Ereignis, nicht die Zeit übt eine Wirkung auf das Handeln aus. Unter bestimmten Umständen kann es jedoch den Anschein haben, als sei die Zeit selber wirksam („wirklich“), wie folgendes Beispiel zeigt.

Angenommen, ich befinde mich auf einer Reise und muss umsteigen. Ob ich den Anschlusszug erreiche, hängt von der zeitlichen Reihenfolge der Ereignisse Zugankunft und Zugabfahrt ab. Insofern scheint die Zeit Wirkung auf meine Reise zu haben. Am Umsteigen sind drei parallel ablaufende Prozesse beteiligt, das Fahren zweier Züge und mein eigenes Tun, das die beiden anderen Prozesse in gewisser Weise miteinander verkoppelt. Die Zeit

wirkt über die Reihenfolge der Ereignisse Ankunft und Abfahrt auf mein Handeln und wird damit für mich „wirklich“. Ich verallgemeinere: „Wirkliche“ Zeit gibt es nur im Zusammenhang mit gekoppelten parallelen Prozessen, oder noch schärfer formuliert: Zeit wird durch aneinander gekoppelte parallele Prozesse generiert. Dass diese Verallgemeinerung gerechtfertigt ist, erkennt man, wenn man sich klar macht, dass es in einem reinen Nacheinander, in einer linearen Ereignisfolge keine „wirkliche“ Zeit gibt. Sie kann aber durch einen parallel ablaufenden Beobachtungsprozess eingeführt (generiert) werden, z.B. durch eine Zeitmessung; dann wird der zu vermessende Prozess an den Gang einer Uhr gekoppelt.

Die Gesamtheit aller denkbaren Ereignisse kann man sich als Netz oder besser als gerichteten Graphen vorstellen, dessen Knoten Ereignisse sind. Nur sie sind „wirklich“, die Kanten fügt unsere Vorstellung hinzu und nennt sie Zeit. Durch gedankliche unendliche Verlängerung des gerichteten Ereignisgraphen in beide Richtungen ergibt sich der abstrakte Begriff der Zeit. Die Zeit wird in unserer Vorstellung durch Ereignisse in gekoppelten parallelen Prozessen generiert. Sie ist ein gedankliches Konstrukt und der fundamentalste Begriff, den der Mensch zum Zwecke des sprachlichen (und gedanklichen) Modellierens der Welt gebildet hat.

Dies ist die angekündigte problemangepasste „Definition“ der Zeit, die freilich keine Definition ist. Der Zeitbegriff lässt sich nicht definieren, weil es keine fundamentalen Begriffe gibt, auf die er sich zurückführen ließe. In der Physik wird die Zeit eingeführt, indem Messmethoden angegeben werden und die Rolle der gemessenen bzw. messbaren Zeit, die sie bei der Beschreibung der Welt spielt, mathematisch festgelegt wird. Diese Rolle ist nicht ein für allemal durch die Natur vorgegeben. Tatsächlich hat sie durch die Relativitätstheorie eine tiefgehende Änderung erfahren.

Aus dem oben eingeführten Begriff der wirkenden oder „wirklichen“ Zeit ergibt sich die Rolle, welche die Zeit im Computer spielt. In einem arbeitenden Computer laufen viele gekoppelte Prozesse parallel ab, das heißt, es wird ein Ereignisgraph generiert. Jedes Ereignis ist ein Datentransfer, der in einer Übergabe elektrischer Impulse von einem Register an ein anderes besteht. Die Möglichkeit, dass die Zeit eine Wirkung hat, ist also im Prinzip gegeben. Doch wird von einem Computer verlangt, dass er auf einen Auftrag, den er autonom (ohne weitere Eingaben) ausführt, ein eindeutiges und beliebig oft reproduzierbares Resultat liefert. Das Resultat muss also unabhängig sein von den Zeitpunkten der Datentransfers und von der Dauer der Teilprozesse, in deren Verlauf die zu transportierenden Zwischenergebnisse produziert werden.

Dieses Ziel wird durch zwei Maßnahmen erreicht, hardwaremäßig durch einen Taktgeber, der die Datentransfers synchronisiert, und softwaremäßig durch Programme, die den Einfluss des Zeitbedarfs der Teilprozesse auf das Endresultat ausschließen. Tatsächlich hängt das Resultat, das ein Computer bei Abarbeitung eines Programms liefert, weder von der Taktfrequenz des Prozessors noch davon ab, wie viel Zeit die einzelnen Teiloperationen benötigen; kurz, die Zeit spielt im Computer keine Rolle, m. a. W. : Aus der Sicht des autonom arbeitenden Computers gibt es keine wirkliche Zeit. Sie spielt erst dann eine Rolle, wenn die internen Prozesse im Computer mit externen Prozessen verkoppelt werden, z.B. bei der Echtzeitsteuerung von Anlagen oder im Echtzeitdialog mit einem Computernutzer.

Etwas Ähnliches gilt auch für den Menschen. Wer sehr konzentriert etwas aufnimmt oder über etwas nachdenkt, für den existiert die Zeit nicht. Doch tritt sie bei einer störenden Einwirkung aus der Umwelt sofort in sein Bewusstsein, z.B. wenn er angesprochen wird oder wenn das Telefon klingelt. Er empfindet dann durch die Unterbrechung seines Gedankenflusses die „wirkliche“ Zeit. Aus neurophysiologischer Sicht spielt die „wirkliche“ Zeit im Gehirn eine weit kompliziertere und fundamentalere Rolle, wie sogleich gezeigt wird [siehe dazu Geißler, Hans-Georg: Ultragenauere Zeitzyklen in der menschlichen Informationsverarbeitung, in diesem Heft und Geißler, Hans-Georg: Zeitverarbeitung -

Verarbeitungszeit: Temporale Invarianten und oszillatorische Mechanismen in Wahrnehmung und Gedächtnis. Zeitschrift für Psychologie 208 (2000) 129-168].

Die Informationsverarbeitung im menschlichen Gehirn beruht, ebenso wie im Computer, auf dem Transport von Impulsen, die aber nicht von elektronischen Bauelementen, sondern von Neuronen generiert werden. Man sagt, dass ein Neuron feuert, wenn es einen Impuls ausgibt, der dann über das Axon weitergeleitet wird. Das Feuern der Neuronen hört niemals auf, solange das Gehirn lebendig ist. Ständig werden Impulse generiert und ständig fließt ein Impulsstrom durch die graue Materie. Doch werden die Impulse nicht synchron generiert wie im Computer. Nur unter bestimmten Bedingungen können sie sich in gewissem Umfange synchronisieren. Das aktive Gehirn generiert also ein Netz von weitgehend asynchronen Ereignissen und damit „wirkliche“ Zeit. Das Gehirn agiert „in wirklicher“ Zeit, die es selber generiert.

Insbesondere agiert auch der assoziative Kortex „in wirklicher“ Zeit. Das ist derjenige Bereich des Gehirns, dessen neuronale Anregungszustände ins Bewusstsein treten (m.a.W. Bewusstseinsinhalte codieren) können [siehe z.B. Dudel, Josef; Randolph Menzel; Robert F. Schmidt (Hrsg.): Neurowissenschaften. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1996, S. 555]. Anregungszustände wie Bewusstseinsinhalte sind diskreter Natur. Die obige für das Gehirn formulierte Schlussfolgerung gilt auch für das Bewusstsein: Das Bewusstsein agiert „in wirklicher“ Zeit, die das Gehirn produziert. Nicht nur der Begriff der abstrakten Zeit, sondern auch die erlebte „wirkliche“ Zeit ist ein Produkt des Gehirns. Die erlebte Zeit, die der assoziative Kortex im Bewusstsein generiert, kann nur eine lineare Zeit sein, die sich aus einem strengen Nacheinander wahrgenommener Ereignissen ergibt, denn der assoziative Kortex lässt immer nur einen einzigen Inhalt ins Bewusstsein treten. Die Wurzel der erlebten linearen Zeit liegt in der Struktur und Funktion des Gehirns.

Wir stellen uns die Zeit nicht nur als etwas Lineares, sondern zudem als etwas kontinuierlich Fließendes vor. Es erhebt sich die Frage, wie es zur Vorstellung der kontinuierlichen Zeit kommen kann, wenn die erlebte Zeit durch diskrete Zustände des assoziativen Kortex „diskretisiert“ sein müsste? Wir sehen die Elbe kontinuierlich fließen. Sie macht keine Sprünge. Offenbar spielt hier der sinnliche Eindruck bei der Herausbildung neuronaler Anregungszustände und ihrem Bewusstwerden eine wesentliche Rolle, gewissermaßen die Rolle eines Digital-Analog-Umsetzers. Wenn man das fließende Wasser eines Flusses beobachtet, nimmt man einen kontinuierlichen Fluss von Zuständen (von „Ereignissen“) wahr, obwohl der zugrunde liegende neuronale Prozess eine diskontinuierliche Folge von Anregungszuständen ist. Das bedeutet, dass ein im Bewusstsein vorgestellter kontinuierlicher Prozess und der entsprechende neuronale Anregungsprozess nicht miteinander identisch sein können, dass also die Ausgangshypothese der sog. Identitätstheorie nicht exakt zutreffen kann.

Diese Überlegungen zur Informationsverarbeitung im Gehirn zeigen, dass neben dem physikalischen Weg ein zweiter Weg existiert, auf dem man sich einem Verständnis des Zeitbegriffs nähern kann, der Weg der Psychologie und Neurophysiologie. Dabei wird ein gewisses Vorverständnis darüber vorausgesetzt, was unter Zeit zu verstehen ist. Der Weg enthält also einen hermeneutischen Zirkel, der nicht zum naturalistischen Fehlschluss verführen darf, also zu der Meinung, man hätte auf diesem Wege erklärt, was Zeit ist.

Die dargelegten Vorstellungen über das Zustandekommen des Zeitbegriffs sind keineswegs neu. Vor mehr als anderthalb Jahrtausenden schrieb der Heilige Augustinus (374-430) : “Erst aus diesem bewegten Gestaltenwandel, aus dem Nacheinander von dem und jenem, was nicht zugleich bestehen kann, erst aus den kürzeren oder längeren Zwischenstrecken, die durch das Weichen des einen und das Nachrücken des anderen sich ergeben, kommt die Zeit zustande“ [Augustinus: Bekenntnisse; zitiert nach Störig, Hans Joachim: Kleine Weltgeschichte der Philosophie, Frankfurt am Main; Fischer Verlag, 1989; S. 229]. Hans Joachim Störig charakterisiert die Zeitauffassung des Augustinus folgendermaßen: „Es ist die Beschränktheit

unseres menschlichen Bewusstseins, welches das immer Seiende nur in der Erscheinungsform des Nacheinander fassen kann. Vor Gottes Auge ist alles gleich gegenwärtig“ [a.a.O.].

An anderer Stelle schreibt Augustinus: „Herr du bist ewig, aber ich - ich springe in Zeiten auseinander, von denen ich nicht weiß, warum sie eben so sich folgen. Im Strudel eines Vielerlei zerstückt sich mein Denken, mein innerstes Leben, bis ich mit allem münde in Dir“ [a.a.O.].

Für Augustinus mündet alles Nachdenken über Dinge, die dem menschliche Verstande unbegreiflich sind, in Gott. Auch heutzutage werden unerklärbare Phänomene gerne an eine höhere Instanz delegiert. Früher war diese Instanz ein Gott mit menschlichen Zügen. Heute kann sie ein Phantasiegebilde mit technischen Zügen sein, beispielsweise ein Allspeicher, in dem alle Ereignisse „gegenwärtig“ sind und aus dem sie von „hellsehenden“ Menschen zu jedem Zeitpunkt ausgelesen werden können, auch dann, wenn der Lesezeitpunkt dem tatsächlichen Ereigniszeitpunkt vorangeht. Ein Mensch, für den Phänomene wie beispielsweise Synchronizität, Hellsehen oder andere sogenannte parapsychologische Phänomene Realität sind und die er erklären möchte, kann kaum umhin, irgendeine Art höherer Instanz anzunehmen. Aber welcher Art diese auch sei, in jedem Fall ist sie zeitlos. Vor ihr scheint die Zeit aufgehoben zu sein.

Die letzten Bemerkungen waren nicht mehr die Gedanken eines Informatikers, sondern eher die eines Parapsychologen. Abschließend möchte ich einen Physiker zu Worte kommen lassen. Er könnte beanstanden, dass erstens die Kausalität nicht gebührend einbezogen wurde, und dass zweitens der „naive“ Begriff der linearen, unendlichen Zeit von der Wissenschaft überholt ist. Auf den ersten Einwand würde ich entgegnen, dass der Begriff der Kausalität zwar für die kausale Erklärung der Welt im Sinne des physikalischen Weltbildes erforderlich ist, nicht aber für die Erklärung der Herausbildung des naiven Zeitbegriffs, von dem ich als Informatiker gesprochen habe.

Der zweite Einwand ist berechtigt. Die naive Vorstellung von der unendlichen, linear ablaufenden, universellen Zeit entspricht dem newtonschen Zeitbegriff, der durch die Relativitätstheorie überholt ist. Aber der relativistische Zeitbegriff entspricht nicht unserer täglichen Erfahrung, denn er entspringt der Beobachtung einer Welt, die hinsichtlich Raum, Zeit, Geschwindigkeit und Energie weit über die Welt hinausgeht, in der sich unser Alltag vollzieht. Darum kann das Gehirn des Menschen den relativistischen Zeitbegriff nicht ohne Weiteres produzieren und im Grunde auch nicht verstehen.

Die Wandlung des Zeitbegriffs und seine Unverständlichkeit sollte uns also nicht in Erstaunen versetzen. Erstaunlich ist vielmehr, wie weit die Physiker es mit dem naiven Zeitbegriff gebracht haben, und dass Newton auf seiner Grundlage die Bewegung der Planeten mit großer Genauigkeit beschreiben konnte, wenn auch nicht ganz genau. Was werden unsere Nachfahren über die Zeit denken? Wir wissen es nicht und wir würden es auch nicht verstehen. Steven Hawkings „Kurze Geschichte der Zeit“ lässt es ahnen [Stephen W. Hawking: Eine kurze Geschichte der Zeit. Die Suche nach der Urkraft des Universums. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1991].