

Moderne Physik und Ewigkeit

Rainer Gruber

Die Ewigkeit. Eine Konferenz mit praktischen Übungen, Braunschweig, 24.4.2015

Ewigkeit stößt sich ab von Zeit und von der Vergänglichkeit unseres Lebens. Alles, was sich abstößt, ist geprägt von dem, wovon es sich abstößt. Vielleicht gibt uns also eine Untersuchung des Schicksals der Zeit Aufschluß über Ewigkeit.

1.

Die Vorstellung von Zeit hat im Laufe der Herausbildung der modernen Physik eine turbulente Entwicklung durchgemacht. Mit der *speziellen* Relativitätstheorie ist die universale, auf Ewigkeit ausgerichtete Zeit zersplittert in Eigenzeiten. Mit der *allgemeinen* Relativitätstheorie sind für Raum und Zeit erstmals ein Beginn und ein Ende denkmöglich geworden.

Das heißt, Raum und Zeit durchlaufen in der modernen Physik eine Metamorphose, die Carlo Rovelli – einen Wissenschaftler, der an der Verbindung von allgemeiner Relativitätstheorie und Quantentheorie forscht – sagen lassen kann: „Raum und Zeit sind eine Illusion – sie sind wie Schnee für die Eskimos.“

2.

Die Vorstellungen der klassischen Physik - die mit Vorstellungen in unserem Kopf korrespondieren – sind geprägt durch markante Scheidungen. Zeit ist strikt geschieden vom Raum, Und beide, Raum und Zeit, sind strikt geschieden von der Materie, d.h. von dem, was sich *abspielt* in Zeit und Raum.

Was bedeutet es, Raum und Zeit voneinander zu scheiden?

- der Raum wird zeitlos. Ein Moment von Ewigkeit entsteht – widergespiegelt in einer abstrakten Geometrie, die scheinbar zu allen Zeiten Gültigkeit hat. Das verführt Menschen wie bspw. Roger Penrose, einen berühmten Mathematiker, zu der Auffassung, der Zahl Pi komme in dieser Welt eine eigene Existenz zu, unabhängig davon, ob Menschen existieren und jenseits jeder Zeitlichkeit.

- und die Zeit ihrerseits wird universal. Sie scheint überall gleichermaßen gültig zu sein, denn sie hängt ja nicht vom Ort ab.

Diese Vorstellung einer universalen Zeit hat – nebenbei bemerkt - fatale Konsequenzen. Denn wenn die Zeit nicht vom Ort abhängt, so muß sie notwendigerweise in China dieselbe sein wie in Europa. Wenn aber die Chinesen eine andere Zeitvorstellung entwickelt haben – und das haben sie – dann kann diese in unseren Augen nur rudimentär und vormodern sein. Denn wir *wissen* ja – und können es uns garnicht anders vorstellen – als daß die Zeit unabhängig vom Ort abläuft.

Sie bemerken die leicht kolonialistische Schräglage, die mit dem Auftauchen des Begriffs *universal* verbunden ist. Er ist in unserem Zusammenhang einzig der Tatsache geschuldet, daß wir Europäer – im Gegensatz zu allen außereuropäischen Völkern – Raum und Zeit strikt voneinander geschieden haben.

Wo der Raum sein *ewiges* Dasein gewinnt, bekommt die Zeit einen *universalen* Charakter.

Am sinnfälligsten wird diese Scheidung von Raum und Zeit in der *Uhr* repräsentiert. Sie tickt ihrem Postulat nach gleichmäßig, egal nicht nur, *wo* sie sich befindet, sondern auch egal, *was* ansonsten in der Welt passiert, und insbesondere egal, was ich hier über die Zeit rede. Das heißt, die Zeit, wie wir sie uns vorstellen, scheint auch geschieden von der sie umgebenden Materie.

3.

Die moderne Physik besteht ganz wesentlich im Rückgängig machen all dieser *Scheidungen*, die in der klassischen Physik als Grundlage unserer Naturbeobachtung eingeführt wurden und die auch unsere – europäischen – Köpfe bevölkern.

Die *spezielle* Relativitätstheorie verschmilzt Raum und Zeit zu einer *Raumzeit*. Die Vorstellung, die beiden als voneinander geschieden anzusehen, ist eine Illusion, die wir Menschen an die Realität heran getragen haben. Und Sie merken: sobald ich sage *wir Menschen*, muß ich mich verbessern: wir *europäisch geprägten* Menschen. Denn andere Kulturkreise kennen solcherart strikte Scheidung, in der das Eine mit dem Andern nichts zu tun hat, nicht.

Die *allgemeine* Relativitätstheorie hebt die Scheidung der Raumzeit von der Materie auf, wobei die Materie sich in diesem Fall als *Gravitation*, als die Schwerkraft präsentiert.

Ich werde Ihnen zwei *anschauliche Beispiele* geben, die illustrieren, wie sehr unsere europäischen Vorstellungen von Raum und Zeit durch das Aufheben dieser Scheidungen durcheinander gewirbelt wurden; und wir können dann versuchen zu bestimmen, was in dieser laufenden Waschmaschine mit der *Ewigkeit* passiert.

Stellen Sie sich zwei Zwillinge vor, einen Mann und eine Frau, beide zwanzig Jahre alt. Sie besteigt eine Rakete und fliegt mit nahezu Lichtgeschwindigkeit in den Weltraum. Sie kehrt zurück, nachdem in ihrer Zeit zwei Jahre vergangen sind, d.h. sie ist körperlich um zwei Jahre gealtert. In der Zwischenzeit sind auf der Erde bspw. 60 Jahre vergangen, ihr Bruder ist 80 und auch die technische Zivilisation ist um 60 Jahre vorangeschritten. D.h. diese Frau, die die modernste war, als sie losgeflogen ist und die jung geblieben ist, ist nun hoffnungslos veraltet; sie findet sich in dieser Umgebung nicht mehr zurecht.

Dieses sog. Zwillingsparadoxon – das kein Paradoxon ist, sondern genauestens nachgewiesen – verdeutlicht: es gibt keine universale Zeit. Die eine, universale, auf Ewigkeit ausgerichtete Zeit zersplittert in *Eigenzeiten*. Jede und jeder von uns hat seine Eigenzeit, je nach der Kette von Bewegungszuständen, die sie oder er durchlaufen hat. Lediglich der Sachverhalt, daß unsere Geschwindigkeiten winzig sind im Verhältnis zur Geschwindigkeit des Lichts, bewirkt, daß wir diese differierenden Eigenzeiten nicht wahrnehmen.

Und nun erkennen wir, daß die Zeitvorstellung der modernen Physik wesentlich näher an der des chinesischen Kulturraums liegt als an unserem europäischen. Fragen wir eine Chinesin „wann war denn das?“, so wird sie antworten: *in der Sung-Dynastie* oder *in der Zeit der Tang-Dynastie*, worauf wir nervös auf Präzisierung drängen: *ja, aber wann war denn das?* Das traditionelle China kennt keine universale Zeit. Zeit wie auch Raum wurden durch Rituale des Herrschers zu Beginn einer Dynastie konstituiert und besaßen nur für diese Dynastie Gültigkeit.

Die *allgemeine* Relativitätstheorie geht einen Schritt weiter. Sie hebt die Scheidung der nunmehr vereinigten Raumzeit von der *Materie* auf. Als Resultat erhält das Universum eine

Genese. Dieses Universum, vormals der Inbegriff des *Ewigen*, entsteht nun im *Bigbang*; es *explodiert* und seit ein paar Milliarden Jahren beschleunigt sich seine Expansion sogar, während sie sich vorher verlangsamt. Für Raum und Zeit sind mit einmal ein *Beginn* und ein *Ende denkmöglich* geworden.

Aus dem *flachen* Raum, der in der Newtonschen Vorstellung und auch noch in der speziellen Relativitätstheorie als selbstverständlich vorausgesetzt wurde, wird notwendig ein *gekrümmter* Raum; ein Raum, der durch die *Gravitation*, die Schwerkraft gekrümmt wird.

Auch das möchte ich Ihnen veranschaulichen :

Stellen Sie sich einen Architekten vor, der erfolgreich ist, weil seine Häuser stabil sind. Wie macht er das? Er benutzt eine Wasseroberfläche oder eine Wasserwaage, um die Ebenheit des Bodens zu erreichen, und er läßt zwei Lote aufhängen, die die Parallelität seiner Wände garantieren und die gewährleisten, daß sein *Oben* senkrecht auf dem Boden steht. Und insistiert jemand darauf, das Geheimnis seines Erfolgs zu erfahren, so wird der Architekt vielleicht die *Euklidische Geometrie* zitieren mit Parallelen und rechten Winkeln.

Schauen wir uns allerdings diesen fiktiven Architekten mit Google Earth an, so bemerken wir: seine Lote sind garnicht parallel. Sie treffen sich im Erdmittelpunkt. Und sein Boden ist garnicht eben. Er hat die Krümmung der Wasserspiegel der Ozeane. Statt dem einen *Oben* des Architekten gibt es nun unendlich viele *Oben*, die aus der Erdkugel herausragen wie die Stacheln eines Igel. Jede und jeder von uns hat sein eigenes *Oben*., d.h. sein eigenes Koordinatensystem.

Wir finden das repräsentiert in Google Map. Warum hilft mir Google Map, mich bei meiner Freundin Wang Li in Beijing zurecht zu finden? Weil ich weiß, daß meine Blickrichtung immer *von Oben* erfolgt und daß Norden von mir weg zeigt; das reicht, um mich zu orientieren. Auf dem Globus aber sehe ich, daß ihr *Oben* in Beijing in eine ganz andere Richtung weist, als mein *Oben* in München, und daß auch ihr *Norden* in eine ganz andere Richtung weist als mein *Norden*. Wie diese Koordinatensysteme miteinander verknüpft sind, wird durch die Gravitation geregelt. Das Gravitationsfeld bildet ihren *Zusammenhang*. Und dieser *Zusammenhang* ist nicht einfach der einer Kugel oder eines elliptisch abgeflachten geometrischen Körpers. Die Erdkugel - als ein wildes Konglomerat von Gesteinsmaterial - bewirkt, daß jeder Punkt notwendig *sein eigenes Koordinatensystem* hat, so wie jede und jeder von uns eine *Eigenzeit* besitzt.

Das hält uns nicht davon ab, uns den Globus als in unserem Wohnzimmer eingebettet zu denken und uns also ein fiktives rechtwinkliges Koordinatensystem für das ganze Universum vorzustellen. Wir halten in Gedanken die Euklidische Geometrie hoch. Aber die *allgemeine* Relativitätstheorie sagt uns, daß das Luftschlosser sind. Koordinatensysteme können nie *global*, sondern nur *lokal* definiert werden und ihr *Zusammenhang* ist durch die *Gravitation* gegeben (wobei die *Zeit*, anders als in meinem anschaulichen Beispiel, mit einbezogen werden muß!). Schärfer noch: der *metrische Tensor*, das mathematische Gebilde, das die Struktur einer Raumzeit definiert, ist *identisch* mit dem *Gravitationsfeld*, das wir als Schwerkraft erfahren und das für uns scheinbar die Planeten um die Sonne kreisen läßt. Die Scheidung von Raumzeit und Materie ist damit aufgehoben.

4.

Das war der Stand von 1915. Nahezu jede/r Physiker/in ging lange Zeit davon aus, die *allgemeine* Relativitätstheorie sei in vielerlei Hinsicht lediglich eine – wenn auch geniale – Extrapolation der *speziellen* Relativitätstheorie, - so wie deren Transformationen, die nach *Lorentz* benannt wurden, lediglich eine Extrapolation der *Galilei*-Transformationen gewesen

seien. Aber: nach 80 Jahren intensiver Debatte stellte sich heraus: die *allgemeine* Relativitätstheorie ist *keine* Fortsetzung der *speziellen* Relativitätstheorie mit anderen Mitteln. Ihr Raumzeitbegriff ist ein völlig anderer!

Und nun bekommen wir ins Blickfeld, was mit der *Ewigkeit* – dieser merkwürdigen Blüte am Rande der Zeit – passiert, nachdem das Konzept der *klassischen* Raumzeit in einen solchen Strudel der Auflösung geraten ist.

Nochmal zur Erinnerung: die Newtonsche Theorie beschreibt den Übergang in ein gleichmäßig bewegtes Koordinatensystem – wenn z.B. das Labor in einen fahrenden Zug verlegt wird – mithilfe von sog. *Galilei-Transformationen*. Sie sind so konstruiert, daß sie die *Längen* eines Objekt und die *Dauer* eines Vorgangs unverändert, d.h. *invariant* lassen. Die *spezielle* Relativitätstheorie beschreibt denselben Vorgang mittels sog. *Lorentz-Transformationen*, die nun, da die Spaltung von Raum und Zeit aufgehoben ist, nicht die Länge und die Dauer je für sich, sondern nur eine bestimmte Kombination der beiden, die sog. *Minkowski-Metrik* unverändert lassen.

Solche Strukturen, wie die Spaltung von Raum und Zeit in der *klassischen* Mechanik (und in unseren europäischen Köpfen) oder wie die *Minkowski-Metrik* in der *speziellen* Relativitätstheorie sind sog. *a priori*-Strukturen. Sie hätten, wenn sie denn existieren würden, eine Existenz jenseits von Raum und Zeit. Sie hätten *keine Genese*, sie wären von Anbeginn aller Zeiten, ja vor jeder Raumzeit da und würden immer da sein. Sie hätten den Charakter von *Ewigkeit*.

Sie werden als *absolute Objekte* bezeichnet; Objekte, die zwar *bewirken*, aber selber *nicht bewirkt werden*. Der Wesenskern der *allgemeinen* Relativitätstheorie – d.h. das, was sie von allen anderen Theorien in der Physik unterscheidet – ist der Umstand, daß sie jedweden solchen *absoluten*, auf Ewigkeit ausgerichteten Strukturen in ihrer Darstellung der Realität keinen Platz einräumt.

Das bedeutet, daß nunmehr auch die *spezielle* Relativitätstheorie sich in der Rolle des Architekten wiederfindet. Sie kann atemberaubende Erfolge vorweisen – bspw. in der Physik der Elementarteilchen am CERN in Genf. Aber: sie baut auf einer *a priori*-Struktur auf, ein Konzept, das physikalisch nicht relevant sein kann und nur dort eine Annäherung an die Realität darstellt, wo die Raumzeit als *flach* angesehen werden kann, d.h. wo die Gravitation vergleichsweise keine Rolle spielt.

5.

Die von der *allgemeinen* Relativitätstheorie *abgelehnten* Transformationen und die zugehörigen *absoluten* Objekte sind das Definitionsmerkmal einer Raumzeit, die mathematisch als *homogen* bezeichnet wird. Für die homogene Raumzeit sowohl der Newtonschen Physik als auch der *speziellen* Relativitätstheorie folgen – nach einem berühmten Theorem von Emmy Noether – automatisch die Gesetze von der Erhaltung der Energie, des Impulses und des Drehimpulses. Solche Erhaltungsgrößen können notwendigerweise keinen Anfang und kein Ende haben. Sie sind auf *Ewigkeit* konzipiert. So wie auch die dementsprechenden Vorstellungen von Raum und Zeit keinen Anfang und kein Ende haben: sie erstrecken sich ins Un-Endliche, sie dauern *in alle Ewigkeit*.

Dieses Konzept der Erhaltungsgrößen ist in Gestalt des Energie- und Impulserhaltungssatzes zur *Geschäftsgrundlage* der klassischen Physik – wie auch noch der *speziellen* Relativitätstheorie – geworden. Das heißt, die Ewigkeit taucht als Konzept in den Grundlagen der klassischen Physik auf und konnte sich bis in die *spezielle* Relativitätstheorie retten. Die

tiefe Erkenntnis der *allgemeinen* Relativitätstheorie aber besagt, daß dieses Konzept mit einer physikalischen Realität eher nichts zu tun haben kann.

6.

Keine a priori-Strukturen, keine absoluten Objekte, die bewirken, aber nicht bewirkt werden: wenn Sie das so hören, könnten Sie versucht sein, anzunehmen, ein Verehrer der *Dialektik* hätte sich die *allgemeine* Relativitätstheorie nach seinen Vorstellungen modelliert.

Es ist aber umgekehrt: was ich Ihnen vorgetragen habe, entstammt dem Resumee, das *John Norton* (*) 1993 aus einer über 80 Jahre währenden, intensiven Debatte der Physikerinnen und Physiker gezogen hat; eine Debatte darüber, was nun eigentlich die allgemeine Relativitätstheorie aussagt.

Es verweist in der Tat auf dialektische Zusammenhänge, was ich Ihnen vorgetragen habe. Und es ergeben sich pikante Konsequenzen. Denn die *allgemeine* Relativitätstheorie stellt damit indirekt die *Ja-oder-Nein-Logik* in Frage. Diese Logik mit ihrer strikten Scheidung in *Ja* oder *Nein* ist natürlich genauso eine *absolute* Struktur wie die absolute Scheidung von Raum und Zeit und wie die Minkowski-Metrik. Und auch das Postulat *tertium non datur*, das logische Axiom, mit dem das Ausschlussprinzip kodiert wird, entspricht einer absoluten Struktur.

Es ist eigentlich eine Binsenweisheit: jede Logik, die mittels dieses Ausschlussprinzips sich daran macht, Sachverhalte zu beweisen, basiert notwendig auf Axiomen, die regeln, was überhaupt *beweisen* heisst. Diese Axiome sind notwendig unbeweisbar - sind sie es doch, die festlegen, was beweisen meint. Das bedeutet: alles Beweisbare beruht auf dem Unbeweisbaren; das ist die dialektische Formulierung dessen, was der Pferdefuß jeder Logik ist. Diese logischen Axiome sind *a priori* -Festlegungen; nach den Vorstellungen der *allgemeinen* Relativitätstheorie dürften sie in der physikalischen Realität keine Entsprechung haben.

7.

Diese überraschende Wendung trifft sich mit dem zweiten großen Strang der modernen Physik, mit der *Quantentheorie*, die ziemlich offen die Ja-oder-Nein-Logik in Frage stellt. Elementarteilchen sind nach dieser Theorie nicht *entweder* Teilchen *oder* Welle, ja oder nein: sie sind vielmehr *sowohl* Teilchen *als auch* Welle, je nachdem, welche experimentelle Frage ich an sie richte. Die Quantentheorie kennt keine ontologischen Objekte mit fest definierten, vorherbestimmten Eigenschaften. Frage ich ein Lichtquant *bist du zirkular polarisiert?*, antwortet es: *ja, und zwar links drehend*. Frage ich dasselbe Lichtquant: *bist du linear polarisiert?*, so antwortet es: *ja, und zwar (zB) in vertikaler Richtung*. Klassisch sind das sich gegenseitig ausschließende Eigenschaften.

8.

Das heißt, die moderne Physik steuert auf ein großes Dilemma zu:

beide, *allgemeine* Relativitätstheorie und *Quantentheorie*, verweisen auf *dialektische* Zusammenhänge als den Kern dessen, was uns als *physikalische* Realität entgegen tritt. Aber: das Denken der großen Mehrheit der Physikerinnen und Physiker ist von Grund auf eingestellt auf die Anwendung der *Ja-oder-Nein-Logik* als dem grundlegenden wissenschaftlichen Handwerkszeug a priori. Und: sie werden darin Tag für Tag bestärkt durch die klassische

Konzeption des Experiments als *Ja-oder-Nein*-Maschine, die nur auf entsprechend formulierte Fragen antwortet.

Die Physik hat - dank ihrer Anbindung an das Experiment, diesem unerbittlichen Richter über realistische und unrealistische Vorstellungen – eine phantastische Fähigkeit, ihre eigenen Grundlagen zu unterminieren. Mal sehen, wie sie es diesmal schafft.

Solange diese große Waschtrommel noch läuft, in die Raum und Zeit und mit ihnen die *Ewigkeit* hineingeraten sind, solange können wir dem Wink der allgemeinen Relativitätstheorie folgen und auch die *Ewigkeit* mit dialektischen Augen betrachten – und das heißt, ihre glitzernden Facetten genießen, wie das auf dieser Konferenz so lustvoll vorgeführt wird.

(*) John Norton, „General covariance and the foundations of general relativity – eight decades of dispute“, Rep.Progr.Phys. **56** (1996), 791-858

