



Kosmische Leerheit

von Dr. René Staritzbichler

Jeder kennt das Gefühl, dass Dinge verschwinden, sich „in Luft auflösen“. Aber ganze Planeten? Vor kurzem wurde der unvergleichlich größte Vorfall der Auflösung von Materie beobachtet: bei der Kollision zweier Schwarzer Löcher. Ein finsternes Feuerwerk, bei dem es einem vor lauter Superlativen schier schwindelig wird.

Buddha Shakyamuni drückte seine Erfahrung der Wirklichkeit vor über 2500 Jahren im Herz-Sutra so aus: „Form ist Leerheit. Leerheit ist Form. Form und Leerheit sind untrennbar.“ Dinge existieren nicht wirklich, unabhängig und dauerhaft. Alles existiert nur aufgrund eines irrwitzig komplexen Geflechtes von Ursachen und Bedingungen. Vor allem ändert sich alles in jedem Moment. Nichts in der Erscheinungswelt bleibt, wie es ist. Nichts in der Erscheinungswelt existiert aus sich selbst heraus, isoliert. Dennoch erscheinen die Dinge. Sie sind zusammengesetzt, ändern sich die ganze Zeit und hängen von unzähligen Bedingungen ab – sind aber kein Nichts.

„Nichts ist, doch alles erscheint.“

Die Untrennbarkeit von Leerheit und Erscheinen kann man den philosophischen Kern des Buddhismus nennen, denn die Sicht der Traumartigkeit aller Dinge ist

das, was Buddhismus von allen anderen Religionen und Philosophien unterscheidet. Das Wissen um die Leerheit aller inneren und äußeren Erscheinungen ist sogar eine notwendige Voraussetzung, um in der Meditation zu einem vollständigen Erleben der tatsächlichen Natur des Geistes zu gelangen.

Leerheit als begriffliche Vorstellung ist nicht so schwer zu verstehen, aber es ist meist ein langer Weg, um zu einer wirklichen Erfahrung davon zu gelangen. Ein Weg, der wohl vor allem eines erfordert: Vertrauen. Diesem Vertrauen nützt es, wenn die Wissenschaft das Gleiche wie der Buddha sagt. Buddhismus braucht keinen wissenschaftlichen Beweis, aber er tut auch nicht weh.

Seit über einhundert Jahren nähert sich die Physik immer mehr der Sicht des Buddhismus an. Beispiele und sogar Beweise für Leerheit gab es viele und schon lange. Nun gibt es sie aber in völlig neuer Dimension. Früher musste man so genau hinschauen, dass man hätte denken können, das Beobachtete hätte gar nichts mit unserem Leben zu tun. Denn die Eigenschaften der Materie zeigen sich vor allem im Mikrokosmos, der Welt der Atome und ihrer Bausteine. Man brauchte kilometerlange Beschleuniger wie das CERN, um die Ereignisse zu erzeugen anhand derer man sie untersuchen konnte.

Am 14. September 2015 wurde von dem LIGO-Experiment¹ die Kollision zweier Schwarzer Löcher beobachtet, nur wenige Tage nachdem die Anlage in ihrer weiterentwickelten Version in Betrieb genommen wurde. Damit dürfte der erste Rekord, den LIGO aufgestellt hat, die Geschwindigkeit sein, mit der solch ein dicker Fisch ins Netz ging: kaum eingeschaltet, sofort eine bahnbrechende Entdeckung gemacht. Der Traum eines jeden Wissenschaftlers.

Zwei Schwarze Löcher, eines ca. 29-, das andere 36-mal so schwer wie unsere Sonne, haben einander für einige Milliarden Jahre umkreist und sind sich dabei immer näher gekommen, bis sie schließlich kollidierten und zu einem einzigen Schwarzen Loch verschmolzen.

Ein Schwarzes Loch ist eine kollabierte Riesensonne. Wenn eine Sonne erlischt, verlieren ihre Atome ihre Bewegungsenergie, sie erkaltet. Damit verlieren die Atome aber auch ihre Abstoßung. Ist die Sonne groß genug, werden die Atome einfach zerquetscht. Der bis auf ein paar Elektronen leere Raum rund um den Atomkern wird dann einfach „verdrängt“ und die Sonne stürzt in sich zusammen.

Die beiden Schwarzen Löcher hatten daher trotz ihrer gigantischen Masse einen Durchmesser von nur ca. 200 Kilometer. Hier sollte man sich ein wenig die Relationen klar machen. Oft stellen wir uns unsere Sonne viel zu klein vor.

Unsere Erde hat einen Durchmesser von 12.400 Kilometer. Unsere Sonne einen Durchmesser von 1.391.400 Kilometer, mehr als das Tausendfache.² Entsprechend größer waren die beiden Sterne, die ca. 30-mal so schwer wie unsere Sonne waren und die auf einen Durchmesser von 200 Kilometer kollabierten.

Kurz vor der Kollision haben sich diese beiden „Monster“ ungefähr 250-mal pro Sekunde umkreist, mit etwa halber Lichtgeschwindigkeit. Eine Geschwindigkeit, die zu erreichen bereits für ein Sandkorn normalerweise unerreichbar viel Energie kosten würde. Das ist soweit alles schon recht beeindruckend. Aber wo bleibt denn jetzt die eingangs erwähnte Leerheit?

Bei der Kollision der beiden Riesen ist ein großer Teil der Materie verschwunden. Das Dreifache der Masse unserer Sonne hat sich in einem Bruchteil einer Sekunde aufgelöst, genauer gesagt hat sie sich in Gravitationswellen verwandelt. Unsere Sonne ist circa 330.000-mal so schwer wie die Erde (die Masse der Sonne ist eine 2 mit 30 Nullen). Das bedeutet: Eine Masse, die eine Million-mal der unseres Planeten entspricht, ist in etwas vollkommen anderes verwandelt worden, in Gravitationswellen.



Die LIGO-Anlage in Livingston in Louisiana

Für den vollen Genuss dieser Vorstellung müssen wir uns verdeutlichen, was sich hier in was verwandelt hat. Materie hat Masse, einen Ort, eine Form und so etwas wie scharfe Grenzen, an der andere Materie abprallt – das, was man zu spüren bekommt, wenn man mit dem „Kopf gegen die Wand“ rennt. Und vor allem erscheint Materie dauerhaft. Masse ist das, was uns die Dinge als Dinge erscheinen lässt, die physikalische Grundlage unseres Erlebens des Seins.

Gravitationswellen hingegen haben (wahrscheinlich) keine Masse, breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit in alle Richtungen aus, bleiben nie stehen und durchdringen einander ohne Widerstand. Sie lassen die Raum-Zeit schwingen. Der Raum und alles in ihm werden wie eine Ziehharmonika zusammengedrückt und auseinandergezogen. Aber ohne ausgefuchste Apparate könnte man sie überhaupt nicht wahrnehmen. Materie ist einfach etwas vollkommen Anderes als eine Gravitationswelle.

Einstein hat das Herz-Sutra sozusagen so formuliert: $E = mc^2$. Energie ist gleich Masse, multipliziert mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit.³ Die Formel besagt, dass alle Erscheinungen vollkommen umwandelbar sind

- 1 Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory
- 2 Wäre die Sonne so groß wie ein Gymnastik-Ball mit einem Meter Durchmesser, dann hätte die Erde einen Durchmesser von 1 Millimeter, einem kleinen Stecknadelkopf!
- 3 Natürlich hat eine mathematische Physik-Formel nichts mit dem Herz-Sutra zu tun oder umgekehrt. Beide zeigen jedoch das Fehlen von irgendetwas Absolutem in der Erscheinungsform.

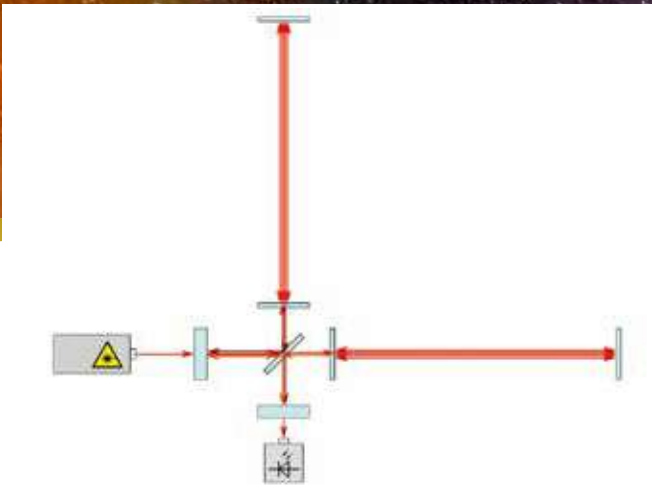


Abb. 1: Aufbau des LIGO-Messsystems. Die blauen Rechtecke sind Spiegel, die im mittleren Bereich sind alle halbdurchlässig, die Hälfte des Lichtes geht durch, die Hälfte wird reflektiert. Quelle: Wikipedia.

und dass die einzige Konstante, die erhalten bleibt, die Energie ist. In der Erscheinungsform ist nichts Bleibendes, nichts, das nicht in etwas vollkommen anderes verwandelt werden könnte.

Der Magie sind kaum Grenzen gesetzt: Materie kann zu Licht werden, Licht zu Materie. Aber Materie kann auch zu Bewegung werden und Bewegung zu Materie. Große Atomkerne können auseinanderbrechen: Bei der Kernspaltung wird Masse in Bewegung verwandelt – die treibende Kraft von Kernkraft und Atombomben. Umgekehrt können kleine Atomkerne zu größeren verschmelzen: Bei der Fusion wird ebenfalls Materie in Bewegung und Strahlung verwandelt. Fusion ermöglicht das Leben auf der Erde, denn sie heizt der Sonne ein.

Dieser Vergleich soll helfen, die Kraft der Auflösung von drei Sonnenmassen annäherungsweise begreifen zu können: Bei der größten Bombenexplosion, die je auf der Erde gezündet wurde, sind gerade mal zwei Kilogramm Materie im Bomben-Pilz verpufft, aufgelöst worden, verwandelt in Bewegung und Strahlung.

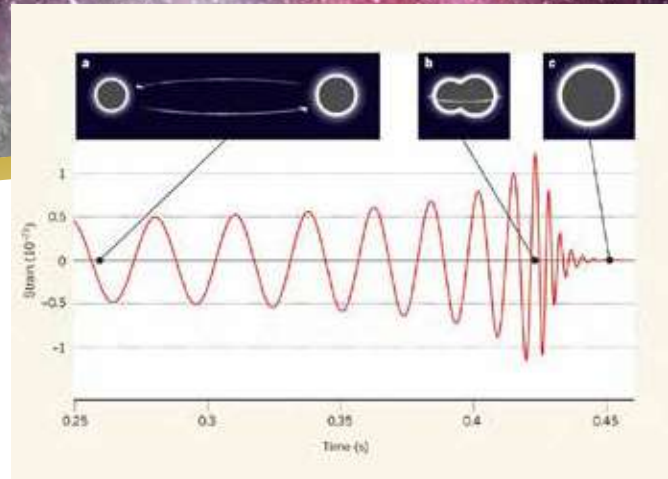


Abb. 2: Die Messkurve des LIGO von der Verschmelzung zweier Schwarzer Löcher. Die beiden Schwarzen Löcher kommen sich näher und umkreisen einander dabei immer schneller. Gleichzeitig werden die abgestrahlten Gravitationswellen immer stärker. Quelle: Nature 531, 40–42 (03 March 2016)

Die Kollision der Schwarzen Löcher war ein gewaltiges Ereignis, bei dem man nicht in der ersten Reihe sitzen möchte. Haben wir auch nicht, denn das Spektakel hat in einer Entfernung von 1,3 Milliarden Lichtjahren stattgefunden. Das ist zum einen weit weg, zum anderen schon lange her, denn die Kollision war vor 1,3 Milliarden Jahren. So lange waren die Gravitationswellen unterwegs, mit Lichtgeschwindigkeit.

Was die Erde am 14. September 2015 erreicht hatte, war eine sich kugelförmig ausbreitende Welle. In dem Moment war es ein „Kügelchen“ mit einem Radius von 1,3 Milliarden Lichtjahren. Diese Welle hat unseren Planeten und alle seine Bewohner ein bisschen zusammengedrückt und wieder auseinandergezogen. Nicht besonders viel, denn am Höhepunkt wurden gerade mal 10^{-21} Meter Ausschlag gemessen. Das ist ungefähr ein Hunderttausendstel des Durchmessers eines Protons, einem der Bausteine des Atomkerns.

Solch winzigen Ausschlag kann LIGO messen, und genau dafür wurde es entworfen: um winzige Abstandsänderungen zu messen. Zwei senkrechte, L-förmig angeordnete Tunnel, jeder vier Kilometer lang (siehe Abb. 1). Am Ende der Tunnel befinden sich Spiegel, und zwischen diesen wird Laser-Licht hin und her reflektiert. Durch die Überlagerung des Lichts mit sich selbst kann man sehr genau Änderungen im Abstand der Spiegel messen. Ein Fernglas, das so gar nicht aussieht wie eines.

Die Herausforderung besteht darin, echte Signale von falschen zu unterscheiden. Jeder in der Nähe vorbeifahrende LKW könnte zu größeren Ausschlägen führen als die Kollision Schwarzer Löcher in 1,3 Milliarden Lichtjahren Entfernung.


Um unerwünschte Störungen herausfiltern zu können, hat man zweimal das gleiche Experiment aufgebaut, in 3000 Kilometer Entfernung voneinander. Eines im Staat Washington im Nordwesten der USA und eines in Louisiana im Südosten. Nur Signale, die von beiden fast zeitgleich gemessen werden, können echt sein. So kann man sicher sein, dass man echte Signale sieht. Darüber hinaus sind die Signale solcher Kollisionen sehr charakteristisch.

Abbildung 2 zeigt die Kurve, die von den ca. 1000 beteiligten Wissenschaftlern von LIGO gesehen wurde. Dort sieht man, wie sich die beiden Schwarzen Löcher immer schneller umkreisen und dabei immer mehr Gravitationswellen aussenden, bis sie schließlich verschmelzen. Das alles in weniger als einer viertel Sekunde.

Das unfassbare Genie Einstein hat die Existenz Schwarzer Löcher bereits 1915 in seiner allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagt, und auch, dass sie bei der Kollision Gravitationswellen ausstrahlen. Wie bei vielen seiner unglaublichen Theorien hat es eine Weile gedauert, bis man sie nachweisen konnte – ziemlich genau hundert Jahre. LIGOs Beobachtung war der erste Beweis für gleich dreierlei: die Existenz von Gravitationswellen, die Existenz Schwarzer Löcher und dafür, dass Einsteins Theorie richtig ist.

Experten sprechen vom Tor zu einer neuen Physik. Bereits am 26. Dezember 2015 hatte man eine zweite Kollision Schwarzer Löcher beobachtet. Das inzwischen fünfte Ereignis, das man am 17. August 2017 beobachtet hat, war wieder etwas sehr Besonderes. Zunächst einmal hat man es nicht nur mit den beiden „Augen“ von LIGO gesehen. Es ist noch eines in Europa dazu gekommen: der französisch-italienische Detektor Virgo bei Pisa. Virgo funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie LIGO: Ein langes L mit Lasern und Spiegeln drin.

Durch das dritte Auge lässt sich wesentlich genauer bestimmen, von wo das Signal kam. Nachdem die drei Gravitationswellen-Detektoren das Signal empfangen hatten, verständigten sie 70 andere Observatorien, wohin sie ihre Teleskope richten sollten. Auf allen Frequenzen, von optisch über Radio bis hin zu Gamma-Strahlung, konnte nun das Objekt aus sehr vielen Blickwinkeln beobachtet werden. Resultat ist ein wissenschaftlicher Artikel von 4600 Autoren, circa einem Drittel aller Astronomen überhaupt.



Die Kollision selbst war ebenfalls neuartig: Es waren keine Schwarzen Löcher, die miteinander kollidierten, sondern Neutronensterne, die kleinen Brüder der Schwarzen Löcher. Das Schicksal einer sterbenden Sonne hängt von ihrem „Gewicht“ ab. Leichte Sterne enden als „Weiße Zwerge“. Ab 1,4 Sonnenmassen wird etwas mehr Drama geboten: eine Supernova, eine kosmische Explosion. Bei bis zu drei Sonnenmassen bleibt ein Neutronenstern übrig. Aus noch schwereren Sternen entsteht ein Schwarzes Loch.

Neutronensterne lassen das Physiker-Herz höher schlagen. Es sind gigantische quantenphysikalische Objekte mit einer Vielzahl faszinierender Eigenschaften. Gigantisch sind sie mit ihren bis zu 20 Kilometern Durchmesser aus dem Blickwinkel der Quantenphysik, in der es ja sonst um sehr Kleines geht. Im Vergleich zu den Sternen, aus denen sie entstanden sind, sind sie hingegen Winzlinge.

Bei Neutronensternen reicht die Gravitation nicht aus, um die Materie vollends zu zerquetschen. Vielmehr werden die Elektronen der Atomhülle in die Protonen des Atomkerns hineingedrückt, wodurch Neutronen entstehen. Es entsteht eine Art Materie mit einer Dichte, die über der eines Atomkerns liegt.⁴ Ein Kubikzentimeter eines Neutronensternes wiegt eine Milliarde Tonnen. Durch die Kollision haben sich die beiden Neutronensterne in ein schwarzes Loch verwandelt. Einen eigenen Namen hat die Kollision zweier Neutronensterne auch schon: Kilonova.

Durch die Zusammenarbeit vieler Observatorien weltweit und im Orbit konnte ein viel weitgehenderer Einblick in die Dramaturgie der Kilonova gewonnen werden. Gravitationswellen geben extrem kurze Signale von der eigentlichen Kollision: ein paar Sekunden bei Schwarzen Löchern und circa 100 Sekunden bei Neutronensternen. Damit ist aber das eigentliche Ereignis nicht vorbei. Was nach der Kollision selbst geschieht, konnte dann von den anderen Teleskopen aufgenommen werden.



Laut Theorie sollten bei der Kollision massenhaft Trümmer ins Weltall geschossen werden,⁵ zusammen mit einer gewaltigen Welle an elektromagnetischer Strahlung aller Frequenzen. Genau dies wurde dann auch beobachtet. Sekunden nachdem die Gravitationswellen gemessen wurden, hatte die Fermi Weltraumsonde einen intensiven Ausschlag der Gamma-Strahlung registriert. Da die Kilonova ungefähr tausendmal heller ist als eine Supernova, konnte man sie problemlos an den folgenden Tagen am Himmel beobachten.

Bisher ging man davon aus, dass Gold und die anderen schweren Elemente in Supernovae entstanden seien. Nun kommen die Kilonovae der Neutronensterne als Quelle hinzu. Der kosmische Blick gibt dem Ehering eine ungeahnte Dimension – er ist ein Gruß der letzten Monsterexplosion ganz in der galaktischen Nachbarschaft.

Es wird sicher nicht die letzte große Entdeckung gewesen sein.⁶ Das Universum hat viel Platz für solche gigantischen Spektakel. Man hat herausgefunden, dass im All viel mehr los ist, als man dachte. Allein in unserer Galaxie, der Milchstraße, hat man bisher 1,1 Milliarden

Sterne beobachtet (ein Stern ist eine Sonne, kein Planet; unsere Erde ist ein Planet). Rechnerische Schätzungen gehen von über 100 Milliarden Sternen in der Milchstraße aus. Nicht gerade wenig, aber noch lange nicht alles. Im Moment geht man von zwei Billionen Galaxien wie unserer Milchstraße aus.⁷ Viel Platz für Fantasie, und ein Begrenzungen sprengendes Gefühl von Raum.

Es werden jetzt in mehreren Ländern weitere Experimente wie LIGO gebaut. Die können dann zusammen noch genauer bestimmen, wann und wo Schwarze Löcher oder Neutronensterne zusammengekracht sind. Wahrscheinlich wird die Beobachtung solcher im Moment noch superlativen Materie-Verwandlungen einmal Alltag sein.

Einstein nahm mit der berühmtesten seiner Formeln der Erscheinungsform jegliche Absolutheit, machte Erscheinen und Auflösung zu einem dynamischen Ganzen, machte völlige Verwandlung zu etwas ganz Normalem. Es ist das mathematische Kondensat von „Form und Leerheit sind untrennbar“. Der Kosmos ist „voll von Leerheit“.

Foto: www.pixabay.com

-
- 4 Der tatsächliche Aufbau eines Neutronensternes ist wesentlich komplexer.
 - 5 Bis zu 10% des leichteren Sternes wird mit bis zu 20% der Lichtgeschwindigkeit hinauskatapultiert.
 - 6 Zur Zeit des Drucks sind bereits 11 Verschmelzungen von Riesensternen beobachtet worden.
 - 7 Nature, 2.10.2016



Dr. René Staritzbichler
 Seit 1997 Buddhist. Er lebt mit seiner entzückenden Frau im wilden Osten Deutschlands und genießt es. Sie haben zwei Jungs. Er arbeitet an der Uni und schreibt derzeit an mehreren Büchern.
 E-Mail: renedominik@yahoo.de