

Wie konnten mir nur diese kleinen Dinger von der Größe einer „Planck-Länge“ im Universum entgehen, die ein Millionstel, eines Milliardstels, eines Milliardstels, eines Milliardstels eines Zentimeters messen? Stell’ Dir vor, so’n Ding fällt Dir im Kino runter! Es im Dunkeln zu finden, dürfte verdammt schwer fallen!

Woody Allen, 2003

Liebe Leserin, lieber Leser,

seit den Tagen Keplers (1571–1630), genauer: seit exakt 400 Jahren, wissen wir, wie das Planetensystem aussieht. Dank Keplers drittem Gesetz gibt’s einen maßstabsgetreuen Plan des Ganzen. Allein, das Verkleinerungsverhältnis, bzw. die *wirkliche* Entfernung der Erde von der Sonne, ausgedrückt in Meilen oder Kilometern, war lange noch unbekannt. 1716 schlug Edmond Halley (1656–1742) vor, die sog. Astronomische Einheit indirekt zu ermitteln, indem man *eine* Entfernung, und zwar die der Venus von der Erde, direkt durch Triangulation¹ bestimmt. (Die geeigneteren Kleinplaneten waren zu Halleys Zeit noch unbekannt.) Dafür boten sich Venusvorübergänge vor der Sonnenscheibe an, Transits. Zum einen ist die Venus dann der Erde am nächsten, zum anderen hängt die Dauer des Transits bzw. die Länge der Sehne, welche die Venus vor der Sonnenschreibe durchläuft, vom Ort, hauptsächlich der geografischen Breite, des Betrachters auf der Erde ab. Möglichkeiten, Halleys Plan umzusetzen, ergaben sich 1761 und 1769. Weitere Gelegenheiten böten sich 1874/1882, 2004/2012, 2117/2125, Wie man an den Daten ersieht, sind Venusvorübergänge zwar selten, treten dann aber paarweise auf, mit einem Abstand von acht Jahren.

Der 1761-Transit war ein Desaster. Die Ergebnisse viel zu ungenau. Man hatte nicht mit dem sinnesphysiologischen Phänomen des „schwarzen Tropfens“ gerechnet gehabt, was die sekundengenaue Ermittlung der Kontakt-

¹Venus kommt uns bis auf 38,2 Millionen Kilometer nahe. Von ihr aus gesehen, erscheint die Erdkugel dann unter einem Winkel von 69 Bogensekunden (dem Doppelten der Venusparallaxe). Umgekehrt sähen zwei irdische Beobachter, die maximal weit voneinander entfernt sind, die Venus um diesen Winkel parallaktisch versetzt am Himmel. Die Sonne, die weiter weg ist, zeigt eine entsprechend kleinere parallaktische Verschiebung.

zeiten vereitelte. Wollte man nicht 105,5 Jahre warten, musste die zweite Chance am 3. Juni 1769 – vor einem Vierteljahrtausend! – zu einem Erfolg werden. Die Weltmächte warfen ihr ganzes Ansehen in die Waagschale und entsandten wissenschaftliche Expeditionen. Man arbeitete über Sprach- und Ländergrenzen hinweg zusammen. Die englische Expedition stand unter Käpt'n Cooks (1728–1779) Kommando. Der Weltumsegler sah und vermaß das astronomische Großereignis von Tahiti aus, vom „Point Venus“, wie er noch heute heißt. Die nördlichste erfolgreiche Beobachtung, durch Wiener Astronomen, fand in Vardø (im heutigen Norwegen) statt.

Alles nur noch von geschichtlichem Interesse!

Geschichte ist auch der 5. Juni 1819 als in Cornwall John Couch Adams (gest. 1892) zur Welt kam. Als Himmelsmechaniker machte sich dieser 1845 einen Namen: Er hatte, wie sein französischer Kollege Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811–1877), die Ungereimtheiten in der Bewegung des Uranus einem unbekanntem Planeten angelastet und sich, allein bewaffnet mit Newtons $1/r^2$ -Gesetz der Gravitation, als versierter Rechenkünstler auf die Suche nach dem Störenfried begeben. Der wurde auch gefunden, und zwar an der Berliner Sternwarte. Es war in der denkwürdigen Nacht vom 23. zum 24. September 1846, eine Viertelstunde nach Mitternacht. (Der Sternwartendirektor feierte bereits! Es war sein 55. Geburtstag. Dass sich Le Verrier mit seiner Vorausberechnung ausgerechnet an die Berliner Sternwarte gewandt hatte, hatte einen Grund: Die Berliner hatten die besseren Sternkarten!) Neptun, wie der Neue genannt ward, war nur ein Grad von der berechneten Position entfernt! Anschließend entspann sich ein unschöner Streit zwischen England und Frankreich um die Priorität. Geht es um die bejubelte „Schreibtischentdeckung“ des Neptun, sollte man sich tunlichst beider erinnern: Le Verrier und Adams.

Über all das wurde bereits berichtet, „olle Kamellen“ sozusagen. Was noch aussteht aber, ist ein Stück „Schreibtischphysik“. Im April war von einer fünften (!) Dimension die Rede gewesen und versprochen worden, zu gegebener Zeit etwas zur Stringtheorie zu sagen, dem Favoriten auf dem Felde der Quantengravitation. Wohl an, man verspreche sich bloß nicht zu viel davon! Eingedenk der Tatsache, dass er ein schlichter Astronom nur ist, wird sich der Kosmos-Bote auf Grundsätzliches beschränken müssen.

Spaß bei der Lektüre wünscht wie immer

Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Juni

Mit Glück ist Merkur um die Monatsmitte nach Sonnenuntergang im NW zu sehen. Seine größte östliche Elongation erreicht der Schnellfüßige mit 25° Sonnenabstand am 24. Juni.

Venus ist nur noch auf dem Papier Morgenstern, und auch Mars ist kaum noch am Abendhimmel sichtbar. Immerhin kommt's am 18. noch zu einem Stelldichein des Mars mit Merkur.

Dafür erfreuen Jupiter und Saturn. Ersterer steht am 10. Juni in Opposition zur Sonne, im Schlangenträger, also recht tief. Saturn lässt sich dafür noch einen Monat Zeit. Er befindet sich also ein Sternbild links vom Schlangenträger: im Schützen.

Je tiefer die Ekliptik um Mitternacht, desto höher erhebt sie sich um die Mittagsstunde. Sonnenanbeter warten sehnsüchtig auf das Maximum, die Sommersonnenwende am 21. Juni. Sechs Minuten vor 18 Uhr MESZ ist es so weit: Die Sonne steht senkrecht über dem nördlichen Wendekreis (des Krebses). Diesmal trifft es den Golf von Mexiko (nahe Havanna).

Schönheit – Kriterium der Wahrheit?

Um die Stringtheorie kommt man nicht herum. Sie ist Mode, und sie spaltet die Gemeinde der Physiker. Um zu verstehen, warum, muss man nicht „eingeweiht“ sein. Sie ist zweifellos mathematisch beeindruckend, aber hat sie noch mit Physik zu tun?

Die alten Griechen, mit Sinn für Maß und Ordnung, wollten weise eine Untergrenze für das Kleine und erfanden das Un-Teilbare – das A-tom. Die moderne Quantenphysik hingegen ist bodenlos. Alles eine Frage des Aufwands, der Energie! Je mehr davon, desto winziger die Details der subatomaren Welt. Deshalb immer größere Teilchenbeschleuniger! Das derzeit stärkste Mikroskop, der Large Hadron Collider (LHC) bei Genf, hat eine Auflösung von 10^{-17} cm oder 1/10 000 Protondurchmesser – und ist dennoch meilenweit von jenen 10^{-29} cm entfernt, wovon GUT²-Physiker träumen.

Nach der Speziellen Relativitätstheorie Einsteins müssen „richtige“, d. h. elementare Elementarteilchen, wie Elektron oder Quark, punktförmig sein, wo-

²GUT steht für *Grand Unified Theory*, also große vereinheitlichte Theorie. Es geht um Energien von 10^{16} GeV, dem 1 000 000 000 000-fachen dessen, was der LHC schafft.

mit Katastrophen – Unendlichkeiten! – vorprogrammiert sind. (Nähert man sich einer Punktladung divergieren Feldstärke und -energie!) Solange man von der schwächsten der Naturkräfte, der Gravitation, absieht, hat man diese Divergenzen im Griff. Elementarteilchenphysiker verfügen über nobelpreiswürdige Tricks, um mathematische Unendlichkeiten unter den Teppich zu kehren. Man spricht vornehm von Renormierung³. Beim Versuch, „ganzheitlich“ zu sein, d. h., die Schwerkraft mit ins Boot zu nehmen, geht das nicht mehr. Die beiden Pfeiler der Physik – Allgemeine Relativitätstheorie (ART) und Quantentheorie – passen einfach nicht zusammen! Quantenphysiker halten Einsteins Schwerkrafttheorie, seine ART, für eine Näherung, brauchbar im Niedrig-Energie-Sektor.

Egal, wie die ersehnte Vereinigung der vier Naturkräfte letztlich aussehen mag, dank der Gravitation gibt's eine Minimallänge in der Natur: die Planck-Länge⁴. Darunter verlieren Begriffe wie Raum und Zeit ihren Sinn. Das ist eine gute Nachricht, wird doch dadurch der raum-zeitliche Ereignis„punkt“ verwaschen und die Division durch Null abgewendet! Wie winzig aber sind $1,6 \cdot 10^{-33}$ cm? Nun, das geometrische Mittel aus jener kleinsten Länge und der größten, dem Weltradius, ist – eine Haaresbreite, wie jemand bemerkte. Wenn schon nicht der Mensch selbst, so repräsentiert doch sein Haar die kosmische Mitte.

Stringtheorie, auch Superstringtheorie⁵ genannt, ist ein Ansatz, die Gra-

³Im Quanten-Vakuum, dem Nichts, entstehen und vergehen ständig kurzlebige (virtuelle) Elektron-Positron-Paare. Nun fügen wir ein „reales“ Elektron hinzu. Seine Ladung polarisiert das Vakuum, d. h., die virtuellen Pärchen in seiner Nähe werden etwas auseinander gezogen. Das Elektron zieht das virtuelle Positron zu sich und stößt dessen negativ geladenen Partner weg. Infolgedessen ist die „gefühlte“ Ladung (außerhalb der einhüllenden Wolke aus Elektron-Positron-Paaren) geringer als die Ladung des „nackten“ Punkt-Elektrons. Je mehr man sich rechnerisch letzterem nähert, desto größer werden die Korrekturen für Ladung (und Masse). Bei einem Punktteilchen werden sie zwangsläufig unendlich! Renormierung, oder Renormalisierung, ist ein mathematisch nicht ganz koscheres Verfahren, dass diesem Vorgang der theoretischen Annäherung an den unbeobachtbaren Punkt den Schrecken nimmt.

⁴1906 war Max Planck (1858–1947) mittels „seiner“ Konstante auf diese kleinste Länge gestoßen. Bei einem schwarzen Loch von Planck-Masse – 0,000 022 g – fiel die quantenmechanische Ortsunschärfe mit dem Schwarzschildradius zusammen, wodurch sich eine natürliche Längeneinheit ergibt: eben die Planck-Länge.

⁵„Super“ nimmt Bezug auf die vermutete Super-Symmetrie zwischen Substanz und Kraft. „SUSY“ ordnet jedem Elementarteilchen einen supersymmetrischen Partner zu, dem fermionischen Elektron also ein bosonisches „Selektron“. (Bosonen sind die Träger der Kräfte zwischen Substanz-Teilchen.) Bislang wurde noch keines dieser S-Teilchen, wovon

vitationstheorie, also Einsteins ART, mit der Quantentheorie⁶ zu versöhnen. (Genaugenommen ist sie ein Sammelbecken diverser Stringtheorien.) Die Gravitation ist sogar inhärenter Bestandteil⁷ der Theorie, nichts Aufgesetztes! Die „punktförmigen“ Partikeln des sog. Standardmodels weichen winzigsten Fädchen, offenen oder auch in sich geschlossenen, aus reiner Energie, sog. Strings. Die Fädchen sind mit 10^{-33} cm unvorstellbar klein, die Fadenspannung ist mit bis zu 10^{39} Tonnen unvorstellbar hoch. (Zum Vergleich: Bei einem Konzertflügel kann die Saitenspannung 30 Tonnen betragen.) Die „Saiten“ müssen schwingen, da die Quantenwelt als Folge der Heisenbergschen Unschärferelation Ruhe nicht kennt. Man spricht von Nullpunktsschwankungen⁸. Den verschiedenen Schwingungszuständen eines Strings, den „Tönen“, entsprechen Elementarteilchen unterschiedlicher Masse, Ladung etc. Je höher die Frequenz, desto schwerer. Strings sind, wie der Name sagt, eindimensional ($N = 1$). Zwei- und höherdimensionale Gebilde können auch schwingen. (Im Falle $N = 2$ stelle man sich ein straff gespanntes Trommelfell vor!) Solche Gebildchen werden als *N branes* (Membranen) bezeichnet. Von „weitem“, d. h. selbst mit dem LHC, unserem stärksten Mikroskop, sind sie nicht von einem Punkt im drei-dimensionalen Raum zu unterscheiden.

Wie man seit langem weiß, sind Stringtheorien nicht in drei-dimensionalen Räumen formulierbar. Man geht von bis zu sieben⁹ z u s ä t z l i c h e n Dimensionen aus. Aus der üblichen vier-dimensionalen Raum-Zeit wird eine elf-dimensionale! (Anfangs sprach man gar von 26 Dimensionen!) Dafür verheißt eine solche Theorie, a l l e Kräfte und Teilchen – also alles! – auf ein einziges Urphänomen zurückzuführen: dem immerwährenden Vibrieren von Strings und deren höherdimensionalen Analoga (den Membranen). Das Problem: Der Alltag kennt nur drei räumliche Dimensionen! (Eine Begründung, warum der Raum drei-dimensional ist, gibt es bisher nicht.) Dass man von den Zusatzdimensionen nichts mitbekommt, hätte, so der Stringtheoretiker, einen einfachen Grund: Kompaktifizierung. Die unserem Blick verborgenen Dimensionen seien bloß eingerollt, sie hätten sich „damals“, im Urknall, nicht

das leichteste als dunkle Materie in Frage kommt, im Beschleunigerexperiment beobachtet.

⁶Gemeint ist die sog. Quantenfeldtheorie, eine speziell-relativistische Theorie.

⁷Die Vibrationen gewisser in sich geschlossener Strings zeigen die Eigenschaften eines Gravitons, des Vermittlers von Schwerkraft.

⁸Es geht also nicht um „angeregte“ Saitenschwingungen, wie sie der Violinist mit dem Bogenstrich hervorruft!

⁹Die (Super)Stringtheorie bespielt, die Zeit eingeschlossen, zehn Dimensionen, ihre Verallgemeinerung, die sog. M-Theorie, elf.

entfaltet. Man stelle sich vor: Jeder Punkt des gewöhnlichen Raumes entpuppe sich, bei genauem Hinsehen, als ein Raumknäuel aus ineinander verschlungenen (aufgewickelten) Dimensionen. Um ein Ereignis exakt zu lokalisieren sind danach insgesamt elf Zahlenangaben vonnöten, nicht bloß die üblichen vier (drei Raumkoordinaten plus Zeit). Der gesamte Teilchenzoo der Elementarteilchenphysik, etwa dreißig „Biester“, wird auf die Topologie dieses eingehegten Unterraums reduziert, von dem wir in unserer Niedrig-Energie-Welt nichts mitbekommen!

Wer ein Problem damit hat, sich die Kompaktifizierung vorzustellen, ist nicht allein. Zur Illustration mag ein Gartenschlauch dienen. Was von weitem als eine gewundene ein-dimensionale Linie erscheint, entpuppt sich bei genauem Hinschauen als dünner Schlauch: als ein zwei-dimensionales Gebilde mit einer kompakten Dimension. Um ein Loch im Schlauch zu lokalisieren reicht es nicht, den Abstand vom Wasserhahn anzugeben. Es ist eine weitere Koordinatenangabe (längs des Umfangs) vonnöten.

Stringtheorie ist, vergleichbar der Zahlentheorie, ein Eldorado für „reine“ Mathematiker. Bezeichnenderweise wurde Edward Witten (geb. 1951), der führende Stringtheoretiker, 1990 mit der Fieldsmedaille ausgezeichnet, so eine Art Mathematik-„Nobelpreis“. Man fragt sich aber, ob die mathematischen Eskapaden Bezug zur physikalischen Realität haben, zumal die Anzahl möglicher Vakuum-Lösungen (Kompaktifizierungsmöglichkeiten) auf sage und schreibe 10^{500} beziffert wird – was für viele ein Zuviel an Freiheit ist. Mathematische Eleganz zum Maßstab für die Akzeptanz einer physikalischen Theorie zu machen ist riskant. Sie ist subjektiv. Ein Beispiel: Die vielen Ptolemäischen Kreise, die man zur „Erklärung“ der Planetenschleifen am Firmament benötigte, kamen den Zeitgenossen Keplers sicherlich „eleganter“ vor, weil von göttlicherer Symmetrie, als die Keplerellipse. Der Erfolg der Physik seit Galilei, das, was die Physik zu einer „harten“ Wissenschaft hat werden lassen, basierte darauf, dass die ausufernde Phantasie¹⁰ des Theoretikers bisher stets durch das Experiment des Praktikers gezügelt wurde. Dass Formelschönheit, insbesondere abstrakte Symmetrien¹¹, denn Schönheit und Symmetrie gehören zusammen, eine Rolle beim Erraten der Naturgesetze

¹⁰Die Krönung der Hochenergiephysik, ihr Abschluss, könnte an der „Phantasielosigkeit“ der Hochenergiephysiker scheitern, und die Mikrowelt verrückter noch sein, als das verrückteste Physikerhirn! Resignierte nicht einst ein Schiller angesichts des Unendlichen: „Kühne Seglerin, Phantasie, wirf ein mutloses Anker hie.“?

¹¹Interessanterweise ist die Wirklichkeit, also die *Lösung* der hochsymmetrischen Gleichungen, weit weniger symmetrisch. Spontane Symmetriebrechung beobachtet man an

spielen, steht außer Zweifel. Aber eine Theorie, die nicht an der Wirklichkeit¹² scheitern¹³ kann, ist, so „schön“ oder „elegant“ sie auch sein mag, wertlos, sie ist „noch nicht einmal falsch“, wie der Quantenphysiker Wolfgang Pauli (1900–1958) einst scharfzüngig bemerkte. Leider ermangelt es unserer Wirklichkeit, die technische (Teilchenbeschleuniger!) eingeschlossen, jener Energien, bei denen die Wirkung überzähliger Dimensionen im Bereich von, sagen wir, 10^{-30} cm ruckbar würde. (Einige Tausend Planck-Zeiten nach dem Urknall, bei Temperaturen um 10^{28} Grad, war das anders. Aber das ist lange her.) Der Bau galaxiengroßer „Mikroskope“, mit denen man so scharf sehen könnte, steht leider in den Sternen.

Für einen überzeugten Popperianer¹⁴ ist (nicht nur) die Stringtheorie ein Gräuel. Dass die geforderten Zusatzdimensionen eingerollt sein sollen, hält er für eine billige Ausrede, und eindeutige Vorhersagen gibt es angesichts der unglaublichen Zahl an Kompaktifizierungsmöglichkeiten auch keine. Leider sind alternative Versuche, Gravitations- und Quantenphysik zu vermählen, kaum überzeugender . . . Ja, wenn eine solche „Theorie von allem“ nicht nur die Anzahl von Elementarteilchenfamilien, sondern darüber hinaus gewisse dimensionslose Lieblingszahlen der Physiker, wie die Feinstrukturkonstante ($1/137,0359990\dots$) oder die relativen Massen von Elementarteilchen etc. auf, sagen wir, zehn Kommastellen genau lieferte (und dazu noch die Vakuumenergie, d. h. die kosmologische Konstante), wäre zwar immer noch nicht raus, ob nicht eine konkurrierende Theorie das Gleiche zu leisten vermöchte, aber dann hätte man wenigstens etwas Vorzeigbares! Leider sieht es z. Z. ganz so aus, als wären die rund zwei Dutzend Naturkonstanten wirklich willkürlich. Der übliche Hinweis, es gäbe uns und unsere Fragen gar nicht, wären sie nicht, wie sie sind, verfängt nicht. Das sog. *anthropische Prinzip* erklärt ja nichts, und wird den Drang nach wirklicher Erkenntnis der „letzten Dinge“ nicht eindämmen.

Und wenn die Zusatzdimensionen gar nicht so eingehegt wären . . . ? In einem

einem auf der Spitze stehenden Bleistift. Er wird umfallen und letztendlich eine stabile Lage mit minimaler Energie einnehmen. Die Bewegungsgleichung selbst zeichnet keine Fallrichtung aus. Der Zufall entscheidet darüber.

¹²Was wir für wirklich halten, ist womöglich bloß *unsere* Reaktion auf „das da draußen“. Fakten *an sich*, voraussetzungsfree, gibt es nicht! Alles ist Interpretation, Wirklichkeit ein Konstrukt vernetzter Hirne, und der überzeugendsten, d. h. knappsten „Erzählung“ (ggf. Formelsammlung) gebührt die Palme – jedenfalls in der Naturwissenschaft.

¹³Aller Fortschritt, insbesondere der biologisch-evolutionäre, beruht auf dem Scheitern.

¹⁴Anhänger der Falsifikationslehre von Sir Karl Popper (1902–1994).

N -dimensionalen Raum fiele die Schwerkraft wie $1/r^{N-1}$ mit der Entfernung r ab. Bislang konnten Labormessungen¹⁵ keinerlei Abweichung von Newtons $1/r^2$ -Gesetz bis hinunter zu $r = 0,1$ mm nachweisen. Das spricht für $N = 3$, schließt aber $N > 3$ bei kleineren Abständen natürlich nicht aus.

Eine Erklärung für die sonderbare Schwäche der Schwerkraft baut darauf, dass sich das Gravitationsfeld wegen der Zusatzdimensionen anders als beispielsweise die elektrische Kraft, die diese nicht spürt, in kleinsten Raumbereichen schnell „verdünnt“. Die Verführung ist groß, in des Schwerefelds Schwäche einen Beleg für $N > 3$ zu sehen.

¹⁵Derartige Messungen sind extrem schwierig, weil störende elektrische Kräfte auch wie $1/r^2$ mit dem Abstand abfallen, aber um Größenordnungen stärker sind als die Gravitation. Ein zusätzliches (nicht neutralisiertes) Elektron auf eine Trillion würde bereits das Messergebnis verfälschen!