



Vortrag bei der *Società Dante Alighieri*, Palazzo Firenze, Rom, 16. Nov. 2017

Meine Damen und Herren, es ist mir eine grosse Ehre und Freude, an diesem wunderbaren und historischen Ort zu Ihnen sprechen zu dürfen. Ich danke Generalsekretär Alessandro Masi und Anna Rúdeberg vom Berner Komitee für die Einladung.

Lassen Sie mich mit einer kleinen Randbemerkung beginnen. Es war ebenfalls November – im November 1301 –, als Dante zum letzten Mal hier in Rom weilte. Er war auf diplomatischer Mission im Vatikan, um die drohende Übernahme von Florenz durch die schwarzen Guelfen abzuwenden. Das gelang bekanntlich nicht, und Dante musste nach seiner Rückkehr im folgenden Jahr aus seiner Heimatstadt fliehen. Aber warum erzähle ich das? In den Wochen vor Dantes Romreise erschien ein grosser Komet am Himmel. Dies konnte nur als schlechtes Omen verstanden werden. Dante erwähnt die Erscheinung ganz kurz im Gastmahl, aber seltsamerweise überhaupt nicht in der Göttlichen Komödie, obwohl Dante immer sehr auf Himmelszeichen achtete. Heute wissen wir, dass es sich um den berühmtesten aller Kometen handelte, den Kometen *Halley*. Sein Erscheinen im Jahr 1301 hinterliess zumindest Spuren bei einem Freund Dantes, Giotto di Bondone, der ein paar Jahre später in einem berühmten Fresco der Anbetung der heiligen drei Könige in der Scrovegni-Kapelle von Padova den Stern von Betlehem als Kometen malte. Es handelt sich zweifellos um den Kometen *Halley* im Jahr 1301.

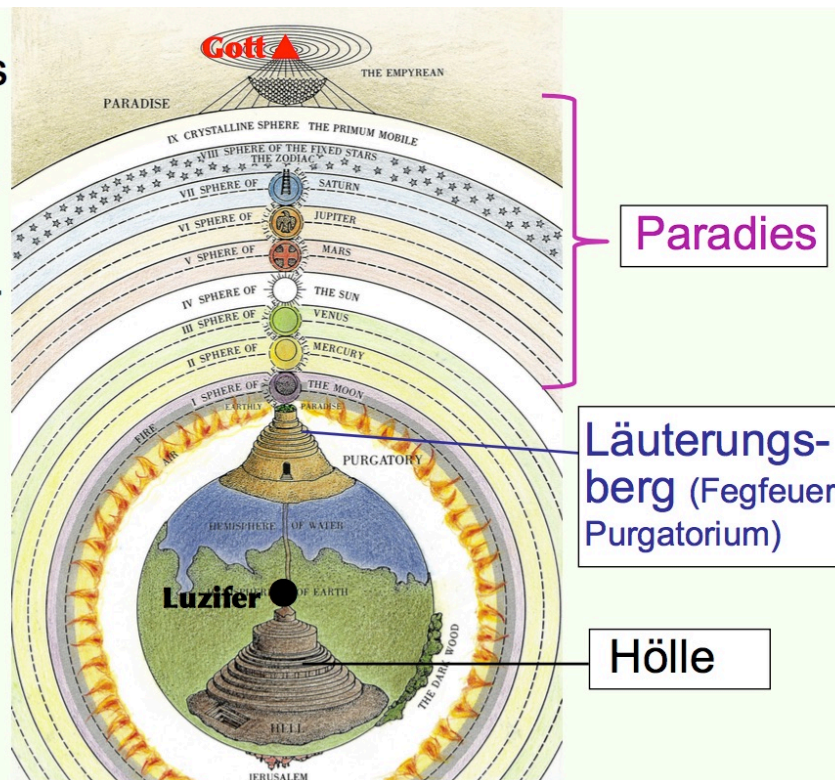
Aber kommen wir nun zu unserem Thema, zur Beziehung zwischen der Welt Dantes und der heutigen Kosmologie. Ich möchte gleich vorausschicken, dass die Vergleiche zwischen Dantes Reise und unserer aktuellen Weltraumforschung, die ich im Folgenden erläutere, nicht im wissenschaftlichen Sinne verstanden werden dürfen. Die Göttliche Komödie ist heute noch Teil unserer Kultur, aber auf wissenschaftlicher Ebene hat Dante sicherlich nichts mit moderner Astrophysik zu tun. Sein mittelalterliches Weltbild ist in jeder Hinsicht völlig anders als unser heutiges. Trotzdem gibt es eine Möglichkeit, die beiden Welten auf eine gültige Weise zu vergleichen, nämlich mittels *Analogien*. Wie weiter unten im Detail vorgestellt, gibt es erstaunliche Analogien zwischen dem Kosmos Dantes und

dem modernen Universum. – Aber was genau ist eine Analogie? Erstens bedeutet Analogie nicht Gleichheit. Eine Analogie ist eine Ähnlichkeit – in Form, Proportion, Struktur oder auch Funktion – zwischen verschiedenen Dingen, die kausal nichts miteinander zu tun haben. Analoge Dinge befinden sich sozusagen auf parallelen Ebenen, es handelt sich um eine nicht-kausale Beziehung. Gut, aber wozu dienen diese Ähnlichkeiten? Sind sie nur ein nettes Spiel? Es gibt Leute, die so denken. Natürlich habe ich nicht dieselbe Meinung. Ich glaube, dass die Analogien zwischen Dantes mittelalterlicher Welt und der modernen Welt als Zeichen einer gemeinsamen Symbolik verstanden werden sollten, einer psychologischen Symbolik, die beiden inhärent zu sein scheint. Diese Symbolik weist auf die spirituelle Bedeutung der Göttlichen Komödie hin; die Dantisten sprechen von der „anagogischen“ Bedeutung, dem vierten Sinn der Göttlichen Komödie, der über den wörtlichen, allegorischen und moralischen Sinn hinaus geht. Betrachtet man die hierarchische Struktur des Kosmos von Dante, seine ethische Dimension, vom Bösen ganz unten bis zum Guten ganz oben, zum Heiligen – und Dantes Reise verläuft auf diesem Weg, von unten nach oben, wie ein Aufstieg – , dann offenbart sich der spirituelle oder psychologische Sinn, die Symbolik der Göttlichen Komödie ohne Weiteres: als Pilgerfahrt zu sich selbst, als Rückkehr zum göttlichen Kern und Ursprung der menschlichen Seele.

Der spirituelle Sinn der zeitgenössischen Kosmologie hingegen, wenn wir die Existenz eines solchen Sinnes nicht leugnen wollen, ist weniger klar und erscheint verborgener. Im Gegenteil: er ist überhaupt nicht verborgen, weil es keinen Sinn für sich selbst gibt, unabhängig von uns. Die Bedeutung einer Sache wird nie in der Aussenwelt gefunden, sondern ist immer das, was wir selbst in sie hineinstecken. Und gerade durch diese hier gezeigten Analogien haben wir die Möglichkeit, die Symbolik, die offenkundige spirituelle Bedeutung der Göttlichen Komödie zumindest teilweise auf die kosmologische Forschung, auf die heutige Astrophysik zu übertragen – was auch immer die wahre Bedeutung der Analogien sein mag. Kurzum, meiner Meinung nach machen auch wir Forscher der Astrophysik und Teilchenphysik unbewusst eine symbolische Reise zum Selbst, zum transzendenten Ursprung, und das kann (muss aber nicht) unserer Aufgabe einen spirituellen Sinn verleihen. Für mich ist das eine befriedigende Vision, für andere weniger. Ich möchte nur einen Vorschlag machen, ein Angebot, wie wir das, was wir tun, auch anders sehen und verstehen können. Umgekehrt bieten diese Analogien vielleicht eine neue Art, die Göttliche Komödie zu verstehen, zu lesen und vor allem zu schätzen.

DANTEs Weltgebäude und Jenseitsreiche

Schema nach M. Cactani 1855



1

Glücklicherweise ist es nicht nötig, die Göttliche Komödie einem italienischen Publikum zu erklären. Aber eine kurze Zusammenfassung von Dantes Welt mit diesem Standardschema kann nützlich sein (**Bild 1**). Dantes System ist geozentrisch, im Einklang mit dem Wissen seiner Zeit, oder genauer gesagt, die Welt von Dante ist diavolozentrisch, weil Luzifer das Zentrum einnimmt. Rund um die Erdkugel, genauer gesagt um den sublunaren Raum, in dem sich die vier Elemente des Aristoteles befinden (Erde, Wasser, Luft, Feuer), dehnen sich die Sphären oder Himmel der Himmelskörper konzentrisch aus. Das Ganze erinnert ein wenig an den Aufbau einer Zwiebel. Die Kugelschalen bestehen aus einer unzerstörbaren Substanz (dem fünften Element, der Quintessenz) und rotieren gleichmässig und ohne Unterbrechung um das Zentrum. Zuerst kommen die Planeten (Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn), dann die Fixsterne und schliesslich das Primum Mobile, das erste Bewegte, ein reiner Kristallhimmel, der alle anderen Sphären in Bewegung versetzt. An diesem Punkt erreichen wir die Grenze der physischen Welt, die Grenze von Raum und Zeit. Dante konzipiert drei Jenseitsreiche, wo sich die Seelen nach dem Tod befinden – das sind Zonen, die nicht vor dem Tod erreicht werden können oder dürfen (ausser von Dante in seiner Vision!). Die drei Regionen entsprechen den drei Teilen der Göttlichen Komödie: erstens haben wir die Hölle unter der Erde, wo die verlorenen, auf ewig verdammten Seelen schmoren, zweitens das Fegfeuer bzw. den Läuterungsberg (Purgatorium) auf der anderen, damals unbekanntem Seite der Erde mit den geretteten Seelen, die sich noch reinigen müssen, und drittens das Paradies, wo die gereinigten Seelen wohnen. Es gibt genaugenommen drei verschiedene Kategorien von Paradies: das irdische Paradies (den Garten Eden) auf der Spitze des Läuterungsbergs, das himmlische Paradies, das alle Sphären einschliesst, vom Mond bis zum Primum Mobile, und das Empyreum jenseits von Raum und Zeit, Sitz Gottes, der Seligen und der Engel. Das gesamte System ist deutlich bipolar aufgebaut. Alles, die ganze Welt – gleich wie die menschliche Seele – schwebt zwischen den beiden Polen, Gott am höchsten Ort, Luzifer am niedrigsten. Wie bereits erwähnt, definiert dies eine Achse, eine Stufenleiter der Moral und Ethik. Die Komödie erzählt von der Reise des Dichters durch die drei Jenseitsreiche. Dante wird zuerst von Vergil durch die ganze Hölle geführt bis zur Begegnung mit Luzifer; von dort aus bewegt er sich entlang dieser Achse (oder

Stufenleiter) hinauf, kommt aus der Hölle und geht dann weiter über die Simse des Purgatoriums (Läuterungsbergs) bis zum irdischen Paradies auf dessen Gipfel, wo Beatrice das Kommando übernimmt und Dante mit sich, durch die Himmel aufsteigend, bis zu Gott führt.

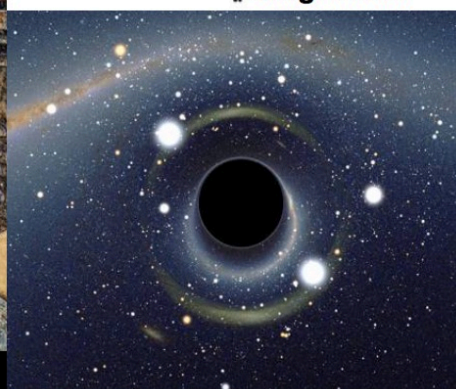
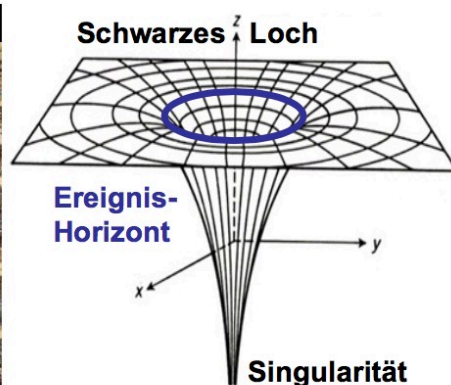
Im Folgenden stelle ich einige Gemeinsamkeiten zwischen Dantes Kosmos und dem modernen Universum dar. Die am leichtesten zu entdeckende Analogie bezieht sich auf die Struktur der Hölle. Hier ist die klassische Darstellung von Botticelli (**Bild 2**). Die Hölle hat die Form eines Trichters, eines riesigen, auf die Spitze gestellten Kegels, dessen Scheitelpunkt mit dem Mittelpunkt der Erde zusammenfällt, also dem Mittelpunkt des gesamten Kosmos, Sitz Luzifers, des Erzverräters, der im Eis feststeht. Der obere Teil der Hölle gleicht einem Amphitheater, der untere Teil einem Brunnenschacht. Man betritt die Hölle durch ein Tor, und über dem Tor steht eine Inschrift: Dante liest sie:

Durch mich geht's ein zur Stadt des Jammers... Lasst alle Hoffnung fahren, wenn ihr hier hereinkommt.

Dies ist wohl der berühmteste Vers der Komödie (– leider, wie ich meine. Es ist bekannt, dass die meisten Leser der Göttlichen Komödie nicht über das Lesen der Hölle hinauskommen. Die Hölle ist die Welt des Bösen, die in Zeitungen, im Fernsehen, im Internet weit verbreitet ist; das verstehen alle. Die Hölle ist unterhaltsam. Das Fegefeuer schon weniger, und das Paradies scheint so abstrakt, unverständlich und langweilig, dass es nicht gelesen wird. Schade!



2



3

Aber zurück zum Vers *Lasst alle Hoffnung fahren ...*: Er weist auf das wesentliche Merkmal der Hölle hin: Einmal in die Hölle eingetreten, entkommt man nicht mehr, die Hölle bedeutet ewige Gefangenschaft. Nun gibt es auch in der Astrophysik ein Objekt eben dieses Gefängnischarakters, ein sehr berühmtes und populäres Objekt: (**Bild 3**) – das Schwarze Loch aus der Relativitätstheorie Einsteins. Wird eine Masse über eine bestimmte Grenze hinaus komprimiert, führt dies zu einem totalen Kollaps. Es gibt dann keine Materie mehr, sondern sozusagen nur noch gekrümmten Raum um eine zentrale Singularität herum. In den üblichen Darstellungen dieser Situation wird das Feld der Gravitationswirkung, auf zwei

Dimensionen reduziert (notwendigerweise), durch eine gekrümmte Fläche dargestellt, deren Steilheit die Gravitationskraft angibt. – Hier haben wir das Bild eines Brunnen-schachts! Ausserdem hat das Schwarze Loch ebenso ein Tor wie die Hölle: es gibt eine kritische Distanz, die nicht unterschritten werden darf, sonst folgt auch hier eine ewige Gefangenschaft: es ist der sogenannte „Schwarzschildradius“ oder „Ereignishorizont“ des Schwarzen Lochs; aus dem Inneren dieser Grenze kann nicht einmal Licht entweichen (deshalb der Name „Schwarzes“ Loch).

Die Symbolik der Schwerkraft ist sehr klar. Die Schwerkraft symbolisiert das Böse bzw. den Antrieb zum Bösen. In der Umgangssprache wird z. B. gesagt: das Böse zieht jemanden „herunter“, oder eine unmoralische Handlung führt dazu, dass jemand „herunterfällt“, u.s.w. Die zentrale Singularität in Dantes Hölle wird von Luzifer eingenommen, der das Böse an sich repräsentiert, verkörpert und symbolisiert. Die Singularität betrifft nicht nur die zentrale Position, sondern auch die Wirkung der Schwerkraft. Schauen wir uns an, was geschieht, als Dante und Vergil im Begriff sind, an Luzifer vorbeizugehen, und hören wir uns die folgenden Verse an (**Bild 4**):



Illustration Botticelli

Hölle XXXIV 76–84

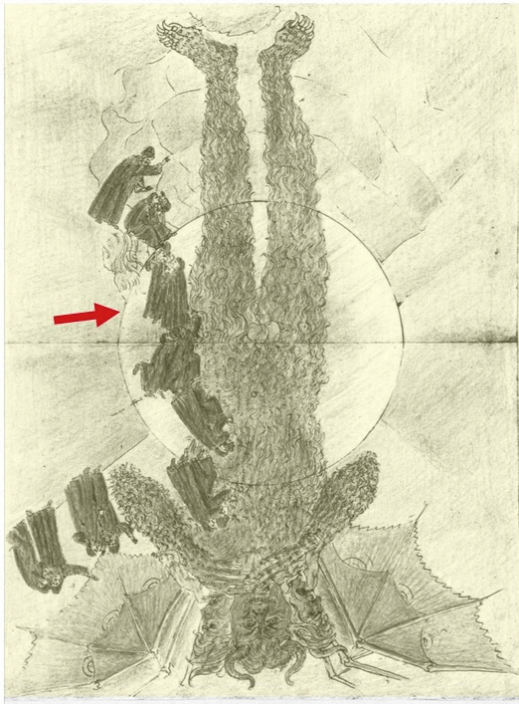
Als wir dort anlangten, wo der Schenkel ansetzt, genau an der breitesten Stelle der Hüfte, drehte sich der Führer unter grosser Anstrengung und Mühe mit dem Kopf dorthin, wo der Teufel seine Beine hatte, und griff dann wieder in das Fell wie einer, der aufwärts steigen will, sodass ich schon dachte, wie kehren zur Hölle zurück.

„Halte dich gut fest“, rief der Meister, keuchend wie ein Ermüdeter, „denn über eine solche Stufenleiter gilt es von dem Bösen Abstand zu nehmen.“

Dante und Vergil durchqueren den Erdmittelpunkt

4

... unter grosser Anstrengung und Mühe – Das bedeutet, dass die Schwerkraft umso stärker ist, je näher man sich am Zentrum befindet. Nach Newtons Gravitationsgesetz ist das Gegenteil der Fall: Die Gravitationskraft nimmt auf Null ab, wenn man sich dem Zentrum der Erde nähert. Die von Dante beschriebene Situation ähnelt also eher der Schwerkraft Einsteins als der von Newton. Die Singularität ist ein Wendepunkt, an dem sich der Eindruck, das Gefühl des „Hinuntergehens“ fast augenblicklich zu einem Gefühl des „Hinaufgehens“ ändert (**Bild 5**), was Dante erstaunt, verwirrt und irritiert. Er setzt seinen Bericht fort:



Hölle XXXIV 88–93, 106–111

Ich hob die Augen und glaubte Luzifer zu sehen, wie ich ihn verlassen hatte, sah ihn jedoch mit den Beinen nach oben.

Wenn ich davon verstört war, so mag jedes schlichte Gemüt es verstehen, das auch nicht überschaut, welcher Punkt es war, den ich da überschritten hatte.

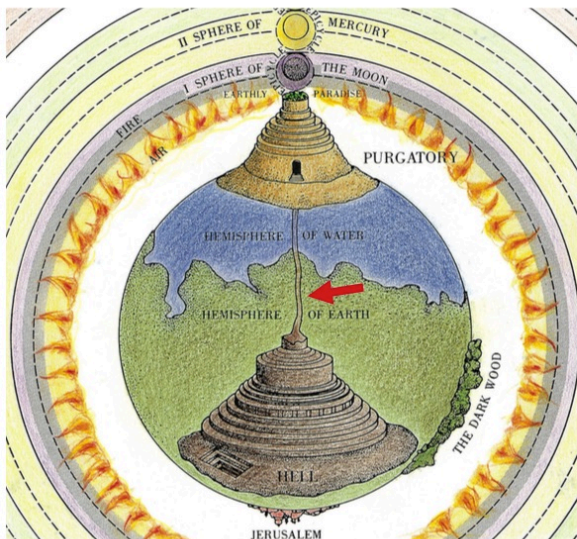
...

Drauf er zu mir: „Du glaubst, du seist noch immer jenseits des Mittelpunkts, dort, wo ich mich bei dem Höllenwurm, der die Welt durchbohrt, an das Fell geklemmt habe.

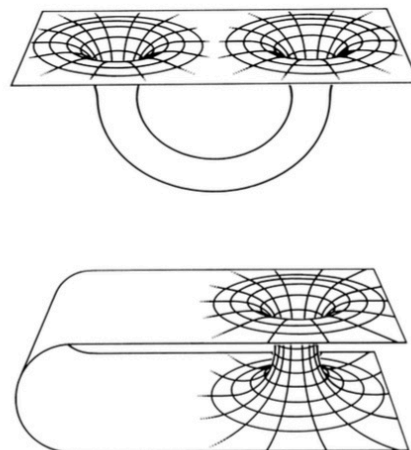
Jenseits warst du tatsächlich, solange ich abstieg. Als ich mich aber drehte, hast auch du den Punkt überschritten, zu dem hin alles Schwere gezogen wird.“

5

... den Punkt überschritten, zu dem hin alles Schwere gezogen wird. Dieser Punkt ist die Singularität. Wie entkommen der Pilger und sein Führer aus der Hölle? (Bild 6) Durch einen schmalen Tunnel, der auf der anderen Seite der Erde zum Licht führt. Und wie entkommt man einem Schwarzen Loch? Auf die gleiche Weise: Es gibt kein zurück, sondern nur die Flucht nach vorn, durch die Singularität. (Bild 7) Ein noch exotischeres Objekt der Einsteinschen Theorie als das Schwarze Loch wird „Wurmloch“ genannt. Aus der Verbindung zweier Schwarzer Löcher entsteht ein Wurmloch – und diese Verbindung macht einen solchen Transit durch eine Gravitationssingularität zumindest theoretisch möglich.

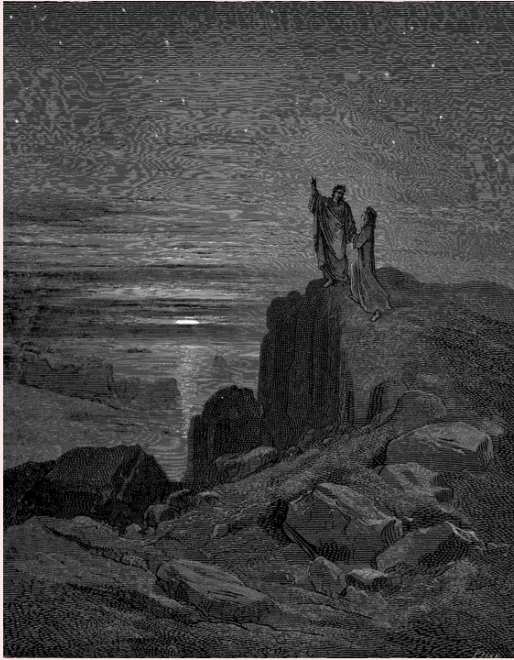


6



Wurmloch

7



Hölle XXXIV 139

*Dann traten wir hinaus
und sahen die Sterne
wieder.*

Illustration
Gustave Doré

8

(Bild 8) *Dann traten wir hinaus und sahen die Sterne wieder* – so klingt der letzte Vers des ersten Teils der Göttlichen Komödie, der Hölle. Es sind die Sterne, die in der Hölle fehlen, und das ist vielleicht das Schlimmste an der Hölle.

Es folgt der zweite Teil der Göttlichen Komödie, das Purgatorium oder der Läuterungsberg. Wir überspringen diesen Teil. Sein letzter Vers lautet: ... *rein und bereit, emporzusteigen zu den Sternen.*

(Bild 9) Wiederum steht zum Schluss das Wort *Sterne* – und so wird es auch am Schluss des Paradieses heißen, wie man weiss. (Kein Wunder also, dass sich ein Astronom für Dante interessiert! –)

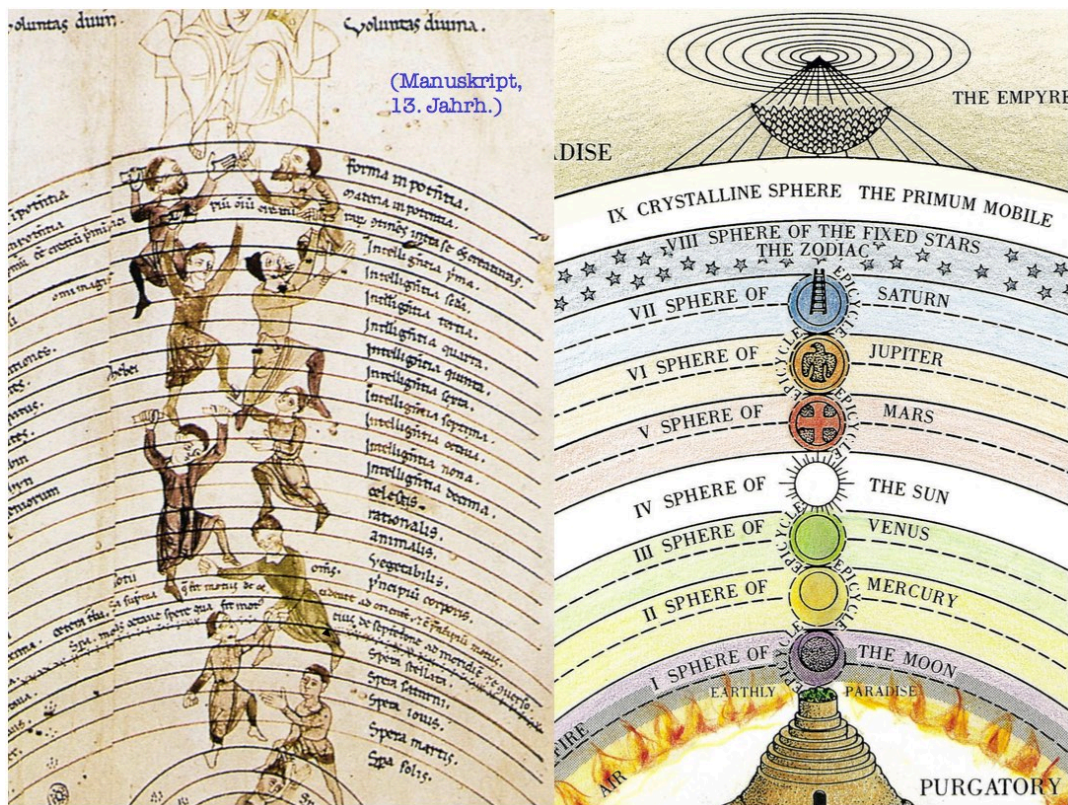


...rein und bereit, emporzusteigen zu den Sternen.

Läuterungsberg XXXIII 145

Illustration Botticelli

9

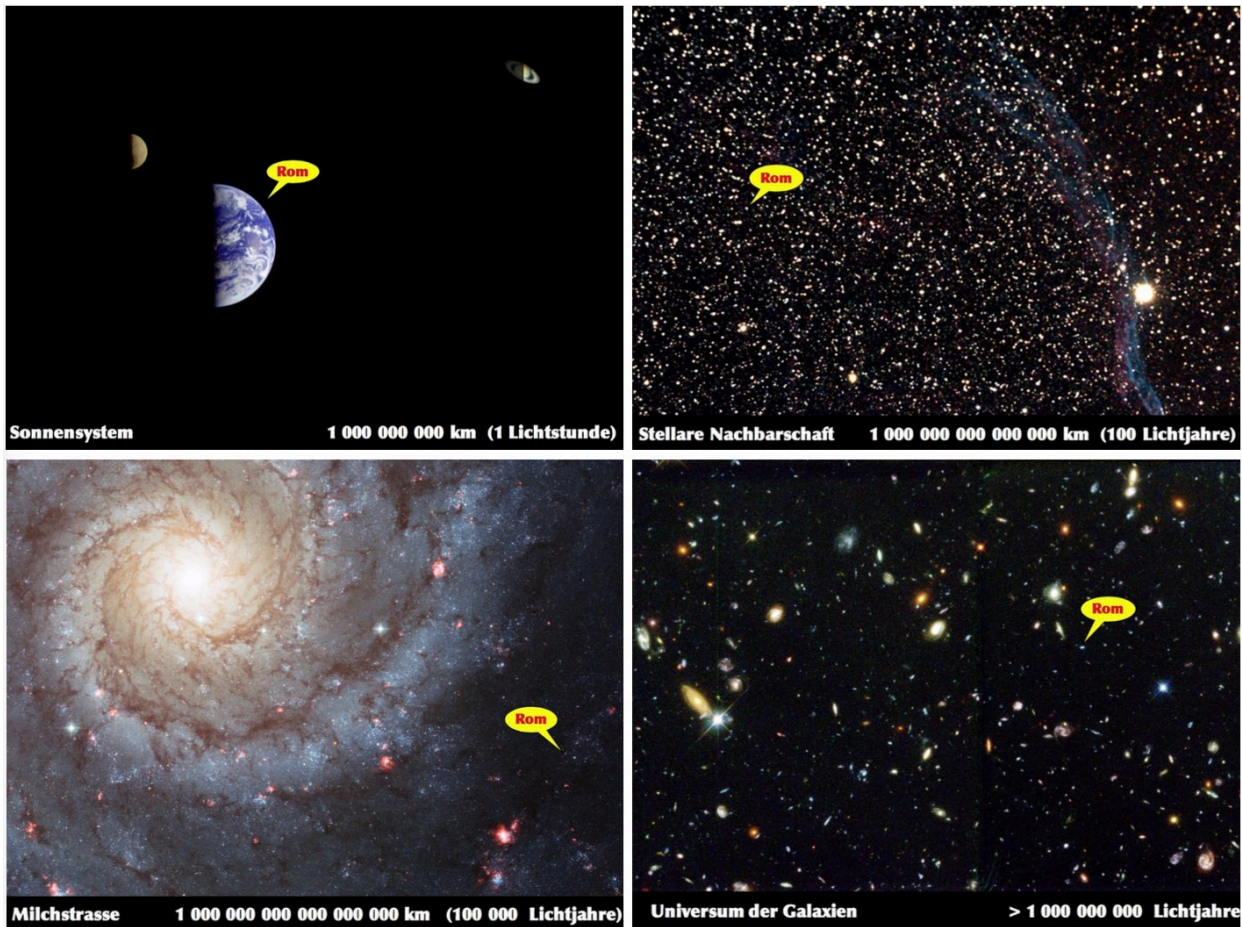


10

Aber was ist hier passiert? Nach der Besteigung des Läuterungsberges erreichen Dante und Vergil den Garten Eden, wo Beatrice endlich erscheint und Vergil verschwindet. Es folgt Dantes Bekenntnis und Busse gegenüber Beatrice, und nach dem Baden in den Flüssen des irdischen Paradieses ist Dante *rein und bereit, emporzusteigen zu den Sternen*. Jetzt kann Dante nicht nur die Sterne wieder sehen, sondern zu ihnen hinauffliegen. Die Schwerkraft kehrt wieder als Symbol des Bösen zurück, oder genauer gesagt umgekehrt, die Antigravitation als Symbol des Guten. Sobald das Böse überwunden ist (durch Katharsis), steigt die Seele auf wie ein Heissluftballon, nachdem der Ballast abgeworfen ist. So beginnt der Aufstieg von Dante und Beatrice (**Bild 10**). Der Aufstieg führt sie durch alle Himmel bzw. alle Sphären, wo sie den Seelen der Heiligen begegnen, hinauf zum Primum Mobile, der höchsten Sphäre, und (in seiner Vision) weiter ins Empyreum jenseits von Raum und Zeit. Auf der spirituellen Ebene bedeutet der Aufstieg die Rückkehr der Seelen zum Schöpfer, wie hier (Bild 10) links in dieser schönen zeitgenössischen Illustration gezeigt. Der ganze Prozess ist ein bisschen so, wie wenn eine unter Wasser befindliche Luftblase an die Oberfläche steigt und an ihren Ursprungsort zurückkehrt. Das Bild des Aufstiegs (und der spirituellen Hierarchie im Allgemeinen) geht auf eine neu-platonische Konzeption zurück. Das unaussprechliche *Eine* der Neuplatoniker führt zum Intellekt (zum *Logos*) und dieser zur Weltseele (*anima mundi*) und den einzelnen Seelen, und diese schliesslich zu den körperlichen Dingen. Es ist eine Abfolge von Emanationen, die eine Hierarchie, eine ethische Skala ergibt, bildlich von oben nach unten führend. Und nach dem Tod, sofern nicht nur ein *oneway ticket* gelöst wurde, kehrt die Seele von unten nach oben zum Einen zurück (d.h. zu Gott im christlichen Sinn). Aber diese Rückkehr zur Quelle kann schon zu Lebzeiten – zumindest auf der mentalen Ebene – durch Meditation, Kunst, Poesie geschehen; so tat es Dante in seiner Vision!

Doch was hat das alles mit moderner Astrophysik zu tun? Seit Jahrhunderten wissen wir, dass es im Universum kein „oben“ und „unten“ gibt. Es gibt keine Sphären, es gibt keine Hierarchie, es gibt keine Vorzugsrichtung im Raum. Tatsächlich scheint unser heutiges Weltbild und unsere Vorstellung von der Welt unendlich verschieden zu sein von der des Mittelalters. Schauen wir doch einmal, wo wir uns

eigentlich befinden. **(Bild 11)** Die Erde ist eine Kugel, das stimmt, aber sie bewegt sich um die Sonne, wie die anderen Planeten. Und die Sonne ist nur *ein* Stern unter Tausenden und Millionen anderer Sterne – gigantische, heisse Gaskugeln, in Distanzen, die bereits so gross sind, dass es besser ist, die Masseinheit von Kilometer in Lichtjahre zu wechseln. Die Sonne und alle Sterne, die wir nachts sehen, sind Teil eines riesigen Systems von hundert Milliarden Sternen, genannt Milchstrasse, unsere Galaxie; wir befinden uns hier am Rande und bewegen uns einmal in 230 Millionen Jahren um das Zentrum der Milchstrasse herum. Schliesslich ist unsere Galaxie nur eine von Milliarden Milliarden anderer Galaxien, die zusammen das ganze Universum ausmachen. Also: Wie können wir dieses riesige, unfassbar grosse, vielleicht unendlich grosse Universum mit dem kleinen Kosmos von Dante vergleichen, den er in wenigen Tagen bereist? Das erscheint lächerlich!



11

An dieser Stelle muss eine der grundlegendsten Beobachtungen der modernen Wissenschaft ins Spiel gebracht werden: die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit! Einsteins Relativitätstheorie zufolge kann nichts schneller sein als Licht, das eine Strecke von 300'000 Km pro Sekunde zurücklegt. Die Folgen dieser Tatsache sind im Alltag nicht bemerkbar, aber auf der kosmischen Skala der Astronomie sind sie sehr drastisch. Wenn wir den Himmel über uns betrachten, sehen wir die Himmelskörper nicht so, wie sie in diesem Moment sind, sondern wie sie waren, als sie das Licht ausstrahlten, das wir jetzt empfangen. Jeder Blick in die Tiefe des Himmels ist eigentlich ein Blick in die Vergangenheit, genauer gesagt: Je weiter wir in den Raum blicken, desto weiter dringen wir in die Vergangenheit vor, also näher an den Ursprung der Zeit.

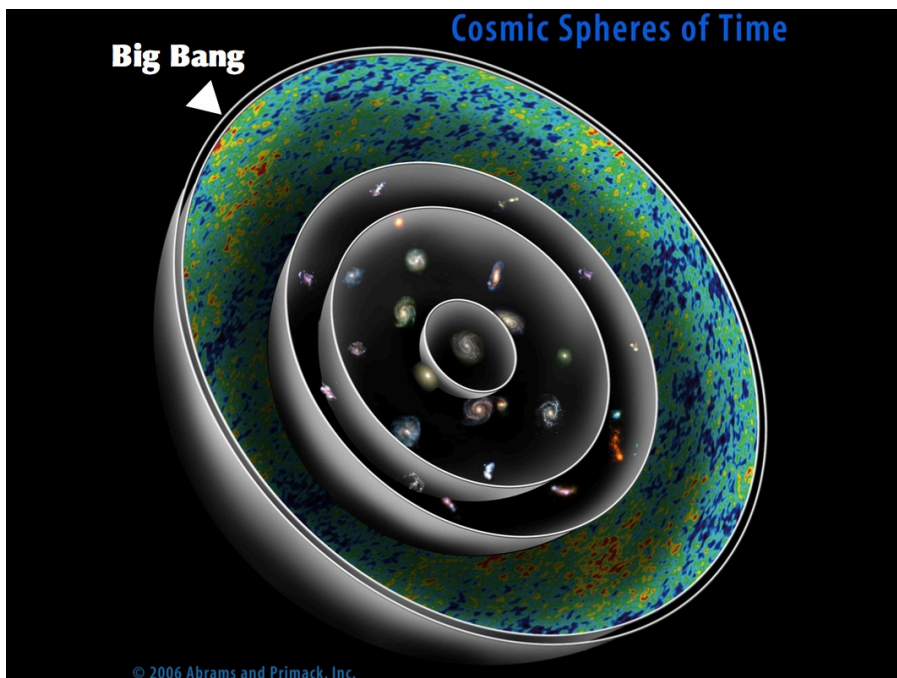


12

(Bild 12) Bereits den Mond sehen wir nicht so, wie er jetzt gerade ist, sondern wie er vor einer Sekunde war, entsprechend der Zeit, die das Licht braucht, um die Erde zu erreichen. Nun gut, das ist keine ernsthafte Verzögerung. Aber das Sonnenbild ist schon 8 Minuten zu spät, weil die Sonne 8 Lichtminuten entfernt ist. Die Sterne, die nachts sichtbar sind, sehen wir aufgrund ihrer grossen Entfernung von einigen Lichtjahren bis zu Tausenden von Lichtjahren, wie sie vor so vielen Jahren oder Jahrtausenden waren. Wer weiss, der eine oder andere Stern ist nicht mehr da (vielleicht explodiert

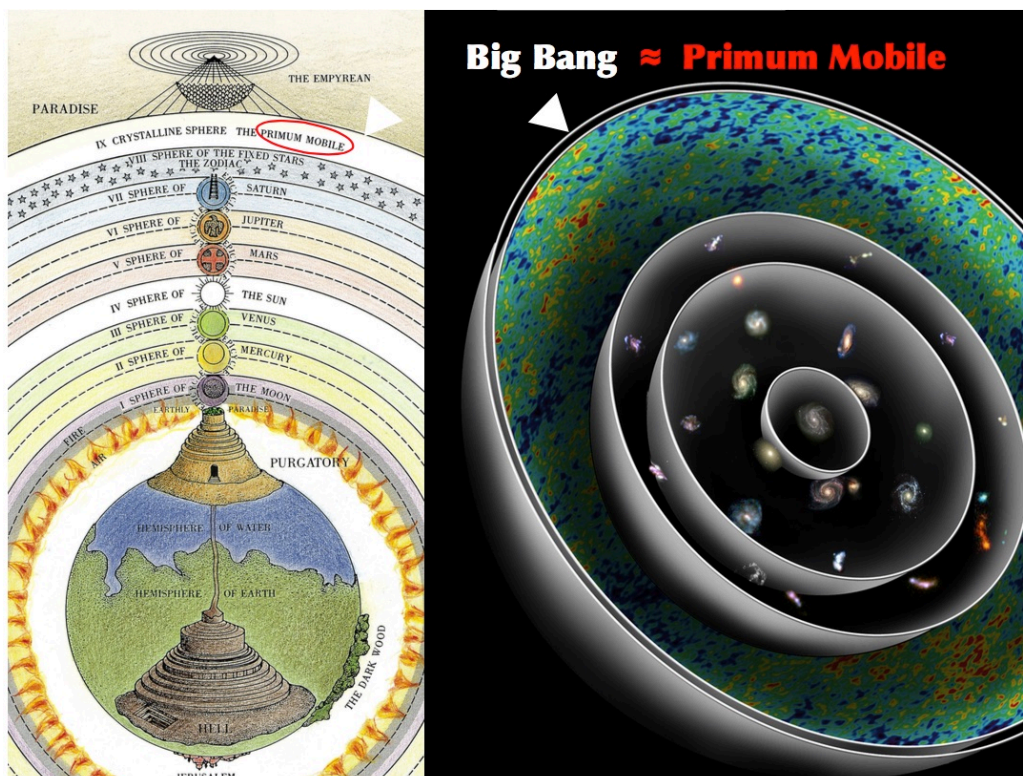
oder inzwischen erloschen), nur hat uns das Signal noch nicht erreicht. Wir haben keinen Zugang zum fernen Raum, wie er *jetzt* im Moment ist, das ist völlig unmöglich; Raum und Zeit sind immer aneinander gekoppelt. Eine relativ nahe Galaxie, sagen wir 10 Millionen (!) Lichtjahre entfernt, sehen wir so, wie sie vor 10 Millionen Jahren war. Und so weiter..., immer tiefer in die Tiefen des Universums vordringend... Auf tiefen Bildern sehr langer Belichtungszeit, wie sie vom Hubble Space Telescope empfangen wurden, erkennen wir Galaxien Milliarden von Lichtjahren entfernt, also sehen wir sie so, wie sie vor Milliarden von Jahren waren. Tatsächlich erscheinen auf Bildern dieser Art sehr kleine Galaxien in extremer Entfernung, die offensichtlich in *statu nascendi* aufgenommen wurden.

Schliesslich erreichen wir, noch weiter in die Tiefe gehend, eine Epoche der Vergangenheit, in der es weder Galaxien noch Sterne gab, weil sie noch nicht geschaffen worden waren. Aus diesem Grund ist nichts mehr zu sehen, zumindest nichts bei optischen Wellenlängen... So durchdringen wir die Dunkelheit ... bis zu den frühesten Zeiten, als das Universum noch eine dichte und heisse Teilchensuppe war, vor etwa 14 Milliarden Jahren. Aus dieser Epoche empfangen wir eine Strahlung, die vor 50 Jahren mit diesem eigenartigen Radioteleskop (kleines s/w Bild, unten rechts) entdeckt wurde. Es ist der sogenannte „Kosmische Mikrowellenhintergrund“, eine Art schwaches Echo des Urknalls; schwach, weil das Universum seither tausendfach expandiert ist und sich daher um denselben Faktor abgekühlt hat. Auf diese Weise wurde auch die Wellenlänge der Strahlung gestreckt, vom optischen in den (nicht sichtbaren) Mikrowellenbereich. Das Bild der Hintergrundstrahlung, mit diesen winzigen Schwankungen – es sind die Samen der kosmischen Struktur – ist eine Momentaufnahme vom Beginn unserer Welt. Was wir in diesem Bild sehen, entspricht einem direkten Blick auf die extremsten Weiten des Kosmos und zugleich auf seinen zeitlichen Beginn. (Wobei es nicht so ist, dass wir hier den Urknall selbst sehen; die ersten vierhunderttausend Jahre war das Universum strahlungsundurchlässig; deshalb bleibt der Urknall, der Schöpfungsakt selbst, verborgen und ein Gegenstand theoretischer Untersuchungen.)



13

Wenn wir nun alle diese Bilder von Objekten, die wir in der Vergangenheit sehen, in einer Abfolge von räumlicher und zeitlicher Distanz aneinanderreihen, erhalten wir das folgende Schema des Kosmos (**Bild 13**). Alle Objekte, die wir in derselben (beliebigen) Vergangenheit beobachten, befinden sich in derselben Entfernung von uns, nämlich in der Entfernung, die dem vergangenen Moment entspricht, in dem das Licht, das wir jetzt empfangen, ausgesendet wurde. Also befinden sich diese Objekte jeweils auf der Oberfläche einer Kugel; eine bestimmte kosmische Ära definiert eine Kugel mit einem bestimmten Radius. Das Ergebnis ist eine Abfolge von konzentrischen Sphären mit uns Betrachtern in der Mitte und mit dem Urknall, dem Beginn der Zeit, auf der äussersten, grössten Sphäre. Man könnte auch von „zeitlichen Sphären“ sprechen. Aber sie sind nicht einzeln sichtbar, diese Sphären, denn die Zeit ist eine kontinuierliche Grösse, also ist auch die Abfolge der Sphären kontinuierlich. Es fällt aber sofort auf, dass das Bild der Zwiebel als Modell oder Gestalt des Kosmos zurückkehrt! Aufgrund der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit nimmt das beobachtete Universum – genauer: das beobachtbare Universum – notwendigerweise die Form einer Kugel an. Das gezeigte Schema stellt nicht die räumliche Struktur des Universums dar, die weder ein Zentrum noch eine Grenze besitzt; es stellt die *zeitliche* Struktur des Kosmos dar, da die Zeit eine „Grenze“, nämlich einen Anfang hat. Die gesamte Evolution des Universums, vom Urknall bis heute, wird so in eine sphärische, raum-zeitliche Landkarte transformiert. Die gegenwärtige Epoche ist hier im Zentrum, und der Urknall bzw. sein zeitloses Abbild definiert die Grenze des beobachtbaren Kosmos.



14

Ich komme nun zum zentralen Punkt meines Vortrags (**Bild 14**). Vergleichen wir das eben besprochene Schema des modernen Kosmos mit dem System der mittelalterlichen Welt, auf welchem die Göttliche Komödie basiert (links). Die Analogie zwischen den beiden Welten sollte jederman ins Auge springen! Die oberste Sphäre des Dante-Kosmos ist das Primum Mobile, der Transmissionsriemen der ganzen Welt; im modernen Kosmos ist es der Urknall – und er hat die gleiche Funktion: alles kommt vom Urknall her, auch er ist ein Primum Mobile! Sicherlich könnte man argumentieren, dass dieser Vergleich

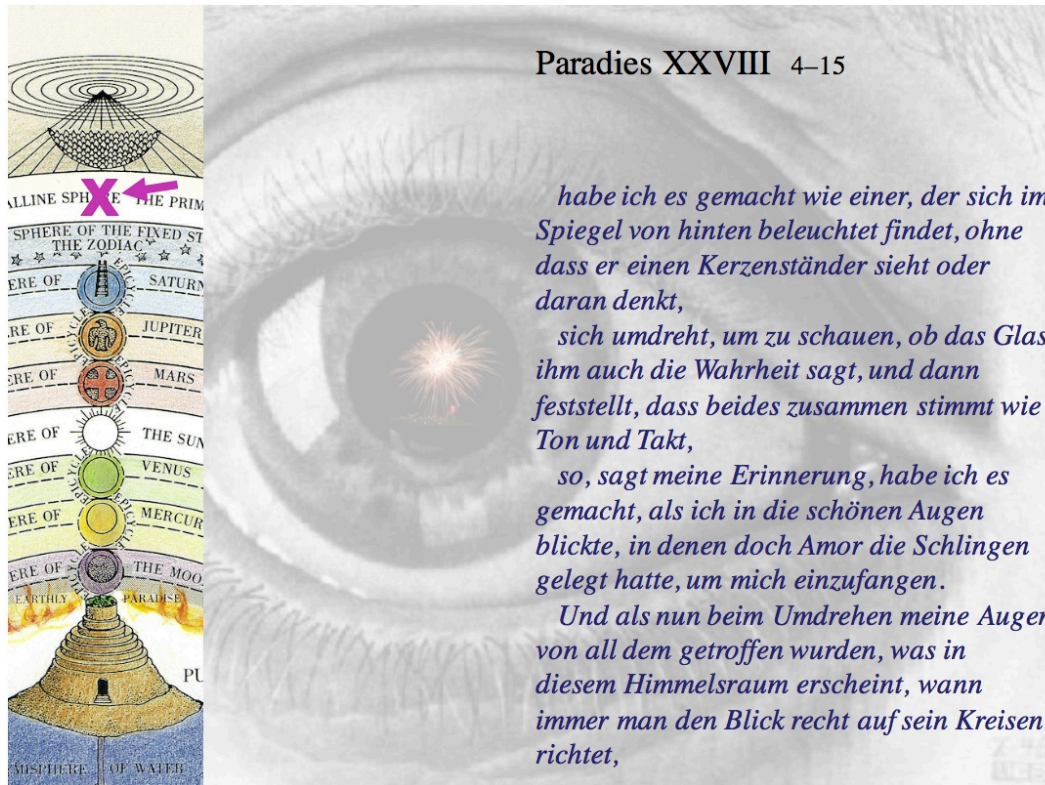
nicht funktioniert, da die moderne kosmische Zwiebel fast unendlich viel grösser ist als die alte. Das stimmt, aber das ist ein quantitatives Argument. Die Qualität einer Sache, wie Form und Funktion, scheint mir wichtiger zu sein als die Quantität, wie Grösse. Eine Analogie beruht immer auf qualitativen, nicht auf quantitativen Eigenschaften. Und schliesslich war für einen mittelalterlichen Menschen der Kosmos von Dante genauso unzugänglich wie der Urknall-Kosmos für uns. Darüber hinaus ist die Analogie nicht auf die Form der Kugel und die Primum-Mobile-Grenze beschränkt. Der gesamte moderne Kosmos übernimmt die hierarchische Struktur, die wir vom alten Kosmos her kennen. Bei diesem war die Einwirkungsrichtung von oben nach unten, primär verstanden als Kausalkette (nach Aristoteles), aber auch als Emanation (nach den Neuplatonikern). Beide Weisen spiegeln sich im modernen Kugelkosmos wider: die Kausalkette und die Strahlung von oben nach unten – sie ergeben sich automatisch, weil sich entlang dieser Richtung im beobachteten Kosmos der zeitliche Fluss vollzieht. Die Analogie gilt auch für die umgekehrte Richtung, von unten nach oben. Was den alten Kosmos betrifft, so haben wir gesehen, dass der Aufstieg von Dante durch die Sphären zum Primum Mobile und darüber hinaus im neuplatonischen Denken eine Rückkehr zum Ursprung, zum Schöpfer bedeutet. Dies beschreibt natürlich auch die Richtung unserer Forschung, wenn sie so dargestellt wird (**Bild 15**).



15

Mit unseren Teleskopen durchdringen wir die Tiefen des Universums bis zu einer Entfernung (räumlich und zeitlich), wo es keine Objekte mehr zu beobachten gibt. An dieser Stelle kommen die Elementarteilchenphysiker ins Spiel, die experimentieren und Theorien entwickeln, um die Eigenschaften der Materie bei sehr hohen Energien zu verstehen: Auf diese Weise nähern sie sich, im metaphorischen Sinn, dem Urknall immer mehr an. Die Physik des Urknalls zu erklären, den Ursprung der materiellen Welt zu verstehen, ist vielleicht das edelste Ziel der Physik und Astronomie. Der Urknall ist das Alpha und Omega, er ist unser Ursprung – und unser Ziel, das Endziel unserer Forschung. Auch wir Forscher machen eine Art virtuelle Reise zum Ursprung; bildlich dargestellt, ähnelt sie einem Aufstieg.

Schauen wir nun, was mit Dante dem Pilger auf seiner Reise kurz vor dem Ziel geschieht (**Bild 16**). In die Sphäre des Primum Mobile eingetreten, und wie immer in Beatrices Augen schauend, macht Dante eine visuelle Erfahrung, die in den Versen des 28. Gesangs des Paradieses beschrieben wird: ... *habe ich es gemacht wie einer, der sich im Spiegel von hinten beleuchtet findet, ... , in denen doch Amor die Schlinge gelegt hatte, um mich einzufangen.*



Paradies XXVIII 4-15

habe ich es gemacht wie einer, der sich im Spiegel von hinten beleuchtet findet, ohne dass er einen Kerzenständer sieht oder daran denkt,

sich umdreht, um zu schauen, ob das Glas ihm auch die Wahrheit sagt, und dann feststellt, dass beides zusammen stimmt wie Ton und Takt,

so, sagt meine Erinnerung, habe ich es gemacht, als ich in die schönen Augen blickte, in denen doch Amor die Schlingen gelegt hatte, um mich einzufangen.

Und als nun beim Umdrehen meine Augen von all dem getroffen wurden, was in diesem Himmelsraum erscheint, wann immer man den Blick recht auf sein Kreisen richtet,

16

Mit andern Worten: Dante nimmt in Beatrices Augen ein gewisses Funkeln wahr, das hinter seinen Schultern entstehen muss und sich in den Augen von Beatrice widerspiegelt. Er dreht sich unwillkürlich um, um zu sehen, was da glänzt. – So fährt der Bericht fort:

Und als nun beim Umdrehen meine Augen ... , ... den Blick recht auf sein Kreisen richtet,

(**Bild 17**) *da nahm ich einen Punkt wahr, ... „Von diesem Punkt hängt der Himmel ab und die gesamte Natur.“*



Illustration Gustave Doré

Paradies XXVIII 16–18,25–36,40–42

*da nahm ich einen **Punkt** wahr, von dem ging ein so scharfer Lichtstrahl aus, dass die Augen, um bei dieser Schärfe nicht zu verbrennen, fest geschlossen werden mussten. . .*

. . . So nah an dem Punkt wirbelte um ihn her ein Feuerkreis und so schnell, dass er die Bewegung, die die Welt als erste umfasst, übertroffen hätte.

Und dieser Kreis wurde umkreist von einem zweiten, der von einem dritten, der dritte von einem vierten, . . .

So dann auch der achte und der neunte. Und sie drehten sich immer langsamer, je höher ihre Abstandszahl vom ersten war.

*. . .
Meine Herrin, die mich in langem Rätseln begriffen sah, erklärte mir nun:
„**Von diesem Punkt hängt der Himmel ab und die gesamte Natur.**“*

17

Dieser extrem helle Punkt repräsentiert bzw. symbolisiert Gott, und zwar auf angemessene, plausible Weise: die Punktform (als unphysikalische Singularität) und die grosse Leuchtkraft – wie das Licht im Allgemeinen – tragen traditionellerweise eine spirituelle Bedeutung. Um Gott herum drehen sich neun konzentrische Kreise von leuchtenden Wesen, es sind die neun kanonischen Engelschöre: zuinnerst die Seraphim, dann die Cherubim und so weiter zu den Erzengeln und Engeln in grösster Entfernung. Und diese räumliche Ordnung wird von einer kinetischen Ordnung begleitet: Je mehr sie sich Gott nähern, desto schneller bewegen sich die himmlischen Wesen, so dass die Seraphim mit grösster Geschwindigkeit rotieren, die Engel mit geringster, d.h. am langsamsten. In der physischen und geozentrischen Welt der Sphären ist die kinetische Ordnung jedoch genau umgekehrt: Die Sphären bewegen sich umso schneller, je weiter sie vom Zentrum (der Erde) entfernt sind bzw. je näher sie Gott stehen; das Primum Mobile rotiert mit maximaler und der Mond mit der minimaler Geschwindigkeit. (Man beachte, dass die räumliche und kinetische Ordnung der Engel von Dante genau der Reihenfolge der Planeten im heliozentrischen Sonnensystem nach Kopernikus entspricht – fast so, als hätte Dante der Dichter diese Ordnung zwei Jahrhunderte (!) vor Kopernikus konzipiert, aber nur im geistigen Reich, nicht in der körperlichen Welt.)

Jedenfalls fühlt sich Dante der Pilger in der Komödie verwirrt durch die Umkehrung der Ordnung zwischen Sphären und Engelschören. Warum diese Umkehrung oder Umstülpung?

(Bild18) Wie immer belehrt ihn Beatrice und erklärt ihm die Umkehrung so:

Paradies XXVIII 64–78

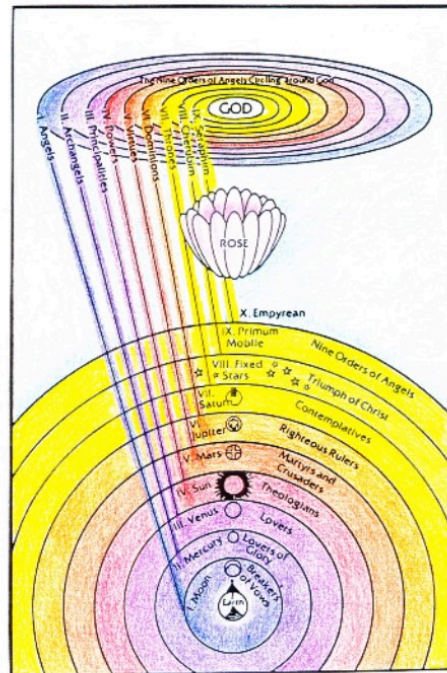
„Die körperlichen Kreise sind weiter oder enger gemäss dem Mehr oder Weniger an Kraft, die sich in allen ihren Teilen ausbreitet.

Grössere Kraft will grösseres Heil bewirken; grösseres Heil kann ein grösserer Körper aufnehmen, vorausgesetzt, er ist in allen Teilen gleich vollendet.

Also entspricht der, der das ganze übrige Universum mitreisst, dem Kreis, der am meisten liebt und am meisten weiss.

Deshalb gilt: Wenn du dein Mass an der Kraft und nicht an der sichtbaren Grösse der Substanzen nimmst, die dir hier in runder Form erscheinen,

dann kannst du sehen, dass von jeder Himmelsphäre zu der Intelligenz, die ihn bewegt, eine wunderbare Entsprechung besteht, nämlich Grösser zu Mehr und Kleiner zu Weniger.“

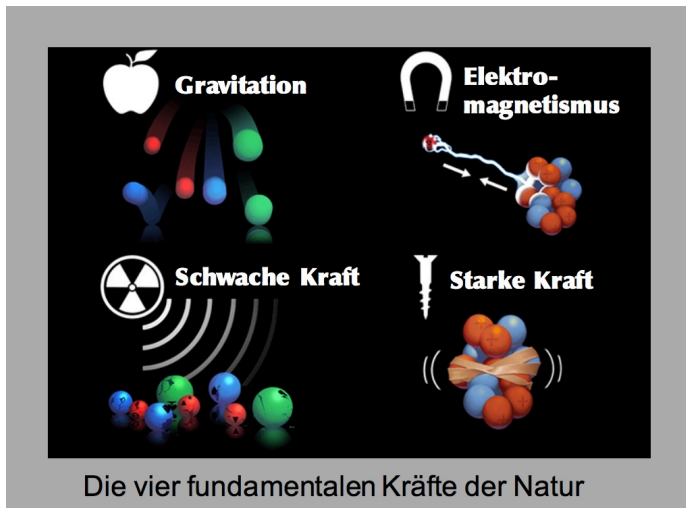


18

Als Erklärung lässt das etwas zu wünschen übrig, aber es bedeutet mit andern Worten einfach, dass es auf der Ebene des Raumes edler ist, gross zu sein, auf der Ebene der Bewegung aber edler, schnell zu sein, und weil *jenes* Ding (sei es eine Sphäre oder ein Engelschor) schneller ist, das näher bei Gott liegt, folgt die Umkehrung zwischen den Sphären und Chören der Engel streng logisch. Die Zeichnung hier rechts dient der Imagination, wie die Bewegung der Engel im geistigen Reich ausserhalb von Raum und Zeit auf die Sphären der körperlichen Welt übertragen wird; es ist ein unsichtbarer Prozess. So funktionieren letztlich auch die Naturgesetze der modernen Wissenschaft.

Die Umkehrsituation erinnert mich an einen anderen Gegenstand der Physik. Kehren wir nochmals zum Bild des modernen Kugelkosmos zurück (**Bild 15**). Wie bereits erwähnt, taucht man, wenn man sich in diesem Bild als Forscher dem Urknall nähert, irgendwann in die kosmische Ursuppe ein und gelangt damit auch in das Forschungsgebiet der Elementarteilchenphysik. Während wir virtuell in Richtung des Urknalls „marschieren“ (der die Grenze dieser Raum-Zeit-Kugel definiert), nimmt auch die Temperatur der Teilchensuppe stetig zu, weil wir immer weiter in die Vergangenheit vordringen (hier ist daran zu erinnern, dass sich das Universum aufgrund seiner Ausdehnung kontinuierlich abgekühlt hat). Theoretisch war die Temperatur bei der Singularität des Urknalls unendlich hoch. Nun, in der Thermodynamik entspricht die Temperatur eines Substrats der Energie oder der Geschwindigkeit der darin enthaltenen Teilchen. Mit zunehmender Temperatur, d.h. mit zunehmender Energie oder Geschwindigkeit kommen dann immer fundamentalere Teilchen ins Spiel – immer kleinere, metaphorisch gesprochen. Und die Geschwindigkeit nähert sich der Lichtgeschwindigkeit immer mehr an, bis zum Punkt, wo die Teilchen „relativistisch“ werden (wie der Physiker sagt) und dadurch in gewisser Weise den Charakter von Strahlung annehmen (anstatt Materie). Die Frühzeit des Universums war von Strahlung beherrscht, man spricht von der sogenannten „Strahlungsära“. (und weil Strahlung im Wesentlichen Licht ist, erinnert uns dies im Übrigen auch an das *fiat lux* der biblischen Schöpfungsgeschichte).

Reich des Mikrokosmos. Am Ursprung berühren sich die grössten und die kleinsten Dinge, der Makrokosmos und der Mikrokosmos, oder wie es auf Französisch heisst: *Les extrêmes se touchent*. Gezeigt ist ein Bild der Situation nach Sheldon Glashow, Nobelpreisträger der Physik, aus den achtziger Jahren, das sich eines sehr alten, hermetischen Symbols bedient: des *Uroboros*, der Schlange, die sich in den eigenen Schwanz beisst.

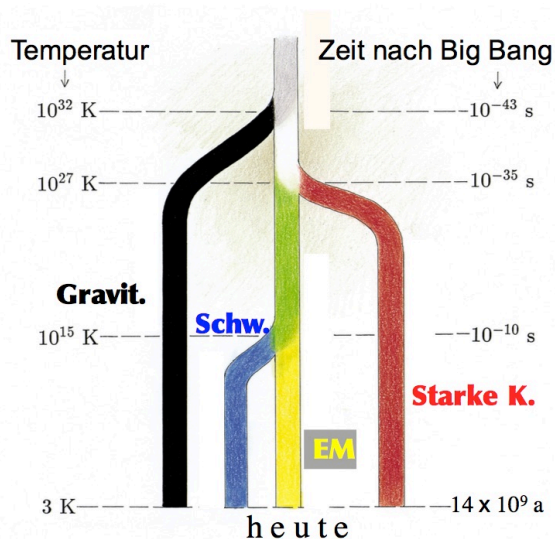


21

Ich möchte noch ein letztes Beispiel für eine Analogie vorlegen. **(Bild 21)** Es betrifft die vier fundamentalen Kräfte oder Wechselwirkungen der Natur: die Gravitation, die elektromagnetische Kraft und, mit extrem kleiner Reichweite, die schwache Kernkraft sowie die starke Kernkraft. Die Verschiedenheit bzw. die Einheit dieser Kräfte zu verstehen, ist vielleicht das grundlegendste Problem der Physik, gleich dem oben erwähnten Problem, den Urknall zu verstehen (aber vielleicht ist es letztlich dasselbe Problem). Die theoretische Vereinheitlichung der Kräfte ist bereits weit fortgeschritten: Es gibt eine Standardtheorie für die Vereinheitlichung von Elektromagnetismus und schwacher Kraft. Auf der andern Seite ist es nicht klar, wie man die starke Kernkraft hinzufügen kann; hierzu gibt es Ideen, aber nicht mehr. Und die Gravitation widersteht der Vereinheitlichung bisher gänzlich; es fehlt eine Quantentheorie der Gravitation, um sie zu erreichen.

(Bild 22) Die Vorstellung oder Idee in der Physik ist jedoch, dass die normalerweise verschiedenen Kräfte bei sehr hohen Energien, d.h. bei sehr hohen Temperaturen ununterscheidbar und in diesem Sinne vereinigt sind. Und auf diese Weise vereinigt sollten die fundamentalen Kräfte der Natur auch in der Frühzeit des Universums, in der heissen Teilchensuppe beim Urknall gewesen sein; es gab sozusagen nur *eine* Kraft. Aber schon nach sehr kurzer Zeit, weniger als einer Milliardstel Sekunde nach dem Urknall, wurden die Kräfte differenziert, von der ursprünglichen Einheit auseinander gefaltet, wie hier grafisch dargestellt. Die erste Kraft, die sich theoretisch von der Einheit trennte, war die Gravitation, 10 hoch minus 43 Sekunden nach dem Urknall – eine absurd kurze Zeitspanne!

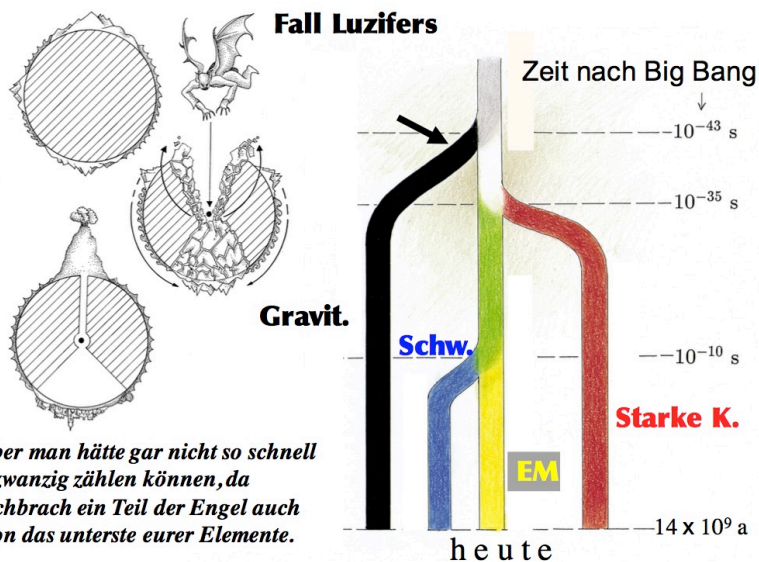
Ausdifferenzierung der fundamentalen Kräfte



22

Hier sehe ich eine Analogie mit einer kosmischen Katastrophe der Mythologie, besonders wie sie in der Göttlichen Komödie beschrieben wird, nämlich dem Fall Luzifers (**Bild 23**). Es sei daran erinnert, dass das Böse, personifiziert durch Luzifer, durch die Schwerkraft symbolisiert wird. Der Fall Luzifers und seiner Gefährten wird in der Göttlichen Komödie in den folgenden Versen erwähnt:

Aber man hätte gar nicht so schnell bis zwanzig zählen können, da durchbrach ein Teil der Engel auch schon das unterste eurer Elemente.



Aber man hätte gar nicht so schnell bis zwanzig zählen können, da durchbrach ein Teil der Engel auch schon das unterste eurer Elemente.

(Par XXIX 49-51)

23

Auch dies ist also ein sehr schneller Prozess: Kaum war die Welt erschaffen, nach weniger als zwanzig Sekunden, wurde der Engelsfürst Luzifer wegen seines Stolzes vom Himmel vertrieben. Die Betrachtung einer so kurzen Zeitspanne im Mittelalter erscheint mir bemerkenswert. Luzifer fiel und ... *durchbrach ... das unterste eurer Elemente*, wie es im Text heisst. Das bedeutet, dass Luzifer durch seinen Sturz die Erde strukturierte (insbesondere die Hölle und den Läuterungsberg, wie im Diagramm links dargestellt). Und das finden wir auch in der Astrophysik: Es ist die Gravitationskraft, die die Struktur des Universums im grossen Massstab formt und zur Bildung von Galaxien und Sternen führt.

Es verbleiben die drei andern Kräfte, welche die Physiker vereinen oder vereinheitlichen möchten, ein Ziel, das noch nicht erreicht ist. Die Aufgabe ist gewaltig und vielleicht nicht lösbar ohne die Integration der Gravitation. Möglicherweise müsste auch das rätselhafte menschliche Bewusstsein in irgendeiner Weise berücksichtigt werden.

(Bild 24) Zurück zu den letzten Zeilen der Göttlichen Komödie. Dante nähert sich der göttlichen Singularität, dem Lichtpunkt im Empyreum, wo er der heiligen Dreifaltigkeit (Trinität) ansichtig wird und diese verstehen will:

Paradies XXXIII 115–120, 127–145



Im tiefen, leuchtenden Bestand des hohen Lichts erschien mir drei Kreise in drei Farben und derselben Grösse; der erste und der zweite schienen gegenseitig ihr Licht zu tauschen wie von Iris zu Iris, während der dritte eher ein Feuer war, das vom einen wie vom andern her beatmet wurde.

...

In jenem Kreis, der mir doch vorschwebte als ein in dir getauschtes Licht und den meine Augen eine Weile umrundeten, schien es mir nun, als malte sich in

seinem Innern mit seiner eigenen Farbe unser Ebenbild: So war denn mein Gesicht ganz und gar in ihn gelegt. Wie es dem Geometer geht, der alles daran setzt, den Kreisumfang zu messen, und bei allem Nachdenken das Prinzip nicht findet, das ihm fehlt, so erging es mir bei diesem nie gewährten Anblick: Ich wollte wissen, wie das Bild zum Kreisrund passen konnte und wie es dort Platz fand. Doch meine eigenen Flügel hätten dazu nicht gereicht, wenn nicht mein Geist von einem Blitz durchzuckt worden wäre, in dem sein Wunschziel aufkam. Die hohe Phantasie, hier verliess sie die Kraft. Doch nunmehr bewegte mir Wunsch und Wollen, wie ein Rad, das im Gleichmass bewegt wird, die Liebe, die die Sonne bewegt und auch die anderen Sterne.

24

Wie es dem Geometer geht, der alles daran setzt, den Kreisumfang zu messen, und bei allem Nachdenken das Prinzip nicht findet, das ihm fehlt, ...

– Die vergebliche Messung des Kreisumfangs ist eine Anspielung auf die mythische „Quadratur des Zirkels“. Sie erscheint mir als Analogie zur Schwierigkeit oder Unmöglichkeit, die fundamentalen Kräfte der Physik zu vereinen. In meinem Buch *Primum Mobile* hatte ich die Frechheit, diese Passage der Göttlichen Komödie als Pflichtlektüre für theoretische Physiker zu deklarieren. Dante löst das Problem jedoch auf eine andere, ganzheitliche und kontemplative Weise:

... so erging es mir bei diesem nie gewährten Anblick ... die Liebe, die die Sonne bewegt und die anderen Sterne (l'amor che move il sole e l'altre stelle).

Hier endet die Göttliche Komödie, und so auch meine Präsentation, vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Alle Dante-Zitate aus:

Dante Alighieri: *La Commedia / Die Göttliche Komödie*, 3 Bände, in Prosa übersetzt und kommentiert von Hartmut Köhler, Reclam, Stuttgart, 2010–2012

Bild 13 (und 14, 15) reproziert mit Genehmigung aus:

Nancy Abrams und Joel Primack: *The new universe and the human future* (Terry lectures), New Haven 2011

Literatur:

Bruno Binggeli: *Primum Mobile – Dantes Jenseitsreise und die moderne Kosmologie*, Ammann, Zürich 2006

Horia-Roman Patapievici: *Gli occhi di Beatrice – Com'era davvero il mondo di Dante?* Bruno Mondadori, Milano 2006 (eine andere Sicht eines Physikers)

Robert Osserman: *Geometrie des Universums – Von der Göttlichen Komödie zu Riemann und Einstein*, Vieweg, Braunschweig 1997