

Gedenke des Sabbattages, dass du ihn heiligest. Sechs Tage sollst du arbeiten und alle deine Werke tun. Aber am siebenten Tage ist der Sabbat des HERRN, deines Gottes. Da sollst du keine Arbeit tun, auch nicht dein Sohn, deine Tochter, dein Knecht, deine Magd, dein Vieh, auch nicht dein Fremdling, der in deiner Stadt lebt. Denn in sechs Tagen hat der HERR Himmel und Erde gemacht und das Meer und alles, was darinnen ist, und ruhte am siebenten Tage. Darum segnete der HERR den Sabbattag und heiligte ihn.

2 Mose 20:8-11

### Liebe Leserin, lieber Leser,

Der spätere römische Alleinherrscher und Heilige einiger orthodoxer Kirchen, Konstantin d. Große (gest.<sup>1</sup> 337), der unter dem Einfluss seiner Gemahlin um 312 begonnen hatte, das Christentum zu begünstigen und schließlich zur Staatsreligion erhob, verfügte am 7. März des Jahres 321, einem Dienstag, dass in seinem Reich künftig der dem „unbesiegbaren“ Sonnengott, dem Herrn des Lichtes, geweihte erste Tag der Woche als heiliger christlicher Sonntag ein Tag der Ruhe und bis auf landwirtschaftlich notwendige Tätigkeit arbeitsfrei sei.

Aus dem Geburtstag des römischen Reichs- und Sonnengottes Sol invictus, naheliegenderweise nahe der Wintersonnenwende, wurde folgerichtig unser erster Weihnachtsfeiertag. Jesus hatte sich selbst als „Licht der Welt“ bezeichnet. So steht's im Johannesevangelium.

Das war vor nunmehr 1700 Jahren. Bis 1976 begann bei uns die Woche im Gedenken an die Auferstehung Jesu offiziell mit dem „Tag des Herrn“. Und der Mittwoch markierte die Wochenmitte.

Konstantin I. beförderte den Siegeszug des Christentums über alle vorchristlichen Religionen (mit Ausnahme der Astrologie, wie der englische Historiker Arnold Toynbee (1889–1975) anmerkt). Die Sieben-Tage-Woche, die Kaiser Konstantin zum Gesetz erhob, ist nicht seine Erfindung. Man findet sie schon bei den Sumerern und Babyloniern. Vermutlich stammt der jüngere Schöpfungsbericht, die sog. Priesterschrift, des Alten Testaments, wonach die

---

<sup>1</sup>Einer der wenigen Soldatenkaiser, die im Bett starben. Der Legende nach soll er in diesem noch getauft worden sein.

Welt in sechs Tagen erschaffen und Gott am siebten Tage ruhte, aus der Zeit der Babylonischen Gefangenschaft, also um 550 v. Chr. Die Sieben spielt im jüdischen Brauchtum eine zentrale Rolle, man denke nur an den oft siebenarmigen Leuchter, die Menora, oder die sieben Erzengel. Abgesehen davon, dass sich die Zeitspanne von einer Mondphase zur nächsten auf etwa sieben Tage bemisst, dürfte diese Bevorzugung der Sieben u. a. damit zu tun haben, dass man vor dem 13. März 1781 sieben Wandelsterne nur kannte, in der Reihung unserer Wochentage aus vorchristlicher Zeit: Sonne, Mond, Mars, Merkur, Jupiter, Venus und Saturn. (Einst zählten Sonne und Mond, da nicht am Firmament „fixiert“, zu den Planeten.) Was wäre gewesen, hätte man den vor 240 Jahren von Wilhelm Herschel (1738–1822) entdeckten Uranus bereits im alten Babylon gekannt? Als Wandelsternchen von maximal 5 1/2-ter Größe hätte er sehr wohl mit dem unbewaffneten Auge am Himmel gesehen werden können. Man hatte ihn schlichtweg Jahrtausende lang übersehen gehabt – zum Glück für heutige Arbeitnehmer!

Nach so viel Vor- und Spätantike ist etwas Aktuelles angesagt. Wissenschaft nährt sich von Problemen und gedeiht im Streit um die richtige Lösung oder doch wenigstens um die z. Z. wahrscheinlichste. Unser heutiger Problemfall ist eine ferne Galaxie mit vehementer Sternentstehung. Das Problem: Sie erscheint „gesetzter“, als es ihrem jugendlichen Alter zukommt. Wo man sie findet? Im Sternbild Fornax, nicht weit vom galaktischen Südpol.

Fornax, ursprünglich Fornax Chemica, was „Chemischer Ofen“ bedeutet, zählt zu den „modernen“ Konstellationen. Der „Ofen“, in einer Biegung des Eridanus-Flusses gelegen, schafft es bei uns gerade so über den Südhorizont. Eingeführt wurde der Name nebst 13 weiteren von dem französischen Astronomen Nicolas-Louis de Lacaille (1713–1762). Er verbrachte einige Jahre im Auftrag der Akademie am Kap der Guten Hoffnung unter südlichen Sternen. Zusammen mit seinem Kollegen Joseph-Jérôme Lefrançais de Lalande (1732–1807) maß er um 1750 die Parallaxe des Mondes anhand der scheinbaren Verschiebung des Mondes gegen die fernen Sterne, wechselt man von Berlin – Lalande war auswärtiges Mitglied der Berliner Akademie und kurzzeitig sogar Direktor der alten Sternwarte – nach Kapstadt.

Eine ersprießliche Lektüre wünscht wie immer,  
Ihr Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im März

Merkur erreicht Anfang März zwar eine respektable westliche Elongation, nützt aber nichts, der flinke Planet bleibt unsichtbar. Die Ekliptik verläuft

zu flach über den O-Horizont. Auch Venus, obwohl am 26. März „voll“, verbirgt sich unseren Blicken am Taghimmel, und zwar hinter der Sonne. Es ist ihre obere Konjunktion. Genaugenommen zieht sie am Himmel südlich der Sonne ihre Bahn. Der Morgenstern mausert sich für den Rest des Jahres zum Abendstern. Ab Anfang Mai wird dies für jedermann sichtbar.

Mars begegnet am Monatsanfang dem Siebengestirn. Am 23. nähert er sich dem gleichfalls rötlich leuchtenden Aldebaran. Jupiter und Saturn tauchen in der zweiten Monatshälfte erstmals wieder in der Morgendämmerung auf.

Der vierte Planetoid geht am 4. März in Opposition! Die 1807 von Wilhelm Olbers (1758–1840) entdeckte Vesta ist mit einer Oppositionshelligkeit von 6-ter Größe die hellste unter den Vieren. Sie weilt im Löwen – westlich des Schwanzsterns Denebola ( $\beta$  Leonis) und östlich vom Hüftstern Coxa ( $\theta$  Leonis).

Frühlingsanfang ist am 20. März. Um 10 Uhr 37 durchquert die Äquatorebene der Erde den Sonnenmittelpunkt. Kirchlicher Frühlingsanfang ist definitionsgemäß der 21. März. Der darauf folgende (kirchliche) Vollmond ist für den Ostertermin zuständig. Der Frühlingsvollmond fällt auf den 28. März, einen Sonntag. Am Sonntag *d a n a c h*, am 4. April, ist Ostern. Übrigens: Palmsonntag dauert dieses Mal – wegen der Umstellung auf die Sommerzeit – nur 23 Stunden. Für ein halbes Jahr gilt dann: MESZ = MEZ + 1 Stunde.

## Einblick in die Kinderstube einer Galaxie

Der Astronom befindet sich in einer komfortablen Lage. Sein Blick in die Ferne, er ist ein Blick zurück in die Vergangenheit. Sie liegt wie eine Landschaft vor ihm, leider – wegen der Galaxienflucht – extrem rotverschoben und schwer zugänglich.

Markenzeichen jeder kosmischen Geburt, sei es eines Sterns oder einer Galaxie, ist deren Kühlstrahlung: ohne Kühlung nichts Kompaktes! Bindungsenergie muss veräußert werden. Selbst so etwas Luftiges wie eine Galaxie ist eine ungeheure Zusammenballung. Die Baryonen drängen sich dort millionenfach dichter als im kosmologischen Mittel. Aus dem Blickwinkel des Energetikers stellt sich der Verdichtungsprozess wie folgt dar: Ausgangspunkt sind regionale Dichteschwankungen in einem expandierenden kritischen Kosmos. Dort, wo zufällig die Dichte den Mittelwert übersteigt, macht die überzählige Schwerkraft, dass sich die betroffene Region von der allgemeinen Expansion

abnabelt, zum Stillstand kommt und anschließend kollabiert. Es ist, als gälte lokal ein kosmologisches Modell mit überkritischer Dichte.

Beim Kollaps aus dem Stand (nach dem Stillstand) wird potentielle Energie (der Lage) in kinetische Energie (der Bewegung) überführt. Insgesamt bleibt, wie bei einer Schaukel, die an einem oberen Wendepunkt beginnend allmählich Fahrt aufnimmt, die Gesamtenergie erhalten. Durch einen chaotischen Vorgang, Virialisierung genannt, stellt sich schließlich ein ausgewogenes Verhältnis zwischen potentieller und kinetischer Energie ein. Die solcherart durch Umschichtung von Energie erreichte Verdichtung ist moderat: Im einfachsten Fall, bei exakter Kugelsymmetrie, halbierte sich der Radius, verglichen mit der maximalen Ausdehnung der Kugel. Die Dichte ist achtmal höher als die Minimaldichte vor Kollapsbeginn. Mehr<sup>2</sup> ist bei Energieerhaltung nicht drin!

Was soeben geschildert, betrifft die *dunkle* Materie. Die ist in der Überzahl: Auf ein Kilogramm<sup>3</sup> Baryonen entfallen über vier Kilogramm nicht-baryonischer Materie. Wir wissen nicht, woraus sie besteht, bloß dass es sich um *stoßfreies* Material handelt, d. h., unfähig, Energie loszuwerden.

Diese Unfähigkeit hat einen Vorteil: Die gravitative Strukturbildung in dunkler Materie vor dem Hintergrund eines expandierenden Kosmos ist leicht modellierbar. Der Grund: Alles fällt gleich schnell, wie schon Galileo Galilei (1564–1642) wusste. Auf die Natur der dunklen Materie kommt's nicht an. Was man benötigt ist gedanklich Newtons Gesetz der Schwere und hardwaremäßig ein allerdings extrem leistungsfähiger Computer. Das Schicksal der Baryonen zu verfolgen ist schon gedanklich eine Sisyphusarbeit. Unter den Hut zu bringen sind: Überschall-Gasdynamik bzw. Magneto-Hydrodynamik mit Strahlungskühlung, Sternentstehung, das Aufwirbeln durch Sternenwinde und -explosionen sowie chemische Entwicklung und Nichtgleichgewichtsprozesse aller Art!

Jetzt kommt gewöhnlicher Stoff, bestehend aus Protonen und Neutronen, ins Spiel. Zwar spielen diese Baryonen massenmäßig nur eine bescheidene Rolle, dafür aber kann baryonische Materie beim Stoßen Bewegungsenergie „vernichten“. Prallen Gaswolken aufeinander, wird kinetische Energie in Wärme verwandelt (dissipiert). Das erhitzte Gas ist in der Lage, Wärme effizient abzustrahlen. Dank Energiedissipation sammeln sich die Baryonen am tiefsten Punkt des Potentialtrops, welcher von der dunklen Materie Schwere herrührt. Was wir gemeinhin für eine Galaxie halten, die optisch sichtbaren Baryonen,

---

<sup>2</sup>Verglichen mit der monoton fallenden mittleren Dichte des ungestörten Kosmos wäre die erreichte Verdichtung zum Kollapsende allerdings 178-fach. Mit kosmologischer Konstante schaffte man gar das Doppelte.

<sup>3</sup>Davon sind allerdings nur 100 Gramm optisch in Gestalt von Sternen und Gas sichtbar.

sie markieren lediglich das Innere eines ausgedehnten, ungleich schwereren Halos aus einem obskuren Material. Galaxien wachsen durch Einverleiben von Materie (Akkretion) und Verschmelzung (Merging) mit anderen Galaxien. Man nennt das hierarchische<sup>4</sup> Strukturbildung.

Halten wir fest: Kühlung, der Entzug von Energie, ist das A und O für das Entstehen baryonischer „Kondensate“ in Halos aus dunkler Materie. Deshalb die Suche nach dem „kühlenden“ Leuchten von Protogalaxien.

Ein Astronomenteam hat kürzlich hochaufgelöste Messungen einer hellen Submillimeter-Quelle im Sternbild Fornax bei einer Ruhesystem-Wellenlänge von  $160 \mu\text{m}$  ( $0,16 \text{ mm}$ ) veröffentlicht. Die Quelle, eine mächtige Baby-Galaxie, hat eine Rotverschiebung von  $z = 4,75$ , d. h., sie scheint uns mit 94 % der Lichtgeschwindigkeit zu fliehen! Anders ausgedrückt: Die Strahlung stammt aus einer Zeit, als alle (kosmologischen) Abstände im Universum noch um einen Faktor  $1 + z = 5,75$  kleiner waren und das Universum im zarten Alter von 1,2 Milliarden Jahren! Die originale  $160 \mu\text{m}$ -Strahlung wurde expansionsbedingt gedehnt auf  $(1 + z) \cdot 0,16 \text{ mm} = 0,9 \text{ mm}$ . Dank des ALMA<sup>5</sup>-Teleskop-Arrays in der chilenischen Atacamawüste, einer Verknüpfung von, zum Zeitpunkt der Messungen, 47 Parabolantennen, die maximal  $2\frac{1}{2} \text{ km}$  voneinander entfernt waren, erreicht man durch (phasengerechtes) Zusammenschalten aller Antennen ein Radiobild mit einer phantastischen interferometrischen Winkelauflösung von  $0,11 \text{ Bogensekunden}$  bzw.  $0,00003^\circ$ . In der Entfernung der Starburst-Galaxie ALESS073.1, so die Bezeichnung unseres „Babys“, läuft dies auf eine räumliche Auflösung von  $700 \text{ pc}$  hinaus, das sind  $2300 \text{ Lichtjahre}$ . Zum Vergleich, unsere Sonne ist ein Dutzend Mal weiter vom galaktischen Zentrum entfernt. Damit konnte man sich erstmals (a) ein detailliertes Bild von der Galaxie bei  $160 \mu\text{m}$  verschaffen, jedenfalls der Gas- und Staubverteilung, sowie (b) spektroskopisch (über die Radialgeschwindigkeitsmessungen des Gases) ihre Rotation studieren. Aus dem Rotationsgebaren ergibt sich die Verteilung der bei  $160 \mu\text{m}$  unauffälligen Sterne.

Warum gerade diese (Ruhe-)Wellenlänge? Zum einen befindet sich bei  $158 \mu\text{m}$  eine prominente „verbotene“ Emissionslinie von einfach ionisiertem Kohlenstoff ( $\text{C}^+$  bzw.  $\text{C II}$ ). Dazu muss man wissen: Es sind hauptsächlich die „Verunreinigungen“ im interstellaren Gas, wozu der Kohlenstoff zählt, deren

---

<sup>4</sup>Nach einer älteren Theorie verlief der Vorgang umgekehrt: Zunächst seien durch gravitativen Kollaps großräumige Strukturen, Superhaufen-Plinsen und Filamente, entstanden und daraus erst, durch fortwährende Fragmentation, immer kleinere Einheiten ...

<sup>5</sup>Atacama Large Millimeter/submillimeter Array

Strahlung das Gas effizient kühlt, nicht der Wasserstoff, aus dem das Gas hauptsächlich besteht. Zum anderen sieht man beiderseits der Kohlenstoff-Emission, also im sog. Kontinuum, den Staub leuchten. Erwärmt vom UV-Licht jüngst entstandener Sterne, kündigt er von einer hohen Geburtenrate<sup>6</sup> unter den Sternen.

Was die Autoren aus den ALMA-Messungen schlussfolgern: Wir haben es, 1,2 Jahrmilliarden nach dem Urknall, bereits mit einer quasi „reifen“ Scheibengalaxie mit einer Andeutung von Spiralstruktur zu tun – allerdings mit einer enormen Sternentstehungsrate von 1000 Sonnenmassen pro Jahr, was die derzeitige Sternentstehung in unserer Heimatgalaxie um das mehr als Hundertfache übertrifft. Besonders bemerkenswert: die ausgesprochen *h a r m o n i s c h e n* Bewegungsverhältnisse in der kalten Gasscheibe<sup>7</sup>. Wie man es von einem altehrwürdigen Spiralnebel erwartet! Die Rotationskurve, also der radiale Verlauf der Rotationsgeschwindigkeit<sup>8</sup> des Gases mit zunehmendem Abstand vom Zentrum, erlaubt die Bestimmung der Massenverteilung. (Das thermische Staubleuchten repräsentiert „stellvertretend“ die Verteilung der bei  $160\ \mu\text{m}$  nicht sichtbaren Sterne.) Der zentrumsnahe steile Anstieg der Rotationsgeschwindigkeit weist auf eine zentrale Massenkonzentration hin, welche sich nicht im Staubleuchten widerfindet. Das spricht für einen ausgesprochenen *B u l g e* („Bauch“) aus vielen Milliarden Sonnen. (Da die Galaxie einen aktiven Kern hat, ist ein schwarzes Loch inmitten des Bulges wahrscheinlich.) Dieser, zugegebenermaßen indirekte Nachweis eines prominenten regulären Bulges anhand des Rotationsgebarens des kalten Gases birgt Diskussionsstoff: Bisher meinte man, ein „Bauch“ bildete sich erst nach vielen Jahrmilliarden, entweder allmählich aus dem zentralen Teil der Sternenscheibe oder aber als Ergebnis der Kollision und des stellardynamischen Verschmelzens zweier vergleichbarer Galaxien, wobei es nach einem solchen einschneidenden Ereignis sicherlich eine Weile braucht, bis sich die Verhältnisse wieder beruhigt haben.

Im Gegensatz zu einer *r o t a t i o n s*-unterstützten dünnen Sternenscheibe ist ein klassischer Bulge wie ein Kugelsternhaufen oder eine E-Galaxie *d r u c k*-unterstützt. Es sind die, wie in einem Gas, zufällig verteilten Geschwindigkeiten der Sterne, welche für ein

---

<sup>6</sup>Staub fungiert sogar als Geburtshelfer: Über ihn wird Wärme beim Schwerkraftkollaps einer trächtigen Wolke entsorgt.

<sup>7</sup>Man setzt voraus, die Verteilung und Kinematik des kalten C II-Gases sei repräsentativ für den Wasserstoff (H I-Gas).

<sup>8</sup>Wegen der Neigung der Galaxie von ca.  $22^\circ$  übertrifft die wahre Rotationsgeschwindigkeit (max. 300 bis 400 km/s) die gemessene (projizierte) um nahezu das Dreifache.

quasi-statisches ellipsoidisches Aussehen sorgen. Unser eigenes Sternsystem offenbart auf Infrarotaufnahmen eine zentrale Verdickung aus alten Sternen. Vermutlich handelt es sich aber nicht um einen gewöhnlichen Bulge, sondern einen „Balken“, wie man das von Balkenspiralen kennt. Dass wir keinen solchen sehen, hängt mit unserer Lage zusammen: Wir schauen auf das Balkenende. Die Blickrichtung ist mehr oder weniger längs zur Balkenachse. Für die fernere Zukunft ist ein ausgewachsener Bulge allerdings nicht ausgeschlossen. Der Andromedanebel rast mit 110 km/s auf uns zu. Die Tangentialgeschwindigkeit ist anscheinend kleiner. Eine (stellardynamische) Verschmelzung der beiden Sternsysteme in etwa vier Milliarden Jahren wäre für Sterne nicht weiter dramatisch, bloß dass wir uns dann in einer riesigen E-Galaxie wiederfinden werden, einer elliptischen<sup>9</sup> Galaxie, und nicht mehr in einem Spiralnebel bzw. in einer Balkenspirale.

Die Geschwindigkeit, mit der sich bei ALESS073.1 offenbar die Bildung charakteristischer Strukturelemente, wie Scheibe und Bulge, vollzog, verblüfft. Erwartet hatte man turbulente Verhältnisse: eine Ansammlung von Gasklumpen in chaotischer Bewegung. Bei einer hohen Sternentstehungsrate ist mit intensiven Sternenwinden und einem Feuerwerk von Supernovaausbrüchen zu rechnen. Da sollten Hektik und Unruhe angesagt sein. Stattdessen stoßen wir auf eine abgeklärte Galaxie mit – „Bauch“!

Es ist nicht der erste Hinweis darauf, dass es früher geschwinder zugeht, als uns unsere Computersimulationen glauben machen wollen. Auch Galaxienhaufen mit hoher Rotverschiebung vermitteln einen Eindruck von „Reife“ und Gesetztheit, der angesichts der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit problematisch ist. Man klammert sich an einen Auswahl Effekt: Extreme Dichteschwankungen im frühen Universum sind zwar *s e l t e n*, dafür aber stechen die Konsequenzen ins Auge.

In wenigen Monaten soll der Hubble-Nachfolger, das James-Webb-Weltraumteleskop (JWST), in Betrieb gehen. Man hofft, mit diesem 6 1/2-m-Infrarot-Teleskop u. a. das Leuchten der ersten Sterne zu sehen – als das Universum halb so alt war, wie ALESS073.1. Spätestens dann wird sich zeigen, ob unsere theoretischen Modelle nachgebessert oder ggf. durch neue ersetzt werden müssen. Der Kosmos-Bote ist gespannt.

---

<sup>9</sup>Korrekt wäre *ellipsoidisch*!