

Liebe Leserin, lieber Leser,

einst, vor vielen Jahren, war mir eine populäre Broschüre in die Hand gefallen, betitelt „Galaxien – Bausteine des Universums“. Schriften wie diese atmeten gewöhnlich Ewigkeit. Verständlicherweise, man kannte vom Sehen nur das *gegenwärtige* Universum, und an dem tat sich nichts, trotz Expansion des ganzen. Kein Gedanke daran, an die Anfänge zurückblicken zu können. Rückschlüsse auf das Werden unserer Galaxie, des Milchstraßensystems, beispielsweise waren spärlich und vor allem indirekt.

Jahre sind vergangen, und wir blicken tiefer. Schluss mit „ewig“! Die Vergangenheit ist kein Buch mit sieben Siegeln! Sie muss nicht mehr mühselig aus dem Heute rekonstruiert werden. Moderne Großteleskope sind wahre Zeitmaschinen. Sie durchdringen den Raum wie die Zeit. Kein Gesetz der Physik, das verböte, einen Blick in die Kinderstube der Galaxien zu werfen! Alles nur eine Sache der Beobachtungstechnik (und des Geldes). Das Universum war bereits wenige hunderttausend Jahre nach dem Urknall durchsichtig. Nur was davor liegt, verbirgt sich für immer im Nebel der Schöpfungsfrühe.

Diese äußerste Grenze des Sichtbaren wird von der kosmischen Hintergrundstrahlung markiert. Diese Wärmestrahlung hob vom baryonischen Stoff ab, als alle Abstände im Kosmos 1000-mal kleiner waren als heute und die mittlere Materiedichte entsprechend $1000 \times 1000 \times 1000$ höher. Doch so weit – bis zu einer Rotverschiebung von fast 1000 – müssen wir gar nicht gehen. Die ersten Galaxien entstanden bei Rotverschiebungen unter 10!

Folgen Sie mir in das Reich hoher Rotverschiebungen, auf der Suche nach den Bausteinen der Bausteine des Universums. Irgendwo, irgendwie, irgendwann müssen ja die Galaxien entstanden sein.

Eine schöne Sommerszeit wünscht Ihnen

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Juli

Kein Juli-Newsletter, in dem nicht darauf hingewiesen würde, dass nun die Erde am weitesten von der Sonne entfernt ... Am 7. Juli ist es wieder so weit: Unser Heimatplanet durchläuft das Aphel seiner Bahnellipse, den sonnenfernsten Punkt. Er ist dann fünf Millionen Kilometer weiter weg von der Sonne als Anfang Januar. Wegen der Drehimpulserhaltung müssen dann Bahn- und Winkelgeschwindigkeit am geringsten sein. Tatsächlich schleicht sich die Sonne Anfang Juli besonders langsam durch den Sternenhimmel. Uns Bewohnern der Nordhalbkugel beschert dies einen längeren Sommer als beispielsweise den Neuseeländern.

Am 9. Juli geht der Hauptplanet, der Jupiter, in Opposition zur Sonne. Dazu muss er gar nichts besonderes tun. Wir sind es, die sich an jenem Tage genau zwischen ihm und der Sonne aufhalten und ihn sozusagen auf der Innenbahn überholen. Für den Jupiterbeobachter heißt das, dass um Mitternacht der Jupiter im Süden und damit am höchsten über den Horizont steht. Leider steht der sonnenabgewandte Teil der Ekliptik in den Sommermonaten für uns definitionsgemäß tief. Kurz, Jupiterfreunde kommen hierzulande diesmal nicht so recht auf ihre Kosten, es sei denn, es zieht sie in den tiefen Süden.

Am 11. Juli kommen Saturn und Mars einander auf ein Grad nahe. Noch sind beide Planeten in der Abenddämmerung sichtbar.

Galaxienkinderstube

Sternsysteme sind etwas Gewordenes. Wie könnte es auch anders sein, ist doch das Universum gerade mal gut 13 Milliarden Jahre alt. Und zu Beginn war der Stoff nach Auskunft der 3-K-Hintergrundstrahlung völlig gleichmäßig verteilt. Irgendwann, nachdem die Strahlung den Stoff losgelassen hatte, muss es geschehen sein: Unter dem Griff der Schwerkraft (nicht so sehr der eigenen als vielmehr der der ominösen dunklen Materie) ballte sich der Stoff zu Sternsystemen. Die Anfänge der Galaxien zu erforschen bleibt den größten Teleskopen auf der Erde und auf Erdumlaufbahnen vorbehalten. Nur sie kommen an die gewünschten Informationen in Form von Licht ran. (Doch auch kleinere Fernrohre haben eine Chance. Der Gravitationslinseneffekt macht's möglich. Die gravitative Lichtbündelung durch einen Koloß von Galaxienhaufen (Quelle: NASA/ESA) vermag das schwache Leuchten einer weit dahinter befindlichen Babygalaxie gehörig zu verstärken, allerdings auch zu verbiegen.) Die

benötigten Belichtungszeiten sprechen Bände. Das Weltraumteleskop Hubble hat über Monate hinweg Hunderte von Aufnahmen eines Himmelsflecks im Sternbild Fornax geschossen. Das Ergebnis, eine Montage mit einer aufsummierten Belichtungszeit von 270 Stunden, ist die bislang tiefste Durchmusterungen des Himmels im sichtbaren Licht, das *Hubble Ultra Deep Field* (Quelle: NASA/ESA). Der Ausschnitt ist wirklich winzig: $1/13000000$ des gesamten Himmels!

Und was offenbart uns das *UDF*? Nun, die Lichtwölkchen mit Rotverschiebungen bis zu $z = 5,5$ – jugendliche Galaxien, die auf den lichtempfindlichen CCDs nur wenige Pixel messen –, sie unterscheiden sich beträchtlich von ihren reiferen Artgenossen heute. Es gibt Entwicklung! Ihr Aussehen erinnert an wechselwirkende Galaxien. Kein Wunder, war doch damals das Universum kleiner als heute. Alles spielte sich auf engerem Raum ab. (Bei einer Rotverschiebung von $z = 5,5$ waren alle Abstände expansionsbedingt 6,5-mal kleiner als heute. Das war eine Milliarde Jahre nach dem Urknall. Wen es interessiert: $z = 5,5$ entspricht einer Fluchtgeschwindigkeit von 95,4% der Lichtgeschwindigkeit.) „Gewöhnliche“ Galaxien, wie die bekannten großen „Spiralnebel“ oder die gigantischen ellipsoidischen Galaxien, gab es zu diesem Zeitpunkt noch nicht. Die Klassifikationsschemata für Galaxien, wie Hubbles „Stimmgabel“ (Hubble-Sequenz), greifen da (noch) nicht. Junge Galaxien sind im Schnitt kleiner als ihre Nachfahren, und haben eine ausgesprochen klumpige Struktur. Oft sieht man Ketten von Lichtklümpchen. Vermutlich handelt es sich dabei um Galaxien, die wir von der Kante sehen. Bei Kantenstellung wird das Leuchten konzentriert. In der Aufsicht wären viele dieser flachen Urganaxien zu lichtschwach, als dass wir sie entdecken könnten.

Diese in Scheiben angeordneten „Klumpen“ können mit Fug und Recht als die Bausteine der Galaxien angesehen werden. Es sind Gebilde mit immenser Sternentstehung. Daher auch ihre relativ (trotz Rotverschiebung) bläuliche Färbung. Die damalige Sternentstehungsrate übertraf die gegenwärtige um eine Größenordnung. Deshalb sehen wir ja diese Lichtklümpchen überhaupt! Binnen einer Milliarde Jahre beruhigt sich dann das chaotische Erscheinungsbild der Anfangsjahre. Durch gravitative Wechselwirkung haben sich die Klumpen weitgehend aufgelöst. Die aus den Urklumpen in Massen hervorgegangenen Sterne haben sich bereits durchmischt und bilden die von jetzigen spiralförmigen Galaxien sattsam bekannten nahezu strukturlosen Scheiben aus älteren Sternen mit exponentiell nach außen abfallender Flächenhelligkeit. Mit dem Breitschmieren der Klumpen einher geht eine merkliche Vergröße-

rung der Galaxienscheiben, so wie wir das von viskosen Akkretionsscheiben her kennen. Die „Zähigkeit“ ist allerdings stellardynamisch bedingt, durch die gravitative Wechselwirkung der Klumpen untereinander. (Die gigantischen ellipsoidischen Galaxien in Galaxienhaufen wie dem Virgo- oder Coma-Galaxienhaufen, sind wahrscheinlich aus der Verschmelzung von Spiralgalaxien hervorgegangen. Wie es aussieht, findet Sternentstehung immer nur in scheibenförmigen Gebilden statt, also quasi zwei-dimensional.)

Woher die Klumpen kommen?

Da gibt es zwei Meinungen. Es könnte sich um ursprünglich eigenständige Sternsysteme handeln, die einander zu nahe gekommen sind und nun gravitativ miteinander verschmelzen. Doch wie wird man beim Aufprall die Energie los, die in der Bewegung der Stoßpartner steckt? Sie kann nicht wie beim Stoß von Gaswolken dissipiert (d. h. in Wärme umgewandelt) werden: Sternsysteme durchdringen zwar einander, geraten aber nicht wirklich aneinander. Die vergleichsweise riesigen Abstände zwischen den Sternen kollidierender Sternsysteme lassen dies nicht zu. Allerdings bekommen die Sterne die Gezeitenkräfte zu spüren. Sie werden von dem wild schwankenden Gravitationsfeld hin- und hergeschleudert, und bekommen dadurch hohe Individualgeschwindigkeiten verpasst. In Anlehnung an Atome eines Gases spricht man von einer „Aufheizung“ des „Sternengases“. Jedenfalls findet sich die Energie der Stoßpartner letztlich in drastisch erhöhten unsystematischen Geschwindigkeiten der Sterne wieder. Die Sterne werden im Mittel schneller. So viel zur stellardynamischen Reibung, der das Einfangen und Verschmelzen von Sternsystemen zu verdanken ist. (NB: Eines fernen Tages könnten der Andromedanebel und unser eigenes Sternsystem fusionieren. Unsere biologisch wie auch immer gearteten Nachfahren fänden sich nach einem Tumult von einigen Hundert Millionen Jahren Dauer – stellardynamisch eine Episode, der aber das Band der Milchstraße zum Opfer fiel – in einer ellipsoidischen Riesengalaxie wieder!)

Und die Alternative? Nun, es könnte sich bei den Klümpchen um eine Gravitationsinstabilität in einer hochgradig turbulenten (also dicken) Scheibe aus H_2 -Gas handeln. Wegen der schnellen Bewegungen werden nur ausgesprochen große Gebilde gravitationsinstabil, d. h. fallen unter der Wirkung der Schwerkraft in sich zusammen (was dann den Sternentstehungsausbruch auslöst, den *Burst*). Dass Protogalaxien nur aus wenigen großen Klumpen zu bestehen scheinen, erklärt sich also durch die Überschallturbulenz. Sie behindert (trotz niedriger Temperaturen) die Bildung kleiner Klumpen.

In Sternentstehungsgebieten dieses Ausmaßes – wir reden hier von Hunderten von Millionen Sonnenmassen innerhalb von Tausenden von Lichtjahren! – entstehen unweigerlich schwarze Löcher. Was mit diesen geschieht, lösen sich die Klumpen durch gravitative Reibung zu einem strukturlosen Brei auf, kann auf dem Computer simuliert werden. Binnen weniger Umläufe driften diese mittelschweren schwarzen Löcher zum Zentrum einer jungen Galaxie, wo sie höchstwahrscheinlich miteinander verschmelzen, dabei jene supermassereichen schwarzen Löcher bildend, die wir aus aktiven Galaxienkernen aber auch aus dem Zentrum unserer Milchstraße her kennen.