

Die Größe des Universums und die Grenzen des kosmologischen Horizonts

Hans-Georg Pellengahr

Immer leistungsfähigere Teleskope haben uns die fast unendliche Ausdehnung des Raumes offenbart. Wir wissen heute, dass das Universum mit Myriaden von Galaxien und Gestirnen bevölkert ist und kennen den Platz unserer Erde in der kosmischen Evolution.

Die schon von den Philosophen der Antike gestellte existenzielle Frage nach dem Ursprung des Universums jedoch ist bis heute unbeantwortet. Sie wird es vielleicht für immer bleiben, obwohl die moderne Wissenschaft mehr denn je den Schleier über den Ursprung der Welt zu lüften versucht.

Die ersten ab 1609 (u. a. von Galilei, Simon Marius) gen Himmel gerichteten Fernrohre vergrößerten kaum zwanzigfach, zeigten unscharfe Bilder und waren lichtschwächer als ein heutiger Feldstecher. Gleichwohl entdeckten die ersten Fernrohrastronomen mit diesen kleinen „Röhrchen“ Sterne, die dem bloßen Auge über Jahrtausende verborgen geblieben waren. Die Milchstraße löste sich in viele Einzelsterne auf, der

Mond zeigte Berge, die Sonne Flecken. Um den Jupiter kreisten Monde, Venus zeigte Phasen wie unser Mond, ein erstes optisches Indiz für das heliozentrische Weltbild.



Abb. 1: Der Autor mit dem Nachbau eines von Galilei gegen Ende 1609 gebauten Prunkfernrohres (Öffnung: 2 cm)

Foto: Hans Lüttmann

Mit den Jahren wurden die Fernrohre größer. Mit zunehmender Öffnung zeigten sie immer mehr Sterne, die dem bloßen Auge verborgen blieben. Unsere Augenpupillen weiten sich bei Dunkelheit bis auf 6 mm. Das bedeutet, dass wir in einer dunklen und klaren Nacht etwa 3.000 Sterne sehen können, von denen die meisten zwischen 5 und 100 Lichtjahre von uns entfernt sind (Sirius (8,6 Lj.), Atair (11,2 Lj.), Procyon (11,4 Lj.), Wega (25,3 Lj.), Arkturus (37 Lj.), Capella (42 Lj.)). Einige besonders helle Riesensterne sehen wir in noch größeren Entfernungen, z. B. Beteigeuze (430

Lj.), Antares (700 Lj.), Rigel (800 Lj.) und Deneb (3.000 Lj.).

Durch ein Fernrohr vergrößern wir den Durchmesser unserer Augenpupillen und erweitern unseren Wahrnehmungshorizont entsprechend der zur Verfügung stehenden Teleskopöffnung.



Abb. 2: 102 / 1.000 mm Refraktor (f 10) des Autors mit 8 x 50 Sucher, parallel dazu montiert das Galilei-Fernrohr
Foto: H.-G. Pellengahr

Das in Abb. 2 vorgestellte – für heutige Verhältnisse kleine – Amateurfernrohr mit 10,2 cm Öffnung und 1 m Brennweite sammelt beispielsweise bereits die 290-fache Menge des mit bloßem Auge erfassten Lichts.

Die Linsenfernrohre der zweiten Hälfte des 17. Jhdts. verfügten ebenfalls über Objektivöffnungen bis 10 cm, waren aber zur Minimierung von Farbfehlern zumeist mehrere Meter lang und demzufolge deutlich lichtschwächer.



Abb. 3: Fernrohr des Danziger Bierbrauers und Astronomen Johannes Hevelius,

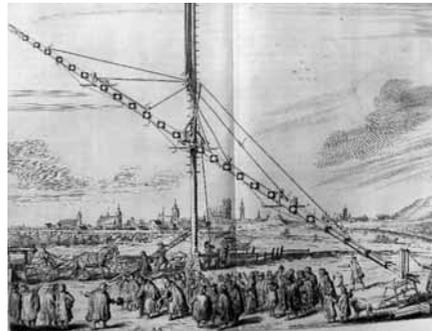


Abb 4: sein 45 m langes „Luftfernrohr“ von 1641

Erst nachdem Isaac Newton 1672 den farbfehlerfreien Reflektor entwickelt

hatte, das nach ihm benannte Newton-Spiegelteleskop, wurden die Fernrohre lichtstärker.

Im 18. und 19. Jhd. wurden die ersten Großteleskope konstruiert, wie z. B. die nachfolgenden Abbildungen belegen.

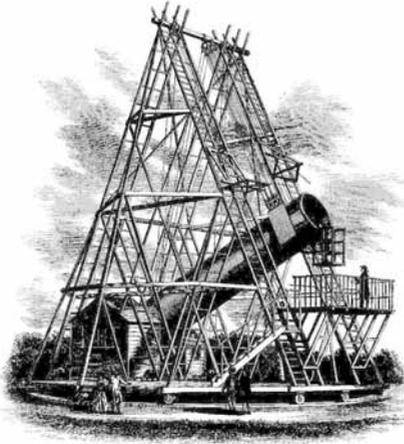


Abb. 5: Das 1,22 m Spiegelteleskop von Wilhelm Herschel (12 m Brennweite) von 1789

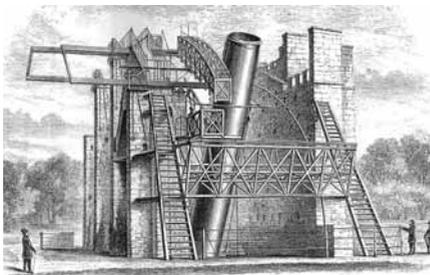


Abb. 6: Der „Leviathan“ des William Parsons, Earl of Rosse, von 1845, 1,83m Spiegel war lange Zeit das größte Fernrohr der Welt

1897 schließlich wurde in Nordamerika das bis heute größte Linsenteleskop der Welt, der Yerkes-Refraktor, fertig gestellt.



Abb. 7: Der Yerkes-Refraktor von 1897 (Objektivöffnung: 1,02 m, Brennweite 19,7 m) nahe Chicago/Wisconsin



Abb. 8: Der Hooker-2,5-m-Spiegel von 1917 auf dem Mount Wilson, für fast 30 Jahre das größte Teleskop der Welt

Ein Teleskop mit 1 m Öffnung sammelt 28.000 x mehr Licht als das bloße Auge (6 mm Pupille).

Im 20. Jahrhundert sind die Teleskope weiter gewachsen. 1917 wurde der 2,54 m Hooker-Spiegel auf dem Mount Wilson (nordöstlich Los Angeles/Kalifornien), fertig gestellt. Damit entdeckte Edwin Hubble 1929 die Expansion des Weltalls und fand so die erste Bestätigung für die Theorie des Urknalls.

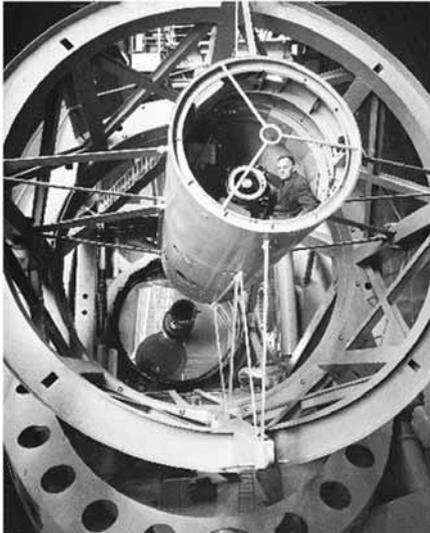


Abb. 9: Edwin Hubble in der Beobachterkabine im Strahlengang des 5 m Hale-Teleskops, im Hintergrund der 20 t - Hauptspiegel

1949 schließlich konnte Edwin Hubble den 5 m Spiegel auf dem Mount Palomar, San Diego/Kalifornien, in Betrieb nehmen.

Dieses gigantische Instrument war zu meiner Pennälerzeit und noch darüber hinaus, bis 1975, das größte Teleskop der Welt.



Abb. 10: Das 5 m Mount-Palomar-Teleskop von 1947 in seiner Montierung (Gesamtgewicht 450 t)

Die damit aufgenommenen Fotografien eröffneten neue astronomische Horizonte und gingen um die ganze Welt. Mit diesem 450 t - Teleskop wurden die Grenzen unserer Milchstraße, mit ihrem Durchmesser von immerhin 100.000 Lichtjahren, weit überschritten. Schon bald wurden damit Himmelsobjekte in Entfernungen von über 1 Mrd. Lj. gesichtet.

Fortsetzung folgt

Ganz gleich, was man Ihnen erzählt: Worte und Gedanken können die Welt verändern!“

-- CdtD - Robin Williams

Die Größe des Universums und die Grenzen des kosmologischen Horizonts - Teil 2

Hans-Georg Pellengahr

Ende des 20. / Anfang des 21. Jhdts. gingen noch größere Teleskope in Betrieb. Das derzeit leistungsstärkste Instrument ist das Very Large Telescope (VLT) der Europäischen Südsternwarte (European Southern Observatory) auf dem



Das VLT der ESO auf dem Paranal in Chile
(Bilder: ESO)



Paranal in Chile. Es verfügt über vier 8,2m-Spiegel. Interferometrisch zusammenschaltet mit weiteren vier auf der Paranal-Plattform in Gleisen verschiebbaren 1,8m-Hilfsteleskopen erreichen diese Instrumente gemeinsam die Auflösung eines 200m-Spiegels, genug, um nur 2m große Details auf dem Mond zu erkennen. Das Mauna-Kea-Observatorium auf Hawaii erhielt in den 1990er Jahren zwei 10m-Spiegel. Das derzeit größte Einzelteleskop ist das Gran



Gran Telescopio Canarias
(Bild Zyance, Wikimedia Commons)

Telescopio Canarias (Grantecan) auf dem Roque de la Muchachos auf der Kanareninsel La Palma. Es verfügt über einen 10,4m-Spiegel.

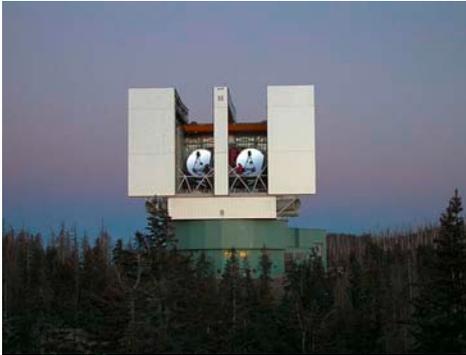
Ein 10m - Teleskop sammelt 4 Millionenmal mehr Licht als das menschliche Auge. Mit einem CCD-



Gran Telescopio Canarias
(Bild H. Raab, Wikimedia Commons)

Sensor ausgerüstet, registriert es Gestirne, die eine Milliardemal lichtschwächer sind als der schwächste mit bloßem Auge sichtbare Stern.

Das Large Binocular Telescope (LBT) auf dem Mt. Graham in Arizona erreicht mit seinen beiden 8,4m–Spiegeln die optische Auflösung eines einzelnen 22,8m–Spiegels.



Das Large Binocular Telescope (LBT), der „größte Feldstecher“ der Welt
(Bilder: NASA - Wikimedia Commons)



Die leistungsstärksten Teleskope der Welt – ein Dutzend 8 - 10m–Spiegel auf der Erde und das Hubble Space Telescope im 600 km Erdborbit sind in der Lage, sowohl jeden Stern in unserer Milchstraße als auch die Sterne in benachbarten Galaxien, wie der 2,7 Mio. Lj. entfernten Andromedagalaxie, zu analysieren. Helle Sterne wie Procyon, Sirius, Wega und Capella können damit noch in 5 Mio. Lj. Entfernung entdeckt werden, rote und blaue Überriesen wie Betei-

geuze, Rigel oder Deneb sogar noch, wenn sie 50 Mio. Lj. von uns entfernt sind. Noch weiter weg verschmelzen die Sterne mit den stellaren Nebeln ihrer Galaxien. Sternsysteme (Galaxien) aus Hunderten Milliarden Sternen können noch in sehr viel größeren Entfernungen beobachtet werden. Mit der aktuellen Teleskopgeneration blicken wir über 13 Mrd. (Licht-) Jahre hinaus und zeitlich zurück in die Tiefen des Kosmos. Das ist die derzeitige technologische Grenze der beobachtenden Astronomie. Aber was bedeutet diese in kosmologischer Hinsicht?

Unsere Teleskope sind „Zeitmaschinen“. Das Universum besitzt nicht nur die drei uns vertrauten räumlichen Dimensionen, die himmlische Landschaft ist darüber hinaus raumzeitlich; d. h., die Beobachtung im Raum ist zugleich eine Beobachtung in der Zeit. Da das Licht sich mit endlicher Geschwindigkeit (300.000 km/s) ausbreitet, sehen wir die Gestirne, je weiter sie räumlich entfernt sind, in ihrer Vergangenheit. Wir betreiben sozusagen „Astro-Archäologie“.

Vom Mond zur Erde benötigt das Licht nur 1 1/3 Sek., von der Sonne bis zu uns ist es 8,3 Min. unterwegs. Die Planeten sehen wir mit einigen Dutzend Minuten „Verspätung“. Der Stern „Deneb“ im „Schwan“ zeigt sich uns im Zustand vor 3.000 Jahren. Unsere Nachbargalaxie, den Andromedanebel, sehen wir 2,5 Mio. (Licht-) Jahre jünger, als sie heute tatsächlich ist.

Solange die Entfernungen im Verhältnis zum Alter der beobachteten Objekte und dem des Universums nicht allzu groß sind, hat der mit der räumlichen Entfernung zunehmende Effekt der zeitlichen Verschiebung in die Vergangenheit keine Auswirkungen auf unsere astronomischen Erkenntnisse. Das Universum von heute ist bzw. bleibt das gleiche wie es vor einem Jahrhundert, vor einem Jahrtausend oder vor 10 Mio. Jahren war. Als am 23.02.1987 in der Großen Magellanschen Wolke plötzlich eine Supernova erstrahlte, konnten die Wissenschaftler dieses Ereignis „live“ verfolgen, Tag für Tag, jahrelang, ohne sich groß Gedanken darüber machen zu müssen, dass

das, was sie da beobachteten, in Wirklichkeit mit einer Zeitdifferenz von 170.000 Jahren geschah bzw. bereits geschehen war.

Bei Entfernungen jenseits von 5 Mrd. Lichtjahren jedoch wird das Teleskop wahrhaftig zur „Zeitmaschine“. Unterhalb dieser Grenze ist das Universum, seine Verteilung, Morphologie, Galaxien-Zusammensetzung, sind die Eigenschaften der Sterne nicht wesentlich vom Effekt der zeitlichen Verschiebung beeinflusst. Jenseits von 5 Mrd. Lichtjahren jedoch ändert das Universum allmählich sein Aussehen, denn nun sind wir genügend weit in seine Vergangenheit vorgedrungen, um direkt und unmittelbar die Evolution und ihre Auswirkungen zu erleben.

Das Universum expandiert seit dem Urknall vor etwa 13,8 Mrd. Jahren. Wenn wir 5 Mrd. Lichtjahre entfernte Objekte beobachten, sehen wir diese und auch das sie umgebende Universum in dem Zustand, in dem es sich vor 5 Mrd. Jahren, somit nur ca. 9 Mrd. Jahre nach dem Urknall befand.

Beobachtungen in 10 Mrd. Lichtjahren Entfernung zeigen uns das Universum im Alter von weniger als 4 Mrd. Jahren. Dieses Universum unterscheidet sich erheblich von dem unsrigen: Seine Galaxien sind zahlreicher, kleiner und heller, ihre Sterne sind lichtstärker und blauer, da sie viel jünger sind.

Die stärksten Teleskope der Welt – wie das Hubble Space Telescope im Weltraum, das Very Large Telescope der ESO in Chile, die beiden Keck-Teleskope auf Hawaii, das Large Binocular Telescope in Arizona, spähen über 13 Milliarden Lichtjahre zurück in die Vergangenheit. Die am weitesten entfernten heute bekannten Galaxien sieht man in dem Zustand, in dem sie sich 500 – 600 Mio. Jahre nach dem Urknall befanden. Wie sehen sie heute aus? Dies werden wir nie erfahren, denn sie befinden sich heute längst außerhalb unseres kosmologischen Horizonts.

Die Ausdehnung des Raumes ist im kleinen Maßstab von Raum und Zeit nicht spürbar. Wenn wir

jedoch 5 Mrd. Lj. und weiter in die Vergangenheit des Universums zurückreisen, wird dessen Expansion ausschlaggebend.

Stellen wir uns einen Lichtstrahl vor, der vor 10 Mrd. Jahren in einer Galaxie ausgesendet wurde. Während 10 Mrd. Jahren hat sich dieser im expandierenden Raum ausgebreitet. Das Universum hat sich zwischen dem Moment seiner Emission und dem Augenblick, in dem der Lichtstrahl von dem Spiegel eines unserer Riesenteleskope eingefangen wurde, weiter vergrößert: Der heutige Abstand der beobachteten Galaxie beträgt nicht 10 Mrd., sondern mehr als 25 Mrd. Lichtjahre. Die zur Zeit am weitesten entfernten uns bekannten Galaxien befinden sich in einem „zeitlichen Abstand“ von etwa 13 Mrd. Jahren, ihr räumlicher Abstand aber übersteigt 40 Mrd. Lichtjahre ...

Und was das gesamte sichtbare Universum betrifft, so müsste es bei einem Alter von 13,8 Mrd. Jahren im Prinzip einen scheinbaren Durchmesser von 27,6 Mrd. Lichtjahren zeigen, in Wirklichkeit aber beträgt dieser nahezu 100 Mrd. Lichtjahre. Der Abstand einer entfernten Galaxie ist eine rein theoretische Zahl. Es ist absolut unmöglich, diese Galaxie heute zu beobachten. Wir sehen sie so, wie sie vor 10 Mrd. Jahren war und auch räumlich dort, wo sie sich vor 10 Mrd. Jahren befand, also in einem längst vergangenen Zustand an einem längst verlassenem Ort. Ihr Abstand ist nur mehr virtueller Natur.

Kosmologische Bilder haben in gewisser Weise eine surrealistische Tragweite, real sind wir mit den Galaxien jenseits von 5 Mrd. Lichtjahren nicht mehr verbunden: Nur ihre Vergangenheit ist uns zugänglich. Ihre Gegenwart und ihre Zukunft werden uns auf ewig verborgen bleiben, denn die Expansion des Raumes hat sie fortgetragen. Ihre Entfernung zu uns vergrößert sich schneller als das Licht.

Wenn wir in der Zukunft fortfahren, sie per Teleskop zu beobachten, werden wir sehen, wie sie sich immer weiter entfernen, schließlich verwischen und im Schwarz des Himmels

aufgehen. Sie überschreiten / verlassen unseren kosmologischen Horizont.

Weit entfernte Galaxien werden durch „relativistische“ Effekte verformt, die zugleich ihre Farbe, ihre Dimensionen und ihre scheinbare Helligkeit verändern. Selbst ihre eigene Zeit wird von raumzeitlichen Verzerrungen verkompliziert. So hat z. B. die Explosion eines Sterns in einer fernen Galaxie nicht dieselbe scheinbare Dauer wie in unserer lokalen Umgebung. Die Zeit dort vergeht im Vergleich zu unserer lokalen Zeit aus unserer Sicht langsamer.

Und nicht nur dies erschwert die Interpretation der Bilder sehr weit entfernter Galaxien. Ihre Deutung ist darüber hinaus in hohem Maße davon abhängig, mit welchen kosmologischen Theorien wir sie zu erklären versuchen. Tatsächlich wissen wir noch immer nicht, wie sich die Sterne und Galaxien nach dem Urknall aus der heißen gasförmigen Ursuppe gebildet haben. Die Urknalltheorie und die allerletzten astronomischen Beobachtungen passen nicht oder noch nicht wirklich zusammen. Unseren Theorien zufolge sollten die ersten Sterne erst ungefähr 400 Millionen Jahre nach dem Urknall entstanden sein. Tatsächlich haben wir inzwischen jedoch voll entwickelte Galaxien mit Milliarden von Sternen entdeckt, die bereits 700 Mio. Jahre nach dem Urknall existierten. Es ist uns ein Rätsel, wie diese so schnell nach dem Urknall entstehen und sich strukturieren konnten.

Die aktuelle Generation von Teleskopen wird dieses Rätsel nicht lösen können. Deshalb verlangen die Astronomen, wie alle ihre Vorgänger seit Galilei, neue noch stärkere Instrumente.

Bis 2020/2022 werden Teleskope mit 30m – 40m–Spiegeln in Betrieb gehen wie das European Extremely Large Telescope (EELT) der ESO. Zudem wird Hubble im Erdorbit Unterstützung durch das mit einem 6-m-Spiegel ausgestattete James Webb Space Telescope (JWST) bekommen.



Das European Extremely Large Telescope (E-ELT) der ESO wird mit einem 39,2m–Spiegel ausgestattet (Grafik: ESO)

Diese gigantischen Instrumente werden Gesteirne entdecken, deren Helligkeit 10 Mrd. mal geringer ist als die der schwächsten mit bloßem Auge sichtbaren Sterne. Sie werden sonnenähnliche Sterne bis in eine Entfernung von 30 Mio. Lichtjahren und Riesensterne wie Rigel und Deneb sogar bis in eine Entfernung von 1 Mrd. Lichtjahren beobachten können.

Diese Teleskope werden das Universum Stück für Stück durchqueren, seine Geschichte bis zum kosmologischen Horizont rekonstruieren und uns die Kondensation der Nebel, Sterne und Galaxien aus dem Gas des Urknalls zeigen. Unter der Bedingung, dass wir jahrtausendlang beobachten, werden uns diese „ultimativen Teleskope“ das gesamte sichtbare Universum zugänglich machen. Was wir dort am äußersten Rande sehen, ist jedoch nur ein Abbild aus ferner längst entschwundener Vergangenheit.

Das ganze Universum wird für immer unbeobachtbar bleiben, versteckt hinter dem kosmologischen Horizont, der Grenze unserer Erkenntnis.

Ob wir jemals den Ursprung des Universums, die Natur von Raum und Zeit, von Materie und Energie werden klären und begreifen können, womöglich gar die „Formel der Welt“, die es vielleicht gar nicht gibt, entdecken werden, „steht in den Sternen“.