

MIT LICHTGESCHWINDIGKEIT DURCHS ALL



Ein Blick 65 Millionen Jahre in die Vergangenheit

Natürlich hat kein Saurier je den Virgo-Galaxienhaufen (Hintergrund) gesehen – doch die Riesenechsen starben vor 65 Millionen Jahren aus, und genau so lange brauchte auch das Licht dieser Galaxien, das uns heute erreicht.

Altes Licht

Wenn wir die Sterne betrachten, sehen wir gleichzeitig tief in die Geschichte – häufig ist das Licht seit Jahrtausenden unterwegs. Aber wie alt ist es genau, und was geschah auf der Erde, als es seine Reise begann? >> Alexander Kerste

Der Nachthimmel erscheint unveränderlich und unvergänglich. Wenn Sie ihn regelmäßig beobachten, werden Sie zwar die Wanderung der Sonne und der Planeten vor dem Hintergrund der Fixsterne bemerken, die Sterne selbst erscheinen jedoch immer gleich. Lediglich einige Veränderliche strahlen mal heller, mal dunkler; ab und zu leuchtet eine Nova auf oder eine Sonne vergeht in einer hellen Supernova-Explosion. Das Universum verändert sich nur langsam. Ein Menschenleben ist zu kurz, um die Dynamik des Kosmos zu bemerken.

Aber wenigstens sehen wir das Universum so, wie es gerade ist. Oder etwa nicht? Die Antwort lautet: Nein. Wenn wir den Himmel beobachten, blicken wir tief in die Vergangenheit. Der Grund dafür ist die endliche Lichtgeschwindigkeit. Unser Wissen über die Welt erhalten wir durch das Licht, genauer gesagt durch elektromagnetische Strahlung, zu der neben dem sichtbaren Licht unter anderem auch Funk- und Radiowellen gehören. Sie alle breiten sich mit der gleichen unvorstellbaren, aber doch endlichen Geschwindigkeit von 299 792 Kilometer pro Sekunde aus. Das klingt zwar beeindruckend, allerdings ist das Universum auch sehr groß. Während ein Lichtstrahl eine Strecke von der Länge des Erddurchmessers in nur 0,04 Sekunden zurücklegt, benötigt er vom Mond zur Erde schon 1,3 Sekunden. Von der Sonne bis zur Erde ist er sogar 8,3 Minuten unterwegs.

In unserer täglichen Wahrnehmung spielt die Lichtgeschwindigkeit keine Rolle, die Astronomen sind jedoch ständig mit ihr konfrontiert. Auch die wichtigste astronomische Längeneinheit basiert daher auf der Geschwindigkeit des Lichts. In einem Jahr legt es 9,46 Billionen Kilometer zurück – ein Lichtjahr.

Die Entdeckung der Langsamkeit

Die Vorstellung, dass wir die Vorgänge um uns herum nur mit einer gewissen Verzögerung wahrnehmen, war alles andere als nahe liegend. Erst im 17. Jahrhundert wurden die Auswirkungen der Lichtgeschwindigkeit bemerkt. Zu dieser Zeit hatten die Seefahrer ein großes Problem: die Ortsbestimmung. Es ist zwar leicht, die geografische Breite aus der Höhe des Polarsterns abzuleiten – um den Längengrad zu bestimmen, muss man aber die genaue Uhrzeit kennen. Die damaligen Pendeluhren gingen auf den schwankenden Segelschiffen jedoch zu ungenau, sodass eine andere Möglichkeit zur Zeitbestimmung gesucht wurde. Einige Forscher wollten deshalb die gleichmäßigen Bewegungen der Jupitertrabanten als Uhr nutzen. Die vier Galileischen Monde sind schon in einem kleinen Teleskop oder Fernglas sichtbar und bilden die Zeiger einer gigantischen Uhr. Ihre Umlaufbahnen lassen sich mit hoher Genauigkeit berechnen und Ereignisse wie Bedeckungen ermöglichen eine exakte Bestimmung der Uhrzeit.

An der Pariser Sternwarte erstellte Giovanni Cassini daher eine Tabelle mit

den Bahndaten, die er 1676 von seinem Assistenten Ole Rømer am Teleskop überprüfen ließ. Dieser bestätigte Cassinis Berechnungen – allerdings nur für die Zeit der Jupiteropposition, wenn der Riesenplanet der Erde am nächsten steht. Danach »verspäteten« sich die Monde. Im Lauf eines halben Jahrs stieg der Fehler auf 22 Minuten – zu diesem Zeitpunkt standen Erde und Jupiter auf gegenüberliegenden Seiten der Sonne, ihr Abstand war am größten. Danach nahmen die Abweichungen bis zur nächsten Opposition wieder ab. Rømer erklärte diesen Unterschied zu Recht mit der Bewegung der Erde um die Sonne, durch die sich die Distanz zu Jupiter ständig verändert.

Lichtgeschwindigkeit



wissenschaft in die schulen!

Die Auswirkungen der endlichen Lichtgeschwindigkeit gehören schon längst zum technischen Erfahrungs- und Erlebnisbereich. Gelegentlich begegnet auch der aufmerksame »Normalbürger« den Folgen der endlichen Lichtgeschwindigkeit. Mit Schülern kann man dies nutzen, um die Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit oder kosmischer Distanzen abzuschätzen.

ALEXANDER KERSTE



In der letzten Eiszeit vor etwa 20000 Jahren entstand der Ringnebel M57, sein Licht benötigt rund 1800 Jahre für den Weg zur Erde. Die hellen Sterne der Leier, zwischen denen er steht, liegen näher: Gamma ist nur 635 Lichtjahre weit weg; Beta ist ein 900 bis 1000 Lichtjahre von uns entfernter visueller Doppelstern.

> Damit wurde erstmals klar, dass Licht zwar sehr schnell ist, aber dennoch nur eine endliche Geschwindigkeit besitzt. Cassini, zu dieser Zeit Römers Dienstherr, hielt trotzdem noch lange an der Vorstellung einer unbegrenzten Lichtgeschwindigkeit fest. Römers Wert wich nur um etwa dreißig Prozent von dem heutigen Wert ab.

Der Ritt auf dem Strahl

Wenn Licht auf der Sonne entsteht und ihre glühend heiße Oberfläche verlässt, hat es eine lange und größtenteils ereignis-

nislose Reise vor sich. Wenn alle Planeten exakt in einer Linie stünden, würde ein Lichtstrahl nach 3,2 Minuten Merkur passieren, nach sechs Minuten die Venus und wäre nach 8,3 Minuten endlich auf der Höhe der Erde.

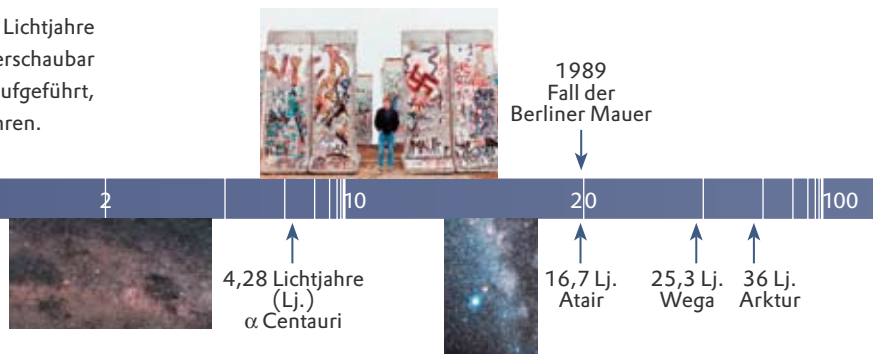
Die Vorstellung ist allerdings zu einfach, daher sind die Zeiten und Entfernungen in der Tabelle auf S. 23 auch mit Vorsicht zu genießen: Sie geben immer nur die mittlere Entfernung an. Da die Planeten auf elliptischen statt auf Kreisbahnen die Sonne umrunden, ändert sich ihr Sonnenabstand ständig. Außerdem

sind die Bahnen gegeneinander geneigt, was die Himmelsmechanik noch anspruchsvoller macht. In der Regel erfahren wir von den Vorgängen auf der Sonne und den beiden inneren Planeten daher mit etwas größerer Verzögerung, als aus der Tabelle ersichtlich ist.

Der nächste Halt unseres Lichtstrahls wäre Mars. Bei seiner Bahn ist die Elliptizität am auffälligsten. Während der sehr günstigen Opposition im Jahr 2003 trennten uns nur 55 Millionen Kilometer von dem Roten Planeten. Wir sahen ihn also so, wie er drei Minuten zuvor aussah. Bei der besonders ungünstigen Opposition im Jahr 2012 wird er fast doppelt so weit entfernt sein – Licht und Funksignale benötigen dann rund sechs Minuten, um die Erde zu erreichen. Die Marsrover der Nasa werden daher auch

Ein Zeit- und Entfernungsstrahl, der Jahre und Lichtjahre vergleicht, muss logarithmisch dargestellt werden, um überschaubar zu bleiben. Oberhalb der Skala sind historische Ereignisse aufgeführt, unterhalb bekannte Objekte und ihre Entfernung in Lichtjahren.

ALPHA CENTAURI UND ATAIR: ESO;
PLEJADEN: NASA, GSFC;
M13: NOAO; REST: ARCHIV



nicht vollständig ferngesteuert, sondern arbeiten in Maßen selbstständig. Bei einer Fernsteuerung werden erst Bilder des Rovers zum Kontrollzentrum übertragen, dann werden die Befehle Richtung Mars geschickt – im besten Fall vergehen sechs Minuten, bis der Roboter reagieren kann.

Bei den Apollo-Mondmissionen betrugten diese Verzögerungen bei der Funkübertragung etwa drei Sekunden, bei einer Marsmission wären die Pausen einfach zu lang.

Das äußere Sonnensystem

Wenn unser Lichtstrahl erst einmal den Asteroidengürtel hinter sich gelassen hat, dauert es eine Weile, bis er den nächsten Planeten erreicht. Eine Dreiviertelstunde nach Beginn seiner Reise ist er bei Jupiter, Saturn passiert er nach etwa achtzig Minuten. Wenn das Sonnenlicht von den beiden Riesenplaneten reflektiert wird, vergehen mindestens 35 beziehungsweise 71 Minuten, bis es die Erde erreicht. In dieser Zeit hat sich ihr Anblick deutlich verändert. Immerhin benötigt Jupiter weniger als zehn Stunden, um sich einmal um seine Achse zu drehen. Mit zunehmender Entfernung benötigt das Licht natürlich noch länger, wie Ole Römer bereits feststellte.

Von Veränderungen auf Saturn erfahren wir also erst mit rund eineinhalb Stunden Verspätung. Wenn Sie schneller informiert sein wollen, bietet eine Raumsonde aber auch keine gute Alternative: Voyager 1 benötigte über drei Jahre, um den Ringplaneten zu erreichen, Voyager 2 war fast noch ein Jahr länger unterwegs. Die Wissenschaftler der Cassini-Mission mussten nach dem Start sogar annähernd sieben Jahre auf die ersten Bilder warten – die dann auch nur mit Lichtgeschwindigkeit zur Erde gefunkt wurden.

Wie weit sind die Planeten von der Sonne entfernt?		
Planet	mittlerer Abstand von der Sonne	
	in Millionen Kilometer	in Lichtminuten
Merkur	57,9	3,2
Venus	108,2	6
Erde	149,6	8,3
Mars	227,9	12,6
Jupiter	778,3	43
Saturn	1427,0	79
Uranus	2869,6	160
Neptun	4504,0	250
(Pluto)	(5899,9)	(328)

Uranus ist doppelt so weit von der Sonne entfernt wie Saturn, und bis zu Neptun als äußerstem großen Planeten braucht das Licht mehr als vier Stunden – Voyager 2 war zu ihm zwölf Jahre lang unterwegs.

Spätestens wenn Sie den Zwergplaneten Pluto beobachten oder fotografieren wollen, wird die Zeitverzögerung eindrucksvoll. Er ist durchschnittlich 5,9 Milliarden Kilometer von der Sonne entfernt. Während der Opposition braucht das Sonnenlicht fünfeinhalb Stunden, um ihn zu erreichen. Weitere 5 Stunden und 19 Minuten benötigt es für den Weg von dort zur Erde in das innere Sonnensystem. Wenn Sie ihn um Mitternacht beobachten, sehen Sie ihn also so, wie er beim Abendessen aussah. Das Licht, das sein Bild zu uns trägt, hat die Sonne bereits am Mittag verlassen.

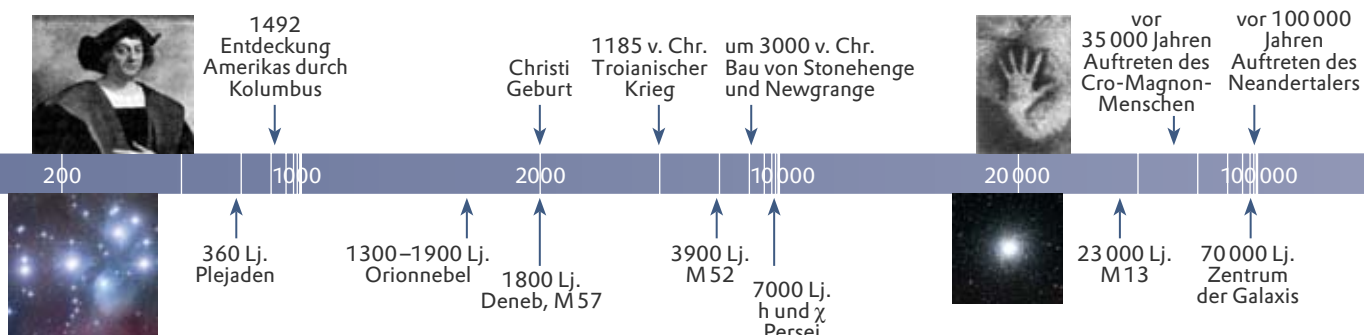
Außerhalb des Sonnensystems wird es unpraktisch, einen Lichtstrahl unserer Sonne zu verfolgen – er trifft erst nach 4,28 Jahren auf Proxima Centauri, unseren nächsten Nachbarstern. Diesen sehen wir natürlich nicht im reflektierten Sonnenlicht: Wie jeder Stern leuchtet er selbst. Beim Blick auf Deep-Sky-Objekte lohnt es sich daher, die Perspektive zu

wechseln und zu fragen, was auf der Erde geschah, als das Sternlicht, das wir jetzt sehen, seine lange Reise begann. Wie in der Astronomie üblich, muss man hier in großem Maßstab denken.

Am Himmel gibt es etwa 1600 Sterne, die heller als 5. Größe sind. Dabei sind die nächsten Sterne nicht unbedingt die hellsten: Sonnenähnliche Sterne sind schon aus geringer Entfernung für das bloße Auge nicht mehr zu erkennen, während einige leuchtstarke Überriesen noch aus einer Distanz von mehreren tausend Lichtjahren deutlich zu sehen sind.

Blick in die Vergangenheit

Die Sterne des Sommerdreiecks, das zurzeit abends noch im Westen steht (siehe Sterntafel, S. 42), sind ein gutes Beispiel dafür. Atair im Adler und Wega in der Leier sind nur 16,7 beziehungsweise 25,3 Lichtjahre entfernt. Ihr Licht ging also noch im letzten Jahrtausend auf seine Reise. Das von Atair verließ seinen Stern etwa zu der Zeit, als die Berliner Mauer fiel, Wega sehen wir so, wie sie während des Kalten Kriegs Anfang der 1980er Jahre aussah. Deneb im Schwan ist viel weiter entfernt: fast 1800 Lichtjahre. Sein Licht entstand in einer Zeit, als das Rö-





NASA, GSFC

Das Licht der Plejaden benötigt rund 350 Jahre bis zur Erde. Die Anfänge der modernen Astronomie werden durch die Erfindung des Teleskops um 1600 markiert.

h und Chi Persei, den Sie als Schimmern zwischen Kassiopeia und Perseus erkennen können, ist sogar 7000 Lichtjahre entfernt – vor 7000 Jahren begann der Anbau von Getreide im Nahen Osten und von Mais in Mittelamerika.

Der Blick auf das 35000 Lichtjahre entfernte Zentrum der Galaxis im Sternbild Schütze führt an den Anfang der Menschheitsgeschichte: Vor 30000 Jahren starb der Neandertaler aus, vor etwa 35000 Jahren trat mit dem Cro-Magnon-Menschen der erste Vertreter des modernen Menschen in Europa auf. Das Licht der meisten Objekte, die wir heute in unserer Milchstraße sehen können, ist also etwa so alt wie der moderne Mensch.

Deep Sky und Paläontologie

Auch die meisten Kugelsternhaufen sehen wir so, wie sie in dieser frühen Epoche der Menschheitsgeschichte waren. 23000 Jahre sind vergangen, seit das Licht von M13 im Herkules auf seine Reise ging. Bei M15 im Pegasus sind sogar 30000 Jahre vergangen. Die meisten Kugelsternhaufen sind nicht mehr als 65000 Lichtjahre vom Zentrum unserer Galaxis entfernt. Beim Blick in die Erdgeschichte entspricht das der Epoche, als der Homo sapiens Afrika verließ und sich die modernen Menschen entwickelten.

Wer Galaxien beobachtet, blickt noch tiefer in die Vergangenheit. Bereits der Andromedanebel M31 ist fast drei Millionen Lichtjahre entfernt, obwohl es auch geringere Entfernungsangaben für ihn gibt. Wir sehen ihn also so, wie er aussah, als die ersten Vormenschen die afrikanische Steppe erkundeten: Die ersten Fossilien des Australopithecus sind 2,9 bis

> mische Reich noch bestand und die Bibel ihre heutige Form erhielt.

Deneb ist keineswegs der entfernteste Stern, der mit bloßem Auge noch gut zu sehen ist. Die 1600 Sterne bis 5. Größe sind zwar durchschnittlich nur 457 Lichtjahre weit weg. Vor rund 460 Jahren war Amerika erst seit einem halben Jahrhundert bekannt und in Europa sorgten die Thesen Martin Luthers für Aufruhr. Mehr als sechzig dieser Sterne sind aber mehr als 2000 Lichtjahre entfernt, sodass ihr Licht noch aus vorchristlicher Zeit stammt. Immerhin acht von ihnen sind mehr als 4500 Lichtjahre entfernt – vor 4500 Jahren wurden die Pyramiden von Giseh errichtet.

Allerdings ist es nicht sehr befriedigend, die abgelegensten Einzelsterne zu suchen – sie geben im Teleskop nur wenig her. Interessanter sind offene Sternhaufen. Die meisten von ihnen stehen in einer Distanz von einigen hundert bis wenigen tausend Lichtjahren. Die noch weiter entfernten sind zu klein und zu lichtschwach, um im Fernrohr aufzufallen.

Das Licht der Hyaden, die im Lauf der Nacht über den Osthorizont steigen, ist 150 Jahre unterwegs, bevor es die Erde erreicht. Vor etwas mehr als 150 Jahren wurden die ersten Astrofotos aufgenommen: Nach einem Bild der Sonne 1845 folgten vier Jahre später Aufnahmen des Mondes und einiger Sterne.

Die benachbarten Plejaden sehen wir mit einer Verzögerung von 360 Jahren. In dieser Zeit ermöglichte die Erfindung von Fadenkreuz und Okularmikrometer auch bessere Forschung – damals noch mit Linsenteleskopen. Newton stellte sein erstes Spiegelteleskop erst 1672 vor, im selben Jahr wie Cassegrain und neun Jahre nach dem Entwurf von Gregory. Galileo Galilei benutzte erstmals 1609 ein Teleskop für die Astronomie. Das Licht der Plejaden entstand also zur selben Zeit wie die ersten Teleskope.

Bereits der Sternhaufen Krippe (M44) im Krebs führt uns 525 Jahre in die Vergangenheit: Das Licht, das uns heute von ihm erreicht, entstand, bevor Kolumbus Amerika entdeckte. Der Doppelhaufen



vor zirka 230000 Jahren erstes Auftreten des Homo sapiens

vor 2 Millionen Jahren Homo habilis

vor zirka 3,2 Millionen Jahren Australopithecus

vor 8–6 Millionen Jahren Ramapithecus

vor 65 Millionen Jahren Aussterben der Dinosaurier





3,6 Millionen Jahre alt, die Gattung Homo ist etwas jünger. M31 bildet gemeinsam mit der Milchstraße, der Dreiecksgalaxie M33 und den Magellanschen Wolken eine kleine Ansammlung von Galaxien: die Lokale Gruppe.

Der nächste wirklich große Galaxienhaufen ist der Virgo-Haufen in 65 Millionen Lichtjahren Entfernung. Sein Licht stammt aus der Zeit der Dinosaurier, die am Ende der Kreidezeit ausstarben, woraufhin die Säugetiere ihren Siegeszug antreten konnten. Der Virgo-Haufen ist Teil eines Superhaufens, zu dem die meisten helleren Galaxien am Nordhimmel gehören. Unsere eigene Lokale Gruppe liegt am Rand dieses Superhaufens.

Wer noch tiefer in das All sehen will, jagt sehr leuchtschwache Galaxien. 200 Millionen Lichtjahre trennen uns von der Großen Mauer. Sie ist eine der größten bekannten Strukturen im Universum – eine etwa 300 Millionen Lichtjahre mächtige, 500 Millionen Lichtjahre lange und nur 15 Millionen Lichtjahre tiefe Ansammlung aus unzähligen Galaxien. Ihr

Licht stammt aus einer Zeit, als die Trias sich dem Ende zuneigte und mit dem Jura die große Zeit der Dinosaurier begann. Für die weiter zurückliegenden Ereignisse der Erdgeschichte lassen sich kaum entsprechend weit entfernte Deep-Sky-Objekte aufspüren – sie sind einfach zu lichtschwach, um sie zu erkennen. Die Entstehung höheren Lebens in der Kambrischen Explosion vor 570 Millionen Jahren hat daher ebenso wenig eine »himmlische« Entsprechung wie die Entstehung der Erde vor 4,6 Milliarden Jahren oder die des Lebens kurz danach. Das Licht der Quasare, wie zum Beispiel das des drei Milliarden Lichtjahre entfernten 3C273, entstand in der langen Epoche, in der es auf der Erde nur einzelne Mikroorganismen gab. Sie sind die entferntesten und somit auch ältesten Objekte, die Sie mit einem größeren Amateurteleskop noch erreichen können.

Die am weitesten entfernten Objekte wurden auf dem Hubble Deep Field sichtbar: Bis zu 13 Milliarden Jahre alte Galaxien, die nur wenig jünger sind als

Vor rund dreißig Millionen Jahren ging das Licht der Sombrero-Galaxie auf seine Reise. Zu dieser Zeit entstanden auf der Erde die Alpen.

das Universum. Ihr Licht begann seine Reise lange vor der Entstehung des Sonnensystems.

Hier endet unser Ausflug: Licht aus eventuell noch weiter entfernten Bereichen des Universums hatte noch keine Zeit, um zu uns zu gelangen. Wenn Sie das nächste Mal die Sterne beobachten, denken Sie daran, dass Sie gleichzeitig einen tiefen Blick in die Vergangenheit werfen. Und wenn Sie einmal vor Ausstellungsstücken in einem naturgeschichtlichen Museum stehen, erinnern Sie sich vielleicht an den Anblick ähnlich alter Himmelsobjekte. Wer sagt denn, dass sich nur Archäologen mit der Vergangenheit beschäftigen? <<

Alexander Kerste hat beim Sternegucken schon öfter die Zeit vergessen.



M31: ESA / ROBERT GENDLER;
 VIRGO: NOAO; GR. MAUER: JAXA;
 QUASAR: NASA / ESA;
 PROTOPLANETAR: NASA; REST: ARCHIV