

# ÜBER UNSER UNIVERSUM

FÜNF FRAGEN – FÜNF ANTWORTEN



# VORWORT



Die vorliegende Broschüre ist anlässlich der Veranstaltung „Sphärenklänge – Ein Dialog zwischen Musik und Kosmologie“ entstanden. Dieses kulturelle Kooperationsprojekt wurde von der Andrea von Braun Stiftung und ihren Vorstand, Dr. Christoph von Braun, initiiert und hat am 25. Februar 2015 unter Mitwirkung des Münchner Kammerorchesters unter Leitung von Simon Gaudenz an der TU München stattgefunden. Es verbindet musikalische Werke aus verschiedenen Epochen, die den Themen Nacht, Mond, Gestirne und Himmel gewidmet sind, mit der modernen Wissenschaft. Jedem Werk wurde ein Thema aus dem Umfeld der Kosmologie zugeordnet, welches sich auch im aktuellen Forschungsprogramm des Exzellenzclusters „Ursprung und Struktur des Universums“ widerspiegelt.

Eingeleitet wurden die kurzen und hier abgedruckten Texte durch einfache Fragen, wie sie wohl vielen Menschen beim Blick in den Himmel in den Sinn kommen:

- *Warum ist der Nachthimmel dunkel?*
- *Was ist in der Mitte unserer Milchstraße?*
- *Wie hat das Universum früher ausgesehen?*
- *Was ist im Universum alles drin?*
- *Wie sieht es am Ende der Welt aus?*

Die Texte versuchen, unterstützt durch aktuelle und zugleich ästhetisch schöne Bilder, einfache Antworten auf diese Fragen zu formulieren – unter Bezug auf die moderne Forschung im Bereich der Astronomie, Kosmologie und Teilchenphysik. Keineswegs sollen sie als umfassende oder gar erschöpfende Erklärungen der komplexen angerissenen Themen verstanden werden, sondern vielmehr die Neugier wecken, sich selbst mit diesen spannenden Fragestellungen zu beschäftigen.

Der Autor dankt den Initiatoren sowie allen Mitwirkenden. Ganz besonderer Dank gilt dabei den Kollegen und Mitarbeitern aus dem Exzellenzcluster Universe, Prof. Dr. Andreas Burkert, Prof. Dr. Wolfgang Hillebrandt, Dr. Bruno Leibundgut und Dr. Andreas Müller für die wissenschaftlichen Diskussionen und Anregungen zum Text sowie Petra Riedel für die redaktionellen Arbeiten und Sabine Kwauka für die Gestaltung der Broschüre.

München, den 25. Februar 2015

Prof. Dr. Stephan Paul

# WARUM IST

## DER NACHTHIMMEL DUNKEL?

Das ist in der Tat eine sehr gute Frage, die sich 1826 auch der Arzt Wilhelm Olbers gestellt hat und die heutzutage als „Olbers Paradoxon“ bekannt ist. Stellen wir uns vor, das Weltall sei unendlich groß und gleichförmig mit Sternen gefüllt. Dann müssten wir das Licht von unendlich vielen Sternen beobachten können, so wie wir im Wald in jeder Blickrichtung einen Baum sehen.

Die Intensität des bei uns eintreffenden Lichts einzelner Sterne nimmt in dem Maße mit ihrer Entfernung von uns ab, wie die Anzahl der Sterne steigt, die Licht aussenden. Der Nachthimmel sollte also gleichmäßig hell sein. Man kann nun einwenden, das Universum sei nicht transparent, sondern gefüllt mit Staub und molekularen Wolken, die das Licht streuen und dabei auch zu größeren Wellenlängen hin verschieben.





Hätten wir jedoch, wie manche Tiere, bessere Augen und könnten Licht auch bei größeren Wellenlängen beobachten, etwa im Infraroten, so könnten wir den scheinbaren Helligkeitsverlust wieder ausgleichen.

Trotzdem aber bleibt der Nachthimmel recht dunkel. Mit dem gleichen Argument können wir auch einen Effekt vernachlässigen, der damit zu tun hat, dass sich das Universum stetig ausdehnt. Diese Vergrößerung des Raumes, die passiert, während das Licht von entfernten Sternen zu uns reist, führt ebenfalls zu einer Verschiebung des Lichtes hin zu größeren Wellenlängen. Das stellt aber nur für unser menschliches Auge ein Problem dar.

Die Antwort auf die Frage, warum der Nachthimmel dunkel ist, lässt sich leider nicht in einem einzigen Satz zusammenfassen. Es gibt mehrere Gründe: Zum einen ist die Reisegeschwindigkeit des Lichtes endlich. So braucht das Sonnenlicht, welches vom Mond zu uns reflektiert wird, ungefähr eine Sekunde, bevor es bei uns eintrifft. Da das Universum erst 13,8 Milliarden Jahre alt ist, gibt es also sehr weit entfernte Sterne, deren Licht bei uns noch gar nicht angekommen ist. Man nennt übrigens die Grenze des Bereiches des Universums, welche für uns sichtbar ist, den Beobachtungshorizont.

Der zweite Grund hat mit der Ausdehnung des Universums zu tun. Das Universum hat sich in der jüngeren Vergangenheit mit einer langsameren Geschwindigkeit ausgedehnt als der Lichtgeschwindigkeit. Daher hat sich unser Beobachtungshorizont stetig vergrößert, so dass wir mit jedem Jahr mehr Sterne sehen, auch wenn diese nur einen winzig kleinen Bruchteil des für uns noch unsichtbaren Universums ausmachen.

Während wir in einer Epoche des Universums leben (auf einige Jahre hin oder her kommt es dabei nicht an), in der sich die Ausdehnung des Universums noch ein wenig verlangsamt und sich der Beobachtungshorizont vergrößert, wissen wir aber bereits, dass sich die Ausdehnung bald beschleunigen wird, so dass die Lichtgeschwindigkeit dann nicht mehr ausreichen wird, um das Licht sehr weit entfernter Sterne zu uns zu bringen. Es ist für uns sozusagen verloren.

So werden wir deshalb in der Zukunft immer weniger Sterne sehen, weil das Licht von immer mehr Sternen uns nie mehr erreichen wird. Der dunkle Nachthimmel ist also eine unmittelbare Folge der endlichen Lichtgeschwindigkeit, des Alters des Universums und schließlich der kosmischen Expansion. Übrigens: Der Beobachtungshorizont hat derzeit einen Durchmesser von rund 46 Milliarden Jahren – und das bei einem Alter des Universums von nur 13,8 Milliarden Jahren. Klingt auch paradox, oder?



# WAS IST

## IN DER MITTE UNSERER MILCHSTRASSE?

Wenn wir uns Bilder einer Spiralgalaxie ansehen, so erinnern uns diese sehr stark an die Satellitenbilder von der Wettervorhersage, wenn sich in warmen oder tropischen Regionen ein Wirbelsturm zusammenbraut. Wir dürfen uns dabei aber nicht von ersten Ähnlichkeiten täuschen lassen: Denn während ein Wirbelsturm durch die thermischen Strömungskräfte entsteht, die auf die feuchte Meeresluft einwirken, basiert die Form einer Galaxie auf den Kräften der Schwerkraft und hat etwas mit ihrer Entstehungsgeschichte zu tun, bei der sie Materie aus dem Universum aufgesammelt hat.

Spiralförmig kreisen die Luft- und Wolkenmassen um das Zentrum eines Wirbelsturms, scheinbar so, wie Sonnen, Gas und Staub das Zentrum einer Galaxie umkreisen. Einen Wirbelsturm halten jedoch Strömungskräfte zusammen, angetrieben von enormen Druckunterschieden, eine Galaxie dagegen wird durch die Schwerkraft gebunden. Und während eine Galaxie flach ist und einer Scheibe gleicht, ähnelt ein Wirbelsturm mehr einer Walze.

Aber der vielleicht wichtigste Unterschied führt uns zurück zu unserer Anfangsfrage: Im Zentrum eines Wirbelsturms befindet sich nichts – im Auge des Sturms gibt es keinen Wind, keinen Regen und keine Wolken. Das Gegenteil trifft auf das Innere einer Galaxie zu: Nicht nur ballt sich im Inneren der Scheibe eine unvorstellbar große Menge an sichtbarer Materie zusammen, welche die Sterne und alle andere Materie der Galaxie an sich bindet.

Im Inneren fast jeder Galaxie finden wir zudem ein großes Schwarzes Loch, dessen Masse bis zu einer Milliarde Mal der Sonnenmasse entspricht. Die Saatkörner dieser Schwarzen Löcher haben sich vor sehr langer Zeit, nicht lange nach dem Urknall, entwickelt, als die großen Himmelsstrukturen entstanden sind.

Wenn aber das Zentrum fast jeder Galaxie ein massereiches Schwarzes Loch beheimatet, wie steht es dann mit unserer eigenen Galaxie, der Milchstraße, die wir bei klaren Nächten als helles Band am Himmel beobachten können? Und wie können wir ein Schwarzes Loch beobachten, da es doch kein Licht ausstrahlt?



Ein solches Schwarzes Loch beeinflusst die Bewegung der Sterne, die sich in seiner unmittelbaren Nachbarschaft befinden. Und solange diese Sterne einen sicheren Abstand zu dem Schwarzen Loch halten, bewegen sie sich auf derselben Art von Bahnen, wie die Planeten um die Sonne.

Tatsächlich konnten Astrophysiker dies vor einigen Jahren zum ersten Mal beobachten. Dazu benötigten sie die weltweit größten Teleskope. Und weil unsere Milchstraße voller Staub und Wolken ist, die für unser Auge nicht durchsichtig sind, mussten sie das langwellige Licht der Sterne nachweisen, das durch den Staub und die Wolken ungehindert hindurch geht.

Unsere Sonne braucht etwa 240 Millionen Jahre, um sich einmal um unsere Milchstraße zu drehen, aber die Sterne in der Nähe des Schwarzen Lochs haben bei Geschwindigkeiten von 18 Millionen km/h nur Umlaufzeiten von einigen 10 Jahren. Ihre Umlaufbahnen übersteigen dabei die des Zwergplaneten Pluto um ein Vielfaches. Pluto übrigens lässt sich 248 Jahre für einen Umlauf um die Sonne Zeit, aber das Schwarze Loch hat ja auch vier Millionen Mal die Masse unserer Sonne.



Was würde passieren, wenn sich eine lose zusammenhängende Gaswolke dem schwarzen Loch nähert, auf das Schwarze Loch zurast und sich so ins Verderben stürzt? Die Gaswolke würde von der Schwerkraft zu einer Spaghetti-Nudel deformiert und schließlich vom Schwarzen Loch teilweise oder vollständig gefressen. Ein solch spannendes Ereignis beobachteten Astronomen derzeit in unserer Milchstraße und sie können damit zum ersten Mal einem Schwarzen Loch beim (Materie-)Fressen zusehen.

Eine Simulation zeigt uns, wie das aussehen könnte, denn das Schwarze Loch ist mit seiner Mahlzeit derzeit noch nicht fertig, sondern wird noch einige Jahre daran zu kauen haben. Und natürlich fragen wir uns: Entkommt die Wolke? Wir selbst brauchen übrigens keine Angst vor diesem Schwarzen Loch zu haben, leben wir doch etwa 26.000 Lichtjahre von ihm entfernt und damit millionenfach mal soweit, wie die das Schwarze Loch umkreisenden Sterne.



# WIE HAT

## DAS UNIVERSUM FRÜHER AUSGESEHEN?



Wenn wir an der Isar stehen, uns von Freunden verabschieden, und in entgegengesetzte Richtungen nach Osten beziehungsweise Westen davon schreiten, so denken wir sicher, dass wir uns immer weiter voneinander entfernen, je weiter wir laufen. Der eine sieht die Sonne aufgehen, der andere untergehen. Wenn wir darüber nachdenken, dann ist uns klar, dass wir uns schließlich wieder treffen würden, weil die Erde rund ist. So ähnlich ist es in der Physik, wenn sich zwei Kollegen sprechen: derjenige, der mit Teleskopen in den Himmel schaut und das immer Fernere untersucht, und der andere, der mit den besten Mikroskopen – Beschleunigern – versucht, in immer kleinere Dimensionen vorzustoßen.

Was aber hat das eine mit dem anderen zu tun? Dazu müssen wir über die Geschichte des Universums sprechen, so wie sie sich Physiker derzeit vorstellen: Das Universum entstand in einem Urknall (was immer das war – vorstellbar ist es nicht) und hat sich in kurzer Zeit ausgedehnt und dabei abgekühlt. Dabei war das Universum zu Beginn so heiß, dass es die Materie noch nicht gab, die wir in unserem täglichen Leben erfahren.

*Simulation des Teilchenschauers  
nach einer Kollision von Blei-Atomkernen  
am Detektor ALICE am LHC. © CERN*






Es gab noch keine Atome, bei denen negativ geladene Elektronen an positiv geladene Kerne gebunden sind. Es gab auch keine Atomkerne, ja nicht einmal deren Bausteine, die Protonen und Neutronen. Das Universum war dominiert von den kleinsten und elementaren Teilchen, von denen wir annehmen, dass sie den physikalischen Gesetzen folgen, die wir an modernen Teilchenbeschleunigern im Detail erforschen (die wir aber noch nicht alle kennen).

Aufgrund der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit stammt das von uns beobachtete Licht weit entfernter Objekte aus tiefer Vergangenheit. Die Ausdehnung des Universums hat die Information über seine frühe Phase in die Ferne getragen. Das Studium der Geschichte des Universums hat also mit der Erforschung des Universums bei großen Entfernungen von uns zu tun. Das, was am weitesten von uns weg ist, trägt die Fingerabdrücke des ganz frühen, kleinen und heißen Universums. Wir sehen, wie sich das Große und das Kleine im Unendlichen treffen, der Kreis sich schließt.

Das frühe Universum kann also im Labor untersucht werden. Eine der Fragen, die sich Physiker stellen, ist, wie aus der Suppe der elementaren Teilchen die Bausteine unserer Materie entstanden sind, die Protonen und Neutronen. Um eine Antwort darauf zu erhalten, schießen sie mit Hilfe großer Teilchenbeschleuniger Blei-Atomkerne aufeinander. Diese treffen mit solcher Wucht aufeinander, dass die Kerne und deren Bestandteile schmelzen und für kurze Zeit in einem kleinen Volumen wieder eine solche Ursuppe entsteht. Diese Untersuchungen gehören zu einem Forschungsgebiet der Physik, das den großen Teilchenbeschleuniger Large Hadron Collider (LHC) am CERN nutzt.

Die Ursuppe dehnt sich kurz nach ihrer Entstehung wieder rasch aus und kühlt dabei ab, wobei die gespeicherte Energie in die Erzeugung einer Vielzahl neuer Teilchen umgesetzt wird. In einem Zusammenstoß von zwei Blei-Atomkernen werden viele Zehntausende neuer Teilchen geboren, die mit modernen Detektoren erfasst werden können. Diese Untersuchungen haben interessante und überraschende Erkenntnisse über die Ursuppe erbracht, die man sich wohl als perfekte Flüssigkeit und nicht als ein Gas vorstellen muss, die sich nur etwa  $10^{-5}$  Sekunden nach dem Urknall plötzlich aufgelöst hat.





*Der Gravitationslinseneffekt verzerrt die Abbilder von Galaxien, gesehen mit dem Hubble-Weltraumteleskop.*  
© NASA/ESA

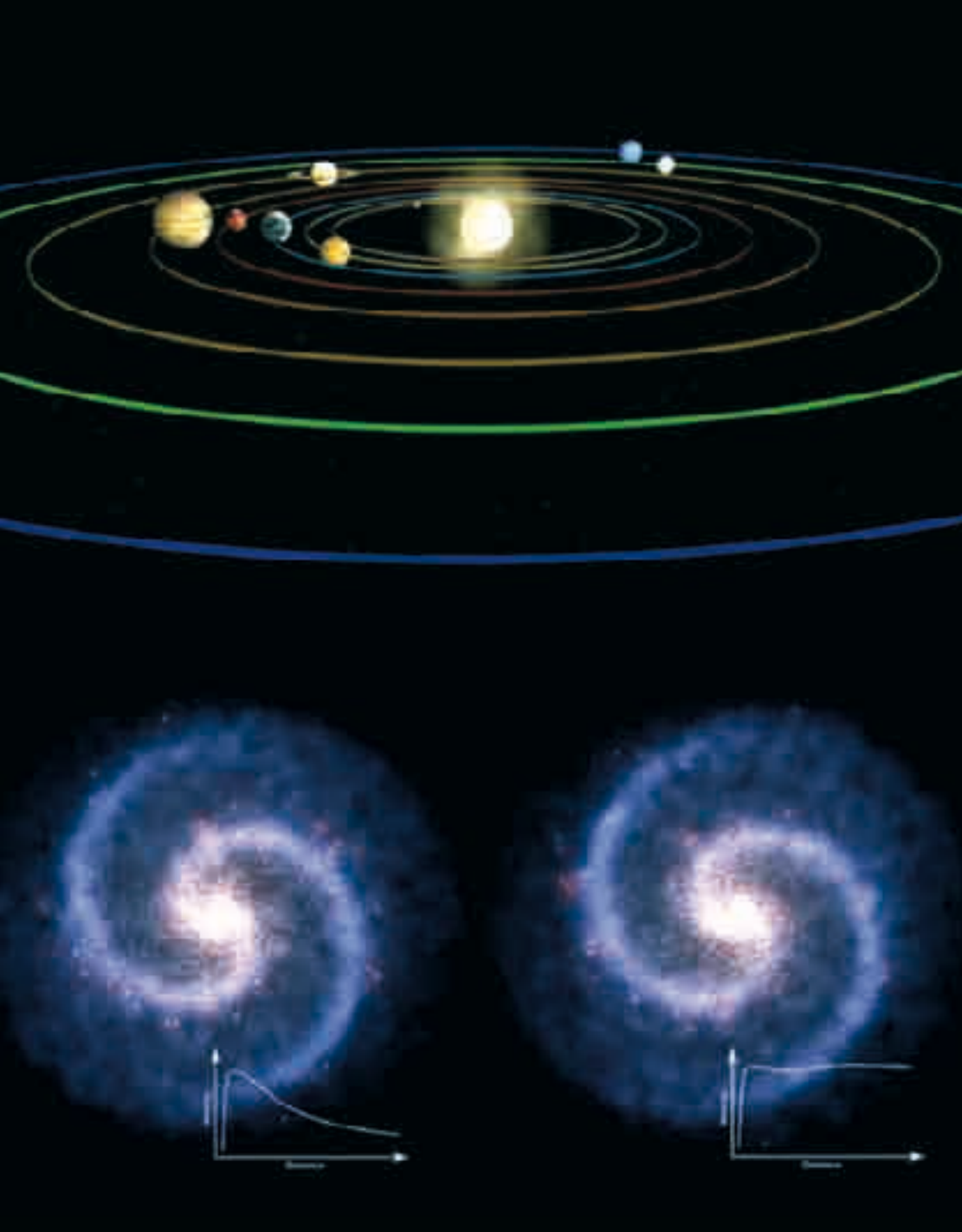
# WAS IST IM UNIVERSUM ALLES DRIN?

So wie die Harmonie in der Musik durch einfache mathematische Formeln dargestellt werden kann, so können wir die Bewegung der Planeten um die Sonne mit einfachen Gleichungen beschreiben. Die Umlaufbahnen sind eigentlich Ellipsen, die für die meisten Planeten jedoch Kreisen sehr ähnlich sind.

Die Geschwindigkeit, mit der sich ein Planet auf seiner Bahn bewegt, sinkt mit seinem Abstand von der Sonne. So reist die Venus im Mittel mit 120.000 km/h, während Uranus, der mehr als 40 Mal weiter von der Sonne entfernt ist, nur mit einer Geschwindigkeit von 20.000 km/h um sie kreist. Das Verhältnis der Umlaufzeiten der Planeten um die Sonne folgt dem Verhältnis ganzer Zahlen, wobei einige Verhältnisse eine erstaunliche Ähnlichkeit mit dem Verhältnis der Saitenlängen eines Streichinstruments haben, wenn wir Zweiklänge wie Terz, Quinte oder Quarte spielen. Man nennt das die kosmische Harmonie.

Diese mathematisch streng formulierbaren Gesetze gelten für alle Planeten. Eine Disharmonie in der Musik – eine Abweichung von der harmonischen Reihe – entsteht entweder durch den falschen Ton eines Musikers oder sie ist beabsichtigt und als neues Stilelement zu betrachten. Ebenso deuten Disharmonien in der Physik – Abweichungen von den physikalischen Gesetzen – auf neue Phänomene.

So wurde der Planet Neptun zunächst nur über eine kleine Abweichung der beobachteten Umlaufbahn des damals äußersten noch sichtbaren Planeten, Uranus, entdeckt. Er stellte eine Störung der Ordnung dar. Die Geschichte hätte sich übrigens beinahe mit dem Zwergplaneten Pluto wiederholt. Jedoch erwiesen sich weitere Abweichungen der Bahn des Uranus zum Teil als Messfehler und nicht als Auswirkungen von Pluto, dessen Masse nicht groß genug wäre, eine solche Bahnstörung zu verursachen. Die genaue Vermessung von Neptun löste schließlich die verbleibenden Rätsel.



oben: Die Bahnen der Planeten in unserem Sonnensystem. © u. H.

unten: Die Sterne einer Galaxie, die sich auf Bahnen weit außerhalb des sichtbaren Massezentrums der Galaxie befinden, bewegen sich mit viel höheren Geschwindigkeiten (rechts), als nach den physikalischen Gesetzen zu erwarten wäre (links). © Wikipedia

Bleiben wir aber bei den mathematischen Gesetzen und den beobachteten Abweichungen, die bekannte physikalische Gesetze scheinbar in Frage stellen. Wir wenden uns den Bewegungen der Sterne in benachbarten Galaxien zu. Wie im Sonnensystem sollten auch hier die Geschwindigkeiten der Sterne mit ihrer Entfernung vom Zentrum einer Galaxie schnell abnehmen.

Was die Forscher jedoch tatsächlich beobachten, weicht drastisch von dieser Erwartung ab. Sterne, deren Bahnen sich weit außerhalb des sichtbaren Massezentrums der Galaxie befinden, bewegen sich alle mit einer viel höheren und etwa gleichen Geschwindigkeit, was nach den physikalischen Gesetzen nicht zu erwarten wäre.

Wenn Newtons Mechanik auch hier Gültigkeit hat, kann dies nur bedeuten, dass es innerhalb der Sternbahnen Masse geben muss, die wir nicht sehen können, und zwar unabhängig davon, wie empfindlich unsere Augen oder Instrumente sind. Diese Materie nennen wir „Dunkle Materie“. Die Dunkle Materie spielt bei unserem heutigen Bild des Universums eine äußerst wichtige Rolle, gehen wir doch davon aus, dass diese ungefähr fünf mal häufiger im Universum auftritt als all die Materie, die wir seit vielen tausend Jahren kennen und im Detail untersuchen.

Ihre Existenz zeigt sich dabei nicht nur bei der Sternbewegung. Auch die Struktur des Universums lässt sich heute nur durch die Anwesenheit dieser nicht sichtbaren Materie verstehen. Wir sehen sie nicht, aber wir beobachten, dass ihre Schwerkraft sichtbare Materie und sogar Licht ablenkt. Das Licht einer entfernten Galaxie, die hinter einer Wolke mit Dunkler Materie liegt, wird durch die Dunkle Materie stark beeinflusst.

Es ist dabei faszinierend, dass diese Dunkle Materie der Allgemeinen Relativitätstheorie zufolge genauso wirkt, wie eine normale optische Linse, die das Licht ablenken und dabei auch fokussieren kann. Platziert man eine Linse etwas schief in ein optisches Instrument, so kommt es zu Verzerrungen in der Abbildung. So ähnlich ist es auch mit einer Gravitationslinse, deren Position natürlich gegeben ist. Eine solche Gravitationslinse verzerrt das Bild einer dahinter liegenden Galaxie und es kommt zu Mehrfachabbildungen derselben Galaxie oder einer Verschmierung des Abbildes. Das mag auf den ersten Blick wie ein ärgerlicher Effekt klingen. Die Wissenschaftler nutzen ihn jedoch inzwischen als Werkzeug, um Dunkle Materie im Universum aufzuspüren.



# WIE SIEHT

## ES AM ENDE DER WELT AUS?

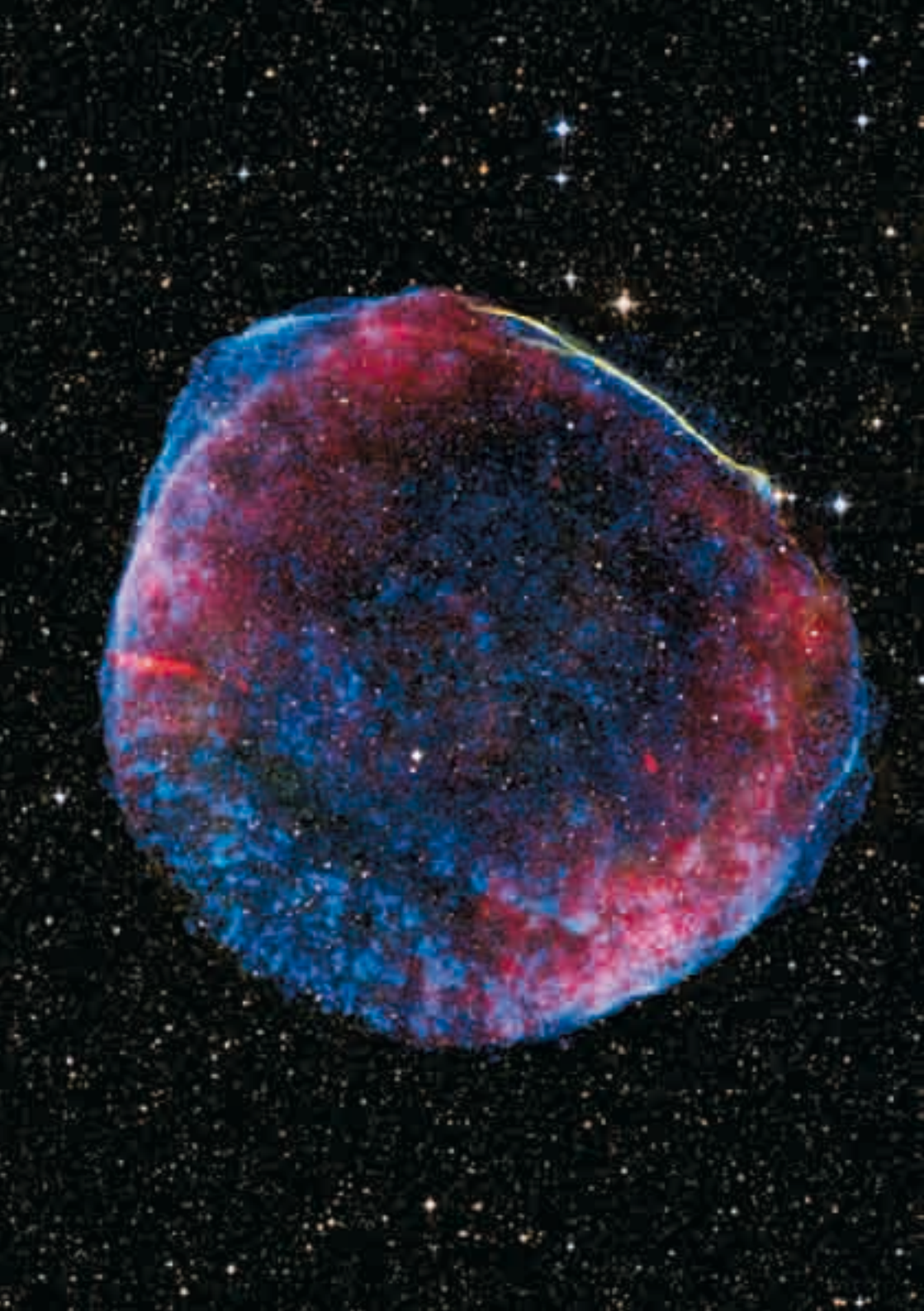
Schon immer wurden die Menschen durch große Bauten und technische Installationen fasziniert. In der Antike beeindruckte etwa der Leuchtturm von Alexandria, später die mächtigen Kathedralen und Moscheen, heute sind es Teilchenbeschleuniger und riesige Teleskope. Bewundernd und fast ehrfürchtig stehen wir davor und sind doch stolz, diese Größe gemeistert zu haben.

Mit einem Teleskop schauen wir in die Ferne und holen die Bilder weit entlegener Objekte auf die Erde. Diese von Menschen gemachten Instrumente, die wir beherrschen, sind jedoch winzig im Vergleich zu diesen riesigen, unvorstellbar weit entfernten Himmelsobjekten. Kosmische Ereignisse können gewaltig sein: Eine einzige Sternexplosion – Supernova – überstrahlt fast das Licht der sie beheimatenden Galaxie.

Aus einer Supernova wird am Ende eines Sternenlebens nicht nur ein neues Objekt geboren, sondern eine Supernova ändert auch die chemische Zusammensetzung des kosmischen Staubes. Ein spezieller Typ Supernova hat sich für die Astrophysiker zu einem sehr wichtigen Messinstrument entwickelt. Die Details der Zündung einer solchen Supernova sind noch nicht ganz verstanden, aber die Wissenschaftler sind gewiss, dass diese Explosionen immer nach demselben Schema ablaufen. So können sie aus der beobachteten Helligkeit einer Supernova auf die Entfernung des Objektes schließen. Damit gelingt es den Wissenschaftlern, eine Art Zollstock bis zum beobachtbaren Rand des Universums aufzuspannen.

Was aber hilft uns das? Die Beobachtung von Supernovae in verschiedenen Entfernungen gibt Aufschluss darüber, wie sich das Universum zu verschiedenen Zeiten verhalten hat, ob es gleichmäßig gewachsen ist oder ob sich die Ausdehnung über die Zeit verändert. Ähnlich verhält es sich mit dem Studium der Ringe in den Stämmen alter Bäume, aus denen wir etwas über die zeitliche Variation des Baumwachstums erfahren.





Die besten Teleskope, wie zum Beispiel das Hubble-Weltraumteleskop, sind so lichtempfindlich, dass sie auch das Licht sehr weit entfernter Supernovae beobachten können. In die Ferne zu sehen bedeutet aber auch, in die Vergangenheit des Universums zu blicken. Auf diese Weise können die Astronomen inzwischen eine Zeitreise von 13,2 Milliarden Jahren machen, was fast dem derzeit bekannten Alter des Universums von etwa 13,8 Milliarden Jahren entspricht. Und welche Erkenntnis haben sie dabei gewonnen?

Zu unserem großen Erstaunen wird sich die Ausdehnung unseres Universums in Zukunft beschleunigen, es wird also immer schneller auseinander fliegen. Als Ursache für dieses immer schnellere Auseinanderstreben vermuten die Physiker eine unbekannte Energie, die sie daher „Dunkle Energie“ nennen. Nach jüngsten Berechnungen entspricht diese Dunkle Energie etwa 68 Prozent des gesamten Energiehaushaltes unseres Universums.

Das ist für sich genommen schon faszinierend. Die beschleunigte Ausdehnung des Universums ist aber auch der Grund, warum wir in einem „Zeitalter“ leben, in dem wir den weitesten Blick in die Vergangenheit haben. Von nun an verschwinden mehr und mehr Sterne und Galaxien wieder aus dem sichtbaren Horizont, bis es irgendwann ganz dunkel um uns herum wird.

Und trotz aller Erkenntnisse werden die Menschen neugierig bleiben und sich die Frage stellen, was sich hinter dem Vorhang des Beobachtungshorizontes befindet. Es ist dieselbe Neugier, die uns Forscher stetig antreibt, das Unerforschte zu entdecken, eine Eigenschaft die die Menschen von allen anderen Lebewesen unterscheidet. Dieses Streben begründet viele Kulturleistungen und vereint die schönen Künste und die Wissenschaft.



*Ausschnitt aus dem tiefsten Bild des Universums, das jemals im Bereich des sichtbaren Lichts aufgenommen wurde (Hubble Extreme Deep Field).  
© NASA; ESA; and G. Bacon and Z. Levay, STScI*

*Überrest der Supernova 1006, gesehen bei verschiedenen Wellenlängen.*

*© NRAO/AUI/NSF/GBT/VLA/Dyer, Maddalena & Cornwell; Chandra X-ray Observatory; NASA/CXC/Rutgers/G. Cassam-Chenaï, J. Hughes et al.; 0.9-metre Curtis Schmidt optical telescope; NOAO/AURA/NSF/CTIO/Middlebury College/F. Winkler and Digitized Sky Survey.*





## IMPRESSUM

**Text:** Prof. Dr. Stephan Paul

**Redaktion:** Petra Riedel

**Layout:** Sabine Kwauka · Pucheimer Str. 15 · 82194 Gröbenzell

**Druck:** flyeralarm GmbH · Alfred-Nobel-Str. 18 · 97080 Würzburg

**Herausgeber:** Exzellenzcluster Universe · Technische Universität München  
Boltzmannstr. 2 · 85748 Garching  
Tel.: 089 35831-7100 · Fax: 089 3299-4002  
info@universe-cluster.de · www.universe-cluster.de

**Koordinatoren:** Prof. Dr. Stephan Paul (TUM) · Prof. Dr. Andreas Burkert (LMU)

Der Exzellenzcluster Universe wird von der Deutschen Exzellenzinitiative gefördert.