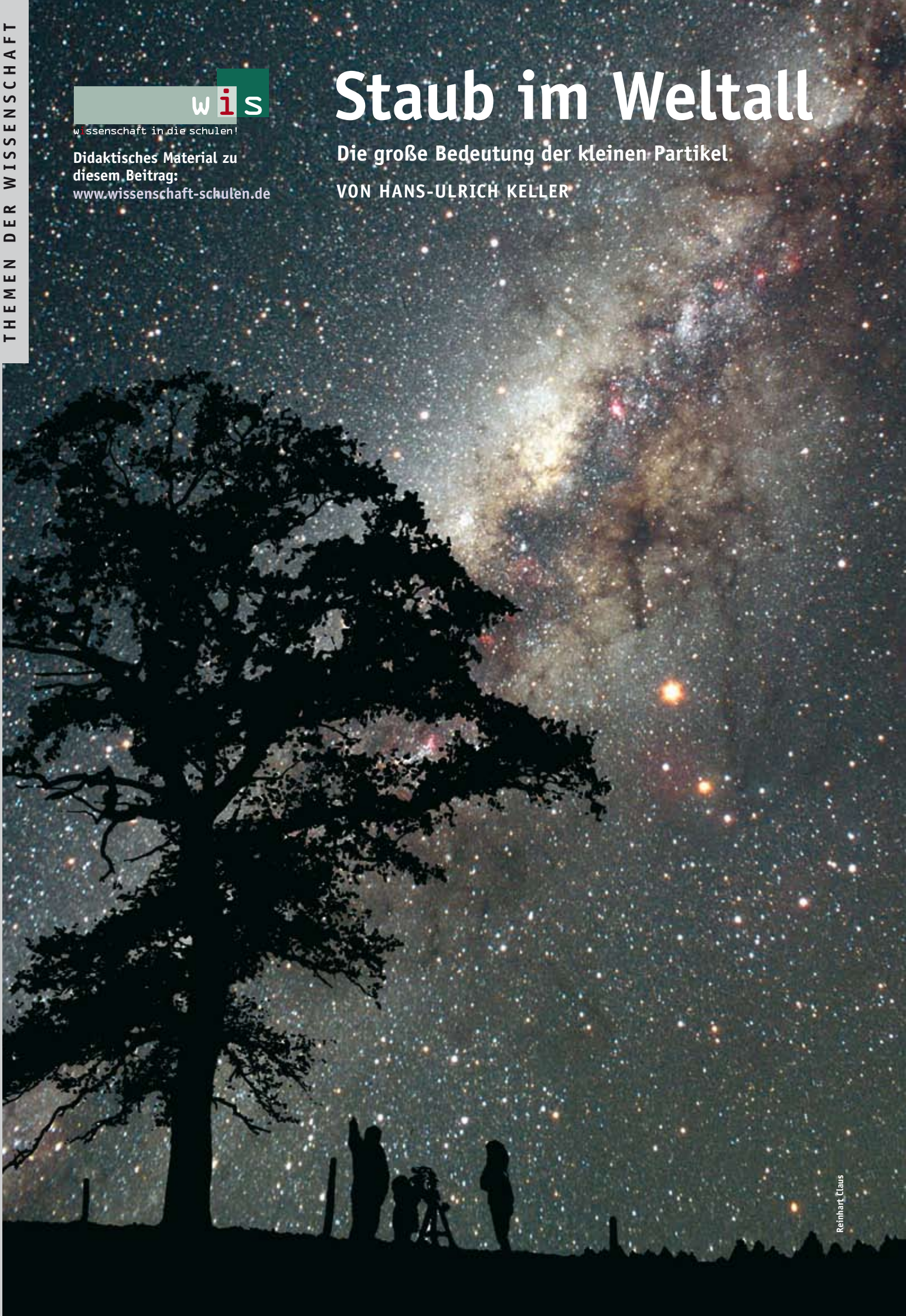
wis
wissenschaft in die schulen!

Didaktisches Material zu diesem Beitrag:
www.wissenschaft-schulen.de

Staub im Weltall

Die große Bedeutung der kleinen Partikel

VON HANS-ULRICH KELLER



Reinhart Claus

Vordergründig behindern Staubteilchen zwischen den Sternen die Sicht auf manch interessantes Himmelsobjekt. Doch den winzigen Partikeln kommt selbst eine große Rolle im kosmischen Werden und Vergehen zu: Sie beeinflussen die Geburt von Sternen, und ohne sie gäbe es keine Planeten – und folglich auch keine Lebewesen, die über ihre Bedeutung nachdenken könnten.

Wer das schimmernde Band der Milchstraße mit einem Fernglas durchmustert, dem fallen scheinbar sternleere Gegenden auf. Selbst mit bloßen Augen wird deutlich, dass in manchen Regionen darin nur wenige Sterne leuchten. Bei genauerer Betrachtung gewinnt man den Eindruck, Löcher im dichten Sternenvorhang zu sehen (Abb. 1). Heute wissen wir, dass der Raum zwischen den Sternen keineswegs völlig leer ist. Vielmehr durchsetzen riesige Wolken aus Gas und Staub unser Milchstraßensystem. Doch wie erkannten die Astronomen, dass es sich bei den vermeintlichen »Löchern im Himmel« um interstellare Materie und nicht um leere Regionen handelt?

Ein bedeutender Schritt auf diesem Weg gelang dem 1886 in Zürich geborenen und später in den USA forschenden Astronomen Robert Julius Trümpler. Zu seinen Forschungsschwerpunkten zählten Sternhaufen und Galaxien. Insbesondere befasste er sich mit Verfahren zur genauen Entfernungsbestimmung. Zu diesem Zweck beobachtete er in Sternhaufen den Lichtwechsel kurzperiodischer veränderlicher Sterne des Typs RR Lyrae. Die Periode ihres Lichtwechsels ist eng mit ihrer absoluten Helligkeit verknüpft (siehe SuW 7/2007, S. 38).

Durch den Vergleich der absoluten mit der scheinbaren Helligkeit wollte Trümpler die Entfernung von Sternhaufen berechnen. Aus ihr und dem beobachteten Winkeldurchmesser bestimmte er auch den linearen Durchmesser der Haufen. Doch dabei erlebte er eine Überraschung: Für die Durchmesser der Sternhaufen ergaben sich mit zunehmender Entfernung immer größere Werte. Dies erschien ihm zu Recht unglaubwürdig.

Warum sollten die Sternhaufen umso größer sein, je weiter sie von uns weg stehen? Im August-Heft 1930 der renommierten Fachzeitschrift »Publications of the Astronomical Society of the Pacific« bemerkte Trümpler dazu: »... unless we are willing to admit that the dimensions of open clusters depend on their distance from the Sun, we are led to the conclusion that ... a general absorption is taking place within our stellar system«. Der Astronom war somit überzeugt, dass das interstellare Medium in unserer Milchstraße das Sternlicht schwächt.

Einen weiteren Meilenstein stellt eine im Jahr 1934 von dem amerikanischen Astronomen Edwin P. Hubble (1889 bis 1953) durchgeführte Untersuchung dar. Durch Galaxienzählungen im Bereich der galaktischen Ebene belegte er, dass es sich bei den dunklen Bereichen entlang der Milchstraße nicht um sternleere Gegenden, sondern um Wolken interstellarer Materie handelt, die das Licht dahinter stehender Sterne verschlucken. Dazu nutzte er rund 1300 mit dem 2,5-Meter-Teleskop des Mount-Wilson-Observatoriums belichtete Fotoplatten. Je näher das Bildfeld einer solchen Aufnahme an der Ebene der Milchstraße lag, desto weniger Galaxien zeigte sie im Durchschnitt. Auf diese Weise ergab sich eine entlang der Milchstraße verlaufende Zone mit unregelmäßiger Breite, die ein scheinbares Defizit an Galaxien aufwies. Hubble bezeichnete diesen am Himmel maximal dreißig Grad breiten Streifen als »Zone of avoidance«.

Ebenfalls zu Beginn der 1930er zeigte der niederländische Astronom Jan Hendrik Oort (1900 bis 1992), dass das interstellare Medium extrem dünn verteilt ist. Zunächst schätzte er die Masse des Mediums ab, indem er die Geschwindigkeitskomponenten der Sterne senkrecht zur Ebene der Milchstraße betrachtete. Ähnlich wie ein von der Erdoberfläche nach oben geworfener Stein eine maximale Höhe erreicht und dann unter dem Einfluss der Schwerkraft wieder zu Boden fällt, ist auch die vertikale Bewegung von Sternen dem Schwerefeld der Galaxis unterworfen. Aus den gemessenen Geschwindigkeitskomponenten berechnete Oort die auf die Sterne wirkende rücktreibende Kraft und daraus die hierfür verantwortliche Masse. Mit Hilfe von Sternzählungen schätzte er den Beitrag der Sterne ab, zog ihre Gesamtmasse ab und berechnete aus der verbleibenden Masse die mittlere Dichte des interstellaren Mediums in der Umgebung der Sonne.

Gas – der große Bruder des Staubs

Es zeigte sich, dass ein würfelförmiges Volumen mit einer Kantenlänge von hundert Kilometern im Mittel nur ein Milligramm an Materie enthalten kann. In einem Volumen von der Größe der Erdkugel fände sich nur ein einziges Kilogramm interstellarer Materie. Dies ist allerdings ein Durchschnittswert: Es gibt Gebiete fast absoluter Leere, in anderen Bereichen ist mit einer hundertmal höheren Dichte zu rechnen. Mindestens zu 98 Prozent besteht die interstellare Materie aus Gas, nur ein bis zwei Prozent ihrer Masse entfallen auf den Staub.

Die Gaskomponente schwächt das Sternenlicht im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums kaum. Enthielte die interstellare Materie keinen Staub, so wäre der Raum nahezu durchsichtig. Innerhalb einer gedachten Säule mit einem Querschnitt von einem Quadratzentimeter und einer Länge von rund 3300 Lichtjahren befände sich eine Masse von nur 0,01 Gramm. Vergleicht man dies mit einer senkrecht durch die Erdatmosphäre verlaufenden Luftsäule gleichen Querschnitts, so enthält diese die

Abb. 1: Bereits mit bloßem Auge lassen sich im hellen Band der Milchstraße dunkle Bereiche ausmachen. Bei diesen scheinbar sternarmen Himmelsgebieten handelt es sich um kalte Wolken aus Gas und Staub, die das Baumaterial für die Geburt neuer Sterne und Planeten liefern. Auch die Sonne und unsere Erde bildeten sich tief im Inneren einer solchen Wolke.

»Sterne und Weltraum« im Physik-Unterricht

Didaktisches Material zu diesem Beitrag stellen wir im Internet auf der Webseite **www.wissenschaft-schulen.de** bereit. In einem fiktiven Gespräch klären der Schüler Daniel und der Student Jan gemeinsam die Schwächung des Sternenlichts durch Rayleighsche und Miesche Streuung sowie die Entstehung der Polarisation. Der Schüler erkennt voller Staunen, welche Veränderungen das Licht auf seinem langen Weg durch den vermeintlich leeren Raum erfährt.

Unser Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« führen wir in Zusammenarbeit mit der Landesakademie für Lehrerfortbildung in Bad Wildbad durch. Es wird von der Klaus Tschira Stiftung gGmbH großzügig gefördert.

Eso

Günter Kerschhuber

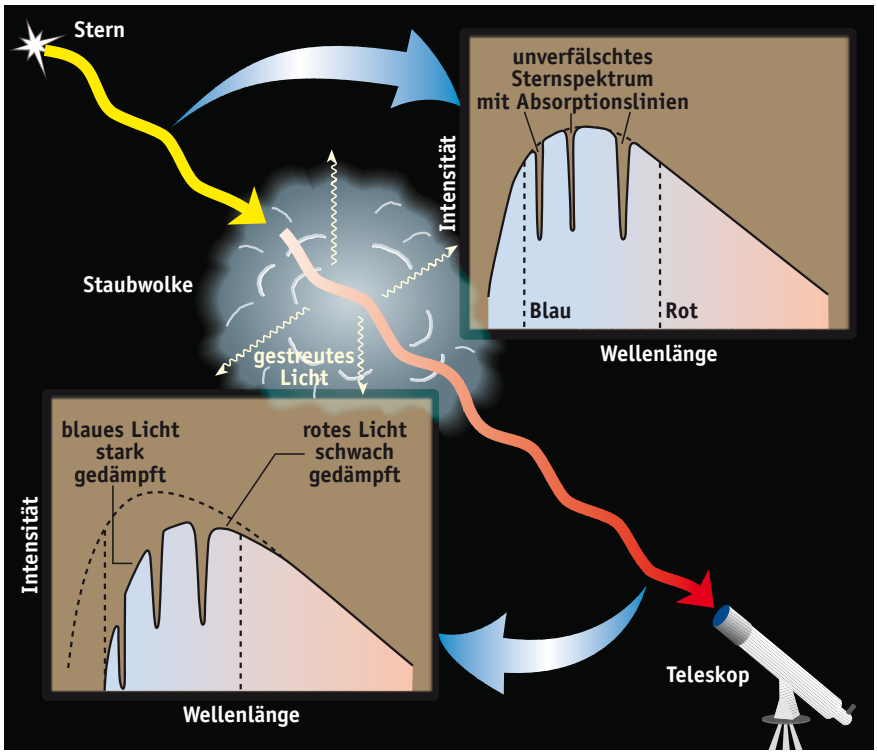
hunderttausendfache Menge an Gas. Es schwächt das Licht eines im Zenit stehenden Sterns um rund zwanzig Prozent ab.

Das Gas des interstellaren Mediums verrät sich nur bei bestimmten Wellenlängen durch zusätzliche Absorptionslinien im Spektrum eines beobachteten Sterns. Das bekannteste Beispiel hierfür ist die im Jahr 1908 von dem in Potsdam forschenden Astronomen Johannes Hartmann entdeckte interstellare K-Linie des ionisierten Kalziums. Hartmann fiel auf, dass die Linien im Spektrum des engen Doppelsterns Delta Orionis ihre Lage im Rhythmus des Umlaufs der beiden Komponenten veränderte, während die Wellenlänge der Kalziumlinie konstant blieb.

Die interstellare Natur dieser »ruhenden Kalziumlinie« belegte der Astronom Otto Struve (1897 bis 1963), indem er die Linienintenstäten von rund zweitausend Sternen in Abhängigkeit von der Entfernung der Sterne und ihrer Position am Himmel untersuchte. Mit zunehmender Entfernung sowie mit geringer werdendem Abstand zur Ebene des Milchstraßensystems nahm auch die Stärke der K-Linie des ionisierten Kalziums zu, wie es für einen interstellaren Ursprung zu erwarten war.

Während interstellares Gas beim direkten Blick zu den Sternen unauffällig bleibt, tritt es umso deutlicher in Sternentstehungsregionen wie dem Orionnebel in Erscheinung. Hier regt das energiereiche Licht junger Sterne das Gas der Umgebung zum Leuchten im Licht bestimmter Emissionslinien an, beispielsweise der H-Alpha-Linie des Wasserstoffs. In kühleren

Abb. 2: Die Dunkelwolke Barnard 68 (links) enthält Staub, der das Licht dahinter stehender Sterne absorbiert. In den Randpartien der Wolke lassen sich Sterne ausmachen, deren Licht die Wolke gerade noch durchdringen kann; sie erscheinen tiefrot. Einen weiteren Einfluss interstellaren Staubs auf Sternlicht zeigt das Beispiel des Reflexionsnebels NGC 1977 im Sternbild Orion (rechts), der eine Gruppe junger Sterne umgibt. Staubpartikel in ihrer Umgebung streuen vorzugsweise den kurzwelligen Anteil des Sternlichts, weshalb der Nebel in dem hier gezeigten RGB-Komposit blau erscheint.



SuW-Grafik

Abb. 3: Der obere rechte Teil der Grafik zeigt schematisch das Spektrum eines Sterns, bevor sein Licht auf eine Staubwolke trifft. Das Spektrum weist die Form einer planckschen Strahlungskurve mit überlagerten Absorptionslinien der Sternatmosphäre auf. Ein Beobachter, auf dessen Sichtlinie zum Stern sich interstellarer Staub befindet, registriert hingegen das unten links gezeigte Spektrum. Hierin kann er zwar noch Absorptionslinien nachweisen, jedoch stellt er ein Defizit an blauem Licht fest. Es wurde von den Staubpartikeln der Wolke aus der Sichtlinie heraus gestreut. Im roten Bereich bleibt das Sternspektrum weitgehend unverfälscht, denn Licht dieser Wellenlängen streuen die Partikel weniger stark.

Gebieten lässt sich der Wasserstoff durch seine Emissionen im Radiofrequenzbereich bei der Wellenlänge von 21 Zentimetern nachweisen.

Sternenlicht trifft Staubpartikel

Im Unterschied zur Gaskomponente beeinflusst der Staub das Licht dahinter stehender Sterne merklich. Die Staubpartikel absorbieren und streuen einen Teil des Lichts (Abb. 2). Zudem verändern sie die Schwingungsebene seiner elektromagnetischen Wellen. Betrachten wir diese Prozesse nun im Detail.

Streuung. Bei der Streuung lenken die Staubpartikel einen Teil des Sternlichts aus dem Sehstrahl zum Beobachter heraus. Dabei kommt es auf die Größe der Staubkörner an. Sind die Partikel groß im Vergleich zur Wellenlänge des sichtbaren Lichts, also größer als ein tausendstel Millimeter, so schatten sie das Licht aller Wellenlängen gleichermaßen stark ab. Kleinere Staubpartikel bewirken jedoch eine selektive Streuung des Sternlichts: Je kürzer die Wellenlänge ist, desto stärker ist auch die Streuung und umso mehr Licht lenken die Staubpartikel aus dem Sehstrahl zum Beobachter heraus.

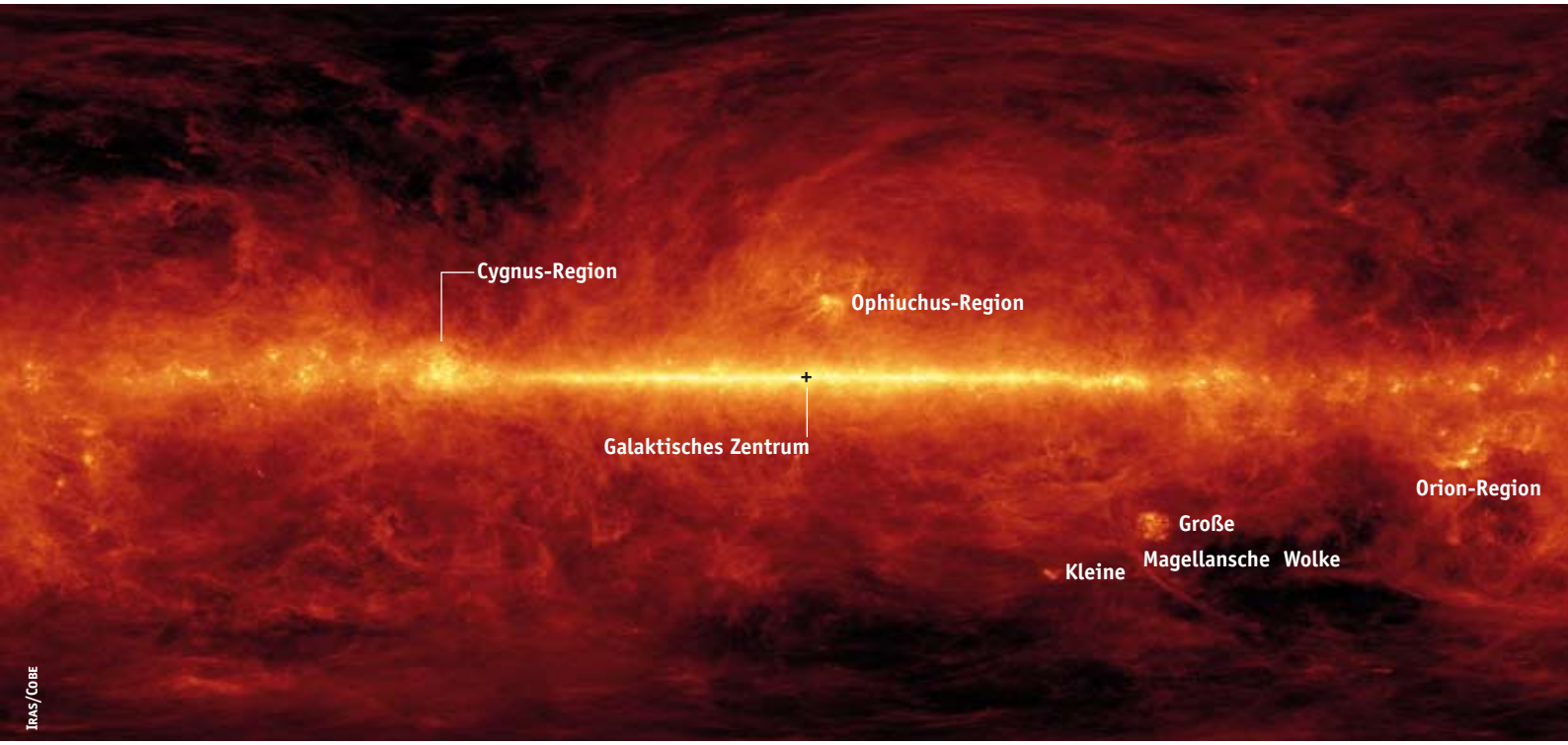
Blaues Licht streuen die Partikel somit stärker als gelbes, dieses wiederum stärker als rotes. Das Sternenlicht wird somit röter (Abb. 3). Dieser Effekt ist uns von der irdischen Atmosphäre her bekannt. Die Sonne und der Mond erscheinen in Horizontnähe stark gerötet, denn der Weg des Lichts durch die Lufthülle der Erde ist beim Auf- oder Untergang wesentlich länger, als wenn sie sich in einer großen Höhe über dem Horizont befinden.

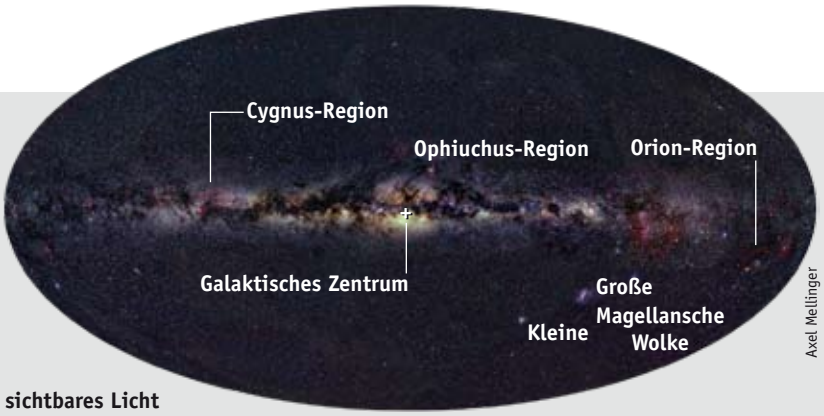
Die interstellaren Staubpartikel sind recht klein. Ihr Durchmesser liegt zwischen einem zehntausendstel und einem tausendstel Millimeter. Dies entspricht im Optischen einer zehntel Wellenlänge beziehungsweise mehr als einer ganzen Wellenlänge. Dementsprechend unterscheiden die Astronomen bei der Streuung des Sternlichts zwei Fälle: Entweder ist der Durchmesser der Staubkörner von der Größenordnung der Lichtwellenlänge oder er ist wesentlich kleiner als diese. Den ersten Fall bezeichnet man nach dem Physiker Gustav Mie (1868 bis 1957) als Mie-Streuung; hierbei ist die Stärke der Streuung umgekehrt proportional zur Wellenlänge. Im zweiten Fall ist sie sogar umgekehrt proportional zur vierten Potenz der Wellenlänge, man spricht von Rayleigh-Streuung. Benannt wurde sie nach dem englischen Physiker John William Strutt, Baron Rayleigh (1842 bis 1919).

Absorption und Wärmestrahlung. Die Streuung ist nicht der einzige Effekt, der das Sternlicht schwächt. Hinzu kommt, dass ein Staubpartikel einen Teil des Sternlichts absorbiert. Beide Einflüsse gemeinsam bezeichnen die Astronomen als Extinktion. Auf einer Distanz von rund 3300 Lichtjahren erreicht die Extinktion bis zu drei Magnituden. Doch dies ist nur ein grober Richtwert, denn der interstellare Staub ist in der Milchstraßenscheibe keinesfalls gleichförmig verteilt. Vielmehr durchziehen einzelne Dunkelwolken die Hauptebene. Das rund 27000 Lichtjahre entfernte Milchstraßenzentrum wäre als helle Lichtquelle am Nachthimmel zu sehen, würde nicht der interstellare Staub das sichtbare Licht um das Zehnmillionenfache schwächen.

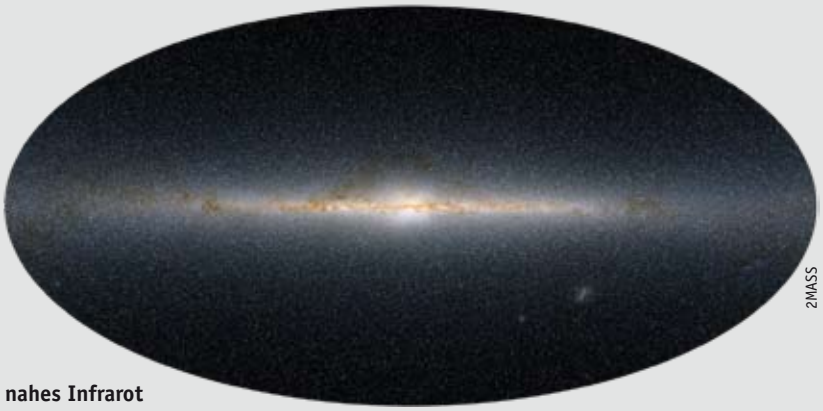
Dass der interstellare Staub stark zur galaktischen Ebene konzentriert ist, zeigen moderne Himmelsdurchmusterungen im infraroten Wellenlängenbereich besonders eindrucksvoll (Abb. 4). In diesem Spektralbereich sendet der Staub Wärmestrahlung aus. Sie entsteht dadurch, dass die Partikel Energie aus dem Strahlungsfeld der Sterne absorbieren und sich infolgedessen auf eine Gleichgewichtstemperatur aufheizen. In diesem Zustand strahlen die Partikel pro Zeiteinheit genauso viel Energie ab, wie sie aus dem Sternlicht aufnehmen, wobei die charakteristische Wellenlänge ihrer Strahlung von der erreichten Temperatur abhängt.

Abb. 4: Dieses Bild des gesamten Himmels kombiniert Durchmusterungen der Satelliten IRAS und COBE bei einer Wellenlänge von hundert Mikrometern. Hier sendet der interstellare Staub Wärmestrahlung aus. Er befindet sich größtenteils innerhalb der Ebene unseres Milchstraßensystems und erscheint als ein horizontal verlaufendes leuchtendes Band. In ihm lassen sich mehrere Sternentstehungsregionen erkennen. Oberhalb und unterhalb des Bandes befinden sich feine Staubfilamente sowie die Magellanschen Wolken.

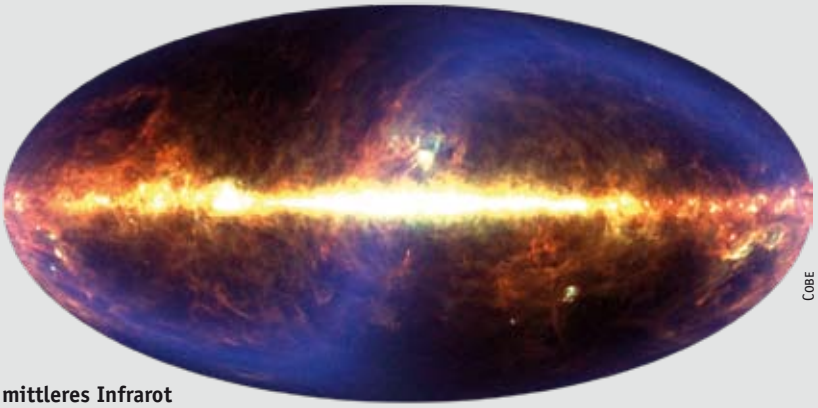




sichtbares Licht



nahes Infrarot



mittleres Infrarot

Kosmischer Staub in anderem Licht

Die Abbildungen zeigen Gesamtkarten des Himmels im sichtbaren Licht (oben), im nahen Infrarot (Mitte) und im mittleren Infrarot (unten). In allen drei Bildern ist die horizontal verlaufende Ebene der Milchstraße zu erkennen. Die Position des Milchstraßenzentrums befindet sich in der Mitte des jeweiligen Bildes. Im Optischen sind entlang der Milchstraße lichtundurchlässige Dunkelwolken zu erkennen. Der in ihnen enthaltene Staub absorbiert das Licht dahinter stehender Sterne.

Im nahen Infrarot, bei einer Wellenlänge von zwei Mikrometern, sind die Wolken nahezu durchlässig. Die Wellenlänge der Strahlung ist in diesem Spektralbereich deutlich größer als die typische Ausdehnung der Staubpartikel von wenigen zehntel Mikrometern. Deshalb behindern die Partikel die Ausbreitung des Lichts hier nur geringfügig.

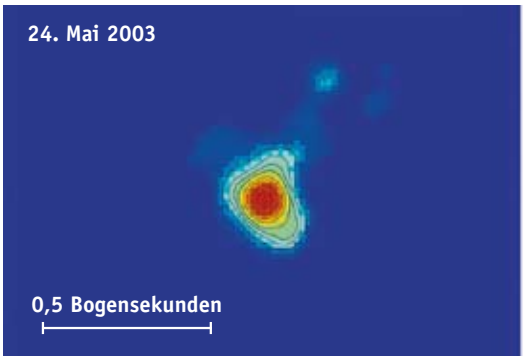
Ein gänzlich anderes Erscheinungsbild zeigt die unten abgebildete Karte des Satelliten COBE. Hier sendet der Staub aufgrund seiner Temperatur Wärmestrahlung aus. Die dazu erforderliche Energie absorbiert er aus dem Strahlungsfeld der Sterne. Das Bild ist ein Komposit aus Himmelsdurchmusterungen bei 60, 100 und 240 Mikrometern, denen die Farben blau, grün beziehungsweise rot zugeordnet wurden. Auf diese Weise lässt sich der bei kürzeren Wellenlängen leuchtende warme Staub von dem bei größeren Wellenlängen leuchtenden kalten Staub unterscheiden. Diagonal durch das Zentrum der Karte verläuft ein blaues Band entlang der Ekliptik. Es zeigt die Wärmestrahlung von Staubpartikeln in der Hauptebene unseres Sonnensystems; die rötlich dargestellte Strahlung des interstellaren Staubs dominiert jedoch das Bild.

Die Temperaturen der Partikel durchschnittlicher Wolken fernab leuchtender Sterne liegen nahe dem absoluten Nullpunkt, zwischen 10 und 30 Kelvin. Dies entspricht –263 beziehungsweise –243 Grad Celsius. Außer diesen kalten Dunkelwolken finden sich auch »warme« Staubwolken mit Temperaturen von 100 bis 400 Kelvin (–173 beziehungsweise –127 Grad Celsius). Erkennen lassen sie sich anhand ihrer thermischen Strahlung, die sie im infraroten Spektralbereich aussenden. Erwärmt wird der Staub durch benachbarte Sterne. In Sternnähe verdampft der Staub nahezu vollständig, denn oberhalb einer Temperatur von etwa 1500 bis 1800 Kelvin schmelzen die Staubkörner und gehen dabei im Vakuum des Weltraums unmittelbar in die Gasphase über.

Polarisation. Im Jahr 1947 entdeckten die amerikanischen Astronomen William Albert Hiltner (1914 bis 1991) und John Scoville Hall (1908 bis 1991) mit dem 82-Zoll-Teleskop des McDonald-Observatoriums, dass das Licht zahlreicher Sterne in einer Vorzugsebene schwingt. Dieser als Polarisation des Lichts bezeichnete Effekt überraschte die Forscher, denn eigentlich müssten im Sternlicht alle Schwingungsebenen gleichermaßen vertreten sein, sodass insgesamt keine Vorzugsrichtung zu erwarten wäre.

Betrachteten die Astronomen jedoch einen Stern durch einen Polarisationsfilter in zwei zueinander senkrechten Schwingungsebenen des Lichts, so zeigte er sich unterschiedlich hell. Als Erklärung blieb nur der Einfluss interstellarer Staubpartikel übrig. Aus der Polarisation des Sternlichts ließ sich schließen, dass die Staubpartikel keine kugelrunde, sondern eine längliche bis nadelförmige Gestalt aufweisen. Eine Lichtwelle, die in Richtung der Längsachse des Partikels schwingt, wird in diesem Fall stärker absorbiert als eine Welle, die quer dazu schwingt.

So ergab die Messung der Polarisationsrichtung an verschiedenen Stellen des Himmels Hinweise auf die Orientierung der Partikel im Raum. Dabei stellte



sich heraus, dass sie über große Bereiche hinweg eine ähnliche Orientierung aufweisen. Diese Beobachtung ließ sich durch ein galaktisches Magnetfeld erklären, das die Partikel großräumig parallel zueinander ausrichtet. Der Vergleich der Polarisationmessungen mit theoretischen Modellen ergab, dass das Magnetfeld der Milchstraße außerordentlich schwach sein muss – nur etwa ein Hunderttausendstel so stark wie das Erdmagnetfeld.

Staub im kosmischen Materiekreislauf

Die Masse eines Staubkorns mit einem Durchmesser von einem tausendstel Millimeter beträgt rund 3×10^{-13} Gramm. Chemisch gesehen enthält der interstellare Staub Silikate (SiO_4) und Graphitteilchen. Die kalten Staubpartikel sind dabei häufig von gefrorenen Gasen wie Wassereis, Ammoniak und Methan umschlossen (Abb. 5). Teilweise sind auch Riesenmoleküle der Staubkomponente des interstellaren Mediums hinzuzurechnen wie Fulleren (C_{60}), ein Molekül in Form eines Fußballs. Zahlreiche polyzyklische, aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen konnten die Astronomen aus den diffusen Absorptionsbändern entschlüsseln.

Als Ursprung der Staubteilchen vermutete man früher größere interstellare Moleküle, die als Kondensationskeime wirken. Nach etwa hundert Millionen Jahren sollten durch Anlagerung weiterer Moleküle Partikel bis zu einem tausendstel Millimeter entstehen. Neuere Modellrechnungen zeigten jedoch, dass interplanetare Staubpartikel nur sehr langsam wachsen. Sie bilden sich in der Umgebung roter Riesensterne. Deren teils recht heftig wehenden Sternwinde fegen die Partikel anschließend in den interstellaren Raum. Ein typisches Beispiel ist der rußende Stern RY Sagittari, ein unregelmäßig Veränderlicher (Abb. 6). Auch alternde Sterne stoßen ihre äußeren Hüllen ins Weltall ab und bilden dabei Planetarische Nebel. Auf diese Weise reichert sich die interstellare Materie in der Galaxis mit entsprechendem Material an. Die von sterbenden Sternen ausgestoßene Materie steht für die Geburt neuer Sterne zur Verfügung, und hierbei spielt Staub eine wichtige Rolle.

Sterne entstehen tief im Inneren dunkler, kalter Wolken durch ein Zusammenspiel von Staub und molekularem Gas. Vorreiter in der Entdeckung komplexer Moleküle waren die Radioastronomen, die Dunkelwolken im Frequenzbereich um hundert Gigahertz beobachteten. Hier spürten sie Spektrallinien zahlreicher Moleküle auf, darunter Kohlenmonoxid (CO), komplexe Kohlenwasserstoffe und deren Radikale sowie Schwefelkohlenstoffverbindungen. Eine noch junge Disziplin, die Astrochemie, beschreibt die Bildung und Verbreitung derartiger Verbindungen. Offensichtlich gibt es einen wirkungsvollen Mechanismus zur Produktion organischer Moleküle in den ausgedehnten Atmosphären alter Sterne, die ihre Produkte schließlich ins Universum abblasen.

Der Staub schirmt das Innere von Molekülwolken gegen das ultraviolette Licht

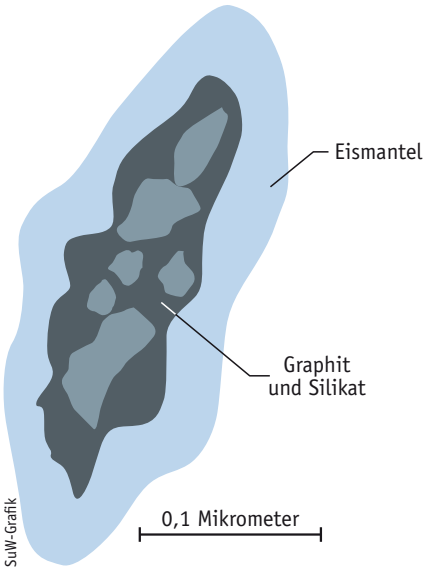


Abb. 5: Interstellare Staubpartikel bestehen aus Graphit- und Siliziumverbindungen, die in gefrorene Gase eingeschlossen sind. Ihre Form ist zumeist länglich, und ihre typische Größe beträgt einige zehntel Mikrometer.

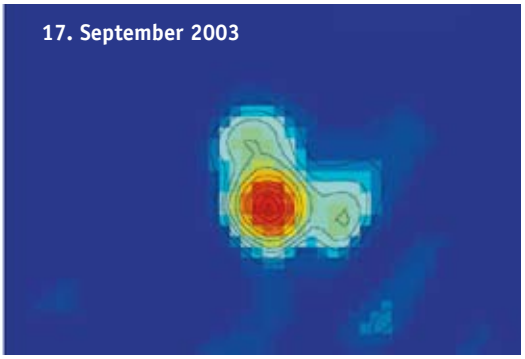


Abb. 6: Staubwolken, die sich in der Umgebung des Sterns RY Sagittarii bildeten, zeigt dieses Infrarotbild des Very Large Telescope. Der im Zentrum des Bildfelds stehende unregelmäßig veränderliche Stern verliert ständig Materie. Sie entfernt sich vom Stern und kühlt sich ab. Dabei bilden sich rußähnliche Partikel, die in den interstellaren Raum entweichen.

Besuchen Sie uns im Internet!

In unserem Online-Archiv finden Sie alle bisher erschienenen Sterne und Weltraum-Artikel seit 2005.

>> Hier können Sie nach einzelnen Artikeln recherchieren und diese für € 1,– als PDF-Dateien kaufen:
www.suw-online.de/archiv

>> Sie können **Sterne und Weltraum** auch komplett als Online-Ausgabe abonnieren:
www.suw-online.de/digitalabo

>> Der Podcast von **Sterne und Weltaum** und **astronomie heute** enthält aktuelle Nachrichten rund um Weltraumforschung und Amateurastronomie.

>> ... oder treten Sie einfach mit unseren Astro-Bloggern in Kontakt:
www.kosmologs.de

Diese und weitere kostenlose Service-Angebote finden Sie unter

www.suw-online.de

Spektrum DER WISSENSCHAFT Wissen aus erster Hand

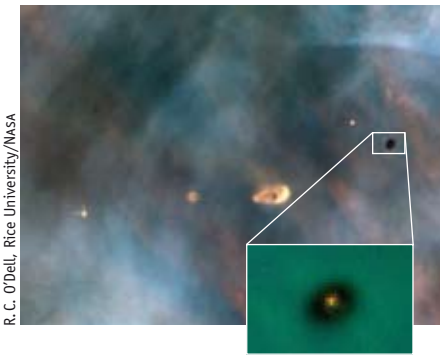
benachbarter Sterne ab und verhindert damit das Auseinanderbrechen der Moleküle. Diese strahlen im mittleren Infrarot permanent Energie ab. Hier ist die Wolke teilweise durchlässig, sodass die Energie ungehindert nach außen entweicht, wodurch sich die Wolke abkühlt. In ihrem Inneren beträgt die Temperatur nur zehn bis zwanzig Kelvin.

Unterschreitet der temperaturbedingte Druck der Wolke eine kritische Grenze, so können ihre dichtesten Bereiche in sich zusammenfallen. Eigentlich sollte dabei der Druck wieder ansteigen und die Wolke sich erwärmen. Dies würde einer weiteren Kontraktion entgegenwirken. Doch wiederum ist es der Staub, der hier eine entscheidende Rolle spielt. Die in der Wolke vorhandenen Wasserstoffmoleküle übertragen einen Teil ihrer Energie auf die Staubpartikel. Dadurch erwärmen sie sich und senden eine temperaturbedingte Strahlung im langwelligen Infrarot- und Millimeterwellenbereich ab. Dieser Energieverlust kühlt die Wolke und ermöglicht es ihr, sich ungehindert zu einem Protostern zusammenzuziehen.

Baumaterial für Planetensysteme

Interstellarer Staub ist maßgeblich an der Bildung von Planetensystemen beteiligt. Auf eine einfache Formel gebracht: Ohne Staub gäbe es keine Planeten, Monde, Kleinplaneten, Kometen und Meteoroide. Wie man inzwischen weiß, wird nicht nur unsere Sonne von Planeten umkreist, sondern die Bildung von Planetensystemen scheint ein häufiger Vorgang im Kosmos zu sein. Diese Ansicht untermauerten Mitte der 1990er Jahre auch Beobachtungen mit dem Weltraumteleskop HUBBLE. Hiermit gelang es den Astronomen, die Vorstufen der Entwicklung von Planetensystemen direkt abzubilden.

Im 1500 Lichtjahre entfernten Orionnebel entdeckten sie protoplanetare



R. C. O'Dell, Rice University/NASA

Scheiben (englisch Protoplanetary disks oder Proplyds), die junge Sterne umgeben (Abb. 7). Das Alter dieser Systeme beträgt maximal eine Million Jahre – weniger als ein Tausendstel des Alters unseres Sonnensystems. Die Massen der Zentralsterne betragen das 0,3- bis 1,5-Fache der Sonnenmasse.

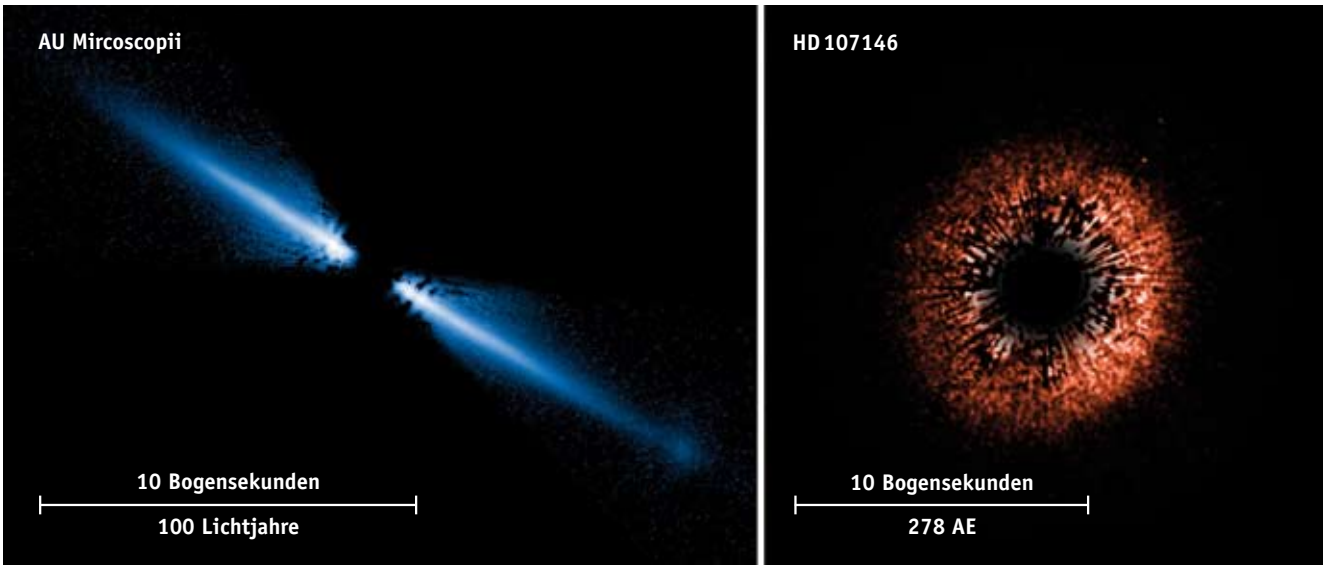
Aus den Beobachtungsdaten leiteten die Astronomen ab, dass die Scheiben zwei- bis achtmal so groß wie unser Sonnensystem sind und eine ähnliche Zusammensetzung wie das interstellare Medium aufweisen: Sie bestehen zu 99 Prozent aus Gas und zu einem Prozent aus Staub. Auf den Aufnahmen erscheinen die Scheiben undurchsichtig, weil der Staub das im Hintergrund sichtbare Licht absorbiert. Vor dem Hintergrund der leuchtenden Gase des Orionnebels zeichnen sie sich als dunkle Silhouetten ab. Andere Scheiben werden hingegen durch das Licht benachbarter Sterne hell erleuchtet.

Ein fortgeschrittenes Stadium in der Entwicklung zu einem Planetensystem scheinen die ebenfalls mit dem Weltraumteleskop HUBBLE beobachteten Staubscheiben um den 32 Lichtjahre entfernten Stern AU Microscopii und den 88 Lichtjahre entfernten Stern HD 107146 erreicht zu haben (Abb. 8). Das Licht der Scheibe um HD 107146 erscheint rötlicher als das von AU Microscopii. Dies

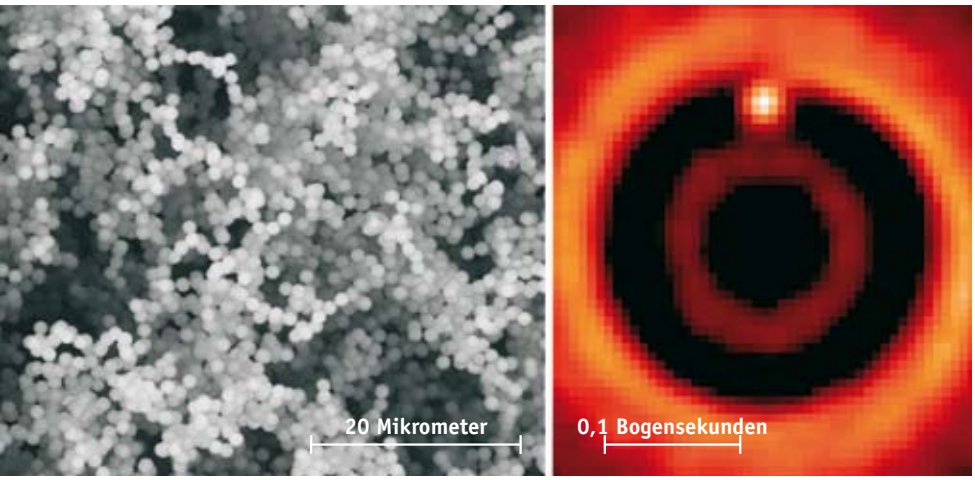
Abb. 7: Mit dem Weltraumteleskop HUBBLE entdeckten die Astronomen im Orionnebel zahlreiche staubhaltige protoplanetare Scheiben, so genannte Proplyds, die als Vorstufen von Planetensystemen gelten. Einige Beispiele sind in dieser Aufnahme eines 0,14 Lichtjahre großen Feldes zu sehen. Vier der fünf Scheiben werden von benachbarten jungen Sternen beleuchtet und erscheinen deshalb hell, während das am weitesten von ihnen entfernte Objekt (oben rechts) dunkel erscheint. Dieses Objekt zeigt die Ausschnittvergrößerung nochmals. In der Mitte seiner Staubscheibe leuchtet ein junger Stern. Die Masse der Scheibe beträgt rund sieben Erdmassen, ihr Durchmesser das Achtfache des Durchmessers unseres Sonnensystems.

Jürgen Blum und Werner Holländer, DLR

Abb. 8: Die Staubscheiben um die Sterne AU Microscopii und HD 107146 sehen wir von der Kante beziehungsweise in Aufsicht. In beiden Scheiben fanden die Astronomen Hinweise auf die Bildung von Planeten. Die Aufnahmen gewannen sie mit der Advanced Camera for Surveys (ACS) des Weltraumteleskops HUBBLE. Um das schwache Licht der Scheiben abbilden zu können, mussten sie die Sterne durch eine Koronografenmaske ausblenden. Der Durchmesser der Scheiben beträgt 400 beziehungsweise 320 Astronomische Einheiten.



STScI



Sebastian Wolf, MPIA

Abb. 9: Die bei der Planetenentstehung wirksamen Prozesse versuchen die Astronomen im Labor und im Computer nachzuvollziehen. Das linke Bild zeigt die im Labor simulierte Anlagerung kosmischer Staubpartikel zu einem »Staubkuchen« aus 1,5 Mikrometer großen SiO_2-Kugeln. Rechts gezeigt ist der mit dem geplanten Interferometer ALMA zu erwartende Anblick einer protoplanetaren Scheibe, in der sich ein jupiterähnliches Objekt zusammenballt. Die Bildung des Planeten hinterlässt in der Scheibe eine dunkle Lücke. Die den Planeten umgebende aufgeheizte Materie ist als heller Fleck zu erkennen.

deutet auf recht kleine Staubpartikel mit Durchmessern von weniger als zwei Mikrometern hin. Den Beobachtungsdaten zufolge weist HD 107146 denselben Spektraltyp wie unsere Sonne auf. Mit einem Alter von 250 Millionen Jahren ist er jedoch erheblich jünger als diese. In beiden Scheiben vermuten die Astronomen die Bildung von Planeten. Bei AU Microscopii, einem Zwergstern des Spektraltyps M0, wiesen sie eine Lücke im inneren Bereich der Scheibe nach. Hier befindet sich möglicherweise ein Planet, der sich aus dem Material aus der näheren Umgebung bildete.

Wie sehen die Kondensationskerne für die Bildung von Planeten aus? Wie können wir uns die Bildung eines Planeten aus Staubpartikeln vorstellen? Die Winkelauflösungen der heutigen Teleskope reichen noch nicht aus, uns einzelne Protoplaneten vor Augen zu führen. Deshalb verfolgen die Astrophysiker diese Fragen durch Laborexperimente und Modellrechnungen im Computer.

Im Labor studieren die Physiker die früheste Phase der Planetenentstehung. Sie verfolgen, wie einzelne Staubpartikel aneinander haften bleiben und sich allmählich zu größeren Einheiten, so genannten Agglomeraten, zusammenfinden und durch Oberflächenkräfte aneinander haften bleiben. Simulationsrechnungen zeigen, dass die in protoplanetaren Scheiben vorhandenen Agglomerate zu etwa 85 Prozent aus Hohlräumen bestehen. Wissenschaftlern vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt gelang es, die im Computer simulierten Objekte auch im Labor herzustellen. Die dort erzeugten »Staubkuchen« bestehen aus Siliziumdioxidkugeln mit einem Durchmesser von 1,5 Mikrometern (Abb. 9, links). Die Eigenschaften dieser Proben gleichen denen der in protoplanetaren Staubscheiben vermuteten Agglomerate.

Trotz dieses Erfolgs gibt die Zusammenballung kleinerer zu größeren Einheiten den Forschern noch Rätsel auf. So ist ungeklärt, wie sich die Materie zu metergroßen bis etwa zehn Kilometer großen Körpern verbindet. Sobald sie dieses Stadium jedoch erreicht haben, sind sie genügend massereich, um durch ihre Schwerkraft weitere Materie aus der Umgebung an sich zu binden und sich während ihrer Umläufe um das Zentralgestirn allmählich zu Planeten zu vergrößern.

Ein alternatives Szenario sehen die Astronomen darin, dass ein Teil einer protoplanetaren Scheibe unter dem Einfluss der Gravitation direkt kollabiert und sich daraus ein Planet bildet. Dieser Vorgang, der an die Sternentstehung erinnert, ließ sich ebenfalls erfolgreich im Computer simulieren. Die sich zusammenziehende Materie hinterlässt in der Scheibe eine dunkle Lücke, und der kollabierende Bereich der Scheibe erwärmt sich. Der sich bildende Planet sollte somit deutlich heißer als seine Umgebung sein (Abb. 9, rechts).

Dieses frühe Stadium hoffen die Astronomen in wenigen Jahren mit dem geplanten Atacama Large Millimeter Array (ALMA) direkt beobachten zu können. ALMA ist ein Interferometer für den Wellenlängenbereich von 300 bis

Science-Shop.de
vor allem Wissen

Give me Five

DIE FÜNF BESTSELLER ZUR ASTRONOMIE IM SCIENCE-SHOP

1.

Jim Bell
■ Postkarten vom Mars
Der erste Fotograf auf dem Roten Planeten
2007, XII, 196 Seiten mit 160 Farbabbildungen, geb., Spektrum.
Bestell-Nr. 2485. € 49,95 (D), € 51,35 (A)

2.

Brian May, Patrick Moore, Chris Lintott
■ Bang! Die ganze Geschichte des Universums
2007, 192 S. m. 200 Farbabb., geb., Kosmos.
Bestell-Nr. 2440.
€ 29,90 (D), € 30,80 (A)

3.

■ Kosmos Astronomie-Puzzle Kassiopeia
1000 Teile
2007, Format: 66 x 47 cm, Kosmos.
Bestell-Nr. 2297. € 9,95 (D), € 10,30 (A)

4.

■ Der Sonnen-Projektor
Gefahrlos und bequem die Sonne beobachten
Originaleinband des Verlags, SUNWATCH.
Bestell-Nr. 1709.
€ 19,90 (D), € 20,50 (A)

5.

Hanns Ruder
■ Astrophysik: 3 Vorlesungen, 3 DVD-Videos
Dunkle Materie und dunkle Energie; Geburt, Leben und Sterben der Sterne; Gravitationswellen-Astronomie
Uni auditorium, 2007, Laufzeit: ca. 180 Min., 3 DVD-Videos. Komplett-Media.
Bestell-Nr. 2500. € 39,95 (D), € 39,95 (A)

Die aktuelle Bestsellerliste finden Sie immer unter: www.science-shop.de/astrotopfive

Bequem bestellen: → per E-Mail info@science-shop.de
→ telefonisch 06221 9126-841

*Bestellungen in D & A unter € 20,– sowie Bestellungen im sonst. Ausland berechnen wir mit € 3,50. Alle Preise inkl. Umsatzsteuer. Preise unter Vorbehalt. Spektrum der Wissenschaft Verlagsges. mbH

tausend Mikrometern. Zum Erdboden dringt Strahlung dieses Spektralbereichs kaum durch, da sie vom Wasserdampf der Erdatmosphäre absorbiert wird. Deshalb wählten die Astronomen als Standort für ALMA eine rund 5000 Meter hoch gelegene Ebene in der chilenischen Atacama-Wüste, wo der Wasserdampfgehalt der Luft extrem gering ist. In seiner für das Jahr 2012 geplanten Endausbaustufe wird ALMA aus rund fünfzig Parabolantennen von jeweils zwölf Meter Durchmesser bestehen. Das Zusammenschalten der Antennen zu einem Interferometer ergibt ein Auflösungsvermögen, das dem eines hypothetischen Teleskops mit vierzehn Kilometer Spiegeldurchmesser entspricht.

Staub im Sonnensystem

Auch die uns bekannten Planeten, Monde, Kleinplaneten und Kometen bildeten sich aus Staub. Deshalb weist auch die interplanetare Materie unseres Sonnensystems eine Staubkomponente auf. Sie ist gewissermaßen das Relikt der zirkumsolaren Staubscheibe, aus der unser Planetensystem hervorging. Der interplanetare Staub offenbart sich bereits dem unbewaffneten menschlichen Auge als Leuchterscheinung, die als Tierkreis- oder Zodiakallicht beziehungsweise Gegenschein bekannt ist.

Das Zodiakallicht lässt sich zum Ende der Abenddämmerung und zu Beginn der Morgendämmerung beobachten, wenn die Sonne mindestens 16 Grad unter dem Horizont steht. Von einem dunklen Standort aus und wenn kein Mondlicht die Beobachtung stört, zeigt sich dann das Zodiakallicht als eine kegelförmige, schwache Aufhellung (Abb. 10). Die Basis dieses zarten Lichtkegels bildet der Horizont, die Spitze zeigt in Richtung des Meridians und kann eine Höhe von bis zu fünfzig Grad erreichen. Die Breite der Basis beträgt etwa dreißig Grad.

Die untere der drei Abbildungen auf Seite 48 belegt, dass sich der schwache Lichtschimmer des Zodiakallichts entlang der Ekliptik ausbreitet. Somit ist er umso günstiger zu beobachten, je steiler die Ekliptik zum Horizont steht. Am besten ist daher das Zodiakallicht in den Tropen zu sehen, oder in Europa im Frühjahr am Abendhimmel beziehungsweise im Herbst am Morgenhimmel.

Unter extrem günstigen Sichtbedingungen ist auch der Gegenschein zu erkennen. Wie der Name andeutet, ist er eine Aufhellung des Himmelshintergrundes in 180 Grad ekliptikaler Längendifferenz zur Sonne. Der Gegenschein kulminiert somit um Mitternacht. Dabei handelt es sich um Sonnenlicht, das an interplanetaren Staubpartikeln gestreut wird. Der schwache Lichtfleck erstreckt sich über rund dreißig Grad in ekliptikaler Länge und zwanzig Grad in ekliptikaler Breite. Der mit bloßem Auge erkennbare Teil des Gegenscheins weist allerdings einen Durchmesser von nur etwa drei Grad auf und erscheint kreisrund. Photometrische Messungen lassen auch Lichtbrücken zwischen den Zodiakallichtkegeln und dem Gegenschein erkennen.

Den interplanetaren Staub untersuchten die Astronomen mit Hilfe von Raumsonden und Weltraumobservatorien. In den 1970er Jahren wiesen sie mit den HELIOS-Raumsonden einen kontinuierlichen Anstieg der Dichte der zirkumsolaren Staubwolke in Richtung zur Sonne nach. Im Infraroten beobachteten die Satelliten IRAS (Infrared Astronomical Satellite) und ISO (Infrared Space Observatory) die thermische Strahlung der interplanetaren Staubkomponente. Von der Existenz interplanetarer Staubkörner zeugen auch winzige Einschlagkrater mit Größen von weniger als einem Millimeter im Mondgestein sowie in Satelliten und Raumsonden, insbesondere im Space Shuttle. Als Quellen kommen in erster Linie sich auflösende Kometenkerne in Frage sowie Kollisionen der Asteroiden. Zudem dringt auch interstellarer Staub ins Sonnensystem.

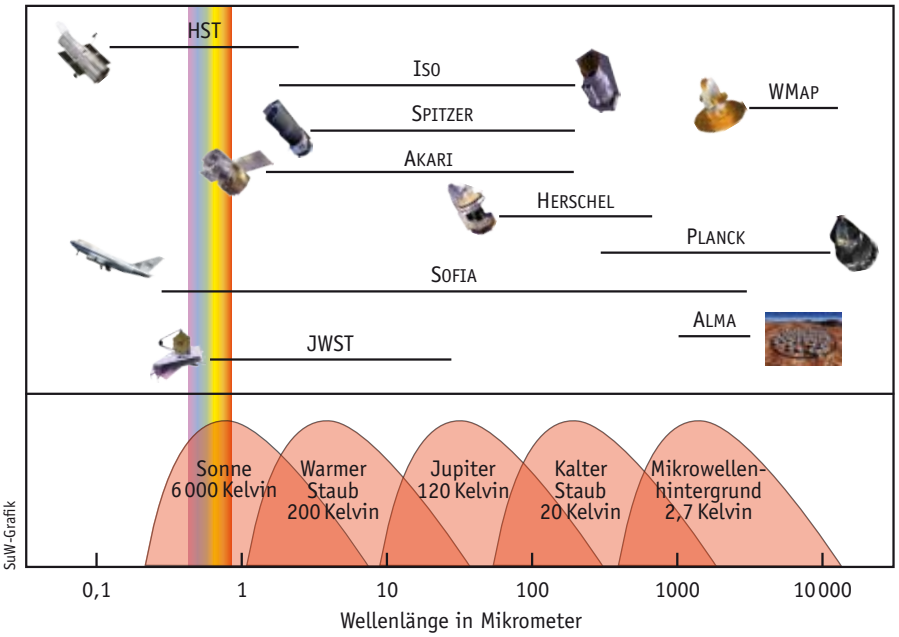
Staubforschung heute und morgen

Die vorangegangenen Abschnitte lieferten Beispiele dafür, welche grundlegenden Erkenntnisse die Beobachtung kosmischen Staubs über unsere galaktische Umgebung, über das Werden und Vergehen von Sternen und über die Entstehung von Planeten ermöglicht. Trotz der erreichten Fortschritte blieben hier noch wichtige Fragen offen. Ebenfalls rätselhaft ist die Bildung interstellaren Staubs in der

Sebastian Voltmer

Abb. 10: Der Lichtschimmer des Zodiakallichts zeigt sich kurz vor Sonnenaufgang und kurz nach Sonnenuntergang als kegelförmige Aufhellung über dem östlichen beziehungsweise westlichen Horizont. Er entsteht durch die Streuung des Sonnenlichts an Staubpartikeln unseres Planetensystems.

Abb. 11: Der untere Teil der Grafik zeigt schematisch die Spektren unterschiedlicher Komponenten des interstellaren Staubs. Zum Vergleich sind auch die Spektren der Sonne, des Jupiter und des Mikrowellenhintergrunds eingezeichnet. Die Wellenlänge des jeweiligen Maximums hängt von der Temperatur der Strahlungsquelle ab. Warmer Staub leuchtet vorzugsweise bei Wellenlängen um zehn Mikrometer, kalter Staub bei einigen hundert Mikrometern. Der obere Teil der Grafik gibt einen Überblick über die zur Erforschung des Staubs genutzten beziehungsweise geplanten Observatorien. Die waagerechten Linien markieren ihren jeweiligen Spektralbereich.



Frühphase des Universums. So beobachteten die Astronomen in der Umgebung ferner Quasare im damals noch sehr jungen Kosmos riesige Staubmengen, wobei sie auch einen erheblichen Anteil kalten Staubs mit Temperaturen von zehn bis zwanzig Kelvin nachwiesen. Ungeklärt ist, wie sich ein so hoher Staubanteil innerhalb einer relativ kurzen Zeitspanne von nur einer Milliarde Jahre nach dem Urknall bilden konnte.

Ein detaillierter Vergleich heutiger Modellvorstellungen mit Beobachtungsdaten erfordert empfindliche Teleskope für den infraroten Spektralbereich. Hier beeinträchtigt jedoch die Erdatmosphäre die Sicht, weshalb die Astronomen an hoch gelegene Standorte ausweichen oder Weltraumobservatorien nutzen. In den 1980er Jahren lieferte der europäisch-amerikanische Infrarotsatellit IRAS, in den 1990er Jahren der europäische Infrarotsatellit ISO entscheidende Beiträge zur Erforschung des kosmischen Staubs.

Derzeit befinden sich zwei aktive Weltraumteleskope für den Infrarotbereich in Erdumlaufbahnen: Das im Jahr 2003 von der NASA gestartete Observatorium SPITZER und der im Jahr 2006 gestartete japanische Satellit AKARI. SPITZER verfügt über ein 85-, AKARI über ein 68,5-Zentimeter-Spiegelteleskop. Bei beiden Instrumenten halten Kühleinrichtungen die Kameras auf Temperaturen von wenigen Grad über dem absoluten Nullpunkt. Anderenfalls würde die Wärmestrahlung des Teleskops die Beobachtung schwacher Quellen beeinträchtigen. Bei AKARI ist der Vorrat an Kühlmittel bereits verbraucht, sodass sich dieser Satellit nur noch eingeschränkt nutzen lässt.

In Kürze werden auch europäische Astronomen mit leistungsfähigen Teleskopen für den Infrarotbereich aufwarten. Noch in diesem Jahr soll der mit einem 3,5-Meter-Spiegel ausgerüstete Satellit HERSCHEL seinen Betrieb aufnehmen, dicht gefolgt vom Flugzeugobservatorium SOFIA im Jahr 2009. Dieses »Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie« besteht aus einem 2,7-Meter-Spiegelteleskop an Bord einer umgebauten Boeing 747 SP. In der vorgesehenen Flughöhe von dreizehn Kilometern lässt das Flugzeug 99 Prozent der störenden Erdatmosphäre unter sich.

Ab dem Jahr 2013, wenn das James Webb Space Telescope mit seinem 6,5-Meter-Spiegel die Nachfolge des Weltraumteleskops HUBBLE antritt, bricht für die Erforschung des kosmischen Staubs ein goldenes Zeitalter an. Dann werden die Astronomen im Zusammenspiel mit den den vier Acht-Meter-Spiegeln des Very Large Telescope und der fünfzig Parabolantennen des Interferometers ALMA den kosmischen Staub im gesamten Spektralbereich zwischen optischen Wellenlängen und Radiowellenlängen lückenlos erforschen können. □

Interessante Weblinks zum Thema finden Sie unter **www.suw-online.de/artikel/941004**.

Hans-Ulrich Keller ist seit 1976 Direktor des Carl-Zeiss-Planetariums Stuttgart mit der Sternwarte Welzheim und Professor für Astronomie an der Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik und Geodäsie der Universität Stuttgart. Seit 1981 ist er Herausgeber des astronomischen Jahrbuchs »Kosmos Himmelsjahr«.

Astroschnäppchen

Slawik/Reichert

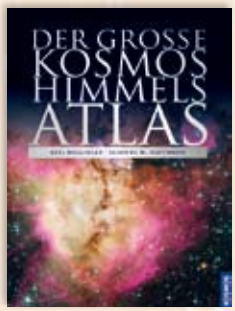
■ Atlas der Sternbilder

Ein astronomischer Wegweiser in Photographien

2004, 212 S. m. zahlr. Farbfotos sowie zweifarb. Sternkarten, geb., Spektrum.

Bestell-Nr. 1712. Früher € 50,–,
jetzt nur € 19,95 (D), € 20,50 (A)

Der Atlas der Sternbilder ist einzigartig: Erstmals ist der gesamte Himmel in großformatigen Farbfotos hervorragender Qualität abgebildet. Mit einer besonderen Aufnahmetechnik ist es gelungen, die Helligkeitsunterschiede der Sterne so auf dem Film abzubilden, wie das Auge sie wahrnimmt.



Hoffmann, Mellinger

■ Der große Kosmos Himmelsatlas

Neuaufl. 2008. 96 S., 32 Foto-Sternkarten, 140 Farbfotos, 40 Illustrationen, geb., Kosmos.

Bestell-Nr. 2032.
Originalausgabe € 39,90,
jetzt nur € 15,– (D), € 15,50 (A)

In diesem wunderschönen Himmelsatlas zeigen sensationelle Panoramaaufnahmen alle Sternbilder des Nord- und Südhimmels so, wie man sie in einer sternklaren Nacht beobachten kann. Mit ausführliche Informationen zu den Sternen und mehr als 140 Himmelsobjekten sowie umfangreichen Tipps für die eigene Himmelsbeobachtung.

Bestellen Sie bequem telefonisch: 06221 9126-841

Govert Schilling

■ Das Kosmos Buch der Astronomie

2003, 256 S. m. zahlr. meist farb. Abb., geb., Kosmos.

Bestell-Nr. 1588.
Früher € 24,90,
jetzt € 12,95 (D),
€ 13,40 (A)

Dieses Buch führt fundiert durch die Welt von Sonne, Mond und Sternen und gibt Tipps zur eigenen Himmelsbeobachtung. Mit spektakulären Weltraumfotos, vielen Illustrationen und Sternkarten für alle Jahreszeiten, kurz: ein Astronomiebuch für die ganze Familie!

Craig Crossen/Gerald Rhemann

■ Sky Vistas

Astronomy for Binoculars and Richest-Field Telescopes

2003, 300 p. w. 150 figs. (some col.), geb., Springer.

Bestell-Nr. 2217.
Früher € 58,80,
jetzt nur € 14,95 (D), € 15,40 (A)

This book is primarily a practical guide for observers with normal or giant binoculars, or richestfield telescopes, who wish to get the most out of their instruments. Apart from that, it is also a readable, well-illustrated book for armchair observers.

Ulrich Walter

■ Außerirdische und Astronauten

Zivilisationen im All

2001, 284 S., m. zahlr. meist farb. Abb., kart., Spektrum.

Bestell-Nr. 2536.
Früher € 39,88,
jetzt nur € 9,95 (D), € 10,30 (A)

Es ist so gut wie sicher, dass es im Universum Außerirdische gibt. Es ist so gut wie ausgeschlossen, dass wir jemals mit ihnen kommunizieren oder ihnen begegnen. Der Wissenschaftsastronaut Ulrich Walter entwickelt diese Thesen in einem spannenden Dialog mit seinem Leser.

John S. Lewis

■ Bomben aus dem All

Die kosmische Bedrohung

1997, 311 S., s/w.-Abb., geb., Birkhäuser.

Bestell-Nr. 2534.
Früher € 25,46,
jetzt nur € 7,95 (D),
€ 8,20 (A)

Der Autor diskutiert in diesem Buch ausführlich alle Aspekte einer Bedrohung durch einen Meteoriten- oder Asteroideneinschlag. Er schildert Katastrophen früherer Zeiten und berichtet von Einschlagskratern auf anderen Planeten.

Robert J. Nemiroff/
Jerry T. Bonnell

■ Das Universum – Tag für Tag

Immerwährender Kalender

2003, 25 x 17 cm, 744 S., 365 farb. Abb., geb., Knesebeck.

Bestell-Nr. 1714. Früher € 33,–
jetzt nur € 9,95 (D), € 10,30 (A)

Mit der Astronomie durch's Jahr: 365 Tage mit 365 Astronomie-Bildern, die jeweils von einem kompetenten Begleittext kommentiert werden.

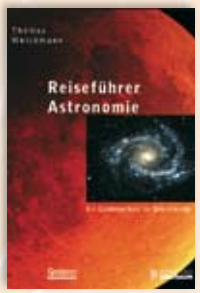
■ Alpha Centauri Teil 15 u. 16 im Paket

Vom Felsen zum Planeten/ Die Schwerkraft regiert

2007, je 143 Min., BRW-Service.

Bestell-Nr. 2476.
€ 34,95 (D),
€ 34,95 (A)

Was sind Gravitationswellen? Gab es den Stern von Bethlehem? Diese und weitere spannende Themen erklärt Prof. Harald Lesch gewohnt kompetent, einprägsam und kurzweilig in den zwei neuen DVDs zur faszinierenden BR-Sendereihe »Alpha Centauri«.
Ältere Folgen finden Sie hier:
www.science-shop.de/alphacentauri



Thomas Weickmann

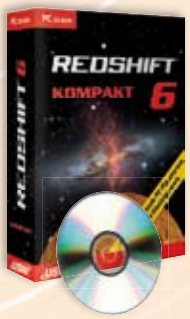
■ Reiseführer Astronomie

Ein Einsteigerkurs für Sternfreunde

2003, VIII, 232 S. m. 138 Farbabb., geb., Spektrum.

Bestell-Nr. 1586.
Früher € 32,–,
jetzt nur € 12,95 (D),
€ 13,40 (A)

Mit dem »Reiseführer Astronomie« ist Thomas Weickmann ein ungewöhnliches Buch für Einsteiger gelungen. Im souveränen Plauderton und mit originellem Konzept führt Sie Thomas Weickmann durch die wunderbare Welt der Astronomie. Neben guter Laune vermittelt das Buch aber auch exakte Kenntnisse. Sie erfahren so ziemlich alles, was auf 230 Seiten sinnvoll und verständlich über Astronomie gesagt werden kann. Das alles in einem ausgewogenen Verhältnis von Wissen und Konzept.



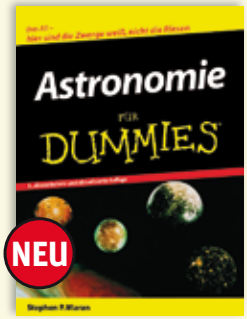
■ RedShift 6 Kompakt, CD-ROM

Das PC-Planetarium.

2008, für Windows 98SE/ ME/2000/XP/Vista, United Soft Media.

Bestell-Nr. 2541.
€ 19,90 (D), € 19,90 (A)

Vom Desktop aus das All erforschen – die Kompakt-Version des weltweit führenden PC-Planetariums »RedShift 6« ist der perfekte Einstieg in die virtuelle Himmelsbeobachtung. Zahlreiche Multimedia-Führungen zu eindrucksvollen Himmelsphänomenen und spektakulären Raumflügen er-weitern unterhaltsam und wissenschaftlich fundiert Ihre Kenntnisse über den Weltraum.



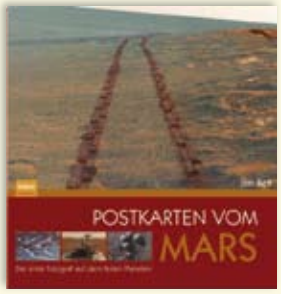
Stephen P. Maran

■ Astronomie für Dummies

3., überarb. u. aktualis. Aufl. 2008. 305 S. m. Abb. u. Cartoons, kart., Wiley-VCH

Bestell-Nr. 2519.
€ 16,95 (D),
€ 17,50 EUR (A)

Finden Sie die Geheimnisse des Kosmos auch so faszinierend? Und sind Sie erstaunt, wie viel die Wissenschaftler schon über weit entfernte Objekte herausfinden konnten? »Astronomie für Dummies« bringt Ihnen die unendliche Weite des Universums näher: Sie erkunden sowohl nahe Sonnensysteme als auch ferne Galaxien und schauen unter anderem hinter das Geheimnis von Milchstraße und Asteroidengürtel. Wie ein Krimi lesen sich Theorien zu Schwarze Löchern und zur Entstehung des Universums. Außerdem gibt Stephen P. Maran jede Menge Informationen zur besten Ausrüstung eines Astronoms, sodass Sie auch auf eigene Faust Sternbeobachtungen anstellen können.



Jim Bell

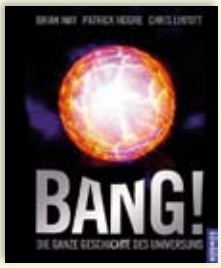
■ Postkarten vom Mars

Der erste Fotograf auf dem Roten Planeten

2007, XII, 196 Seiten mit 160 Farbabbildungen, gebunden, Spektrum.

Bestell-Nr. 2485. € 49,95 (D), € 51,35 (A)

Der Mars – eine fremde Welt, viele Millionen Kilometer von uns entfernt. Aber die Raumsonden Spirit und Opportunity haben den Roten Planeten erreicht und unglaubliche Bilder von dessen Oberfläche zur Erde zurückgesandt. Dieses Buch präsentiert die eindrucksvollsten Aufnahmen – planetarische Landschaftsfotografie vom Feinsten! – und begleitet sie mit den spannenden Erläuterungen von Jim Bell, dem leitenden Fotografen der Mission.



Brian May, Patrick Moore, Chris Lintott

■ Bang! Die ganze Geschichte des Universums

2007, 192 S. m. 200 Farbabb., geb., Kosmos.

Bestell-Nr. 2440.
€ 29,90 (D),
€ 30,80 (A)

Auf dem neuesten Stand der Wissenschaft, in brillanter Klarheit geschrieben und in außergewöhnlicher Qualität illustriert, erzählt »Bang!« die ganze Geschichte des Universums – vom Urknall über die Entstehung der Sterne bis zum finalen Ende in ewiger Finsternis.

Eugen Reichl/Stefan Schiessl

■ Space 2008

Raumfahrtjahrbuch mit Chronik 2007

2007, 312 Seiten, kart., VFR e.V.

Bestell-Nr. 2517.
€ 14,90 (D),
€ 15,30 (A)

Das Jahrbuch zur spannenden Welt der Raumfahrt!

Neben der umfangreichen Jahreschronik zur Raumfahrt behandeln die Autoren aktuelle und faszinierende Schwerpunktthemen, zum Beispiel: • die Mondbasis Shackleton • Private Raumfahrt: erster Touristenflug rückt näher • Bau der Raumstation geht wieder voran • Selene und Chang'e auf Mondkurs • Die Geschichte der R-7 »Semjorka«

Portofreie Lieferung in D&A ab einem Bestellwert von € 20,–*

Hansjürg Geiger

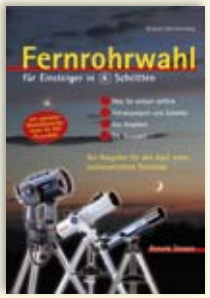
■ Aufbruch zu neuen Welten

Die Zukunft der Raumfahrt

2007, 140 S. m. 150 Farbabb., geb., Kosmos.

Bestell-Nr. 2474.
€ 19,95 (D),
€ 20,60 (A)

50 Jahre Raumfahrt liegen hinter uns – was wird die Zukunft bringen? Nach einem kurzen Rückblick nimmt dieses Buch den Leser mit auf eine Reise zu den kühnen Plänen der Raumfahrtnationen. Mit vielen beeindruckenden Abbildungen werden die spektakulären Erfolge der Vergangenheit und die ambitionierten Pläne der Zukunft vorgestellt.



Ronald Stoyan

■ Fernrohrwahl für Einsteiger in 4 Schritten

Ein Ratgeber für den Kauf des ersten astronomischen Fernrohrs

2007, 160 S. m. 100 farb. Abb., kart., Oculum.

Bestell-Nr. 2364.
€ 17,90 (D), € 18,40 (A)

Ausführlich werden die Fernrohrtypen mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt, sinnvolle Auswahlkriterien besprochen, nützliches Zubehör vorgestellt und erläutert, wie man die Qualität eines Fernrohrs schnell beurteilt.
Dazu eine umfangreiche tabellarische Übersicht von mehr als 500 auf dem deutschen Markt erhältlichen Teleskopmodellen, von denen die 20 beliebtesten Einsteigergeräte ausführlich besprochen werden. Für ungetrübte Freude an der Himmelsbeobachtung.

Erik Wischnewski

■ Astronomie in Theorie und Praxis

Einführungs- und Nachschlagewerk mit Formeln, Fakten, Hintergründen

3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Oktober 2006

727 Seiten mit zahlreichen Tabellen, Diagrammen und s/w-Abbildungen, geb., Selbstverlag.

Bestell-Nr. 2290. € 49,00 (D), € 30,80 (A)

Das ist neu: in der dritten Auflage ist das Kapitel Astrofotografie in erheblichem Maße um die Digitaltechnik erweitert worden. Außerdem gibt es das neue Kapitel Photometrie, das ergänzend zur visuellen Photometrie, welches weiterhin im Kapitel Veränderliche angesiedelt bleibt, nunmehr die lichtelektrische Digitalfotometrie mittels CMOS-Bildsensoren behandelt. Weitere Ergänzungen betreffen das Thema Taubildung, zahlreiche physikalische Effekte und viele Einzeldarstellungen. Außerdem wurde die Anregung eines Lesers aufgegriffen und viele Deep-Sky-Objekte ergänzt.

Johannes V. Feitzinger

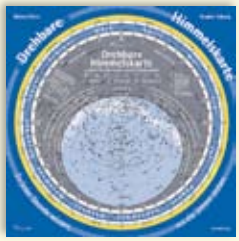
■ Galaxien und Kosmologie

Aufbau und Entwicklung des Universums

2007, 223 Seiten mit zahlreichen farb. Abbildungen., geb., Kosmos.

Bestell-Nr. 2363.
€ 29,90 (D),
€ 30,80 (A)

Das neue Jahrtausend begann mit einem kosmologischen Paukenschlag: Die Astronomen entdeckten, dass das Universum zu 96 % unsichtbar ist! Dunkle Materie und Dunkle Energie beherrschen den Kosmos und bestimmen sein Schicksal. Wie kamen die Astronomen zu diesem überraschenden Ergebnis und wie sieht unser heutiges Weltbild aus? Prof. Dr. Johannes V. Feitzinger gewährt mit diesem Buch einen umfassenden Einblick in die Evolution des Universums und die sie antreibenden Kräfte.



Michael Feiler/ Stephan Schurig

■ Drehbare Himmelskarte

Zu jeder Stunde wissen, wo die Sterne stehen

2. verbesserte Auflage: Wetterfeste Kunststoff-Version!

2007, Durchmesser: ca. 30 cm, Oculum.

Bestell-Nr. 2383. € 14,90 (D), € 15,40 (A)

Nie wieder planlos durch die Nacht: Über 700 Sterne und fast 250 Himmelsobjekte sind auf der knapp 30 cm großen Karte verzeichnet! Einzigartig ist eine spezielle Korrekturskala, mit deren Hilfe man ohne Rechnen die Korrektur für den Längengrad seines Beobachtungsorts einstellen kann. **Mehr drehbare Sternkarten finden Sie auf www.science-shop.de/sternkarten**

Bequem bestellen:
→ direkt bei www.science-shop.de
→ per E-Mail info@science-shop.de
→ telefonisch 06221 9126-841
→ per Fax 0711 7252-366
→ per Post Postfach 810680 • 70523 Stuttgart

*Bei Bestellungen in D & A unter € 20,– sowie Bestellungen im sonst. Ausland berechnen wir € 3,50. Alle Preise inkl. Umsatzsteuer. Preise unter Vorbehalt. Spektrum der Wissenschaft Verlagsges. mbH