

Ein Genie hat Geburtstag

Der Doppler-Effekt spielt in der modernen Astronomie eine zentrale Rolle. Sein Entdecker, vor 200 Jahren geboren, hatte seine eigenen Schwierigkeiten mit diesem Phänomen.

VON RUDOLF KIPPENHAHN

Vor 200 Jahren, am 29. November 1803, wurde der Entdecker des Doppler-Effektes geboren. Um Haaresbreite wäre es eine amerikanische Entdeckung geworden. Der Buchhalter der Baumwollspinnerei Wachtl & Co. in Bruck an der Leitha war verzweifelt. Da hatte er nun höhere Mathematik, Mechanik und Astronomie studiert, doch niemand hatte ihm eine Stelle angeboten, die seiner Ausbildung entsprach. Der junge Christian Andreas Doppler sah keine Möglichkeit, in der Österreich-Ungarischen Monarchie eine Anstellung zu bekommen, ja selbst in ganz Europa schien

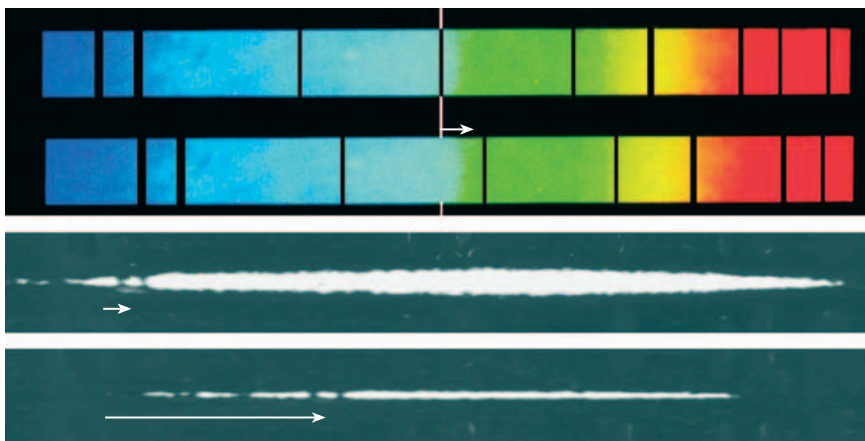
die Lage für ihn recht aussichtslos. Wozu hatte er neben den klassischen Sprachen auch Italienisch, Französisch und Englisch gelernt? Sollte er sein Glück in Amerika suchen, wie damals viele junge Leute? Er hatte schon mit dem amerikanischen Konsul in München Kontakt aufgenommen, doch im letzten Augenblick zeigte eine technische Fachhochschule in Prag Interesse. Bei einer Prüfung mit anschließender Probevorlesung schnitt er als Bester ab. Im März 1835 kam er nach Prag, in die Stadt, in der er seine wissenschaftlich erfolgreichsten Jahre verbringen sollte. Er lehrte höhere Mathematik, schrieb ein Lehrbuch und hielt auch Vorlesungen an der Prager Technischen Hochschule, die ihn schließlich im Jahre 1841 zum Professor berief. In dieser Zeit lernte Doppler den Mathematiker und Philosophen Bernhard Bolzano kennen, der damals einer der bekanntesten Gelehrten in Prag war.

Doppler soll damals von neuen Ideen nur so gesprüht haben. Viele stellten sich als Irrtümer heraus. Aber das gehörte wohl zum Genie Doppler. Man sagt, dass auch Faraday seine Sätze zur Elektrizitätslehre niemals gefunden hätte, wenn er mit der Mathematik besser vertraut gewesen wäre. Das gilt wohl auch für Doppler. Er war kein Mathematiker, er machte keine Experimente und auch kei-

ne astronomischen Beobachtungen. Vermutlich hat er nicht einmal die wissenschaftliche Literatur sorgfältig studiert. Aber gerade deshalb konnte er unkonventionelle Fragen stellen, und vielleicht erklärt das, wie er auf die Gedanken kam, die er in einer Abhandlung zusammenfasste und am 25. Mai 1842 der naturwissenschaftlichen Sektion der königlich-böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften in Prag vorlegte: »Über das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels«. Darin sagte er die Erscheinung voraus, die noch heute den Namen Doppler-Effekt trägt.

Er führte einen Umschwung im Denken der Astronomen herbei, ihm verdanken wir unser Wissen von der Expansion des Weltalls. Er zeigt uns die Landschaften unter den undurchsichtigen Wolken der Venus. Er verrät uns, dass viele Röntgenquellen um andere Sterne kreisen. Von ihm wissen wir, wie sich die Materie auf der Sonnenoberfläche bewegt, und wie die Fixsterne das Galaktische Zentrum umkreisen. Ja selbst bei der Entdeckung der Spiralstruktur unseres Milchstraßensystems hat der Doppler-Effekt Pate gestanden und ohne ihn wüssten wir nichts von Planeten, die ihre Bahnen um andere Sonnen ziehen. Dabei hatte Dopplers Arbeit in weiten Kreisen der Wissenschaft, vor allem bei den Astronomen, Protest ausgelöst, und das nicht einmal zu Unrecht.

▼ Die (schwarzen) Spektrallinien im Spektrum eines Stern (oberer Streifen) verschieben sich zum roten Ende des Spektrums hin, wenn sich der Stern von uns weg bewegt (zweiter Streifen). Darunter zwei Grautonbilder von Galaxienspektren. Die beiden Linien im blauen Spektralbereich stammen von den Atomen des Elements Kalzium und sind in den aufgenommenen Spektren nach rechts verschoben. Der dritte Streifen zeigt das Spektrum einer Galaxie, die sich mit 1200 km/s von uns entfernt, die Galaxie des vierten Streifens mit 15000 km/s.



Die Farben der Sterne

Vergegenwärtigen wir uns den Stand der Optik zu Dopplers Zeiten: Noch immer war nicht endgültig entschieden, was Licht eigentlich ist. Sind es Wellen, die sich in einem Medium ausbreiten wie Schall in der Luft? Dass Licht Welleneigenschaften besitzt, hatte schon 1801 der englische Arzt und Physiker Thomas Young nachgewiesen. Doppler beklagte, dass in der Diskussion des Für und Wider niemand die Konsequenzen der Wellenhypothese genauer studiert hätte. Eine



◀ Abb. 1: Christian Doppler (1803–1853)



▶ Abb. 2: Christoph H. D. Buys-Ballot (1817–1890)

dieser Konsequenzen führt er in seiner Abhandlung vor.

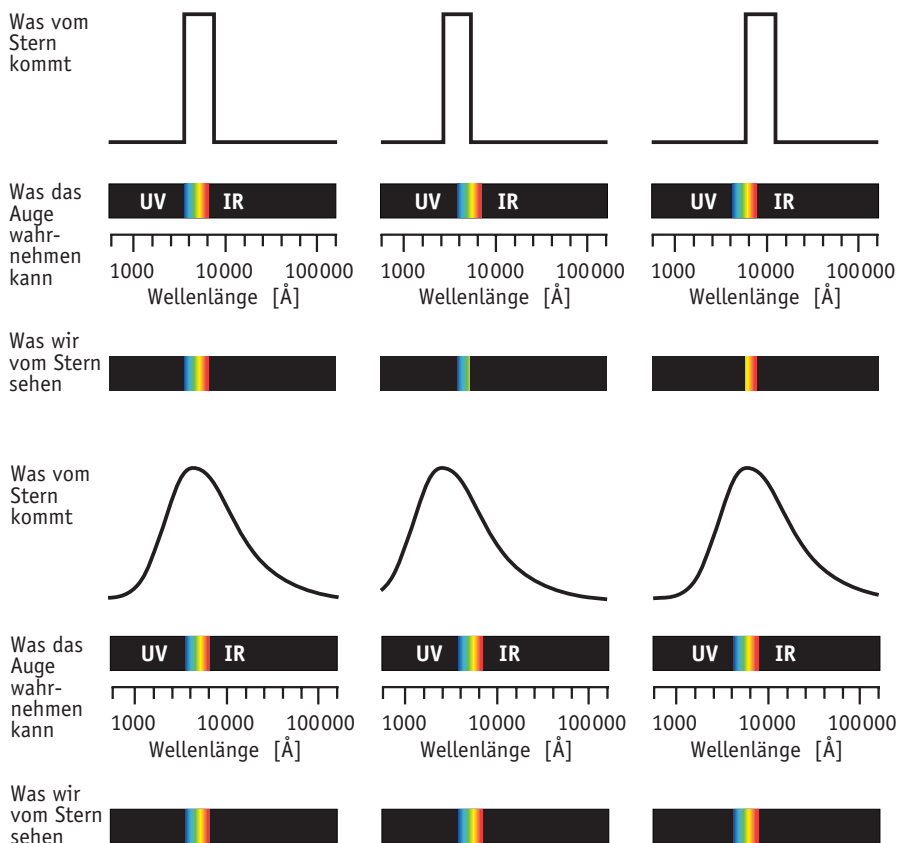
Wir können den Effekt heute leicht beobachten. Wenn die Hupe eines vorbeifahrenden Autos Schallwellen aussendet, so hören wir den Ton nur dann richtig, wenn die Tonquelle in Ruhe ist. Bewegt sich das Auto auf uns zu, so erscheint uns der Ton höher, bewegt es sich von uns weg, so ist er tiefer. Im Straßenverkehr merken wir ihn, wenn der Unfallwagen mit Martinshorn in der Gegenrichtung an uns vorbeifährt. Doch zu Dopplers Zeiten war die Welt langsam. Das schnellste Fahrzeug war die damals gerade erst in Betrieb genommene Eisenbahn. Tatsächlich prüfte nur drei Jahre nach Dopplers Veröffentlichung der holländische Physiker Christoph H. D. Buys-Ballot den Dopplereffekt an der Eisenbahnstrecke von Utrecht nach Marsden. Ein Trompeter stand auf einem offenen Eisenbahnwagen und mehrere Musiker mit guten Ohren standen am Bahndamm. Das Experiment war nicht leicht, denn der Lärm der Lokomotive störte. Doch die Beobachter an der Strecke hörten den Ton tatsächlich genau so verfälscht, wie es Dopplers Formeln vorhersagten. Als sorgfältiger Experimentator wiederholte Buys-Ballot das Experiment mit den Musikern im Zug und dem Trompeter am Bahndamm. Das Ergebnis war das gleiche. Dopplers Effekt gilt auch für Licht, das ja aus in regelmäßigen Abständen ausgesandten elektrischen und magnetischen »Wellenbergen« besteht, die sich mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum bewegen. Der Abstand

zwischen ihnen ist die Wellenlänge. Unser Auge empfindet sie als Farbe: Langwelliges Licht erscheint uns rot, kurzwelliges blau. Wenn ein Beobachter Licht von einer sich von ihm entfernenden Lichtquelle empfängt, kommen die einzelnen Wellenberge in kürzeren Abständen an, als sie ausgesandt worden sind. Die Wellenlänge des ankommenden Lichtes ist kürzer. Bewegt sich die Lichtquelle vom Beobachter weg, so erscheint die Wellenlänge des ankommenden Lichtes länger.

zwischen ihnen ist die Wellenlänge. Unser Auge empfindet sie als Farbe: Langwelliges Licht erscheint uns rot, kurzwelliges blau. Wenn ein Beobachter Licht von einer sich von ihm entfernenden Lichtquelle empfängt, kommen die einzelnen Wellenberge in kürzeren Abständen an, als sie ausgesandt worden sind. Die Wellenlänge des ankommenden Lichtes ist kürzer. Bewegt sich die Lichtquelle vom Beobachter weg, so erscheint die Wellenlänge des ankommenden Lichtes länger.

Dopplers Irrtum

Die Sterne zeigen verschiedene Farben. Der Stern Beteiguze im Orion ist rötlich, zahlreiche Sterne in der Nähe des Orionnebels erscheinen weiß oder fast blau. Doppler meinte, das könne nur von ihrer



◀ Abb. 3: Wie sich Doppler den Doppler-Effekt vorstellte: Sterne strahlen nur in einem schmalen Spektralbereich. Weder ultraviolettes (UV) noch infrarotes Licht (IR) wird ausgesandt (oben). Wenn der Stern ruht, nehmen wir alle Farben seines Spektrums wahr (links). Bewegt er sich auf uns zu, nehmen wir nur kurzwelliges (Mitte), bewegt er sich von uns weg, nur langwelliges Licht wahr (rechts).

◀ Abb. 4: In Wahrheit senden die Sterne Licht über einen breiten Bereich des Spektrums aus. Die Dopplerverschiebungen ändern die Farben der Sterne nur geringfügig, denn immer erhalten wir Licht im Gesamtbereich des vom Auge wahrnehmbaren Lichtes.

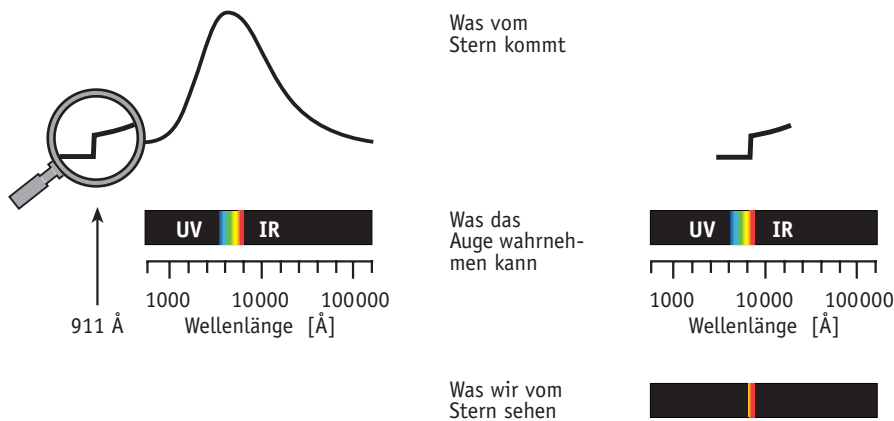


Abb. 5: Im extrem ultravioletten Licht besitzen die Sternspektren die nach Lyman benannte Kante im Bereich von 911 Angström. Bei einer Fluchtgeschwindigkeit von 95 % der Lichtgeschwindigkeit schiebt der Dopplereffekt diese Kante mitten in den Bereich des sichtbaren Lichtes. Wir sehen nur langwelliges, also rotes Licht. Der Doppler-Effekt lässt die Galaxien rot erscheinen.

Geschwindigkeit herrühren. Die blauen Sterne fliegen auf uns zu, die roten von uns weg.

Beim Versuch, die Fluchtgeschwindigkeit zu bestimmen, bei der ein Stern rot erscheint, unterlag Doppler einem entscheidenden Irrtum. Er hatte eben die wissenschaftliche Literatur seiner Zeit nicht systematisch verfolgt und nahm an, ein Stern wie die Sonne würde ausschließlich sichtbares Licht abstrahlen, also Licht, dessen Wellenlänge vom Blauen bis zum Roten reicht (Abb. 3). Das Spektrum der Sonne hatte bei ihm zwei scharfe Kanten, eine im kurzwelligen und eine im langwelligen Bereich. Seiner Meinung nach wird Strahlung mit Wellenlängen kürzer als 4000 Angström und länger als 6500 Angström weder von der Sonne noch von den Sternen ausgesandt. Er hätte es besser wissen müssen, denn schon im Jahre 1800 hatte William Herschel das infrarote Licht der Sonne entdeckt und nur ein Jahr später fand der Physiker Johann Wilhelm Ritter ihre Ultraviolettstrahlung (Abb. 4).

Kehren wir nun zu Dopplers Überlegungen zurück und stellen uns vor, ein Stern bewege sich mit großer Geschwindigkeit von uns weg. Dann verschiebt sich das blaue Sternlicht zu Wellenlängen, die wir als rot empfinden, während kein Licht in den Bereich des sichtbaren Lichtes fällt, das wir blau empfinden. Also erscheint uns der Stern rot. Entsprechendes gilt, wenn sich der Stern auf uns zu bewegt. Alle Wel-

lenlängen erscheinen uns kürzer, das rote Licht des Sterns würde für uns blau, sein blaues Licht würde so kurzwellig werden, dass es aus dem sichtbaren Bereich des Spektrums rutscht. Der Stern erschiene uns blau. Allerdings müsste sich in beiden Fällen der Stern relativ zu uns sehr rasch bewegen, vielleicht mit einem Viertel der Lichtgeschwindigkeit. Das rief damals die Astronomen auf den Plan, die nunmehr teils aus berechtigten, teils aus unberechtigten Gründen gegen die von Doppler aufgestellte These opponierten. Vor allem der durch seine Mondbeobachtungen bekannte Direktor der Sternwarte in Dorpat Johann Heinrich Mädler (1794–1874) hielt ihm vor, dass die Geschwindigkeiten der Sterne wesentlich kleiner sind. Die Sonne bewegt sich mit 250 km/s in unserem Milchstraßensystem. In Doppelsternen treten Umlaufgeschwindigkeiten um die 1000 km/s auf. Von größeren Geschwindigkeiten war damals nichts bekannt.

Dopplers Fehler lag in der Annahme, die Sterne würden nur sichtbares Licht aussenden. Bewegt sich der Stern auf uns zu oder von uns weg, dann schiebt sich in Wahrheit niemals eine Kante in den sichtbaren Bereich, jenseits der es keine Strahlung mehr gibt. Statt dessen tritt die ursprünglich unsichtbare Infrarot- oder Ultraviolettstrahlung in den sichtbaren Bereich des Spektrums. In den letzten Jahren des 19. Jahrhunderts schrieb der Potsdamer Astronom Julius Scheiner: »Die Gesamtheit des Lichtes wird nicht

geändert, da aus dem ultraroten oder ultravioletten Teil des Spektrums stets Ersatz der durch die Bewegung veränderten Strahlung stattfindet.«

Christian Doppler war von seiner ursprünglichen Idee nicht abzubringen. Bis zu seinem Tod 1852 war er überzeugt, dass die Farben der Sterne von ihrer Geschwindigkeit bestimmt werden. Heute wird in der Astrophysik der Doppler-Effekt an den Spektrallinien gemessen. Obwohl man die Spektrallinien im Sonnenlicht bereits seit 1802 kannte, hat sich Doppler nie auf sie bezogen. Es war der französische Physiker Armand H. L. Fizeau, der im Jahre 1848 darauf hinwies, dass der Dopplereffekt auch die Wellenlänge der Spektrallinien verschiebt. Doppler hat dies nie zur Kenntnis genommen. Für die Astronomen war erst das der große Schritt zur praktischen Anwendung. Nunmehr konnten sie im Weltall Geschwindigkeiten direkt messen.

Doppler erhielt zahlreiche Ehrungen, wurde Mitglied mehrerer angesehener Akademien und Ehrendoktor der Prager Universität. Gleichzeitig verschlechterte sich sein Gesundheitszustand und er musste seine Lehrverpflichtungen einschränken. Anfang des Jahres 1850 erhielt er den Ruf zum Professor für Experimentalphysik in Wien und wurde damit auch Direktor des dortigen Instituts für Physik. Im November 1852 reiste er nach Venedig, in der Hoffnung sein Lungenleiden, das ihn seit seiner Prager Zeit quälte, zu heilen. Doch vier Monate später starb er an einem Blutsturz.

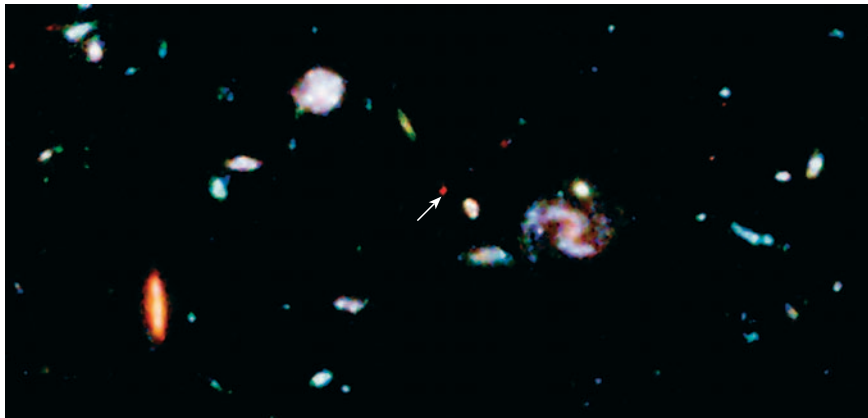
Einer von Dopplers Schülern wurde als Physiker berühmt, Ernst Mach (1838–1916). Von einem anderen wissen die Wenigsten, dass er einige Zeit bei Doppler gelernt hat: Der Mönch Gregor Mendel (1822–1884), der Erbsenzähler aus Brunn, dessen statistische Untersuchungen die Grundlagen der Genforschung lieferten.

Eigentlich doch kein Irrtum

Das expandierende Weltall hat uns in den letzten Jahren eine Überraschung beschert. Dopplers Gedanken über die Far-

Der Dopplereffekt bei Brieftauben

Der Vorsitzende des Vereins der Brieftaubenzüchter geht auf die Reise und verspricht seiner Familie, täglich einmal zu schreiben und dazu in 24-stündigem Abstand jeweils eine Taube loszulassen. Seine Tauben kommen dann, während er sich immer weiter von den Seinen entfernt, in größerem Abstand an, denn jedes Tier hat einen längeren Weg zurückzulegen als sein Vorgänger. Während er am Zielort verweilt, kommen die Tiere alle im 24-stündigen Abstand an, ist er aber auf dem Nachhauseweg, so kommen sie in kürzerem Abstand zurück, denn jedes Tier hat einen kürzeren Weg zurückzulegen als sein Vorgänger. Was für Brieftauben gilt, das ist auch für die in gleichem Zeitabstand ausgesandten Schallverdichtungen in der Luft und für die elektromagnetischen »Wellenberge« des Lichtes richtig.



◀ Abb. 6: Eine der entferntesten mit dem Weltraumteleskop HUBBLE aufgenommenen Galaxien erscheint dank des Dopplereffektes, als roter Punkt.

ben der Sterne sind nicht völlig irrig: Wir wissen, dass das Licht der Sterne nach dem kurzwelligen Licht hin zwar keine Kante von der von Doppler angenommenen Art zeigt, denn an das blaue Licht schließt sich nahtlos die für uns unsichtbare Ultraviolettstrahlung an, da ist keine Kante. Aber solch eine Kante gibt es an einer anderen Stelle des Spektrums. Das interstellare Gas besteht hauptsächlich aus Wasserstoff im Grundzustand. Das heißt, das Elektron des Wasserstoffatoms umläuft den Atomkern auf der innersten Bahn. Extrem kurzwelliges und daher energiereiches Licht kann das Elektron dem Kern entreißen. Die energiereichen Lichtquanten jedes Sterns einer fernen Galaxie treffen dort auf Wasserstoffato-

me, schlagen mit ihrer Energie die Elektronen ab und gehen dabei verloren. Es existiert also im Spektrum des von Galaxien kommenden Lichtes eine Kante. Sie liegt bei sehr viel kürzeren Wellenlängen als die von Doppler irrtümlich angenommene Kante am blauen Ende des sichtbaren Bereiches (Abb. 5). Anders als zu Dopplers Zeiten kennen wir heute auch hohe Geschwindigkeiten. Wenn sich eine Galaxie mit mehr als 95 % der Lichtgeschwindigkeit von uns weg bewegt, rutscht diese Kante, die nach dem amerikanischen Physiker Theodore Lyman (1974–1954) die Lyman-Kante heißt, mitten in das sichtbare Spektrum. Dann geschieht genau das, was Doppler vermutet hatte: Die mit dem Weltraumteleskop

HUBBLE aufgenommenen fernsten Galaxien sind tatsächlich rot (Abb. 6) – hätte Christian Doppler das doch erleben können!

Den Dopplereffekt nutzen auch die Mediziner. Ultraschall von 5 Megahertz, der vom Blut in den Adern reflektiert wird, gestattet, die Geschwindigkeit des Blutstromes zu messen. Der Dopplereffekt der von einem Fahrzeug reflektierten Radarstrahlung lässt die Raser auf der Autobahn erkennen und die Blitzlichtkamera auslösen. Irgendwie ist es erhebend zu wissen, dass ich meine Punkte in Flensburg einer so hochinteressanten Naturscheinung verdanke. □



Rudolf Kippenhahn,
Astronom und Schriftsteller.

AHNERTS ASTRONOMISCHES JAHRBUCH 2004

– jetzt im neuen Magazin-Format!



AHNERTS ASTRONOMISCHES JAHRBUCH, das unentbehrliche Standardwerk für Hobbyastronomen, enthält in gewohnter Qualität alle Informationen über die aktuellen Ereignisse am Himmel, versehen mit Tabellen und Diagrammen zur Planung und Auswertung eigener Beobachtungen. In den Monatsübersichten wird u. a. dargestellt, welchen Planeten und hellen Sternen der Mond begegnet und welche Sternschnuppenströme zu beobachten sind. Einsteiger werden sorgfältig angeleitet, die Planeten und die Sternbilder am Himmel zu finden.

Alle Amateurastronomen erhalten zudem wertvolle Tipps zur Beobachtung von Deep-Sky-Objekten und natürlich wird auch über den Vorübergang der Venus vor der Sonnenscheibe im Juni berichtet.

AHNERTS ASTRONOMISCHES JAHRBUCH 2004, 192 Seiten mit ca. 150 überwiegend farbigen Fotografien und Grafiken; € 9,80 zzgl. Porto, als Standing Order € 8,50 inkl. Porto Inland; ISBN 3-936278-41-5

Alle Preise verstehen sich inkl. Umsatzsteuer.

Eine Bestellmöglichkeit finden Sie auf dem hinteren Beihefter oder im Internet unter: **www.suw-online.de**