



# Kosmische Unfälle

## Galaxien im Zusammenstoß

VON THILO GÜNTER

Nahezu jede Galaxie kollidiert im Laufe ihrer Entwicklung mit einem anderen Sternsystem. Beobachtungen mit modernen Teleskopen entschlüsseln die hohe Dramatik dieser wechselvollen Geschichte.

**G**alaxien sind gewaltige Ansammlungen von vielen Millionen bis Milliarden von Sternen, sie bilden somit »Inseln« im Kosmos und reisen zumeist in Gruppen oder gar Haufen durch das expandierende Universum. Die astronomische Forschung lieferte in den vergangenen Jahrzehnten unter Einsatz immer leistungsfähiger Beobachtungsinstrumente eine Fülle von Kenntnissen darüber, was diesen so genannten Haufengalaxien widerfahren kann. Demnach kommt es innerhalb von Gruppen und Haufen zu nahen Begegnungen, Beinahe-Zusammenstößen oder sogar echten Kollisionen von Galaxien. Diese überaus eindrucksvollen Vorgänge, welche die beteiligten Systeme völlig deformieren und umfassende Sternentstehungsschübe auslösen können, beeinflussen Struktur und Entwicklung der Galaxien erheblich.

### Galaxien – eine Bestandsaufnahme

In den zwanziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts gelang es dem amerikanischen Astronomen Edwin Powell Hubble (1889–1953), einzelne Sterne innerhalb der Andromedagalaxie zu beobachten. Dabei widmete er sich den pulsierenden Veränderlichen des Typs  $\delta$  Cephei. Die Periodendauer ihres Lichtwechsels ist umso größer, je höher ihre absolute Helligkeit ist. Hubble ermittelte die absolute Helligkeit der Cepheiden,

verglich sie mit ihrer scheinbaren Helligkeit und berechnete daraus ihre Entfernung. Seine Ergebnisse belegten, dass sich die Andromedagalaxie weit außerhalb unseres Milchstraßensystems befindet.

Heute wird die Gesamtzahl der Galaxien im überschaubaren Universum auf etwa hundert Milliarden geschätzt. Gleichwohl sind Galaxien keine »Einheitsprodukte«: Die Riesen unter ihnen beherbergen bis zu einer Billion ( $10^{12}$ ) Sterne und weisen Durchmesser von bis zu 200 000 Lichtjahren auf. Zwerggalaxien enthalten dagegen weniger als hundert Millionen Sterne bei einer Minimalgröße von rund tausend Lichtjahren. Sieht man von der exotischen »Dunklen Materie«, die den Forschern heute Kopfzerbrechen bereitet, einmal ab, dann liegt bereits fast die gesamte Masse der Galaxien in Form von Sternen vor. Von den kalten, nicht leuchtenden interstellaren Gas- und Staubmassen – dem Stoff, aus dem neue Sterne entstehen können – existieren hingegen nur noch Reste, die je nach System maximal fünf Prozent zur Gesamtmasse beitragen. Bereits dieser Befund zeigt, dass sich die Galaxien und somit das Weltall in einem weit fortgeschrittenen Entwicklungsstadium befinden.

Interessant ist hierbei die Häufigkeit der unterschiedlichen Galaxientypen: Der Anteil der Spiralsysteme, ähnlich unserem Milchstraßensystem und dem Andromedanebel, beträgt nur zwanzig Pro-

zent. 55 Prozent der Systeme bezeichnen die Astronomen aufgrund ihrer Erscheinungsform als »Elliptische Galaxien«. Die restlichen 25 Prozent bilden die so genannten irregulären und amorphen Galaxien.

Glaubte man zu Beginn der Galaxienforschung noch daran, dass elliptische Systeme am Anfang und Spiralstrukturen eher am Ende der Galaxienentwicklung stehen, so ist nach aktuellem Wissensstand eher das Gegenteil der Fall. Es sind die elliptischen Riesengalaxien, die als Produkt der Verschmelzung von Galaxien gelten und mit ihrer Vielzahl das Bild eines bereits weit entwickelten Weltalls bekräftigen. Besonders auffällig ist überdies, dass Galaxien zumeist in Gruppen von maximal einigen Dutzend oder größeren Haufen mit hundert bis zehntausend Mitgliedern auftreten.

### Die Lokale Gruppe

Auch unser Milchstraßensystem, die Galaxis, ist Teil einer Galaxienansammlung von mehr als zwei Dutzend Systemen, der so genannten Lokalen Gruppe. Zusammen mit der mehr als zwei Millionen Lichtjahre entfernten Andromedagalaxie M31 dominiert unsere Galaxis die kleineren Mitglieder der Gruppe. Bei diesen handelt es sich zumeist um Zwerggalaxien. Trotz der Expansion des Universums entfernen sich die Gruppenmitglieder nicht voneinander, sondern bilden aufgrund ihrer Gravitation einen

 Abb. 1: In dieser Aufnahme des Weltraumteleskops HUBBLE zeigen sich deutlich die Auswirkungen der engen Begegnung der Galaxie M51 mit dem kleineren System NGC5195. Der nördliche Spiralarm von M51 verformte sich dabei, und die einstige Spiralstruktur des masseärmeren Partners wich einer irregulären Form.

## »Sterne und Weltraum« im Physik-Unterricht

**Z**u diesem Beitrag stehen Ihnen auf unserer Internetseite unter der URL [www.wissenschaft-schulen.de](http://www.wissenschaft-schulen.de) kostenlos didaktische Materialien zur Verfügung. Sie zeigen, wie sich mit Hilfe eines räumlichen Modells der Lokalen Gruppe die Geometrie sowie die Abstands- und Bewegungsverhältnisse der Sternsysteme

me unserer kosmischen Umgebung im Unterricht vermitteln lassen.

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

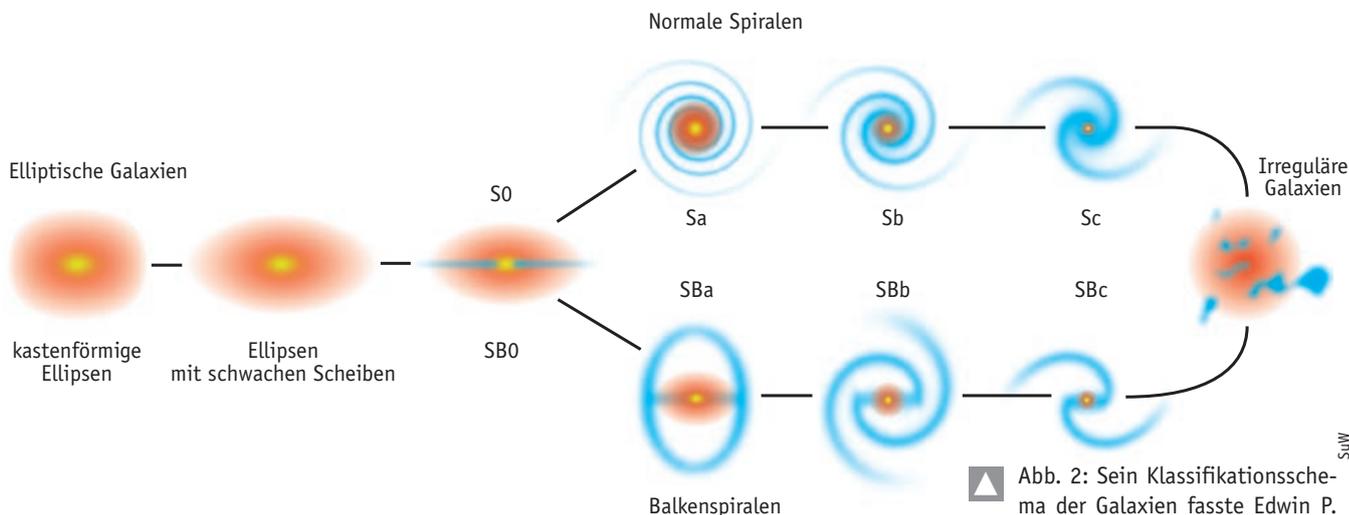


Abb. 2: Sein Klassifikationsschema der Galaxien fasste Edwin P. Hubble als Entwicklungssequenz auf: Aus den »frühen« elliptischen Galaxien sollten sich die »späten« Spiralgalaxien und Balkenspiralen entwickeln. Wie der vorliegende Beitrag zeigt, ist die Entwicklung der Galaxien jedoch durch Wechselwirkungen geprägt (diese waren seinerzeit nicht bekannt und verlaufen eher in der umgekehrten Richtung).

geschlossenen, festen Verband. Hieraus ergeben sich verschiedene beobachtbare Konsequenzen.

Eine davon ist der so genannte Magellansche Strom in der Umgebung unseres Milchstraßensystems (Abb. 4). Der im Radiobereich bei 21 Zentimeter beobachtbare Gasstrom besteht aus lang gezogenen Wolken neutralen Wasserstoffgases. Diese folgen der Großen und Kleinen Magellanschen Wolke, zwei rund 180000 Lichtjahre entfernten kleineren Nachbargalaxien, auf ihrer Bahn um unsere Galaxis. Das Wasserstoffgas des Magellanschen Stroms wurde durch die Gravitation des Milchstraßensystems aus den Magellanschen Wolken herausgelöst. Doch dabei allein blieb es nicht: Die Schwerkraft unserer Galaxis verformte auch die Große Magellansche Wolke.

Zudem fanden im Jahr 1994 die Astronomen Hinweise auf eine nur etwa tausend Lichtjahre große Zwerggalaxie nahe dem der Sonne entgegengesetzten Rand des Milchstraßensystems. Vermutlich nähert sich die Zwerggalaxie der Galaxis und könnte in ungefähr hundert Millionen Jahren von ihr einverleibt werden. Auch nähern sich unser Milchstraßensystem und die Andromedagalaxie aufgrund ihrer enormen Schwerkraft einander an. In etwa drei Milliarden Jahren werden die Systeme wohl frontal zusammenstoßen.

### Enge Begegnungen

In der Nachbarschaft der Lokalen Gruppe befinden sich mehrere unterschiedlich große Galaxienansammlungen bis hin zum gewaltigen, ungefähr 2500 Mitglieder umfassenden Virgohaufen in rund sechzig Millionen Lichtjahren Entfernung. Auch hier zeigt sich, dass sich im Zuge der mit dem Urknall begonnenen Expansion des Kosmos nicht die einzelnen Galaxien voneinander entfernen, sondern die Gruppen und Haufen, in denen sie konzentriert sind.

In der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts begannen die Astronomen mit der ersten ausführlichen Bestandsaufnahme solcher Ansammlungen und der in ihnen miteinander in Wechselwirkung stehenden Galaxien. Das Ergebnis war erstaunlich: Nahe Begegnungen bis hin zur Kollision erwiesen sich nicht etwa als seltene Ausnahme; vielmehr ließ sich abschätzen, dass fast jede Galaxie im Verlauf ihres Lebens einmal oder gar mehrfach in eine enge Wechselwirkung mit einem benachbarten System verwickelt sein muss. Die Relativgeschwindigkeit der betreffenden Galaxien zueinander kann dabei sehr groß sein und mehrere hundert Kilometer pro Sekunde betragen. Dennoch dauert ein naher Vorüberzug oder gar eine Kollision etwa hundert Millionen Jahre oder länger.

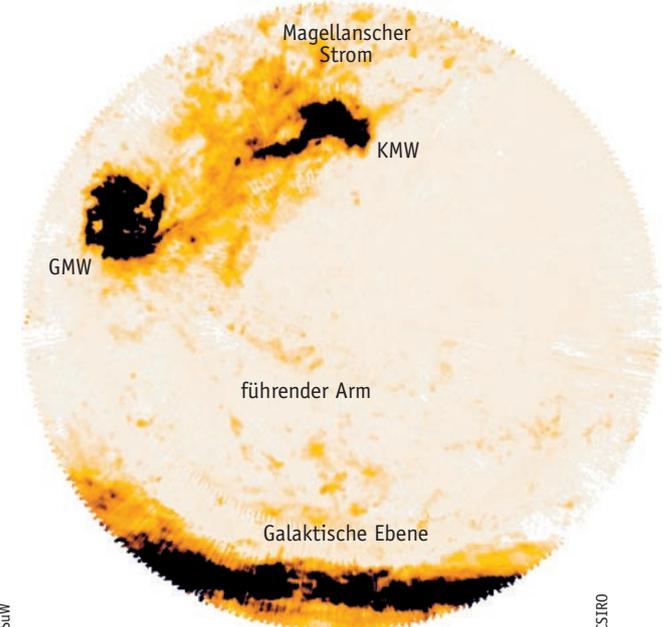
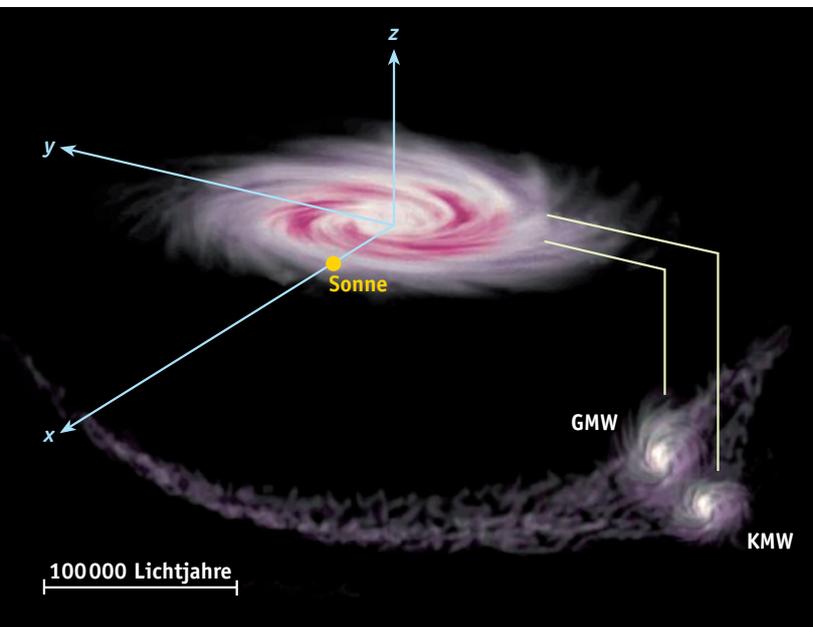
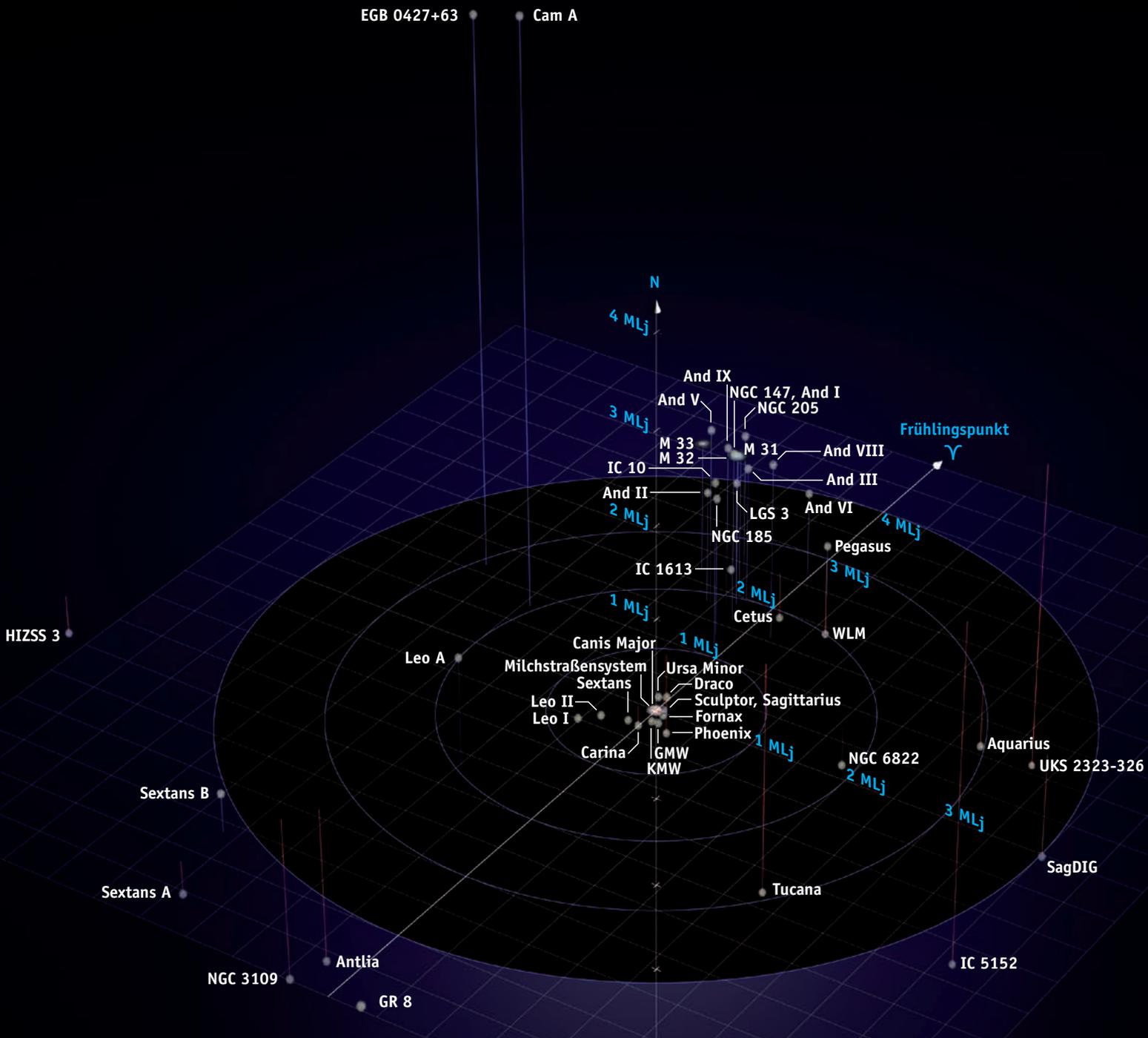
Eine Wechselwirkung tritt auf, wenn der Abstand der beteiligten Galaxien mit ihrem typischen Durchmesser von 100000 Lichtjahren vergleichbar ist. Die zwischen den Systemen wirkende Gravitationskraft ist dann am nahen Ende des jeweiligen Wechselwirkungspartners stärker als am fernen Ende. Die daraus resultierende Differenz der Kräfte bezeichnet man als Gezeitenkraft.

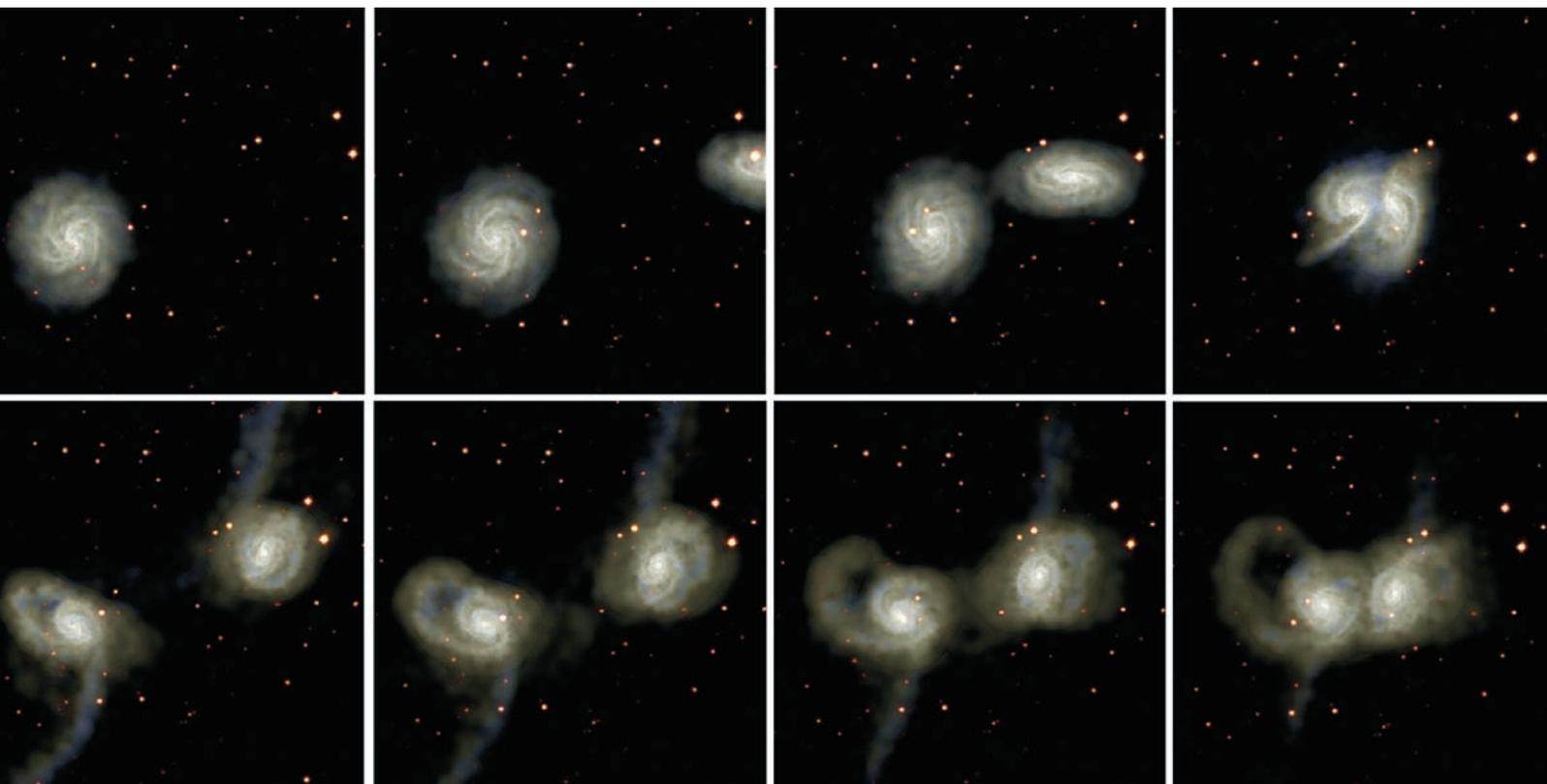
Ähnlich wie bei der Erkundung der Sternentwicklung von der Kontraktion einer Wolke interstellarer Materie über das Hauptreihenstadium bis hin zu den Endstadien als Weiße Zwerge oder Schwarze Löcher, sind die Astronomen auch bei der Erforschung von in Wechselwirkung stehenden Galaxien darauf angewiesen, möglichst viele Systeme in unterschiedlichen Stadien der Interaktion zu beobachten, um aus diesem Puzzle dann Rückschlüsse auf die hierbei wirksamen physikalischen Prozesse ziehen zu können.

Sind die physikalischen Grundlagen der Wechselwirkung verstanden, dann können die Astronomen die Begegnung der Galaxien im Computer nachbilden.

Abb. 3: Der Lokalen Gruppe gehören neben unserem Milchstraßensystem und der Andromedagalaxie mindestens vierzig weitere Mitglieder an, von denen 95 Prozent Zwerggalaxien sind. Doch diese bilden nur die »Spitze eines Eisbergs«: Die Astronomen schätzen, dass die Lokale Gruppe insgesamt mehrere hundert gravitativ aneinander gebundene Galaxien enthält.

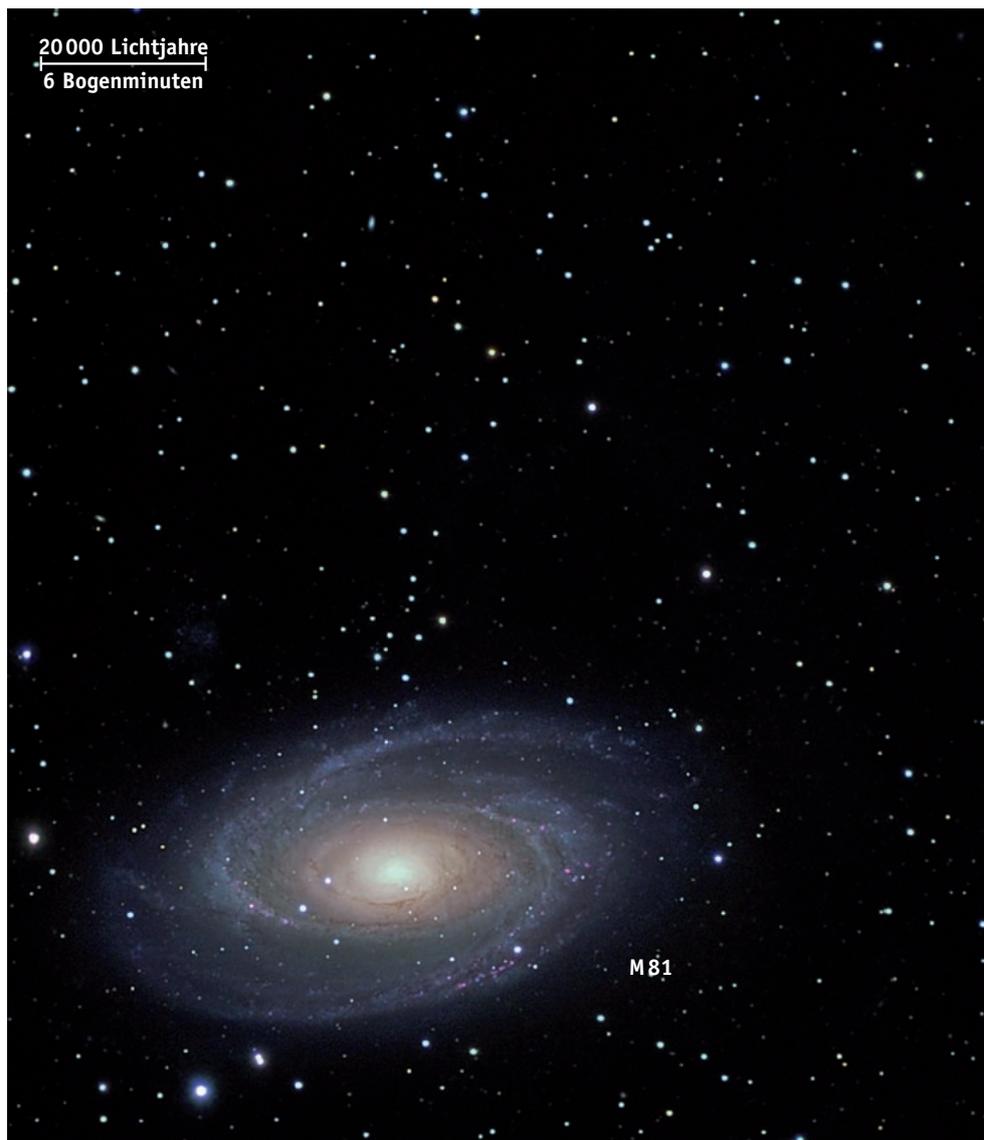
Abb. 4: Unter dem Einfluss von Gezeitenkräften bildete sich vor und hinter den Magellanschen Wolken eine lange Schleppe aus Wasserstoffgas, der »Magellansche Strom«. Australische Radioastronomen bildeten ihn im Licht der 21-Zentimeter-Linie des neutralen Wasserstoffs ab (rechts). Die Radiokarte zeigt ein 2400 Quadratgrad großes Feld um den südlichen Himmelspol.

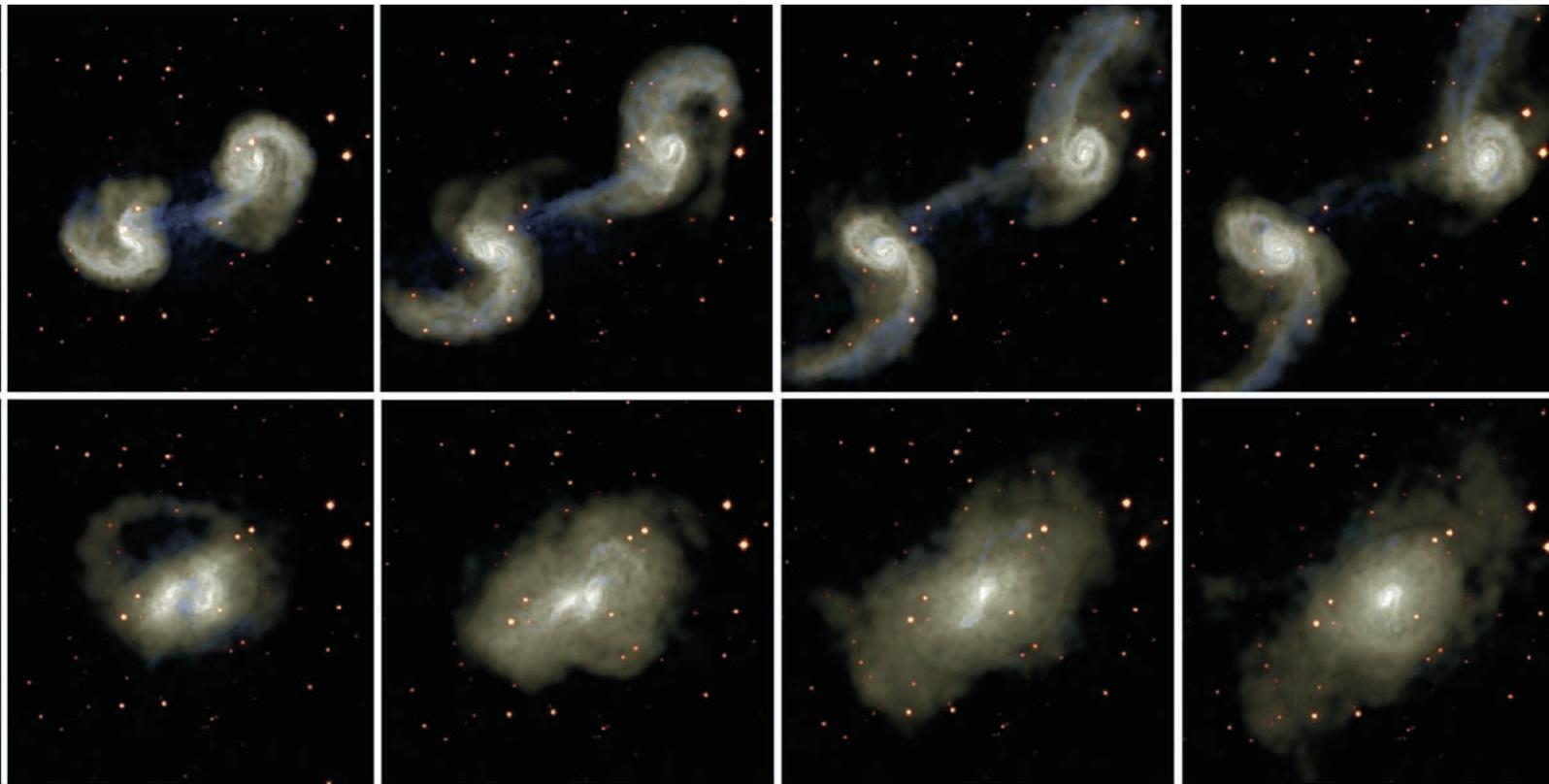




▲ Abb. 5: Diese Computersimulation zeigt die Kollision zweier Spiralgalaxien. Die Seitenlänge der Bilder beträgt jeweils 400 000 Lichtjahre, die Zeitspanne zwischen aufeinanderfolgenden Bildern 125 Millionen Jahre. (Bild: Volker Springel)

▶ Abb. 6: Wie eine Spindel erscheint die Galaxie M82 auf dieser Aufnahme. Ihre leuchtenden Filamente zeugen noch heute von einer Begegnung mit der massereicheren Galaxie M81. Diese kontrastiert M82 durch ihre wohlgeordnete Spiralstruktur mit feinen Staubbändern und rötlich leuchtenden Sternentstehungsgebieten. (Bild: Stefan Binnewies)





Seit den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts verfeinerten sie ständig die Computersimulationen und können heute die beobachteten Wechselwirkungseffekte im Zeitraffer erstaunlich detailliert darstellen (Abb. 5).

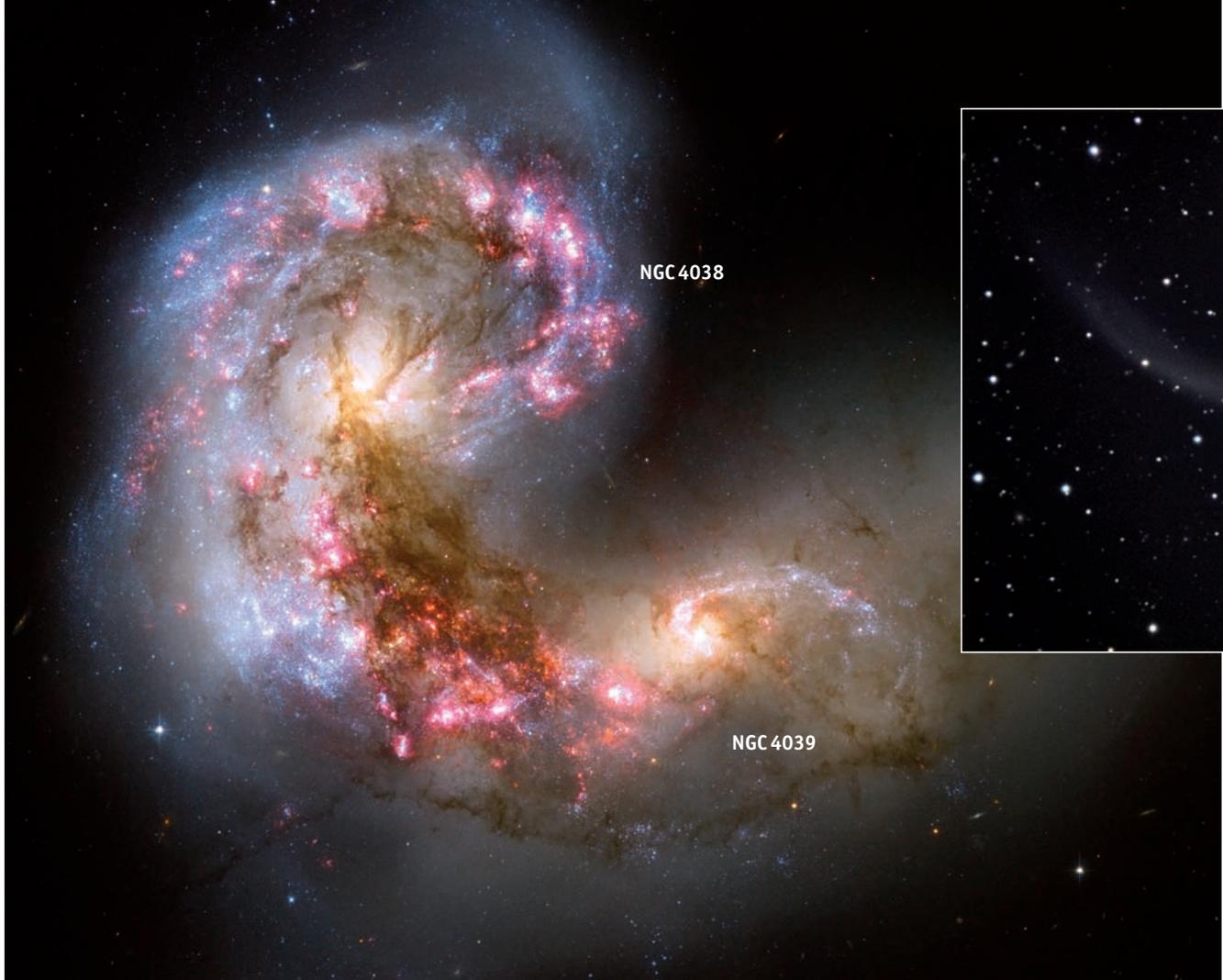
Bei einer nahen Begegnung von Galaxien lassen sich vielfältige Phänomene beobachten: von der Deformation der ursprünglichen Gestalt des Systems, leichten Verbiegungen der Scheibe (engl. Warps), bis hin zu Schweifen, Bögen und Brücken aus Sternen und Gas. Häufig beobachtet man auch einen Austausch von Sternen und Gas zwischen den Systemen, und es finden sich Hinweise auf gemeinsame Gashüllen für die Dauer der nahen Begegnung. Charakteristisch sind auch Sternentstehungsschübe (Starbursts) verbunden mit einer erhöhten Energieabstrahlung, insbesondere im Radio- und infraroten Wellenlängenbereich.

Es gibt zahlreiche bekannte Galaxien, bei denen sich die Folgen der Wechselwirkung exemplarisch zeigen. Hierbei ist von großer Bedeutung, ob die sich begegnenden Systeme ähnliche oder sehr unterschiedliche Massen aufweisen. So sind die rund zehn Millionen Lichtjahre entfernten benachbarten Galaxien M81 und M82 in eine gemeinsame Wolke aus neutralem, im Optischen unsichtbarem Wasserstoffgas eingehüllt. Bei diesen in Wechselwirkung stehenden Galaxien blieb die Spiralstruktur von M81, deren Masse um das Zehnfache höher als diejenige von M82 ist, weitgehend unverändert (Abb. 6).

Das kleinere System M82 besitzt dagegen keine klare Struktur und ist zudem eine Quelle erhöhter Radiostrahlung sowie ein Prototyp der so genannten Infrarotgalaxien. Die Astronomen gehen davon aus, dass der Vorbeiflug der massereichen Galaxie M81 wie ein Stoß auf die interstellare Materie in M82 wirkte, was letztlich zur Instabilität und dem Kollaps von Gaswolken führte und damit intensive Sternentstehung auslöste. Die neu entstandenen Sterne erwärmen dabei den in ihrer Umgebung verbliebenen Staub, der nun eine seiner Temperatur entsprechend intensive Infrarotstrahlung aussendet.

Solche Ausbrüche umfangreicher Sternentstehung (engl. Starbursts) können zwischen zehn Millionen und hundert Millionen Jahren andauern und Millionen neuer Sterne hervorbringen. Anders als beim Sternentstehungsprozess innerhalb einer ungestörten Galaxie ist hierbei der Anteil der sonst selteneren massereichen heißen Sterne (O- und B-Sterne) auffallend hoch. Vor diesem Hintergrund wird plausibel, dass viele Infrarotgalaxien einen nahen Begleiter aufweisen.

Sehr eindrucksvoll ist auch die streifende Begegnung des dreißig Millionen Lichtjahre entfernten Paares M51 und NGC 5195, die vor ungefähr hundert Millionen Jahren begann und noch andauert (siehe Abb. 1). Die durch die wesentlich massereichere Galaxie M51 verursachte Gezeitenkraft zerstörte die ursprüngliche Spiralstruktur des kleineren Partners NGC 5195 gänzlich. Doch aufgrund



der Nähe des kleineren Partners wurde dabei auch die Scheibe des auf den ersten Blick intakten Spiralsystems M 51 leicht verformt. Derjenige Spiralarm, der dem kleinen Begleiter zugewandt ist, zeigt eine deutliche Blaufärbung. Als Folge der Wechselwirkung entstanden und entstehen hier zahlreiche heiße, leuchtkräftige Sterne der Spektraltypen O und B, die vorzugsweise im blauen Licht leuchten.

Ein noch spektakuläreres Bild von der engen Begegnung zweier ursprünglicher Spiralsysteme zeigen Aufnahmen der so genannten Antennengalaxien (Abb. 7). Die Zentren der Systeme sind gegenwärtig nur rund 60 000 Lichtjahre voneinander entfernt, und in beiden entstehen zahlreiche Sterne. Möglicherweise werden dereinst beide Galaxien miteinander verschmelzen. Sollten sie sich jedoch wieder hinreichend voneinander entfernen, so kann die »ordnende« Wirkung ihrer jeweiligen Gravitation wieder regelmäßiger Strukturen, womöglich sogar mit neuen Spiralarmen, herstellen.

### Was geschieht beim Zusammenstoß?

Kosmische »Unfälle« zwischen Galaxien kommen recht häufig vor. Als Katastrophe sind sie jedoch nicht zu betrachten, denn es handelt sich eher um ein Durchdringen der beteiligten Systeme. Die Dis-

tanzen zwischen den einzelnen Sternen sind so groß, dass ein Zusammenstoß zwischen ihnen wenig wahrscheinlich ist: Gäbe es über der Wasseroberfläche des Bodensees nur zwei Mücken, dann wäre eine zufällige Begegnung der beiden Insekten wahrscheinlicher als eine Sternenkollision in einander durchdringenden Galaxien.

Im Falle einander durchdringender oder verschmelzender Systeme wird ihre ursprüngliche Struktur stark verändert. Beispielsweise können beim Hindurchflug einer Galaxie durch eine andere ringförmige Strukturen entstehen. Das Paradebeispiel eines derartigen Systems ist die 1994 mit dem Weltraumteleskop HUBBLE untersuchte, 500 Millionen Lichtjahre entfernte »Wagenradgalaxie« A 0035 (Abb. 8). Computermodellen zufolge durchdrang eine kompakte Zwerggalaxie vor 250 Millionen Jahren ein Spiralsystem mit einer so hohen Geschwindigkeit, dass das größere System sie nicht einfangen konnte – die Zwerggalaxie wanderte nach der schnellen Begegnung weiter. Zurück blieb das »große Wagenrad« mit einem Durchmesser von rund 150 000 Lichtjahren.

Dem ringförmigen Rand des Rades entspricht eine durch den Zusammenstoß erzeugte, von innen nach außen laufende Stoßwelle, vergleichbar mit der

Welle, die ein ins Wasser geworfener Stein verursacht. Aus dem durch die Stoßwelle verdichteten interstellaren Gas entstanden massereiche, heiße Sterne der Spektraltypen O und B, deren blaues Leuchten das Zentrum der Galaxie nun ringförmig umgibt. Zu diesem Szenario passt, dass sich in der Nähe nahezu jeder Ringgalaxie ein Begleiter findet.

Vergleichsweise häufiger verschmelzen Galaxien zu einem größeren System, typischerweise einer elliptischen Riesengalaxie, die im Extremfall eine Kugelform aufweist. Computersimulationen ergeben vom Beginn der Wechselwirkung der noch getrennten Systeme bis hin zur elliptischen Galaxie einen Zeitraum von bis zu einer Milliarde Jahren. Solche »Merger« (engl.: to merge = verschmelzen) entstehen aber nicht nur durch Kollisionen, sondern auch durch Beinahezusammenstöße mit geringen Relativgeschwindigkeiten. Falls sich zwei Galaxien so nahe kommen, dass sie eine Orbitalbewegung umeinander ausführen, so führt die Gezeitenwirkung zu inneren Reibungseffekten und damit zu einem Verlust an Bewegungsenergie auf ihrer Umlaufbahn. Dadurch nähern sich die Galaxien allmählich einander an und verschmelzen schließlich.

Einen Beleg dafür, dass aus der Galaxienverschmelzung tatsächlich elliptische



▲ Abb. 7: Diese Aufnahmen der »Antennengalaxien« NGC 4038/39 zeigen ein typisches Beispiel für die enge Begegnung zweier Spiralsysteme mit ähnlich großen Massen. Die Gezeitenkräfte veränderten die frühere Spiralstruktur der beteiligten Systeme völlig und führten zur Ausbildung langer Materiestränge, der »Antennen«.



▼ Abb. 8: Ein Frontalzusammenstoß zweier Sternsysteme hinterließ die als »Wagenrad« bezeichnete Galaxie A0035. Ähnlich wie bei einem ins Wasser fallenden Stein breitete sich um das Zentrum der Kollision eine ringförmige Stoßwelle aus. Die Wagenradgalaxie im südlichen Sternbild Bildhauer ist 500 Millionen Lichtjahre entfernt.

Riesengalaxien hervorgehen, liefern aufwändige Aufnahme- und Bildverarbeitungstechniken, welche im Innern solcher gewaltigen Objekte mitunter zwei oder gar drei Galaxienkerne nachweisen. Diese sind Überbleibsel der zuvor noch getrennten Wechselwirkungspartner und können sich ihrerseits, möglicherweise innerhalb von einer Milliarde Jahre, zu einem Riesenkern vereinigen.

Ein weiteres Szenario besteht darin, dass sich eine große Galaxie beim Zusammentreffen ein kleines System einverleibt und sich dabei selbst nicht grundlegend verändert. Im Laufe eines Galaxienlebens kann es wiederholt zu einem solchen »Kannibalismus« kommen. Denn statistisch gesehen kollidiert in dichten Galaxienhaufen innerhalb von einer Milliarde Jahre jedes System mit einem anderen.

Vor allem bei kollidierenden Galaxien lässt sich eine erhöhte Radiostrahlung beobachten, deren Intensität die Radioleuchtkraft einer gewöhnlichen Spiralgalaxie um das Hundertfache übersteigen kann. Die starke Radiostrahlung stammt von Supernovaüberresten, die in großer Zahl in den beteiligten Galaxien vorhanden sein können, denn die durch die Wechselwirkung entstandenen massereichen Sterne der Spektraltypen O und B sind recht kurzlebig. Bereits nach dreißig bis hundert Millionen Jahren – was etwa

einem Prozent der Lebensdauer unserer Sonne entspricht – explodieren sie als Supernovae. Die expandierenden Supernovaschalen enthalten Magnetfelder und geladene Teilchen, die sich nahezu mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Die Feldlinien lenken die Teilchen von ihrer Bahn ab, wobei diese intensive Radiostrahlung, die so genannte Synchrotronstrahlung, aussenden.

Darüberhinaus gibt es eine Querverbindung zwischen Wechselwirkungen und den so genannten aktiven Galaxien, von denen einige im Radiobereich durch eine gegenüber Spiralgalaxien tausendfach erhöhte Strahlung auffallen. Viele leuchten auch im Bereich der optischen und Röntgenwellenlängen extrem hell. Als Modell für die enorme Energiefreisetzung gilt inzwischen ein aktiver Galaxienkern (AGN), der ein extrem massereiches Schwarzes Loch mit der typischerweise milliardenfachen Masse der Sonne enthält. Dieses ist von einer hochgradig aufgeheizten und daher intensiv strahlenden Materiescheibe (Akkretionsscheibe) umgeben. Hinzu kommen in jeweils entgegengesetzte Richtungen vom Galaxienzentrum ausgehende Strahlströme aus relativistischen geladenen Teilchen und magnetischen Feldern, die Jets. In den Jets ist der bereits beschriebene Synchrotronmechanismus wirksam. Radiokarten



Der Bildband »Geschwister der Milchstraße« aus der Reihe ASTRONOMIE FÜR ALLE, ist das erste Heft, welches ausschließlich von Amateurastronomen aufgenommene Fotos zeigt. Von vielen Galaxien liegen hiermit die allerersten publizierten Farbaufnahmen vor, die oftmals mehr als die bisherigen Schwarz-Weiß-Aufnahmen zeigen. Zugleich wird an einem Beispiel demonstriert, wie Liebhaberastronomen heute mit einem 20-cm-Teleskop die Entdeckungen Hubbles mit seinem 250-cm-Teleskop nachvollziehen können.

Der Bildband »Geschwister der Milchstraße« kostet € 7,90

[www.spektrum.de/sonderhefte](http://www.spektrum.de/sonderhefte)

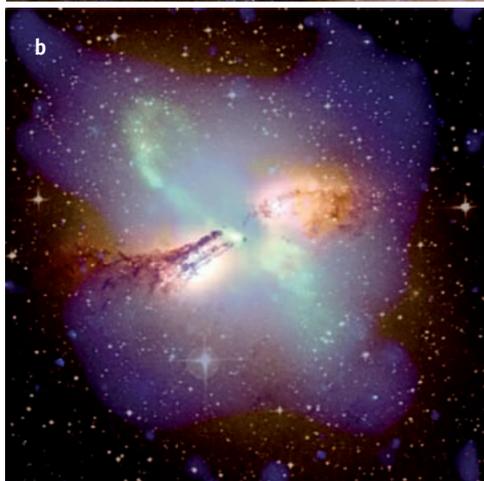
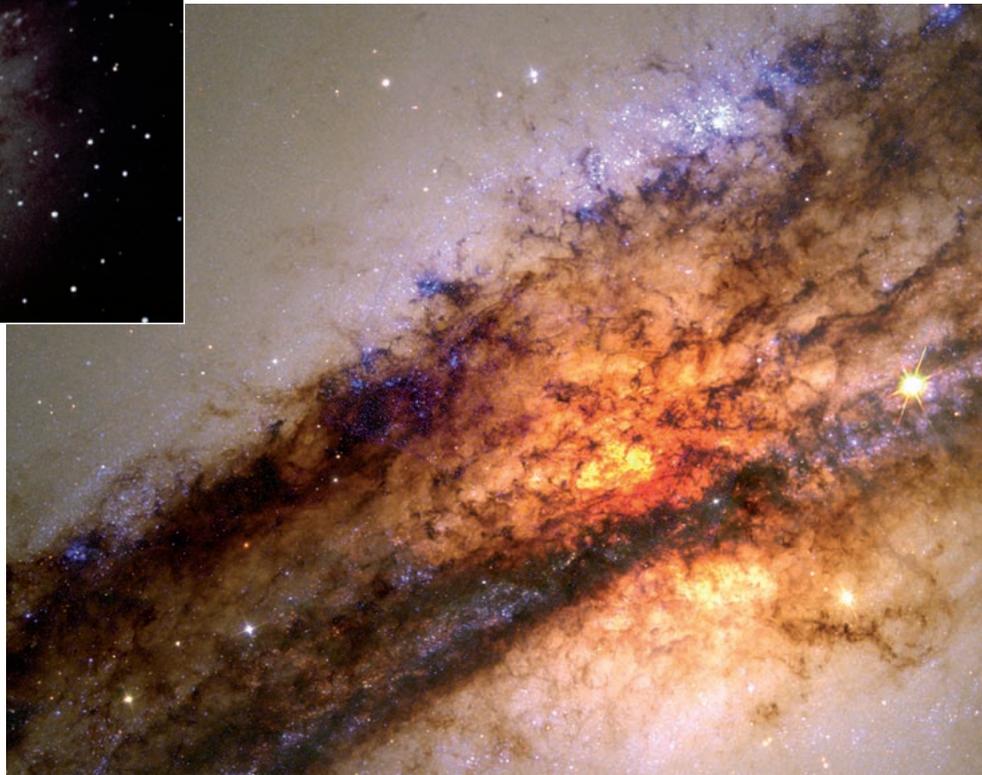
Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH  
Slevogtstraße 3–5 | 69126 Heidelberg | Tel 06221 9126-743 | Fax 06221 9126-751 | service@spektrum.com



▲ Abb. 9 a: Ein dunkles Staubband durchzieht die elliptische Galaxie Centaurus A. Beiderseits des Bands entstanden neue Sterne, die in einem blauen Licht leuchten.

b: Vom aktiven Kern der Galaxie breiten sich Jets aus, die im Synchrotronlicht relativistischer geladener Teilchen leuchten. Ihre mit dem Very Large Array gemessene Radiostrahlung ist hier grün dargestellt. Das gesamte System ist von einem heißen Gas umgeben, das bevorzugt bei Röntgenwellenlängen leuchtet und dessen mit dem Satelliten CHANDRA gemessene Strahlung hier blau dargestellt ist.

c: Das Innere der »Kannibalgala-  
xie« Centaurus A enthüllt diese Infrarotaufnahme des Weltraumteleskops SPITZER. Eine von ihr verschluckte Spiralgalaxie ist als verbogene Scheibe mit der Gestalt eines Parallelogramms zu erkennen. In ihrer Mitte befindet sich der aktive Kern. Links darüber erstreckt sich die schwache Infrarotemission des Radiojets.



SPITZER/JPL/Jocelyne Keene

mit hoher Auflösung zeigen, dass die Jets mit ausgedehnten Emissionsgebieten beiderseits des Galaxienkerns, so genannten Radioblasen (engl. Lobes) in Verbindung stehen. Die optischen Gegenstücke dieser aktiven Radiogalaxien sind häufig elliptische Riesengalaxien. Vermutlich wurde in ihnen im Zuge der Galaxienkollision Materie zum Zentrum hin verschoben und stürzt nun in das zentrale Schwarze Loch. Dieses neue »Futter« kann eine Aktivität des Galaxienkerns auslösen oder eine bereits vorhandene noch verstärken. Ein hochinteressantes Beispiel, bei welchem alles zusammenzupassen scheint, ist die sehr aktive Radiogalaxie Centaurus A in rund zehn Millionen Lichtjahren Entfernung (Abb. 9).

Diese kugelförmige Riesengalaxie umgibt ein auffälliges dunkles Band aus staubhaltiger Materie. Dabei handelt es sich sehr wahrscheinlich um den Überrest eines Akts von »Kannibalismus«, in

dem sich Centaurus A eine Nachbargalaxie einverleibte (Abb. 9c). 1995 wies ein Teleskop der Space-Shuttle-Mission ASTRO 2 eine extrem starke ultraviolette Strahlung aus Bereichen beiderseits des dunklen Bandes nach. Sie stammt von heißen, jungen Sternen der Spektraltypen O und B, wie sie als Folge von Galaxienwechselwirkungen typisch sind.

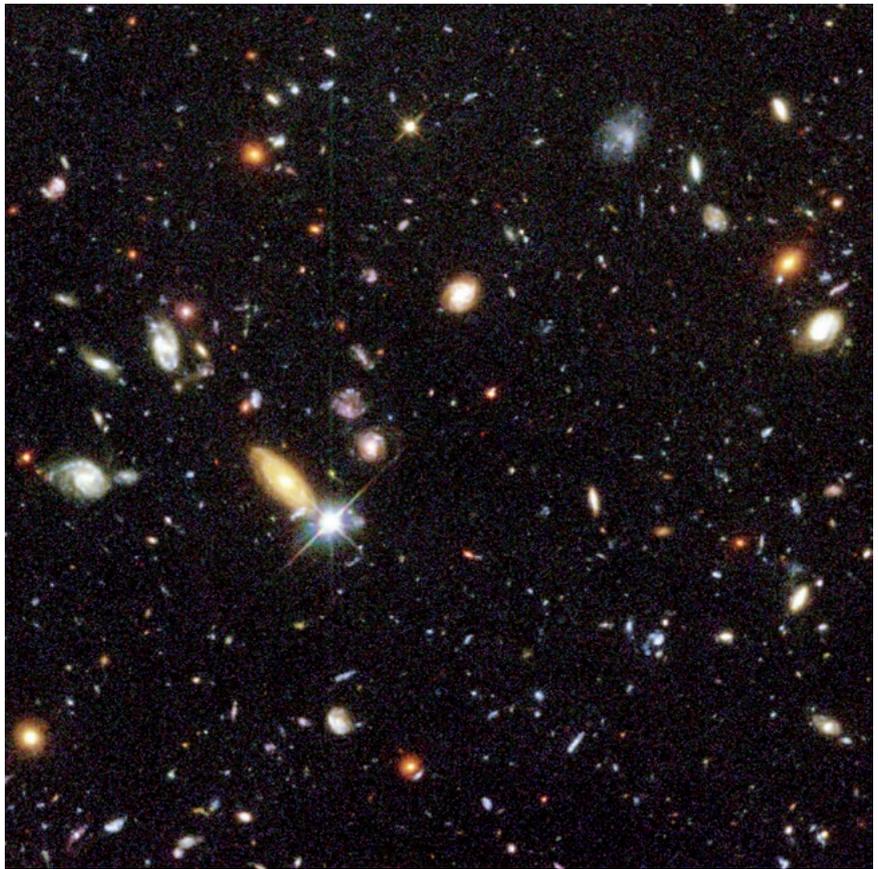
Sehr ergiebig ist auch das Studium der zentralen Teile des benachbarten Virgo-Galaxienhaufens. Die Galaxiendichte und dazu passend die Zahl der elliptischen Riesengalaxien, einschließlich der aktiven Galaxie M 87 mit ihrem Jet, ist hier besonders hoch.

Der Röntgensatellit ROSAT enthüllte zu Beginn der neunziger Jahre ein zwischen den Galaxien verteiltes heißes Gas. Dieses wurde vermutlich bei nahen Begegnungen aus den Sternsystemen herausgezogen und umschließt sogar ganze Galaxiengruppen.

Einen weiteren Baustein zum Verständnis legten Aufnahmen wie das bekannte, 1995 vom Weltraumteleskop HUBBLE aufgenommene »HUBBLE Deep Field« (Abb. 10), eine insgesamt zehn Tage belichtete Aufnahme eines Himmelsgebiets im Sternbild des Großen Bären, die noch zehn bis dreizehn Milliarden Lichtjahre entfernte Galaxien zeigt. Der Nachweis dieser Objekte entspricht einem Blick zurück in eine frühe Epoche des Kosmos. Erstaunlicherweise zeigte sich, dass die Galaxien zu dieser Zeit bereits weit entwickelt waren und offenbar schon häufig in Wechselwirkung miteinander standen. Letzteres ist recht einfach zu erklären: Im expandierenden Universum lagen die Galaxien und Galaxiengruppen früher wesentlich dichter beieinander als heute und konnten daher häufig in Wechselwirkung treten. Hierzu passt, dass aktive Galaxien häufig in großen Entfernungen, also weit in der Vergangenheit vorzufinden sind.

▶ Abb. 10: Galaxien mit einer Grenzgröße von 30 mag zeigt das 1995 mit der Weitfeld/Planetenkamera WF/PC-2 des Weltraumteleskops HUBBLE aufgenommene »HUBBLE Deep Field«. Die Aufnahme ist ein Blick zurück in eine frühe Epoche des Universums. Sie ermöglichte den Astronomen die Untersuchung von 1500 Galaxien in unterschiedlichen Entwicklungsstadien.

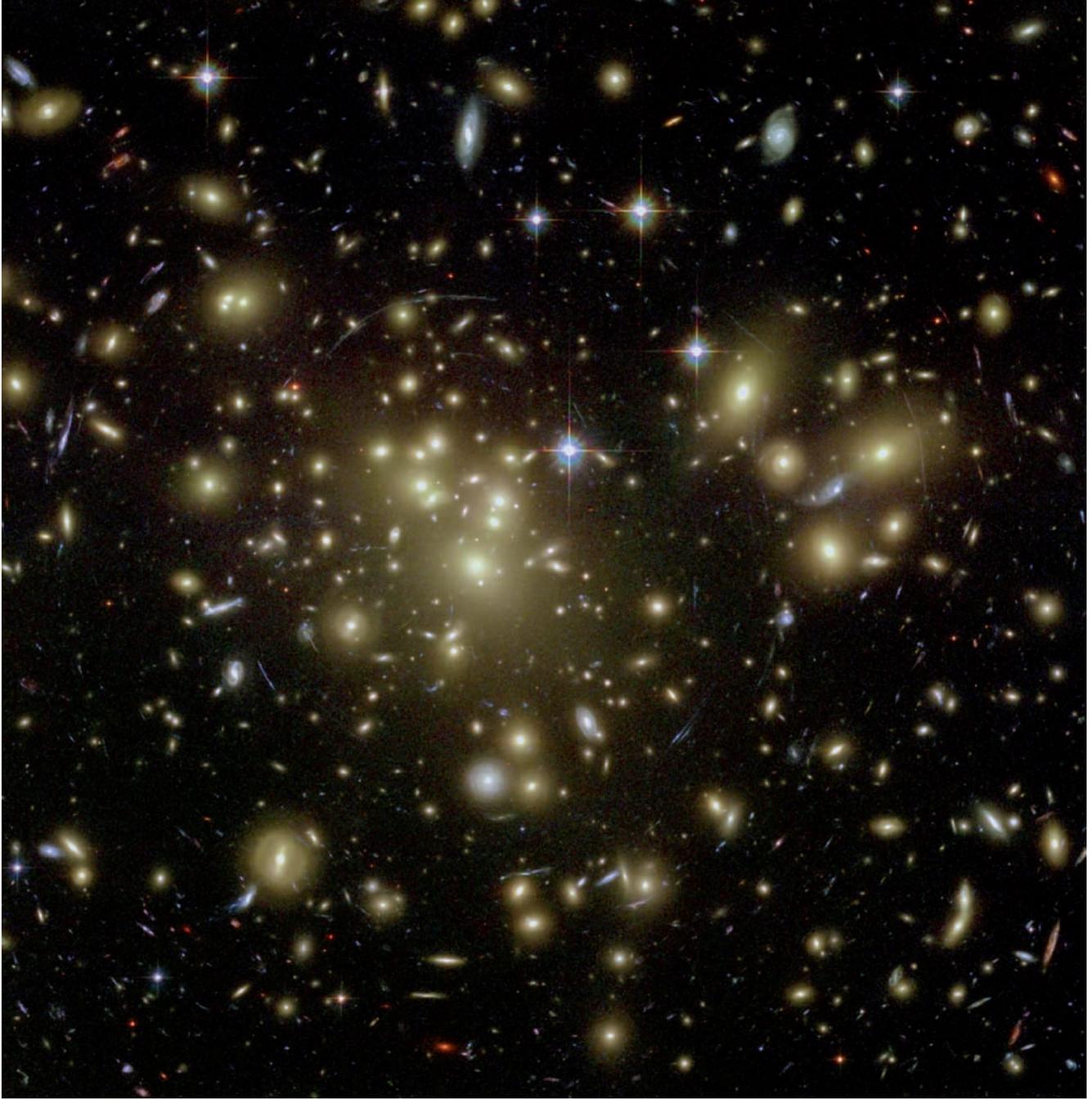
▼ Abb. 11: Dieses Gemälde verbildlicht, wie sich Protogalaxien und Zwerggalaxien im frühen Kosmos, weniger als eine Milliarde Jahre nach dem Urknall, zu größeren Systemen vereinigt haben könnten. Spiralgalaxien gab es damals noch nicht. Selbst mit den leistungsfähigsten Teleskopen lässt sich dieser Verschmelzungsprozess heute noch nicht direkt beobachten.



Msa/R. Williams/The Hubble Deep Field Team (STScI)



Adolf Schaller/STScI



▲ Abb. 12: Der Galaxienhaufen Abell 1689 ist 2.2 Milliarden Lichtjahre entfernt und enthält Hunderte von Galaxien von der Größe unseres Milchstraßensystems sowie zahlreiche elliptische Galaxien. 90 Prozent der Masse des Haufens bestehen aus nicht leuchtender Materie. Die gesamte Gravitation der leuchtenden und nicht leuchtenden Materie ist derart stark, dass sie das Licht weit hinter dem Haufen stehender Galaxien ablenkt. Sie erscheinen in der Aufnahme als lang gestreckte Bögen.

## Weitere Informationen

**Astronomie für Alle: Geschwister der Milchstraße.** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg 2007

**Christopher J. Conselice:** Dunkle Energie – die unsichtbare Hand des Universums. Spektrum der Wissenschaft 4/2007, S. 32

**Uli Klein, Gyula Józsa, Franz Kenn, Tom Oosterloo:** Galaxien und Dunkle Materie: Neue Sichtweisen. SuW-Dossier 1/2006 »Struktur des Kosmos«, S. 30

**Rainer Beck, Richard Wielebinski:** Galaxien im Radiolicht. SuW-Special 2/2004 »Lebendige Galaxis«, S. 50

**Volker Springel:** Die Millenium-Simulation. Mit einem Superrechner auf den Spuren der Galaxien. SuW 11/2006, S. 30

**Joachim Wambsganß:** Kosmische Zerrbilder. SuW-Special 1/2005 »Gravitation«, S. 92. 2. Aktualisierte Auflage

**Peter Bressler:** Die M 81-Gruppe im Teleskop, SuW 2/2007, S. 65

**Stefan Theisen, Markus Pössel:** Neues von den Superstrings. Die Suche nach den Fundamenten des Universums. SuW 3/2007, S. 36

**Klaus-Peter Schröder:** Eine aktive Galaxie und ein Planetarischer Nebel. SuW 2/2007, S. 56

**Davide Castelvecchi:** Eine neue Gattung Schwarzer Löcher. Astronomie heute 12/2006, S. 24

Interessante Weblinks zu diesem Thema finden Sie auf unserer Homepage unter [www.suw-online.de/artikel/866469](http://www.suw-online.de/artikel/866469)

Einen visuellen Eindruck von der Verschmelzung von Protogalaxien zu größeren Systemen in dieser frühen Epoche vermittelt das in Abb. 11 gezeigte Gemälde. Es stellt zahlreiche Uralgalaxien dar, in denen explosionsartig neue Sterne entstehen. Riesige Blasen heißen Gases, welches von Winden massereicher Sterne und explodierten Supernovae stammt, prägen das Aussehen der Galaxien. Im Unterschied zu heutigen Galaxien enthielten sie nur wenig Staub, da sich die für seine Entstehung notwendigen schweren Elemente erst allmählich durch die Fusion leichterer Atome im Inneren der Sterne bildeten.

### Dunkle Materie und der Bauplan des Universums

Bereits in der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts deutete sich an, dass die in Galaxien nachweisbare Materie in Gestalt von Sternen und interstellarer Materie – also leuchtendem und nicht leuchtendem Gas sowie kaltem, dunklem Staub – offenbar nur einen kleinen Teil der Gesamtmasse der Galaxien darstellen kann. Die hohe Rotationsgeschwindigkeit von Spiralsystemen, der starke gravitative Zusammenhalt mit den großen Relativgeschwindigkeiten von Galaxien in Gruppen und Haufen, die Häufigkeit von Galaxienwechselwirkungen sowie der so genannte Gravitationslinseneffekt erwiesen sich

als wichtige Hinweise auf eine fehlende, nicht (oder vorerst nicht) direkt nachweisbare »Dunkle Materie«, die bis zu etwa 90 Prozent der Gesamtmasse eines Systems ausmachen soll. Möglicherweise besteht sie nur teilweise aus der baryonischen Materie, aus der sich Atome zusammensetzen.

Einen weiteren Anteil könnte nach Ansicht der Astrophysiker exotische Materie bilden. Sie besteht aus Partikeln, welche die Physiker zwar postulieren, aber bislang noch nicht entdecken konnten (siehe SuW 3/2007, S. 36ff.). Die Dunkle Materie soll dabei den jeweils sichtbaren Teil einer Galaxie in einem sehr ausgedehnten, in erster Näherung kugelförmigen dunklen Halo umgeben. Neuere Simulationsrechnungen zur Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen Galaxien beinhalten auch die Dunkle Materie und geben die Vorgänge und Phänomene insgesamt sehr gut wieder.

Nur durch die Annahme eines signifikanten Anteils Dunkler Materie und ihrer Schwerkraftwirkung wird der »Bauplan« des Universums, wie wir ihn seit einigen Jahrzehnten kennen, verständlicher. Demnach sind die Galaxien-Ansammlungen nicht gleichmäßig im Kosmos verteilt, sondern bilden ein gigantisches räumliches Netzwerk. In dessen Leerräumen finden sich dagegen nur wenige Galaxien und hoch verdünntes Gas.

### Wechselwirkungen gestalten den Kosmos

Seit 1999 propagieren die Wissenschaftler zudem das ewig und dazu noch beschleunigt expandierende Universum, angetrieben durch eine geheimnisvolle »Dunkle Energie«. Entgegen den Annahmen früherer Szenarien reicht in diesem neuen Modell selbst die erhebliche Gravitationswirkung der Dunklen Materie nicht aus, um die kosmische Expansion zu stoppen.

Jedoch vermuten die Astrophysiker, dass dieser rätselhafte hohe Materieanteil auch künftig zahlreiche enge Wechselwirkungen von Galaxien ermöglichen wird – einen hochgradig faszinierenden Prozess, der die Sternsysteme umgestaltet und auch neu ordnen kann, der unzählige neue Sterne entstehen lässt und daher zugleich für den Entwicklungsweg des ganzen Universums von grundlegender Bedeutung ist. □

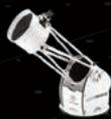


**Thilo Günter** studiert in Hamburg Physik, Astronomie und Geowissenschaften und promovierte in Astrophysik. Als Fachautor veröffentlicht er seit 1989 Text- und Bildbeiträge in SuW.

# GALILEO - Ihr Astrospezialist

## MEADE

LightBridge Dobson Deluxe  
Grosse Öffnung für kleine Preise  
203mm: 494€/781CHF  
254mm: 653€/1031CHF  
305mm: 1027€/1822CHF  
406mm: 2334€/3688CHF



Advanced Ritchey-Chrétien LX200R  
für visuelle Beobachtungen und Astrofotografie

203mm: 2984€/4715CHF  
254mm: 3951€/6242CHF  
305mm: 5225€/8256CHF  
355mm: 7350€/11613CHF  
406mm: 13187€/20836CHF



Advanced Ritchey-Chrétien RCX400  
für die Fotografie optimiert  
254mm: 6349€/10027CHF  
305mm: 7603€/12012CHF  
355mm: 10460€/16527CHF  
406mm: 17503€/27654CHF



Advanced Ritchey-Chrétien RCX400  
auf MaxMount-Montierung  
Ein Gigant für visuelle Beobachtungen und die Astrofotografie  
406mm: 30727€/48549CHF  
508mm: 40903€/64634CHF

Advanced Ritchey-Chrétien (nur Tubus)  
203mm: 1363€/2154CHF  
254mm: 1957€/3092CHF  
305mm: 2918€/4611CHF  
355mm: 4035€/6375CHF  
406mm: 8611€/13606CHF  
406mm RCX: 13998€/22120CHF  
508mm RCX: 21463€/33911CHF



## CELESTRON

Maksutov NexStar SE  
transportables GoTo-System  
102mm: 632€/999CHF

Schmidt-Cassegrain NexStar SE  
transportables GoTo-System  
125mm: 1095€/1730CHF  
152mm: 1528€/2415CHF  
203mm: 2019€/3190CHF

Schmidt-Cassegrain auf OGE  
Präzision für die Astrofotografie  
203mm: 5247€/8290CHF  
235mm: 5690€/8990CHF  
280mm: 6323€/9990CHF  
355mm: 8728€/13790CHF

## TELEVUE

Apochromatische Refraktoren  
für gestochen scharfe Abbildungen  
60mm: 849€/1342CHF  
76mm: 1341€/2120CHF  
85mm: 1792€/2832CHF

Apochromatische IS Refraktoren  
optimiert für die Astrofotografie  
60mm: 1667€/2634CHF  
102mm: 2956€/4672CHF

Apochromatische NP Refraktoren  
Vierlinsen mit schnellem  
Öffnungsverhältnis für die  
Astrofotografie  
101mm: 4057€/6411CHF  
127mm: 7150€/11297CHF

## TAKAHASHI

Apochromatische Refraktoren  
perfekte Abbildungen,  
visuell und fotografisch  
FS 60: 517€/818CHF  
Sky 90: 1647€/2603CHF  
FSQ 106ED: 3578€/5654CHF  
TSA 102: 1653€/2770CHF  
TOA 130: 4349€/6872CHF  
TOA 150: 7960€/12578CHF

Dall-Kirkham Mewlon  
für scharfe und kontrastreiche  
Abbildungen  
180mm: 1867€/2950CHF  
210mm: 2319€/3665CHF  
250mm: 5657€/8939CHF  
300mm: 12785€/20201CHF

Cassegrain-Newton CN-212  
Zwei Teleskope in einem.  
f/12.4 und f/3.9  
212mm: 3168€/5006CHF

Astrograph Epsilon  
180mm Newton mit f/2.8  
3682€/5819CHF

Ritchey-Chrétien BRC und FRC  
perfekt für die Astrofotografie  
250mm: 10098€/15956CHF

## OBSESSION

Hochwertige Dobson-Teleskope  
auch mit GoTo-System erhältlich  
318mm: 3710€/5862CHF  
381mm: 4949€/7820CHF  
457mm: 6559€/10364CHF  
508mm: 7427€/11734CHF  
635mm: 12998€/20543CHF  
762mm: 17957€/28372CHF

## WILLIAM OPTICS

ZenithStar-Reihe  
APO-Refraktoren mit perfektem Finishing  
66mm SD: 411€/650CHF  
80mm ED: 632€/999CHF  
80mm FL: 992€/1568CHF  
110mm TMB: 2721€/4299CHF

Megrez-Reihe  
APO-Refraktoren mit hoher  
mechanischer Präzision  
80mm TMB: 1392€/2199CHF  
90mm ED: 1127€/1781CHF

FluoroStar FLT  
APO-Refraktoren mit grosser Öffnung  
Fluorostar 110mm: 2753€/4349CHF  
FLT 132mm TMB: 3578€/5653CHF

## RCOS

RC-Teleskope in Perfektion  
exklusiv für die Astrofotografie  
254mm: 12340€/20445CHF  
317mm: 15941€/25187CHF  
368mm: 23632€/37338CHF  
405mm: 31184€/49271CHF  
506mm: 49832€/78735CHF

## ASA

Astrographen höchster Qualität  
203mm: ab 3751€/5927CHF  
254mm: ab 4690€/7410CHF  
305mm: ab 7041€/11125CHF

## TEC

Apochromatische Dreilinsen  
algefüllt, hochauflösend  
mit ED- oder Fluoritgläsern  
140mm: 4991€/7885CHF  
160mm: 12288€/19415CHF  
180mm: 17604€/27815CHF  
200mm: 26576€/41990CHF



www.galileo.cc

info@galileo.cc

Limmattalstrasse 206 - 8049 Zürich - Tel: +41 (0) 44 340 23 00 - Fax: +41 (0) 44 340 23 02  
Rue de Genève 7 - 1003 Lausanne - Tel: +41 (0) 21 803 30 75 - Fax: +41 (0) 21 803 30 77



Preise inkl. 7.6% MWSt. Preise, Angaben und Abbildungen ohne Gewähr. Änderungen ohne Vorankündigung vorbehalten.

## Tolle Kartonbausätze!

Hochwertige Kartonbausätze, voll funktionstüchtig, vorgestanzt und mit Zubehör, ausführlichen Bauanleitungen und Erläuterungen:



### Der Stirling-Motor Kartonbausatz

Kartonbausatz für einen voll funktionstüchtigen Stirling-Motor 2006, SunWatch. Bestell-Nr. 2321.

€ 21,90 (D), € 21,90 (A)

Setzen Sie diesen voll funktionstüchtigen Stirling-Motor auf eine Tasse mit kochend heißem Kaffee (oder eine Kaltkompressen), geben Sie dem Schwungrad einen kleinen Schubs nach links, und der genügsame Apparat beginnt leise zu stampfen – bis zu einer Stunde lang! Bausatz aus stabilem, gestanztem Karton in liebevoll gestaltetem Golddruck, komplett mit allem Zubehör, darunter lasergeschnittene Aluminium-Bleche, reibungsarme Kunststoff-Achslager und Drahtbiegeteile aus Federstahl. Höhe 16,5 cm, Breite und Tiefe je 12,6 cm.

### Das Newton-Spiegelteleskop plus Sonnenfilter-Vorsatz

2003, SunWatch. Bestell-Nr. 1425.

€ 22,90 (D), € 23,60 (A)

Kartonbausatz für ein voll funktionstüchtiges Spiegelteleskop mit 9 – 30-facher Vergrößerung.



### Der Sonnen-Projektor

Bestell-Nr. 1709.

€ 19,90 (D), € 20,50 (A)

Vorgestanzter Kartonbausatz für ein Sonnen-Projektionsgerät zur gefahrlosen Sonnenbeobachtung.



### Solarscope

Bestell-Nr. 1676.

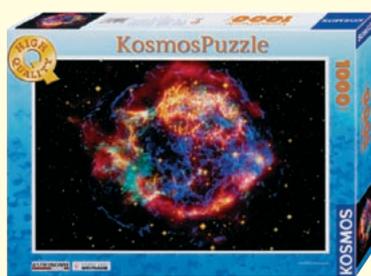
€ 49,- (D), € 50,40 (A)

Ein preiswertes Teleskop zur Sonnenbeobachtung im Projektionsverfahren. Beobachten Sie Sonnenflecken, Venustransit und Finsternisse. Eine hochwertige Optik (Öffnungsblende 40 mm) in Kombination mit stabiler Kartonbauweise ermöglicht pures Beobachtungsgenüß. Format: 370 x 260 x 410 mm.

### Solarscope Ausbildungsversion

Bestell-Nr. 1677. € 84,- (D), € 86,40 (A)

Daran können bis zu 7 Beobachter gleichzeitig arbeiten. Es enthält zusätzlich eine Messschablone und ein Bleilot. Format: 380 x 450 x 600 mm.



### Kosmos Astronomie-Puzzle Kassiopia, 1000 Teile

2007, Format: 66 x 47 cm, Kosmos.

Bestell-Nr. 2297. € 9,95 (D), € 10,30 (A)

Dieses Puzzle zeigt den Supernova-Überrest Cassiopeia A, die hellste Radioquelle am Himmel, aufgenommen mit dem Röntgensatelliten CHANDRA im Röntgenbereich (blau und grün), mit dem Weltraumteleskop HUBBLE im Optischen (gelb) und mit dem Weltraumteleskop SPITZER im mittleren Infrarot (rot). Im Optischen leuchten die Feldsterne und das von der Supernova-Explosion mit schweren Elementen angereicherte Gas, während die Emission im Infraroten die Verteilung des kühlen Staubes anzeigt. Der Überrest stammt von einer Supernovaexplosion, die sich – von den Menschen unbemerkt – vor 325 Jahren ereignete und einen Neutronenstern hinterließ. Puzzeln macht Spaß und trainiert außerdem Gedächtnis, Orientierungs- und Denkvermögen.



### Braintwister Space

Bestell-Nr. 1833.

€ 15,- (D), € 15,50 (A)

Ab 8 Jahren. Testen und trainieren Sie Ihr Gedächtnis. 90 Spielkarten sind sowohl

auf der Vorder- als auch auf der Rückseite mit Motiven aus Weltall und Raumfahrt bedruckt. Zwei Karten sind ein Paar, wenn beide Abbildungen – Vorder- und Rückseite – übereinstimmen. Memory für Fortgeschrittene!



### Pen Ultimate

Bestell-Nr. 1667.

€ 13,90 (D), € 14,20 (A)

Der schwebende Pen Ultimate ist ein Blickfang für Ihren Schreibtisch. Der Kugelschreiber schwebt in einer speziellen Halterung und kann um die Längsachse in Rotation gebracht werden.



### Sternenhimmel Mini-Leuchtglobus

Ø 13 cm, Höhe insg. 19 cm, incl. 6V Netzteil, EIN/AUS-Schalter und abnehmbaren Kabel.

Bestell-Nr. 1913.

€ 14,80 (D), € 15,30 (A)

Der kleinste beleuchtete Zweibild-Globus der Welt! Verschönern Sie Ihren

Schreibtisch mit diesem Leuchtglobus. Die Fixsterne leuchten besonders stark, der Metallmeridian ist silber.



### Celestron SkyScout

»Handplanetarium« mit GPS-Empfänger

Format: 18,5 x 10 x 6,25 cm, 520 gr. mit Batterie (nicht enthalten), Celestron.

Bestell-Nr. 2271. € 435,- (D), € 435,- (A)

Lieferbar ca. ab Juni 2007.

Der Celestron SkyScout ist ein revolutionäres neues »Handplanetarium« mit eingebautem GPS-Empfänger.

Durch reines Anvisieren eines Himmelsobjekts identifiziert der Skyscout dieses und gibt Informationen auf dem Display und per Sprache (vorerst nur Englisch) aus. So kann der Sky-Scout Ihr persönliches Planetarium sein und Sie lernen mit ihm vieles über Sterne, Planeten und Sternbilder. Amateurastronomen, die sich am nördlichen Sternhimmel auskennen, kann Sky-Scout auf Urlaubsreisen in südliche Länder begleiten und helfen sich am dortigen Sternhimmel zurecht zu finden.

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



### Laserpod Galaxy

Die Lava-Lampe für das 21. Jahrhundert

Höhe: 11,5 cm; mit Aufsatz: ca. 27,5 cm, Ø 8,4 cm, Laserpod: Aluminium, Gewicht ca. 450 g, Netzteil im Lieferumfang enthalten.

Bestell-Nr. 2296.

€ 99,- (D), € 99,- (A)

Laserpod ist die neueste Entwicklung des britischen Lichtkünstlers Chris Levine und die wohl revolutionärste Erfindung seit der Lavalampe in den Siebzigern.

Im Inneren des Laserpod strahlen zwei blaue und eine violette LED sowie 3 rote Laser. LEDs und Laser werfen ihr Licht auf eine Kristallkugel, die das Licht mehrfach bricht und letztendlich an Decke, Wand etc. projiziert. Durch die Drehung des Kristalls entstehen immer wieder neue, einzigartige Lichtbilder. Zusätzlich wird eine Glaslinse mitgeliefert, die auf den Laserpod gesetzt werden kann. Diese bricht das Licht zusätzlich, sodass ein faszinierendes Lichtspiel aus Laserwolken und sphärisch blauem Licht entsteht. Wer den Laserpod lieber als innovative Tischlampe nutzen möchte, kann einen der beiden Aufsätze verwenden und sich so von der Lavalampe des 21. Jhdts begeistern lassen.



### Briefbeschwerer Raumsonde Cassini

Maße: 80 x 50 x 50 mm, in blauer Geschenkbox.

**SONDERPREIS**

Bestell-Nr. 1931.

Früher € 32,- jetzt € 22,- (D), € 22,- (A)

Der Briefbeschwerer zeigt die Raumsonde Cassini und den Ringplaneten Saturn, wie sie dreidimensional und einträchtig in dem massiven Plexiglasblock schweben. Diese Gravur wurde mittels moderner Lasertechnik erzeugt.



**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 Deutschland & Österreich unter € 20,- sowie bei Bestellungen im sonst. Ausland berechnen wir € 3,50. Alle Preise inkl. Umsatzsteuer. Preise unter Vorbehalt.



**NEU**

**Wind und Wetter Experimentierkasten**  
Experimente und Beobachtungen mit Luft, Wind, Temperatur, Feuchtigkeit, Wetter und den Farben der Luft Kraul.

Bestell-Nr. 2235. **€ 29,90 (D)**, € 29,90 (A)  
Ab 12 Jahren. Mit vielen Versuchen und Beobachtungen für drinnen und draußen, werden WIND UND WETTER beobachtet und erlebt. Nötige Erklärungen beziehen sich auf die vorangegangenen Beobachtungen und führen ohne Theorie zum nächsten Experiment oder Wetterphänomen. Am Ende steht der Bau einer eigenen kleinen Wetterstation mit einer Anleitung zur täglichen Wetterbeobachtung. Das begleitende Heft behandelt alle wesentlichen Gebiete der Wetterkunde. Es ist auch für Jugendleiter und Lehrer ein hilfreicher und anschaulicher Leitfaden.



**nano-VISION Stifthalter blau**  
Stifthalter mit Qualitätskugelschreiber mit Großraummine und magnetisierbarer Spitze. Gehäuseoberteil aus massivem Metall.  
Bestell-Nr. 2257.

Der Stifthalter ist befüllt mit zwei Flüssigkeiten, einer blauen Lösung und einem schwarzem Ferrofluid, das magnetische Nanopartikel in der Größe von circa 10 Nanometern enthält. Beim Einführen des Kugelschreibers steigt die schwarze, magnetische Flüssigkeit nach oben und bildet interessante und einzigartige, faszinierende Formen, die »Rosenzweig-Stacheln«, benannt nach R. E. Rosenzweig. Der Stifthalter ist 9 cm hoch und hat einen Durchmesser von circa 5 cm.



**Kinderleuchtglobus: Welt der Tiere**  
28 cm Zweibild-Leuchtglobus mit Metallmeridian und Tierlexikon, Stellanova.  
Bestell-Nr. 2287.

**€ 59,- (D)**, € 59,- (A)  
Auf dem Globus werden 250 Tiere abgebildet, die im beiliegenden Begleitbuch auch sehr ausführlich beschrieben werden. Wenn das Licht im Globus eingeschaltet ist, vermittelt dieser High-Tech-Globus den Anschein, dass die Fische im Wasser schwimmen. Da staunen nicht nur die Kinder!



**Buchstütze Easy Read**  
Die bequeme Art des Lesens oder Arbeitens am PC

Bestell-Nr. 2187. **€ 19,95 (D)**, € 20,70 (A)  
Die bequeme Art des Lesens: Ob am PC, am Schreibtisch oder im Bett, diese schlaue Erfindung behält Ihre Lektüre fest im Griff.



**ARX-03 ASURO Roboter-Bausatz**  
Bausatz für einen autonomen multisensoriellen Roboter

Lizenz DLR, L x H x B: ca. 117 x 122 x 45 mm, Gewicht ca. 165 g (inkl. Akkus oder Batterien), mit ausführlicher Anleitung. Stromversorgung: 4 x AAA/Micro-Batterien oder Akku (nicht enthalten).

Bestell-Nr. 1891. **€ 49,95 (D)**, € 51,50 (A)  
ASURO ist ein am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt entwickelter Bausatz (Löten erforderlich) für einen autonomen multisensoriellen Roboter. Neben sechs Kollisionstastern und einer optischen Einheit zur Verfolgung einer Linie verfügt ASURO über zwei Odometer und einige Anzeigeelemente. Die mitgelieferte Duplex-Infrarotschnittstelle erlaubt die drahtlose Programmierung mit dem PC. Das »Gehirn« des Roboters ist ein RISC-Prozessor, der auch die Abarbeitung komplexer Programme ermöglicht. Die Programmierung erfolgt in C.

Ebenfalls lieferbar:



Robin Gruber/Jan Grewe  
**Mehr Spaß mit Asuro Band 1**

2005, 118 Seiten, kart., Arexx  
Bestell-Nr. 1951.

**€ 14,90 (D)**, € 15,40 (A)

Das Begleitbuch zum Roboter-Bausatz ASURO: mit Grundlagen, nützlichen Tipps und einer Erweiterungsplatine.

Der »Ironpower« vereint die physikalischen Kräfte des Gyroskops mit dauerhaftem Material, höchster Präzision und edelster Optik. Das Training steigert Muskelkondition, Greifkraft, Koordination und Durchblutung und beugt so auch Verspannungen vor. Und so funktioniert: Im »Ironpower« befindet sich ein 200 bzw. 300 g schwerer Rotor (je nach Modell), der vom Benutzer durch Kreisbewegungen auf Touren gebracht wird.



**Ironpower forcetwo**  
Der Edelstahl-Rotor  
Gewicht: ca. 400 g, Durchmesser: ca. 7 cm, Farbe: silber matt eloxiert, Rotor silber, in Metallbox (9 cm x 9 cm x 8 cm).  
Bestell-Nr. 2221.

**€ 79,- (D)**, € 79,- (A)

Ebenfalls lieferbar:

**Ironpower forceone**  
Hochleistungsrotor aus Aluminium

Gewicht: ca. 300 g, Ø ca. 7 cm, Farbe: silber matt eloxiert, Rotor silber, in Metallbox (9 x 9 x 8 cm).

Bestell-Nr. 1845. **€ 49,90 (D)**, € 51,30 (A)



**Lesestab**  
mit roter Führungslinie für bessere Zeilenführung

250 x 35 mm, Eschenbach.

Bestell-Nr. 2258. **€ 49,- (D)**, € 49,- (A)

Lesestäbe erlauben das ermüdungsfreie Lesen über größere Strecken, da sie nur in eine Richtung vergrößern. Besonders geeignet sind Lesestäbe zum Lesen breiter EDV-Zeilen. Technische Daten: leichtes PXM® Material, 250 x 35 mm, Abbildungsmaßstab zylindrisch 1,8 x, mit roter Führungslinie für bessere Zeilenführung.



**Stirlingmotor Solar Stahl**

Motor ca. 13 cm hoch m. einem Grundflächendurchmesser v. 10 cm. Schwungrad aus poliertem Messing, die Teile d. Grundkörpers bestehen aus poliertem Edelstahl, AERO.

Bestell-Nr. 2219.  
**€ 199,- (D)**, € 199,- (A)

Dieser Stirlingmotor läuft sogar mit Licht!  
Die obere Gehäuseplatte wurde aus Acrylglas gefertigt, um Sonnenlicht oder das Licht einer Lampe auf die Oberseite des Verdrängerkolbens gelangen zu lassen. Dort erwärmt sich die Luft, wodurch der Motor nach dem Stirlingprinzip arbeiten kann. Dieser Stirlingmotor läuft aber auch, wenn er einseitig – z. B. von unten – erwärmt wird. Als Wärmequellen bieten sich zahlreiche Möglichkeiten des Haushalts an und sogar die menschliche Hand. Je größer die Temperaturdifferenz ist, umso schneller läuft er. Interessanterweise läuft er rückwärts, wenn er auf einen kalten Untergrund gestellt wird.



**Inversis® Oloid Schatz, Olivenholz**

Größe: ca. 7 cm, Olivenholz, in Schmuckschachtel verpackt.  
Bestell-Nr. 2096.

**€ 35,- (D)**, € 35,- (A)

Erfreuen Sie Ihre Freunde und Verwandten mit einem exklusiven Produkt ganz besonderer Art, das Paul Schatz (1898 – 1979) aus den Bewegungen des Umstülpbaren Würfels entwickelt hat: lässt man das Oloid eine leicht geneigte Fläche hinabrollen, so kann man das dem Umstülpbaren Würfel eigene, rhythmisch-pulsierende Prinzip in gewandelter Form wahrnehmen. Das Oloid dient somit als »Hilfsmittel zur Erzeugung einer taumelnden Bewegung«, eine harmonische Form mit erstaunlicher Bewegungsdynamik. Ein Handschmeichler mit Charakter!



**Inversis® StarCube – Bausatzmappe**

Vorgestanzter, vorgefalteter Bausatz mit Spezial-Gelenkmaterial in Mappe. Ausführliche bebilderte Anleitung. Kantlänge der Würfel 9,5 cm.

Bestell-Nr. 2095. **€ 19,90 (D)**, € 19,90 (A)

Der Inversis® StarCube ermöglicht eine scheinbar sehr schlichte Umstülpung vom gelben zum orangenen Würfel in 3 Schritten ... aber dann lässt sich dem orangenen Würfel ein gelber Zwölfstern entnehmen, der sich in einen gelben Würfel umstülpbar lässt, und in den der orange Stern hineinpasst, zu dem der orange »Behälter-Würfel« des gelben Sterns sich umstülpbar ...



Besuchen Sie uns im Internet unter:  
**www.science-shop.de**



**Bequem bestellen:** → direkt bei [www.science-shop.de](http://www.science-shop.de)

→ per E-Mail: [info@science-shop.de](mailto:info@science-shop.de)

→ telefonisch: 06221/9126-841

→ per Fax: 0711/7252-366

→ per Post: Postfach 810680 • 70523 Stuttgart

\* Bei Bestellungen in Deutschland & Österreich unter € 20,- sowie bei Bestellungen im sonst. Ausland berechnen wir € 3,50. Alle Preise inkl. Umsatzsteuer. Preise unter Vorbehalt.