

# MIKROQUASARE IN

Die Entdecker dieser ungewöhnlichen galaktischen Objekte berichten, wie die Forscher damit den Geheimnissen der fernsten und mächtigsten aller kosmischen Leuchtfeuer auf die Spur kommen.

>> I. Félix Mirabel und Luis Felipe Rodríguez

**Q**uasare waren eine der bedeutendsten Entdeckungen der Astronomie im 20. Jahrhundert. Diese extrem energiereichen und doch äußerst kompakten Objekte strahlen jeweils mit der Leuchtkraft von hundert Galaxien. Aber diese enorm starke Strahlung wird in einer »zentralen Maschine« produziert, die kaum größer ist als unser Sonnensystem.

Über den Ursprung dieser Klasse Aktiver Galaktischer Kerne (AGN) sind sich die meisten Astronomen einig: Als vor über zehn Milliarden Jahren die Galaxien entstanden, häuften sich in ihren Zentren große Mengen Materie an und verdichteten sich jeweils zu einem gigantischen Schwarzen Loch. Rings um diese Massemonster bildeten sich riesige Akkretions-scheiben (siehe Glossar), durch die der Gravitationsschlund noch mehr Gas und Staub aus seiner Umgebung an-

saugt. Dabei erhitzt sich die um das Loch spirallende Materie und wird ionisiert. Physiker sprechen hier vom vierten Aggregatzustand der Materie, oder kurz: Plasma, das wegen seiner hohen Temperatur Röntgenstrahlung aussendet.

Wie man in radioastronomischen Aufnahmen sieht, stürzt ein Großteil dieses ionisierten Gases nicht in das Schwarze Loch, sondern wird senkrecht zur Scheibe in zwei gewaltigen Strömen nahezu mit Lichtgeschwindigkeit weggeschleudert. Die Fachleute nennen solche gebündelten Ströme relativistische Jets. Diese Plasmastrahlen treffen weit außerhalb der »Muttergalaxie« des Quasars auf das intergalaktischen Medium und werden erst dort abgebremst.

Ohne genügend »Treibstoff« versiegen die Jets. Die erstaunlichen Exemplare, die wir mit Radioteleskopen beobachten, sind also ein Zeugnis der Zeit, als es in den Zentren der Galaxien noch Staub und Gas zuhauf gab. Es ist eine ferne Vergangenheit am Rande des Universums, von der das Licht Milliarden Jahre zur Erde unterwegs war. Jedoch entdeckte man vor rund einem Jahrzehnt Miniaturausgaben der Quasare innerhalb unserer Milchstraße, die »Mikroquasare« getauft wurden. Sie entstehen in Doppelsternsystemen – eigentlich häufigen Objekten in jeder Galaxie – und sind millionen- oder gar milliardenmal kleiner als >

## GLOSSAR

**Akkretion** bezeichnet den Zuwachs eines Objekts mit Materie. Da diese meist mit Drehimpuls behaftet ist, bildet sich eine Scheibe aus, in der das Material durch Reibung langsam auf die Zentralmasse zuspирalt.

**Doppler-Verstärkung** ist ein Effekt der speziellen Relativitätstheorie: Bewegt sich eine Strahlungsquelle nahezu mit Lichtgeschwindigkeit, ist die Intensität und die gemessene Wellenlänge der Strahlung in Vorwärtsrichtung wesentlich höher als nach rückwärts.



# DER MILCHSTRASSE



Ein Mikroquasar aus der Nähe Materie strömt von einem aufgeblähten Roten Riesen in eine Akkretionsscheibe um ein Schwarzes Loch. Senkrecht dazu schießt Materie in zwei Jets davon.

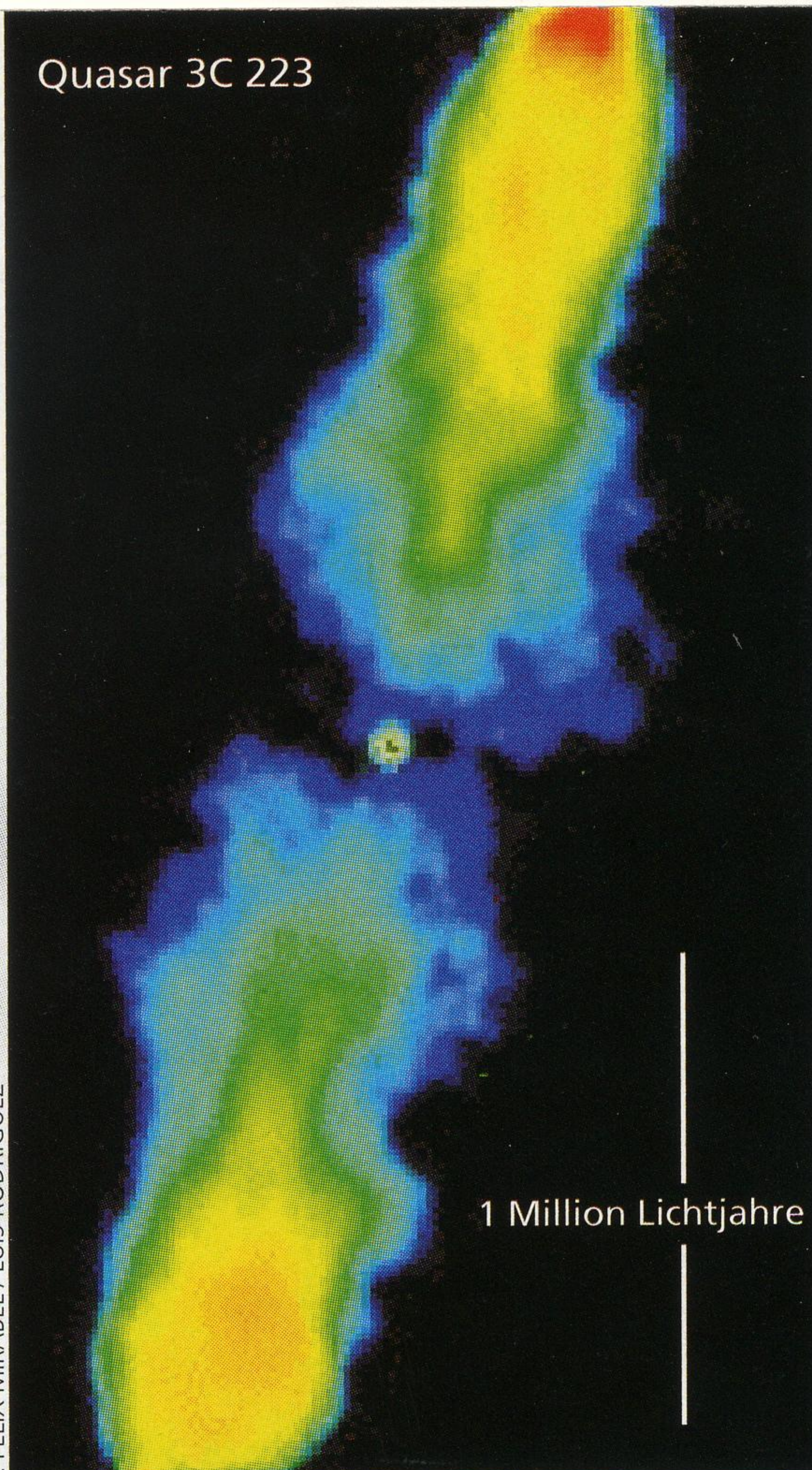
> ihre extragalaktischen Namensvettern, Liliputaner sozusagen. Nichtsdestoweniger ahmen sie mit ihrer erstaunlichen Leuchtkraft, ihren schnellen Helligkeitsschwankungen und ihren relativistischen Jets auf verblüffende Weise die mächtigen Quasare nach.

### Liliput und Brobdingnag

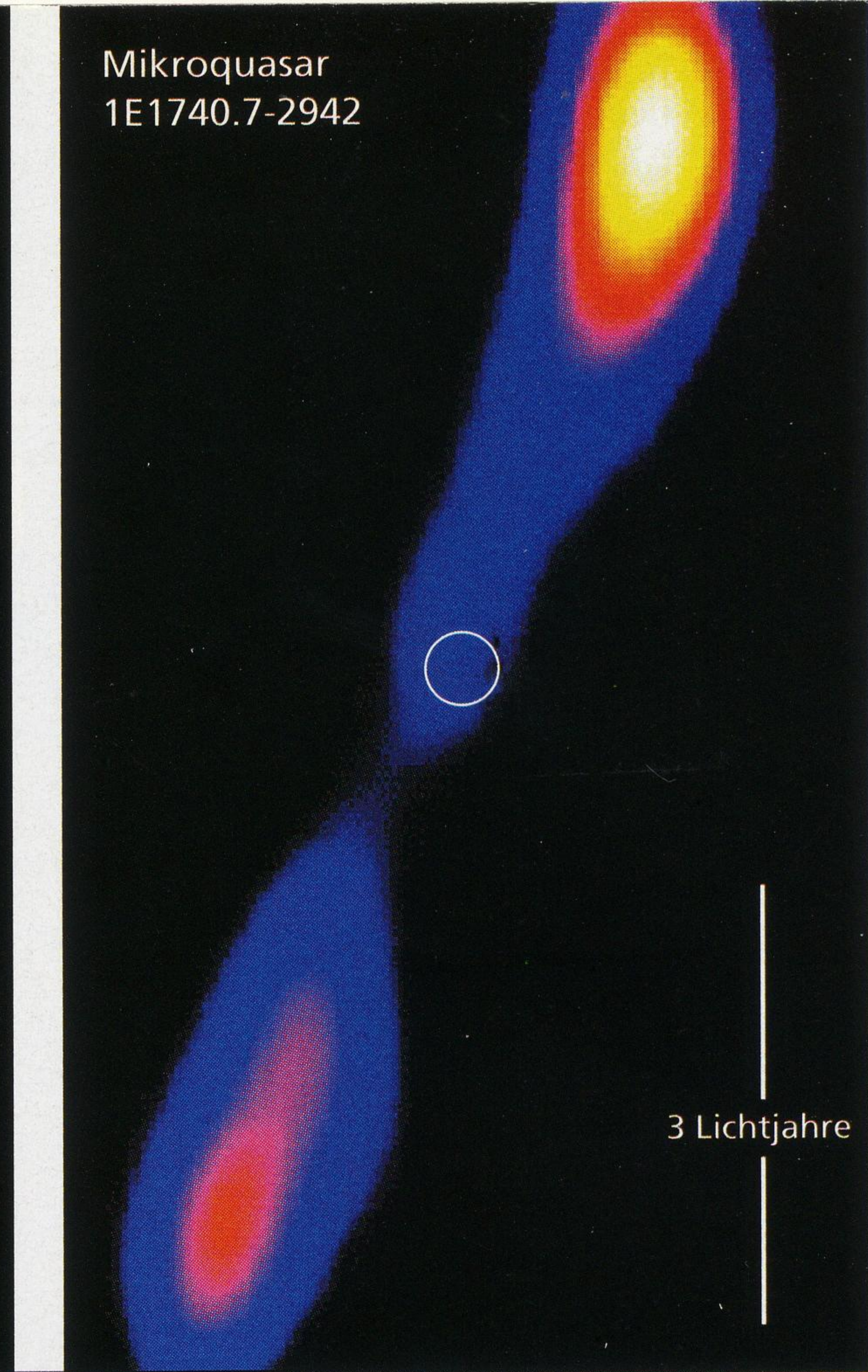
Quasare und Mikroquasare weisen zwar eine Reihe von Ähnlichkeiten auf, doch die Massen ihrer zentralen Objekte unterscheiden sich ganz erheblich. Schwarze Löcher in Quasaren enthalten Millionen bis Milliarden Sonnenmassen, die in Mikroquasaren nur einige wenige. Das nur kilometergroße Schwarze Loch in einem Mikroquasar ist der Kadaver eines Sterns, der als Supernova explodiert ist (siehe ASTRONOMIE HEUTE September/Oktober 2003, S. 33). Auch das Schwarze Loch des Mikroquasars ist von einer Akkretionsscheibe umgeben. Im Gegensatz zu den großen Quasaren hat ein Mikroquasar einen Stern zum Partner, von dessen Hülle er Milliarden von Jahren zehren kann. Dieser Begleitstern ist über lange Zeit ein verlässlicher Treibstofflieferant.

Weil die Bahnen um die kleineren Löcher der Mikroquasare stärker gekrümmt sind, werden ihre Akkretionsscheiben heißer als die der Quasare. Mikroquasarscheiben geben ihre Energie deshalb hauptsächlich in Form von Röntgenstrahlung ab und nicht als sichtbares Licht. Sie konnten daher erst entdeckt werden, als sich die Hochenergie-Astronomie entwickelte und Forscher die ersten Satellitenobservatorien in den Welt- raum entsandten.

Doppelsternsysteme, die aus einem kollabierten Objekt – einem Neutronenstern oder einem Schwarzen Loch – und



J. FÉLIX MIRABEL / LUIS RODRÍGUEZ



**Fast zwei Milliarden Lichtjahre** entfernt ist der Quasar mit seinen Jets (links) in einer Falschfarbendarstellung der Strahlungsintensitäten, genau wie der in unserer eigenen Milchstraße gelegene Mikroquasar (rechts). Der Kreis im rechten Bild markiert die Position des »Motors« des Mikroquasars.

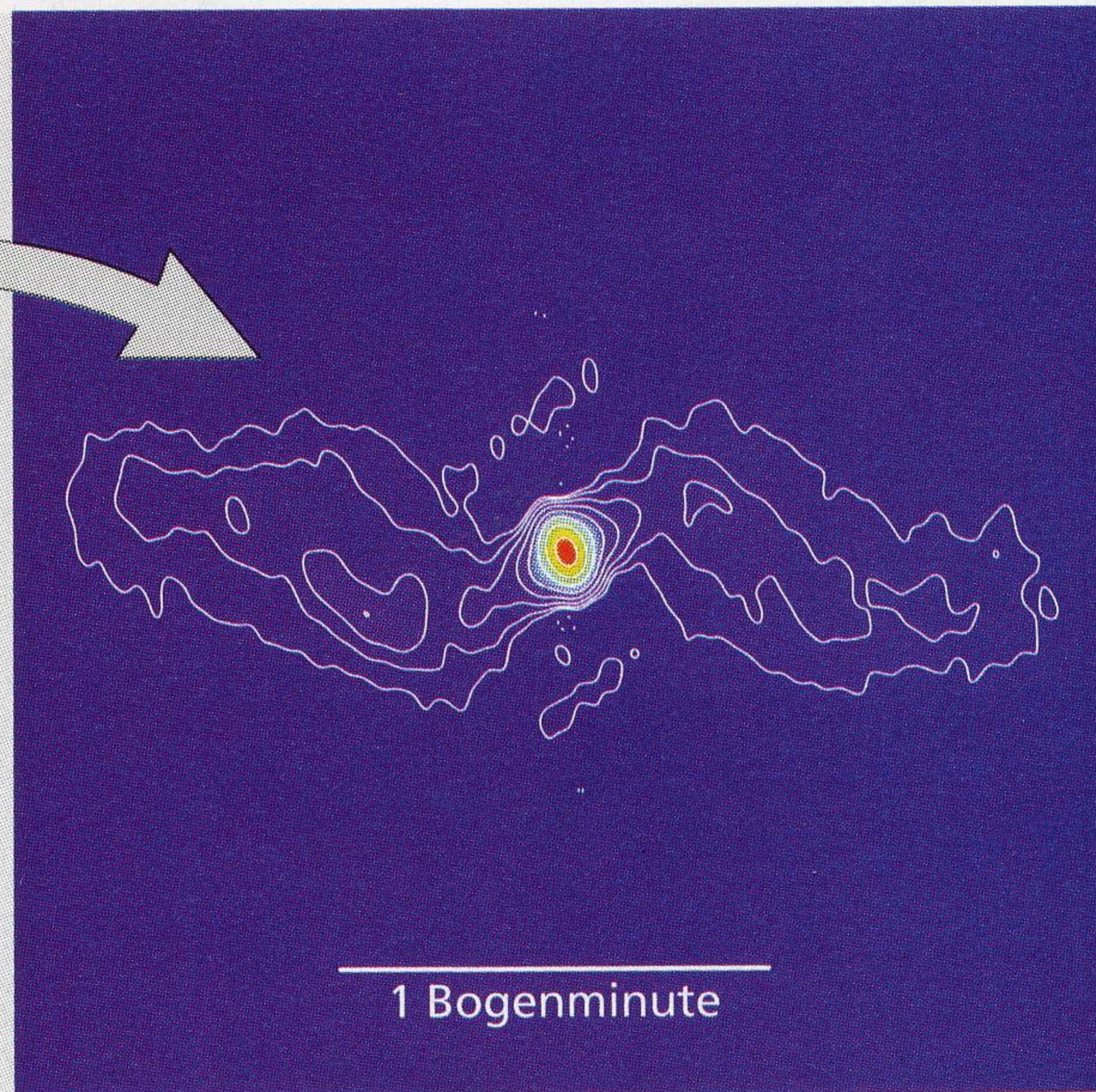
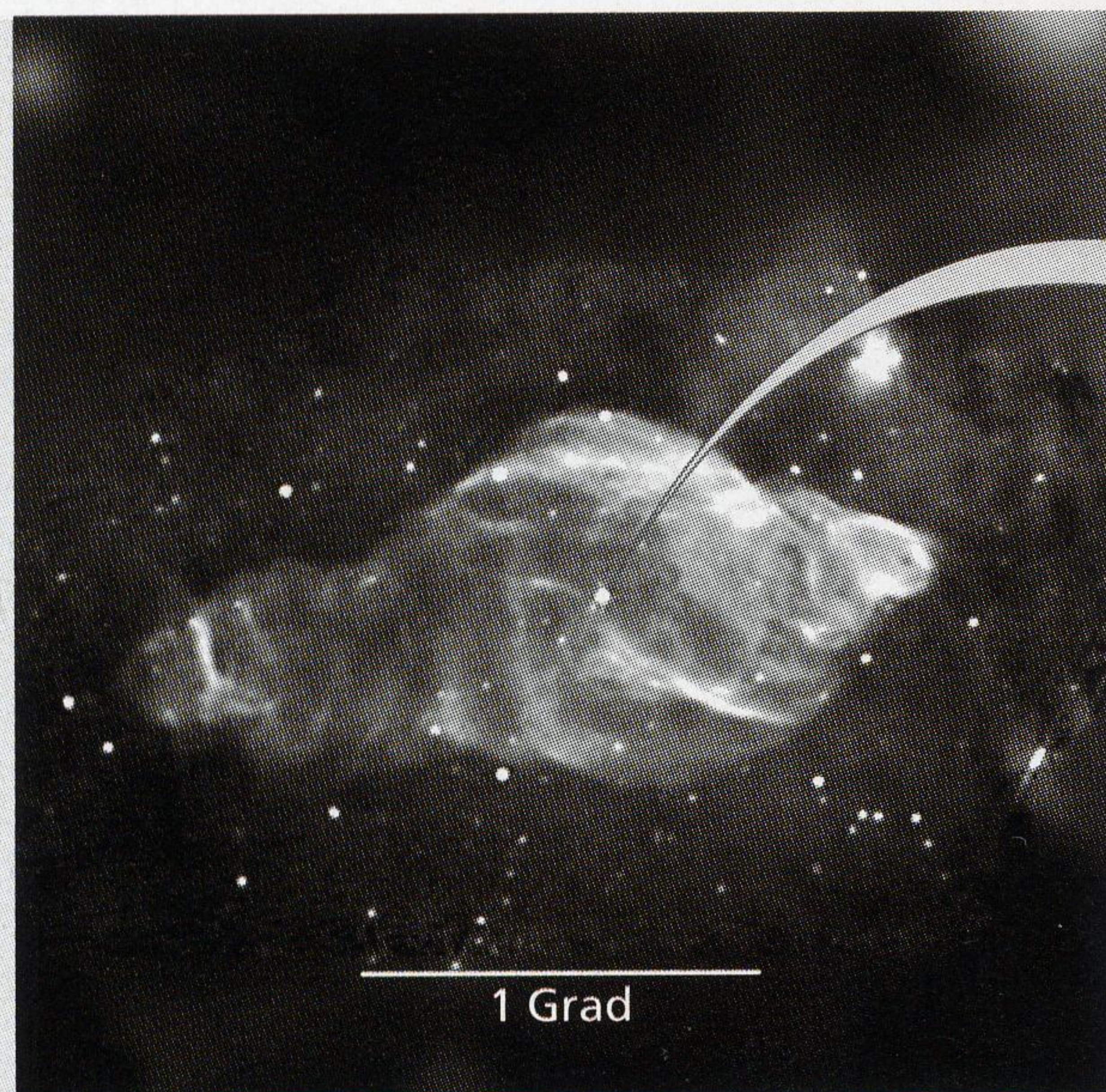
einem »normalen« Stern bestehen, sind seit den ersten Ballon- und Satellitenexperimenten in den 1960er Jahren als »Röntgendoppelsterne« (X-ray Binaries) bekannt. Dass diese Systeme auch relativistische Jets erzeugen, wurde jedoch erst sehr viel später entdeckt.

### Doppelsterne de luxe

Der ungewöhnliche Röntgendoppelstern SS 433 wurde mit seinen spektakulären Jets lange Zeit für eine Besonderheit gehalten, als Einzelfall in der Milchstraße. Ein Zusammenhang mit Quasaren schien weit hergeholt, da sich die Jets von SS 433 »nur« mit 26 Prozent der Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, während man bereits

vermutete, dass die Quasarjets nahezu Lichtgeschwindigkeit erreichen: mehr als 99 Prozent.

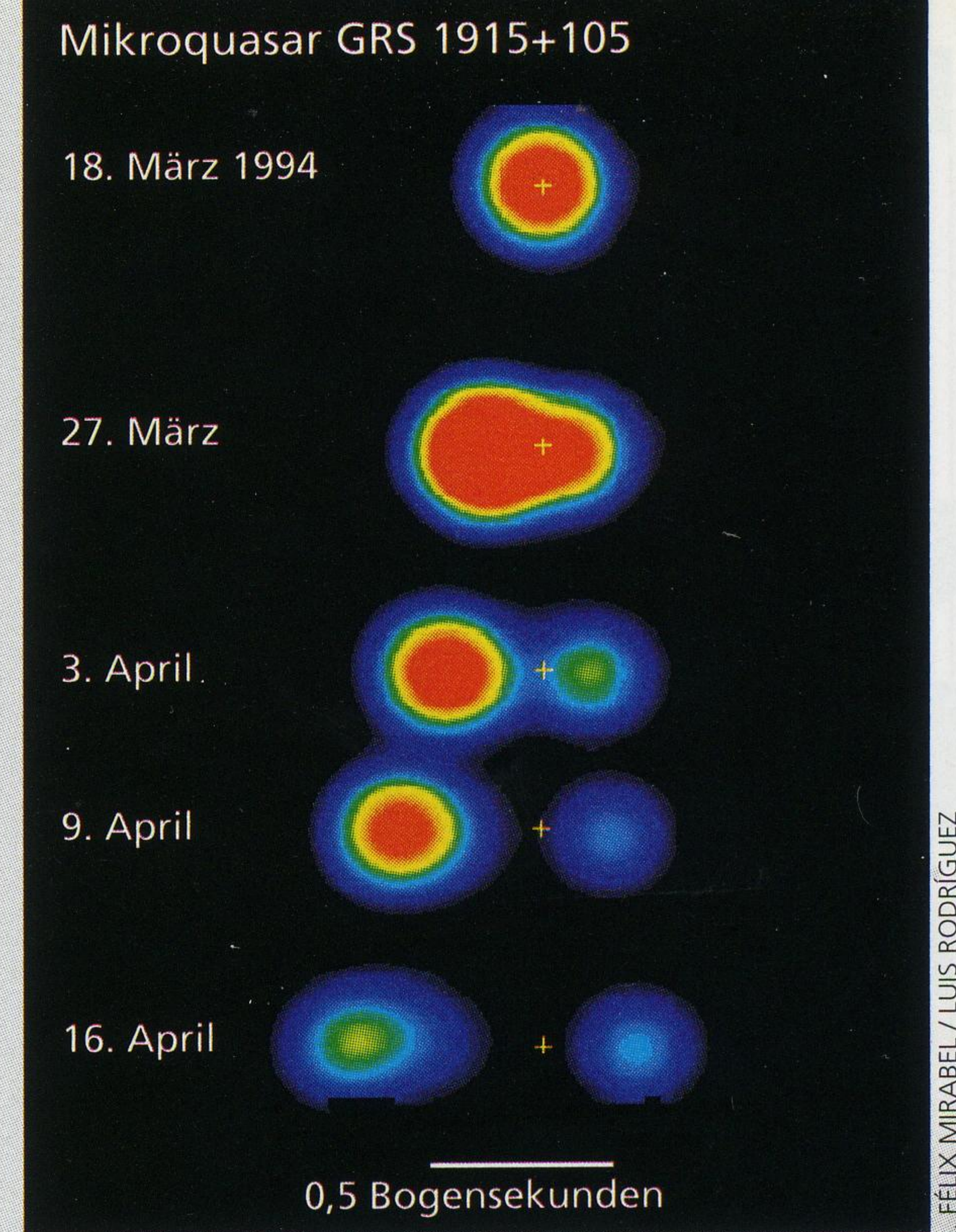
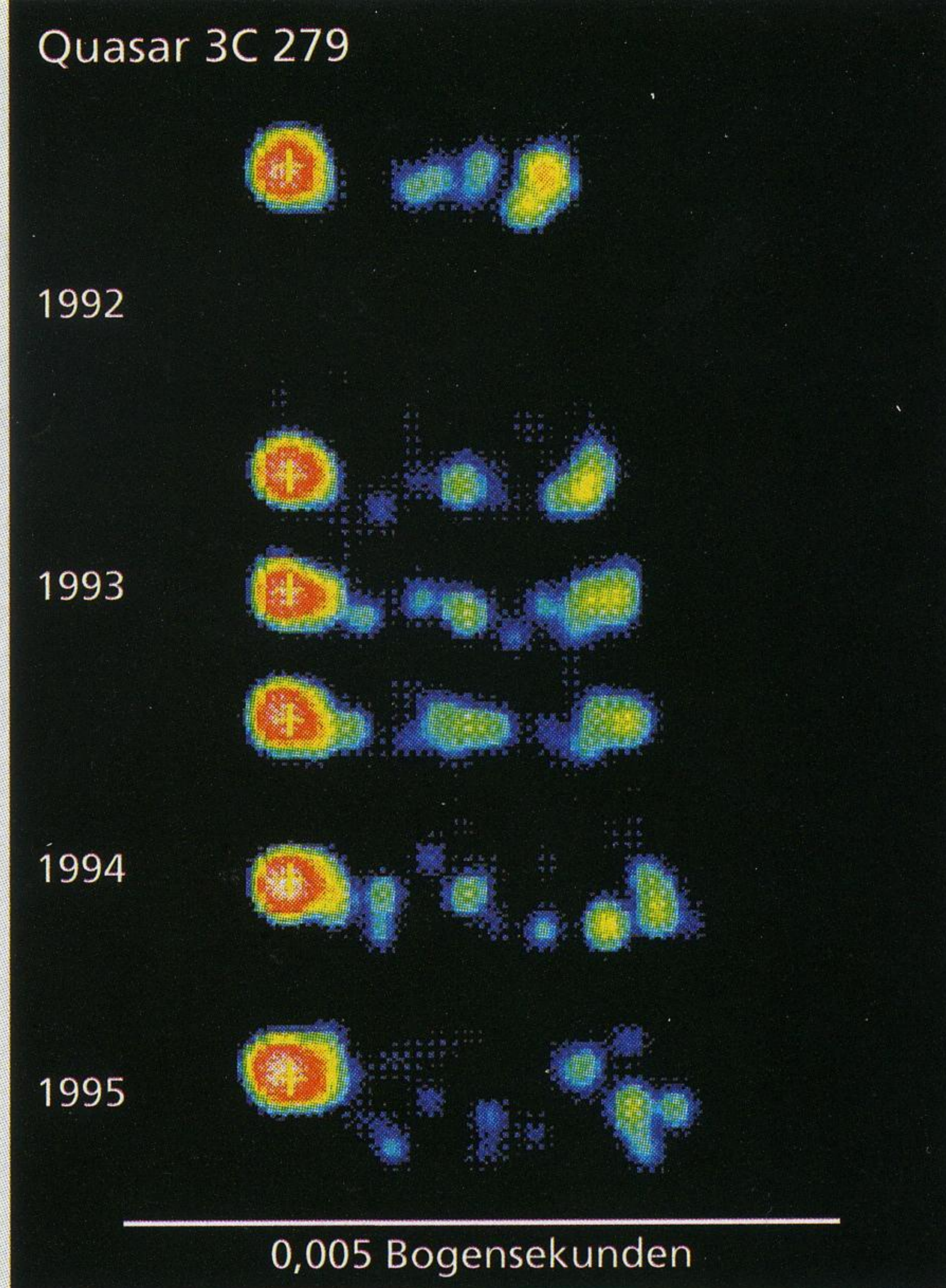
Erst in den 1990er Jahren zeigten einige Forscherteams, dass die Kombination von relativistischen Jets und Röntgendoppelsternen gar nicht so selten ist. Im Dezember 1989 startete ein russisch-französisch-dänisches Gemeinschaftsunternehmen einen Satelliten mit Namen Granat, dessen Teleskope »harte Röntgenstrahlung« – Photonen mit Energien von tausend bis eine Million Elektronenvolt (keV – MeV, ASTRONOMIE HEUTE Juli/August 2003, Glossar S. 24) – abbildeten. Dank der innovativen Konstruktion dieses Satelliten konnte man zum >



MIT FRDL. GEN. GLORIA DUBNER (IAFE) / MICHAEL RUPEN (NRAO)

**Nicht ganz ein Mikroquasar –** aber beinahe! SS 433 im Adler enthält einen normalen Stern und einen Neutronenstern oder ein Schwarzes Loch, die einander in 13 Tagen eng umkreisen. Das Falschfarben-Radiobild rechts zeigt die Jets. Der Supernova-Überrest W50, der die Quelle umgibt, spiegelt deren Ausrichtung (linkes Radiobild) wider.

**Plasmawolken**, die von einem Quasar (links) und einem Mikroquasar (rechts) ausgestoßen werden. Die zentrale Energiequelle ist auf beiden Falschfarben-Radiobildern jeweils mit einem Kreuz markiert. Beim Quasar ist nur der Jet sichtbar, der auf die Erde zuströmt. Beim Mikroquasar können dagegen beide Jets verfolgt werden. Die ausgestoßene Materie scheint sich mit Überlichtgeschwindigkeit auszubreiten.



L. FÉLIX MIRABEL / LUIS RODRIGUEZ

> ersten Mal die Positionen harter Röntgenquellen auf etwa eine Bogenminute genau bestimmen.

Dies mag als recht ungenau erscheinen, doch für die Hochenergie-Astronomie stellte es eine zehnfache Verbesserung dar. Zusammen mit Kollegen vom Forschungszentrum der Französischen Atomenergiebehörde CEA suchten wir systematisch nach Radio-, Infrarot- und optischen Gegenstücken der harten Röntgenquellen, die Granat so präzise lokalisiert hatte.

Ein Durchbruch war unsere Entdeckung mit der Radioteleskopanlage Very Large Array (VLA) in New Mexico 1992: Von dem Objekt 1E 1740.7-2942 gehen gebündelte Jets nach zwei Seiten aus. Dieses Objekt, das vom »Einstein-Satelliten« Heao 2 entdeckt und von Granat überwacht worden war, liegt in der Nähe des galaktischen Zentrums. Seine Jets erinnern an jene, die man häufig bei Quasaren und Radiogalaxien beobachtet.

Die verblüffende Ähnlichkeit dieses Röntgendoppelsterns mit den entfernten Quasaren fiel uns sofort ins Auge: seine relativistischen Radiojets, ebenso die

starken Schwankungen seiner Röntgenleuchtkraft. Außerdem stimmte das Spektrum der intensiven harten Röntgenstrahlung dieses Objekts mit jenem überein, das die Theorie für eine Akkretionsscheibe um ein Schwarzes Loch vorhersagt. Wir schlugen daher die Bezeichnung »Mikroquasar« für diese neue Klasse galaktischer Röntgenquellen in unserem Fachartikel über 1E 1740.7-2942 vor und der Name bürgerte sich ein.

### Verstoß gegen das Tempolimit

Bald stellte man bei den Mikroquasaren ein weiteres exotisches Verhalten fest, das zuvor nur bei den fernen Quasaren beobachtet worden war: eine scheinbare Verletzung Einsteins Spezieller Relativitätstheorie. 1994 stellten wir – wiederum mit dem VLA – fest, dass das von Granat entdeckte Objekt GRS 1915+105 ein Paar Plasmawolken ausstößt, die stark im Radiobereich strahlen.

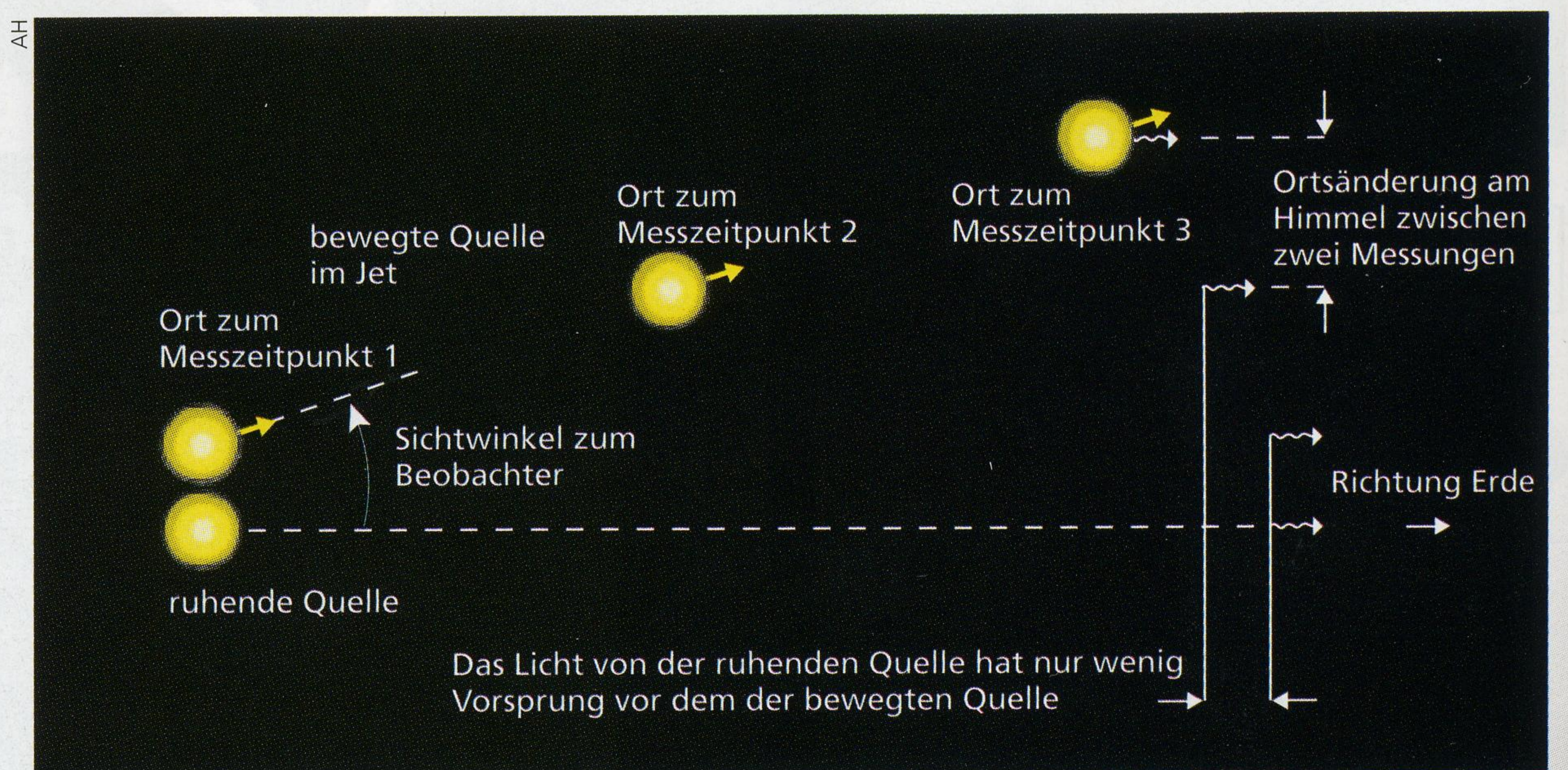
Auf Grund von Untersuchungen des atomaren Wasserstoffs, der zwischen GRS 1915+105 und uns liegt, war die Entfernung des Objekts bekannt: etwa 40000 Lichtjahre. Somit konnten wir die Ge-

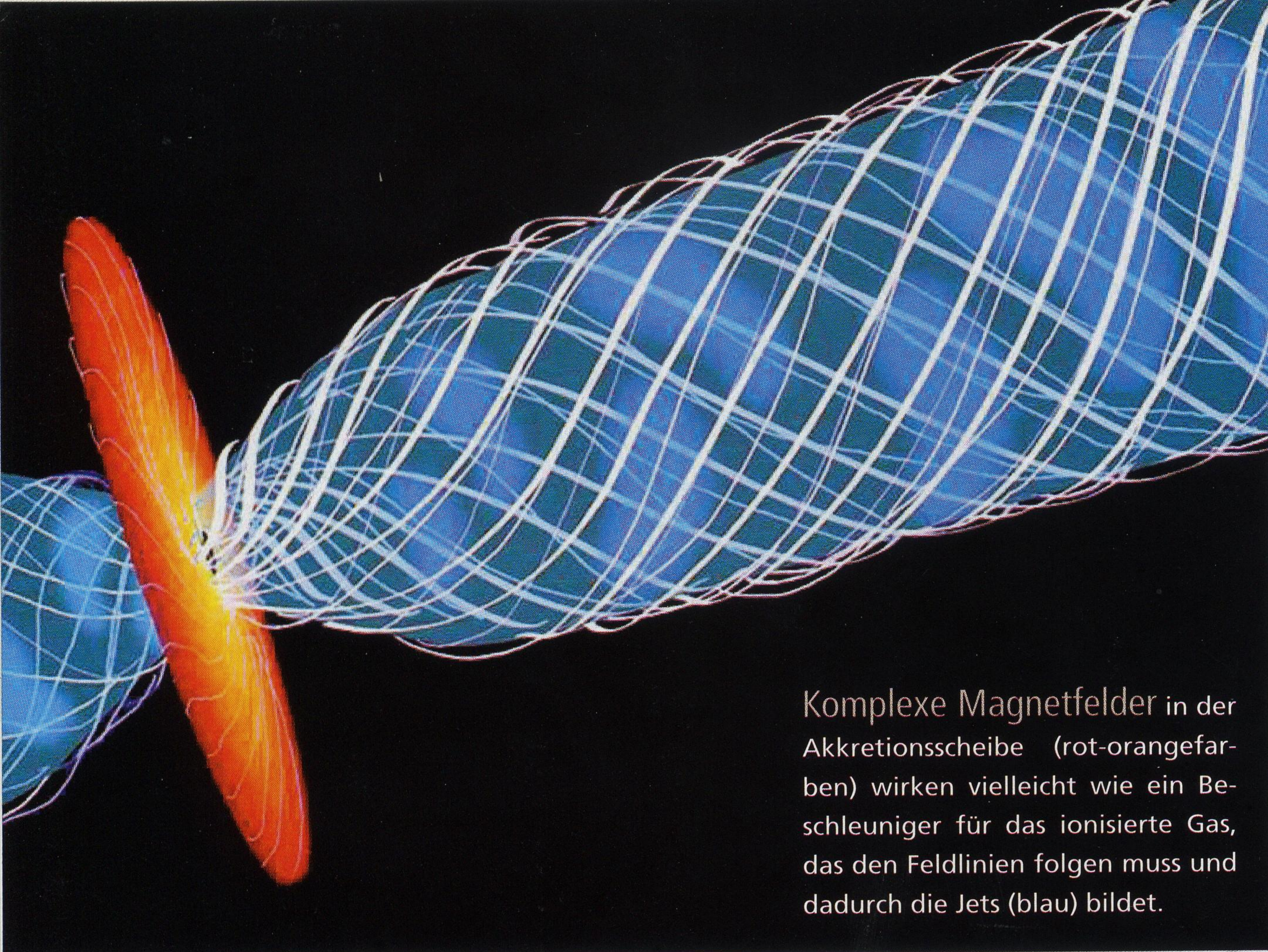
schwindigkeit errechnen, mit der seine Wolken – Radioastronomen nennen sie Knoten – über den Himmel ziehen. Das Ergebnis: Die Knoten bewegen sich anscheinend mit Überlichtgeschwindigkeit! Liegt hier eine Verletzung der Einstein'schen Relativitätstheorie vor? Zum Glück liefert die Spezielle Relativitätstheorie selbst die Erklärung für dieses scheinbare Paradoxon: Die strahlende Materie fliegt fast mit Lichtgeschwindigkeit in unsere Richtung! Dadurch sehen wir diesen Jet auch heller, während der von uns weg zeigende Jet entweder weniger strahlt, oder – wie bei vielen der »richtigen« Quasare –, zu leuchtschwach ist und von uns überhaupt nicht gesehen werden kann. Fachleute nennen dies Doppler-Verstärkung, Beaming oder Doppler Boosting der Intensität, die wir auf der Erde messen (siehe Glossar).

Heute kennen wir etwa zwanzig Mikroquasare in unserer Galaxis – jeder ist ein Röntgendoppelstern, der ein kollabiertes Objekt (ein Schwarzes Loch oder einen Neutronenstern) mit einer Akkretionsscheibe und relativistischen Jets enthält.

### Die Überlichtgeschwindigkeit

der »Radio-Knoten« in einem Jet ist ein Projektionseffekt. Er kommt zu Stande, wenn der Knoten sich durch den kleinen Sichtwinkel fast so schnell auf uns zubewegt wie die Strahlung, die er unterwegs abgibt.





Komplexe Magnetfelder in der Akkretionsscheibe (rot-orangefarben) wirken vielleicht wie ein Beschleuniger für das ionisierte Gas, das den Feldlinien folgen muss und dadurch die Jets (blau) bildet.

ASTROFOTO

> Bei den Quasaren gibt es die Untergruppe der Blazare (von »blaze« – aufblühen, aufflammen), das sind diejenigen, deren Jets zufällig fast genau in Richtung Erde zeigen, und Veränderungen in der Intensität besonders rasch ablaufen.

Müsste es dementsprechend nicht auch Mikroblazare geben, deren Jets nahezu mit unseren Sichtlinien zu ihnen zusammenfallen? Eigentlich schon. Doch wegen ihrer großen Intensitätsschwankungen dürften Mikroblazare schwer zu finden und zu beobachten sein. Bei dem kürzlich entdeckten Doppelstern V4641 Sagittarii könnte es sich tatsächlich um solch einen Mikroblazar handeln. Jerome A. Orosz von der Universität Utrecht und seine Mitarbeiter haben beobachtet, dass Knoten von diesem System scheinbar mit mehr als der zehnfachen Lichtgeschwindigkeit ausgestoßen werden.

Da ein direkt auf uns zu gerichteter Jet die höchstmögliche Dopplerverstärkung aufweist, ist er bis in größere Entfernun-

gen sichtbar als die Jets anderer Mikroquasare. Wir könnten vielleicht sogar Mikroblazare in einer anderen Galaxie beobachten und so viel Neues über die Entwicklung von Doppelsternen und kompakten Objekten lernen.

Bestimmte aktive Galaxien wie M82 und die »Antennengalaxien« NGC 4038 und 4039 weisen eine hohe Geburtenrate an Sternen auf. Sie enthalten darüber hinaus punktförmige, weit von ihrem Zentrum entfernt liegende Röntgenquellen, die deutlich leuchtkräftiger zu sein scheinen als stellare Schwarze Löcher, die Materie aus einer Akkretionsscheibe aufsaugen. Obwohl es auch andere mögliche Erklärungen für diese ultraleuchtkräftigen Röntgenquellen gibt – zum Bei-

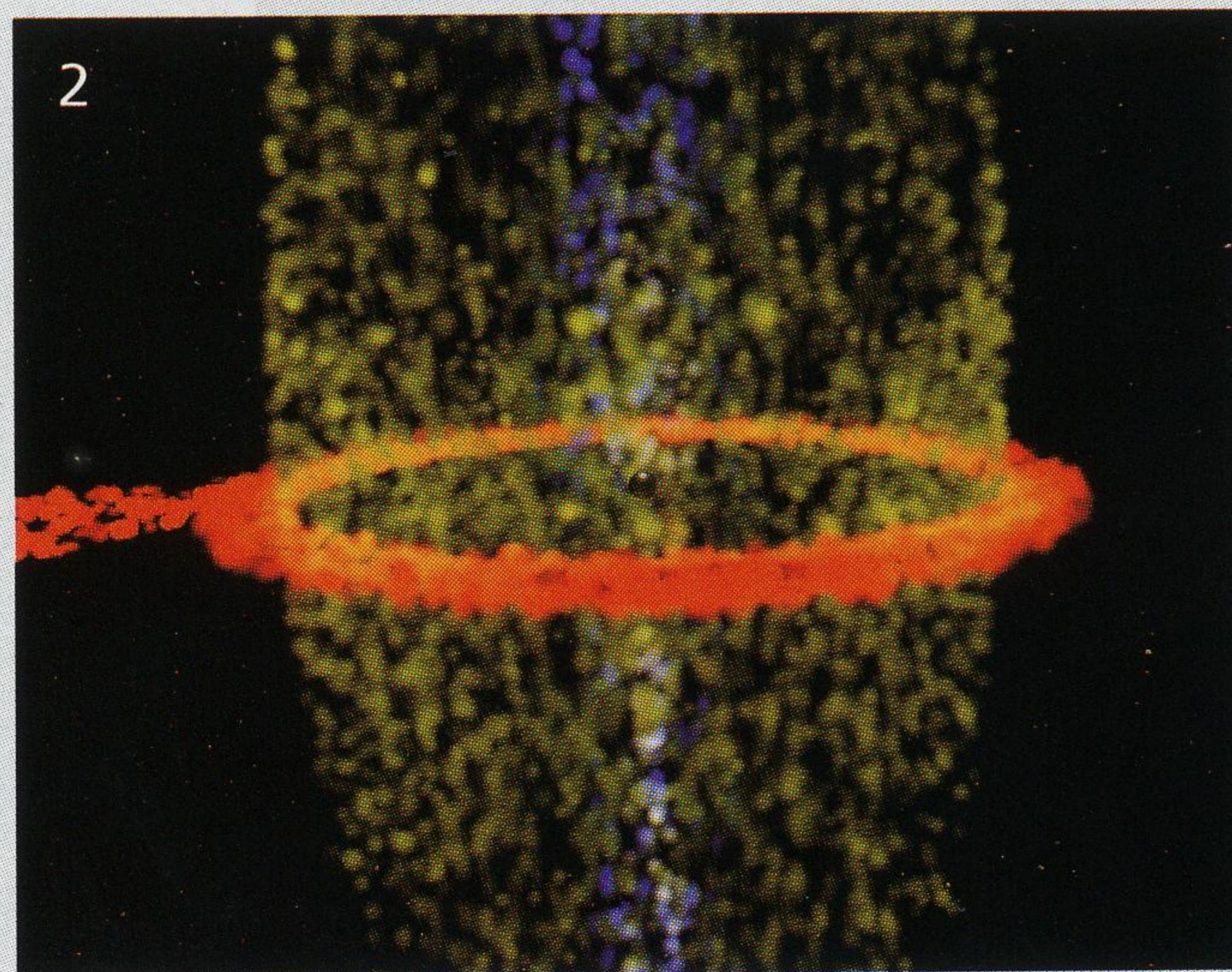
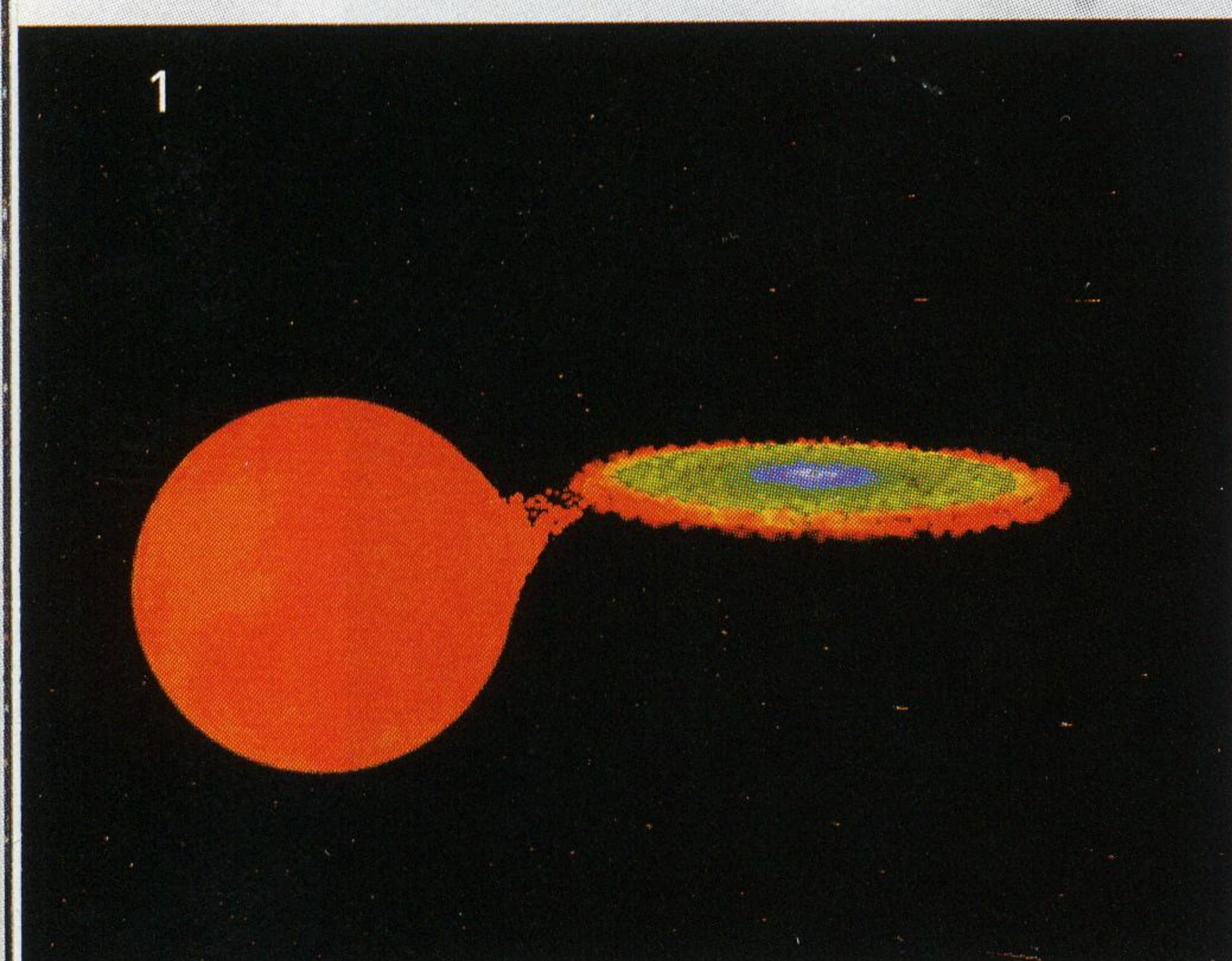
spiel Schwarze Löcher mittlerer Masse (mit Massen zwischen denen der Quasare und der Mikroquasare) –, könnte es sich hierbei um Mikroblazare handeln. Diese Quellen werden zurzeit von den Astronomen überwacht. Die Untersuchung, ob rasche Helligkeitsschwankungen auftreten oder nicht, wird helfen, zwischen den konkurrierenden Hypothesen zu entscheiden.

### Von Scheiben und Jets

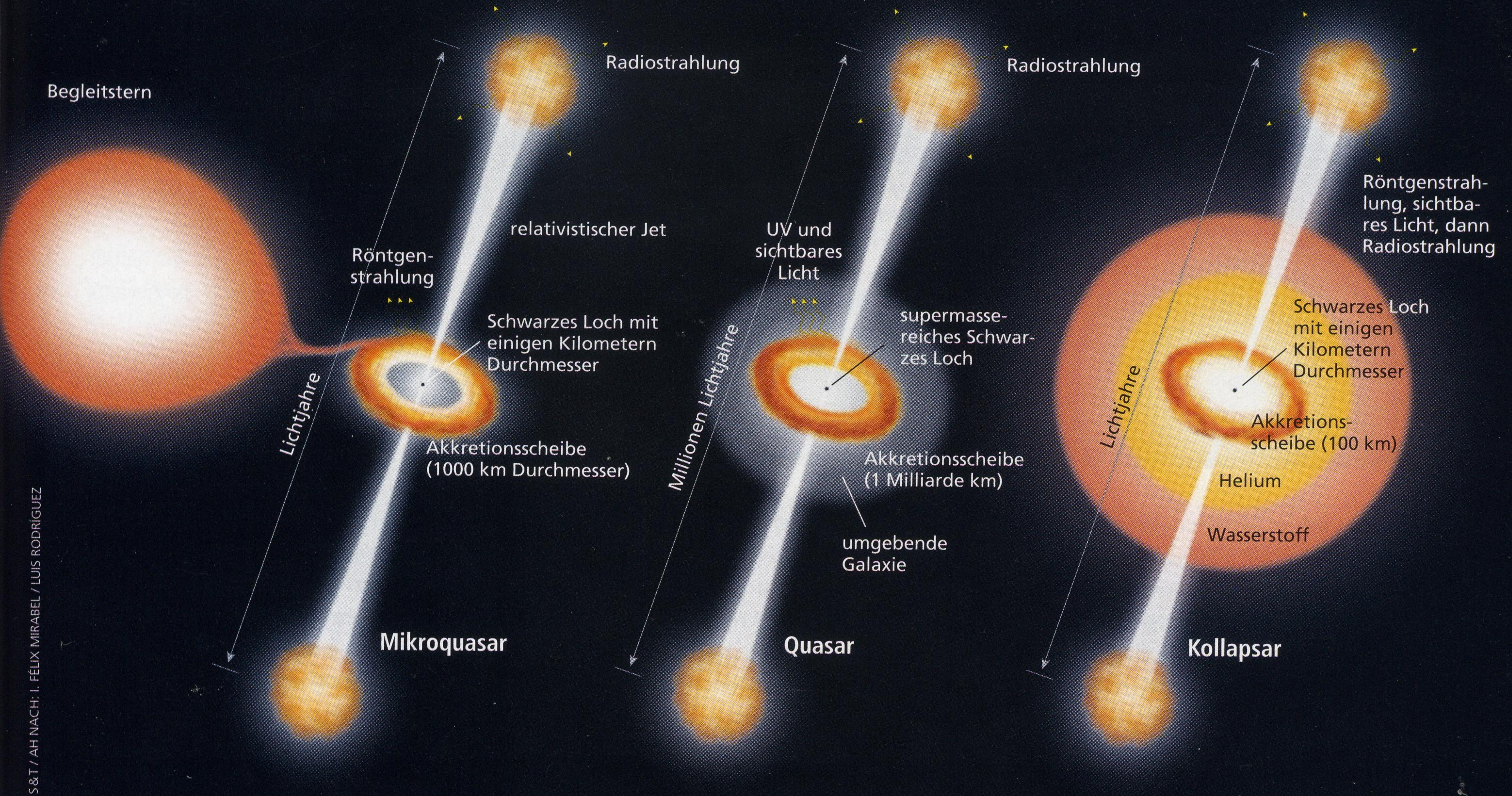
Die Erzeugung von Jets durch Akkretionsscheiben scheint ein universelles Phänomen zu sein, das bei einer Vielzahl astronomischer Objekte beobachtet wird, von Quasaren über Mikroquasare bis hin zu jungen und alten Sternen. Nach Meinung einiger Theoretiker wie Roger Blandford vom California Institute of Technology (Caltech) und David Meier vom Jet Propulsion Laboratory (JPL) werden Jets durch die hohe Rotationsenergie ihrer Akkretionsscheiben gespeist. Dabei führen sie Drehimpuls von der Scheibe ab, der andernfalls eine weitere Ansammlung von Materie verhindern würde.

Durch ihre relative Nähe, die hohe Leuchtkraft und die schnellen Helligkeitsschwankungen haben Mikroquasare den Astronomen einzigartige neue Beweise für die direkte Beziehung zwischen Scheiben und Jets geliefert. Eine solche Verbindung erschien zwar schon immer einleuchtend, konnte aber bislang nie eindeutig bewiesen werden. Mittlerweile läuft aber eine ständige Überwachung in vielen Wellenlängenbereichen – im Weltall beispielsweise durchgeführt

**Materie aus der äußeren Atmosphäre** des Begleitsterns füttert in dieser Computergrafik eine Akkretionsscheibe um das Schwarze Loch (1). Aus noch unbekanntem Gründen stößt die Scheibe Materie aus ihrem Innenbereich ab (2), die in Form von »Knoten« senkrecht zur Scheibe entweicht (3).



WALT FEIMER, ALLIEDSIGNAL TECHN. SERV. CORP. / NASA



mit dem Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE). Zusätzlich wird vom Boden aus mit Teleskopen auf der ganzen Welt beobachtet und die Astronomen können dabei zusehen, wie Mikroquasar-Jets »Materie-Nahrung« aus ihren Akkretionsscheiben erhalten. Insbesondere haben Forschergruppen über die Jahre hinweg belegen können, dass Instabilitäten in der Akkretionsscheibe eines Mikroquasars einige Zeit später zum relativistischen Ausstoß von Materie führen.

GRS 1915+105 lieferte 1997 das erste Beispiel für dieses Phänomen: Auf ein plötzliches Absinken der Röntgenleuchtkraft dieses Doppelsterns folgte ein rascher Ausbruch im Infraroten und später bei Radiowellenlängen. Das Absinken der Röntgenstrahlung wurde erstmals von Tomaso Belloni vom Osservatorio Astronomico di Brera (OAB) in Italien erklärt, der es auf das Verschwinden einer

**Ein einziger physikalischer Mechanismus** könnte für drei unterschiedliche Arten astronomischer Objekte verantwortlich sein: für Mikroquasare (links), Quasare (Mitte) und Kollapsare (rechts). Die einzelnen Komponenten in den Zeichnungen sind nicht maßstabsgerecht dargestellt; die Entfernungsbalken geben lediglich die Größenordnung der Jet-Längen an.

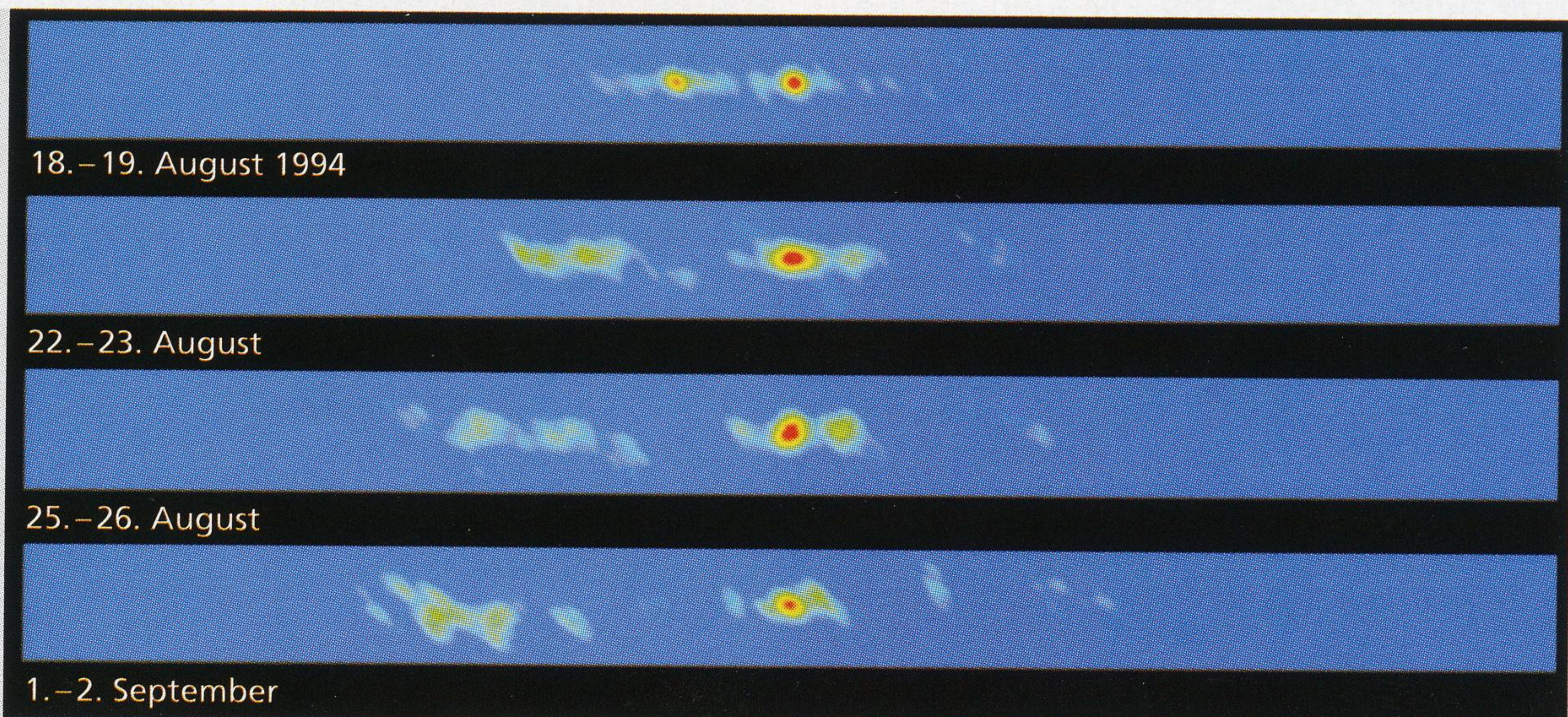
Portion heißen Scheibengases hinter dem Ereignishorizont des Schwarzen Lochs zurückführt. Wenn frisches Gas vom Partnerstern die Akkretionsscheibe wieder auffüllt, erholt sich der Pegel an Röntgenstrahlung wieder. Doch das System muss Drehimpuls loswerden und stößt daher rotierende Jets aus, die diesen mit sich fortführen.

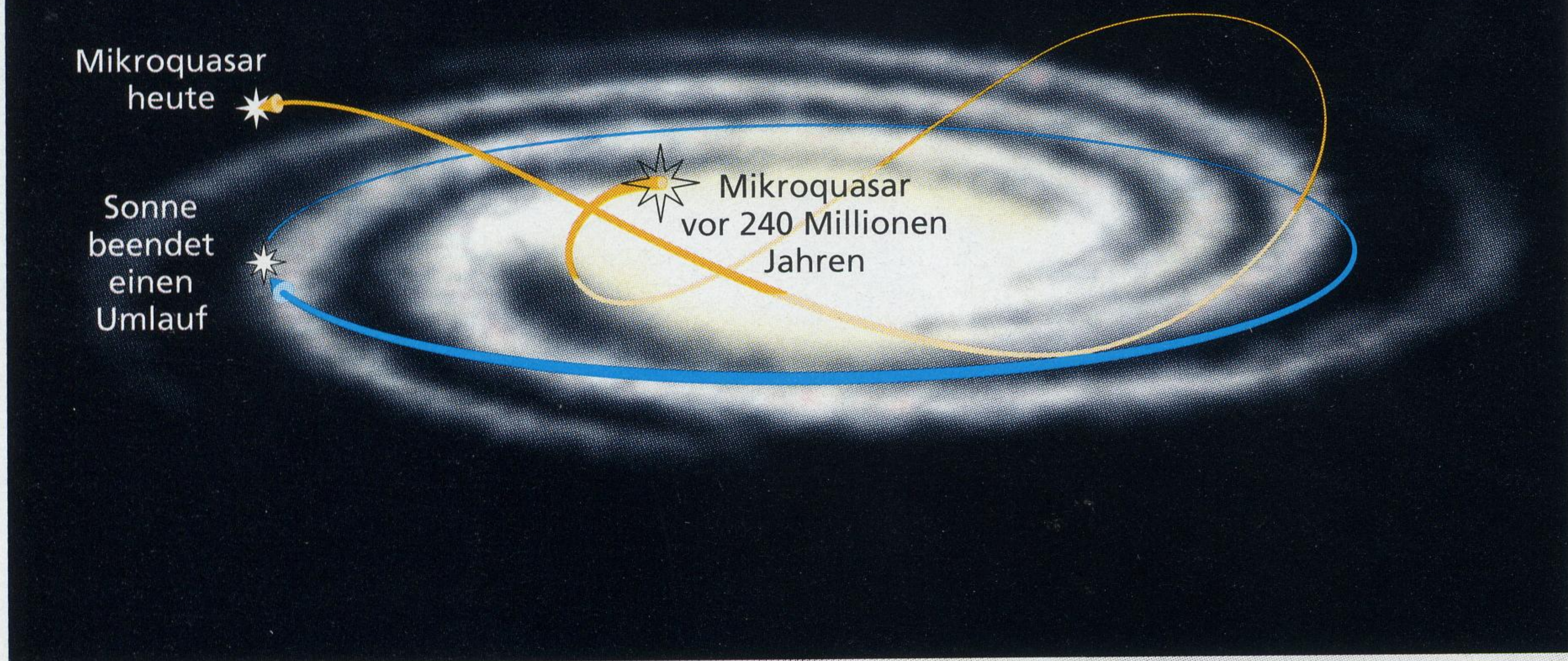
Ähnliche Vorgänge erwartet man auch bei Quasaren, doch hier laufen sie in Dutzenden oder Hunderten von Jahren ab und nicht in Minuten oder Stunden. Außerdem treten die Schwankungen bei Quasaren im sichtbaren und ul-

travioletten Wellenlängenbereich auf, wo möglicherweise Absorption durch Staub und Sternlicht in der Zentralregion der Heimatgalaxie des Quasars die Beobachtungen stören. Daher könnte es sein, dass wir diesen besonders aufschlussreichen Beweis für eine Scheiben-Jet-Verbindung nur bei den kleinen, sich rasch entwickelnden Mikroquasaren erbringen können.

Die enge, wechselseitige Beziehung zwischen Akkretionsscheibe und Jet könnte auch die Energie für die rätselhaften Gammastrahlungsausbrüche (Gamma-Ray Bursts, GRBs) liefern. Den >

**Ein weiterer Mikroquasar** in der Milchstraße, GRO J1655-40 im Skorpion, wurde im Radiobereich mit dem Very Long Baseline Interferometer aufgenommen. Auch hier scheinen sich die Knoten mit Überlichtgeschwindigkeit zu bewegen. Der zentrale rote Fleck gibt die Lage des Doppelsterns mit seinem Schwarzen Loch an, von dem das relativistische Plasma stammt.





S&T/AH NACH: I. FELIX MIRABEL / LUIS RODRIGUEZ

Die errechnete Bahn von XTE J1118+480, einem Mikroquasar im Halo der Milchstraße. Eine Computeranimation, die den Mikroquasar und die Sonne auf ihren Bahnen um das Zentrum der Galaxis zeigen, ist auf Felix Mirabels Homepage im MPEG-Format zu sehen.

> theoretischen Modellen der Forscher zufolge stößt ein Kollapsar – der in sich zusammenstürzende Kern eines massereichen Sterns – kurzzeitig Jets aus. Diese wiederum senden Gammastrahlung aus (siehe Bild Seite 33 und ASTRONOMIE HEUTE Juli/ August 2003, S. 12). Wie bereits erwähnt, hängt die bei einem Jet beobachtete Intensitätsverstärkung von unserem Blickwinkel ab. Direkt von vorn beobachtete Jets könnten demnach nicht nur Blazare und Mikroblazare erklären, sondern auch GRBs. Weitere Untersuchungen der Mikroquasare könnten also nicht nur zum Verständnis der leuchtkräftigsten astronomischen Objekte, sondern auch der energiereichsten kosmischen Explosionen beitragen.

Zunächst schienen Mikroquasare Objekte zu sein, deren Vorkommen auf die Milchstraßenebene beschränkt ist. Dies deutet darauf hin, dass sie erst in jüngerer Vergangenheit in den Molekülwolken entstanden sind, die unsere galaktische Scheibe bevölkern. Doch dann wurden einige Mikroquasare entdeckt, die sich im galaktischen Halo gebildet haben, vermutlich zu einer Zeit, als die Milchstraße selbst erst im Entstehen war.

Der spektakulärste Fall ist XTE J1118+480, ein Mikroquasar, der mit rasanten 150 Kilometern pro Sekunde durchs All fliegt. Da wir sowohl die Richtung dieser Bewegung als auch die Entfernung des Objekts kennen, können wir die Bahn berechnen, der XTE J1118+480 in den letzten 250 Millionen Jahren wahrscheinlich gefolgt ist (siehe Bild Seite 32 oben). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass XTE J1118+480 höchstwahrscheinlich in einem alten Kugelhaufen entstanden ist – und nicht in der Scheibe der Milchstraße.

Zurzeit entstehen im Halo unserer Milchstraße keine massereichen Sterne, wie sie für die spätere Bildung von

Schwarzen Löchern notwendig sind. Es gibt jedoch Anzeichen dafür, dass in den frühen Entwicklungsphasen unserer Galaxis eine überaus reiche Produktion von Sternen – und viele nachfolgende Typ-II-Supernova-Explosionen – im Halo stattgefunden haben muss. Daraus folgt, dass mindestens 100 000 alte, stellare Schwarze Löcher im Halo umherschwirren.

### Astrophysikalische Archäologie – was Mikroquasare alles »wissen«

Die meisten dieser Schwarzen Löcher sind Einzelgänger. Ohne einen Partnerstern, der sie mit Nahrung versorgt, bleiben sie »ruhig« und praktisch unauffindbar. Doch in den archivierten Daten des Egret-Instruments, das auf dem inzwischen nicht mehr im Orbit befindlichen Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) flog, hat Isabelle Grenier vom Forschungslabor von der CEA eine Unterklasse von Gammastrahlungsquellen entdeckt. Dass es sich bei diesen unidentifizierten Egret-Quellen um Halo-Mikroquasare handeln könnte, ist eine faszinierende Möglichkeit, der einige Forscher momentan nachgehen.

XTE J1118+480 ist der erste entdeckte Überrest einer Population sehr massereicher Sterne, die vor langer Zeit in den fernen Weiten unserer Milchstraße entstanden sind. Wie Archäologen, die Grabstätten einer vergangenen Zivilisation ausgraben, könnten Mikroquasarforscher eines Tages Hinweise auf die frühe Geschichte unserer Milchstraße liefern.

Verglichen mit richtigen Quasaren mögen Mikroquasare winzig und schwach sein, doch ihre Untersuchung wird durch verschiedene Eigenschaften vereinfacht. Zum einen ist es bei ihnen möglich, sowohl die auf uns zukommenden als auch die von uns fortgerichteten Seiten der Jets zu beobachten, während man bei Quasaren wegen der höheren re-

lativistischen Verstärkung nur den auf uns zukommenden Jet sieht. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die beobachtbaren Längen- und Zeitskalen proportional zur Masse der Materie schluckenden Schwarzen Löcher sind. Phänomene, die sich bei einem Mikroquasar innerhalb von wenigen Stunden abspielen, können bei einem Quasar länger als ein Menschenleben dauern.

Außerdem senden die sehr kompakten Scheiben und Jets von Mikroquasaren harte Röntgen- und Gammastrahlung aus. Diese kann interstellare Materie durchdringen, die bei anderen Wellenlängen undurchsichtig ist.

Falls wir irgendwann nicht nur die Eigenbewegungen sondern auch Spektrallinien in den Jets der Mikroquasare nachweisen könnten, hätten wir unabhängige Messungen der Geschwindigkeiten der Jets über den Himmel und entlang unserer Sichtlinie. Dies wäre eine faszinierende Möglichkeit, mithilfe von Mikroquasaren Entfernungen auf eine neue, unabhängige Weise zu bestimmen. <<

### I. Félix Mirabel und Luis Felipe Rodríguez

wurden für ihre Entdeckung der Mikroquasare und deren Überlichtgeschwindigkeitsbewegungen mit dem Bruno-Rossi-Preis der Amerikanischen Astronomischen Gesellschaft ausgezeichnet. Mirabel teilt seine Zeit zwischen dem Forschungslabor der französischen Atomenergiebehörde CEA und dem argentinischen Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE) auf, während Rodríguez an der Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) arbeitet.

[www.iafe.uba.ar/astrof/mirabel/mirabel.html](http://www.iafe.uba.ar/astrof/mirabel/mirabel.html)

[www.astrosmo.unam.mx/~luisfr/](http://www.astrosmo.unam.mx/~luisfr/)



FELIX MIRABEL, LUIS RODRIGUEZ