

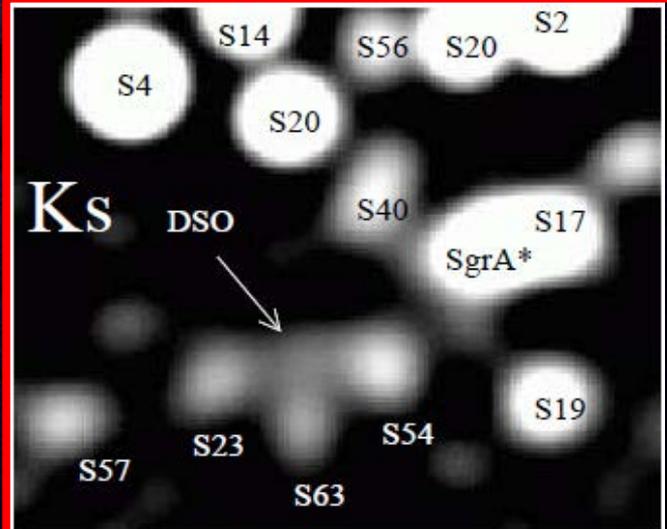
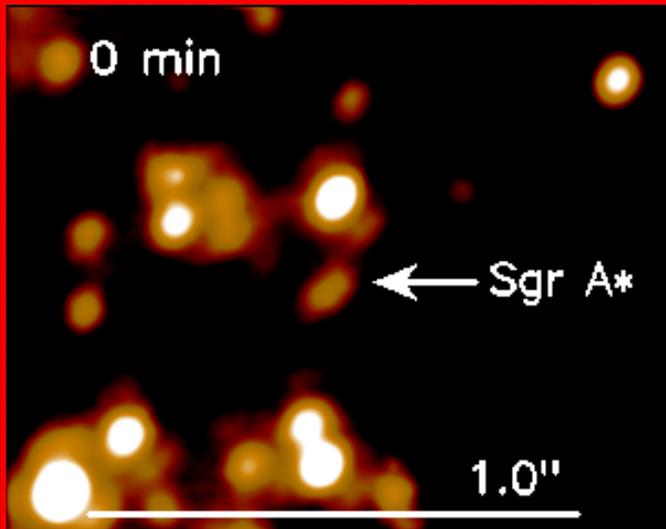
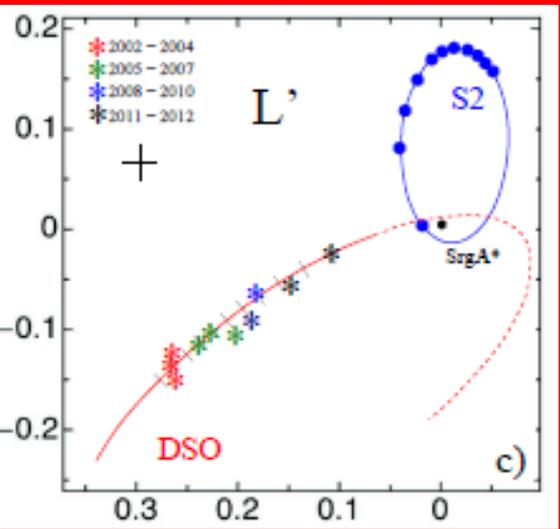
Schwarze Löcher

Science College Overbach, Jülich-Barmen, 24 August, 2017

Andreas Eckart

I. Physikalisches Institut der Universität zu Köln
Max Planck Institut für Radioastronomie

M. Valencia-S., A. Eckart, F. Peissker, M. Zajacek, M. Parsa, N. Grosso, E. Mossoux, D. Porquet, B. Jalali, V. Karas, S. Yazici, B. Shahzamanian, N. Sabha, R. Saalfeld, S. Smajic, R. Grellmann, L. Moser, M. Horrobin, A. Borkar, M. Garcia-Marin, M. Dovciak, D. Kunneriath, G. D. Karssen, M. Bursa, C. Straubmeier, F. Yusef-Zadeh and H. Bushouse

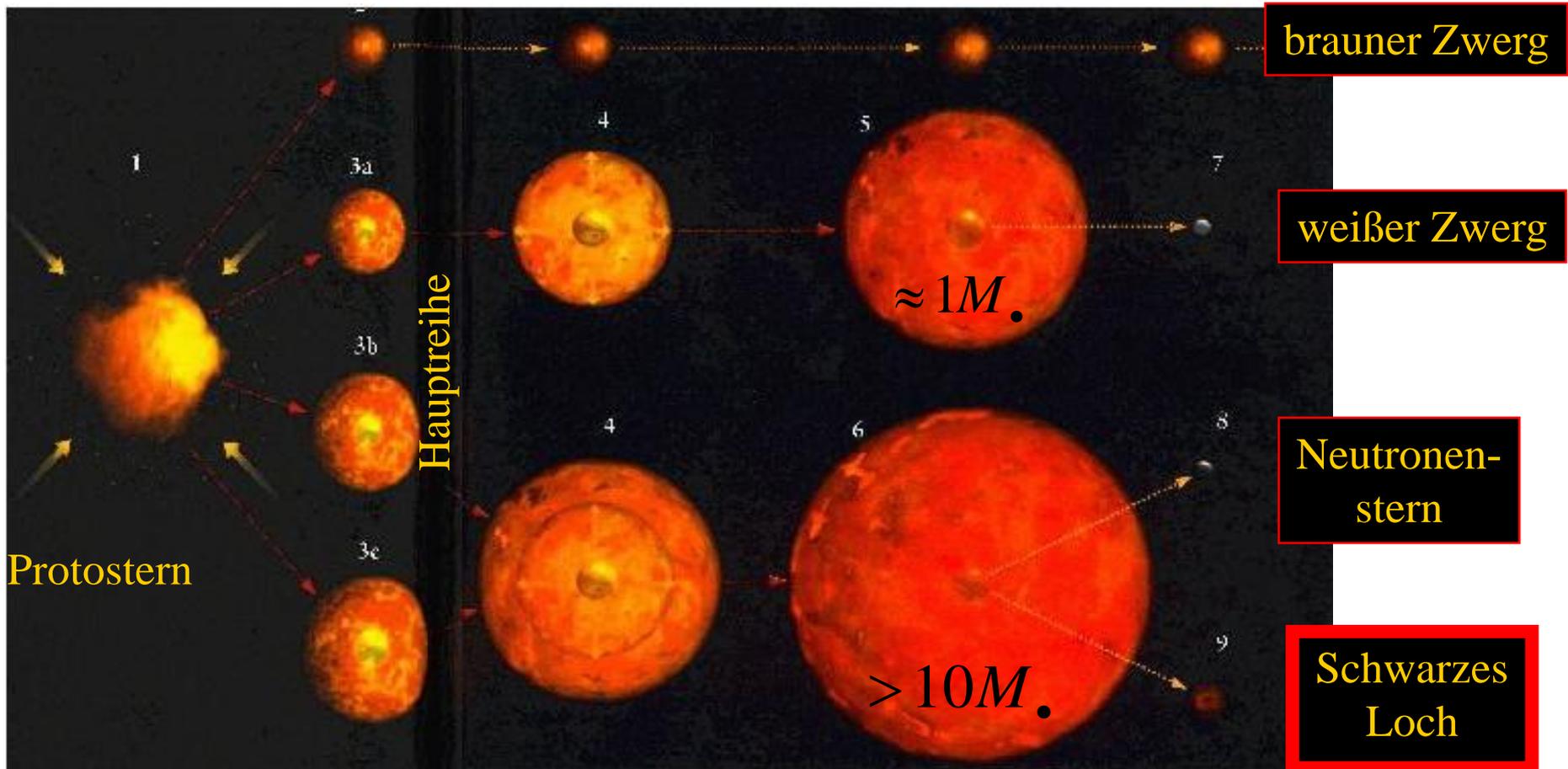


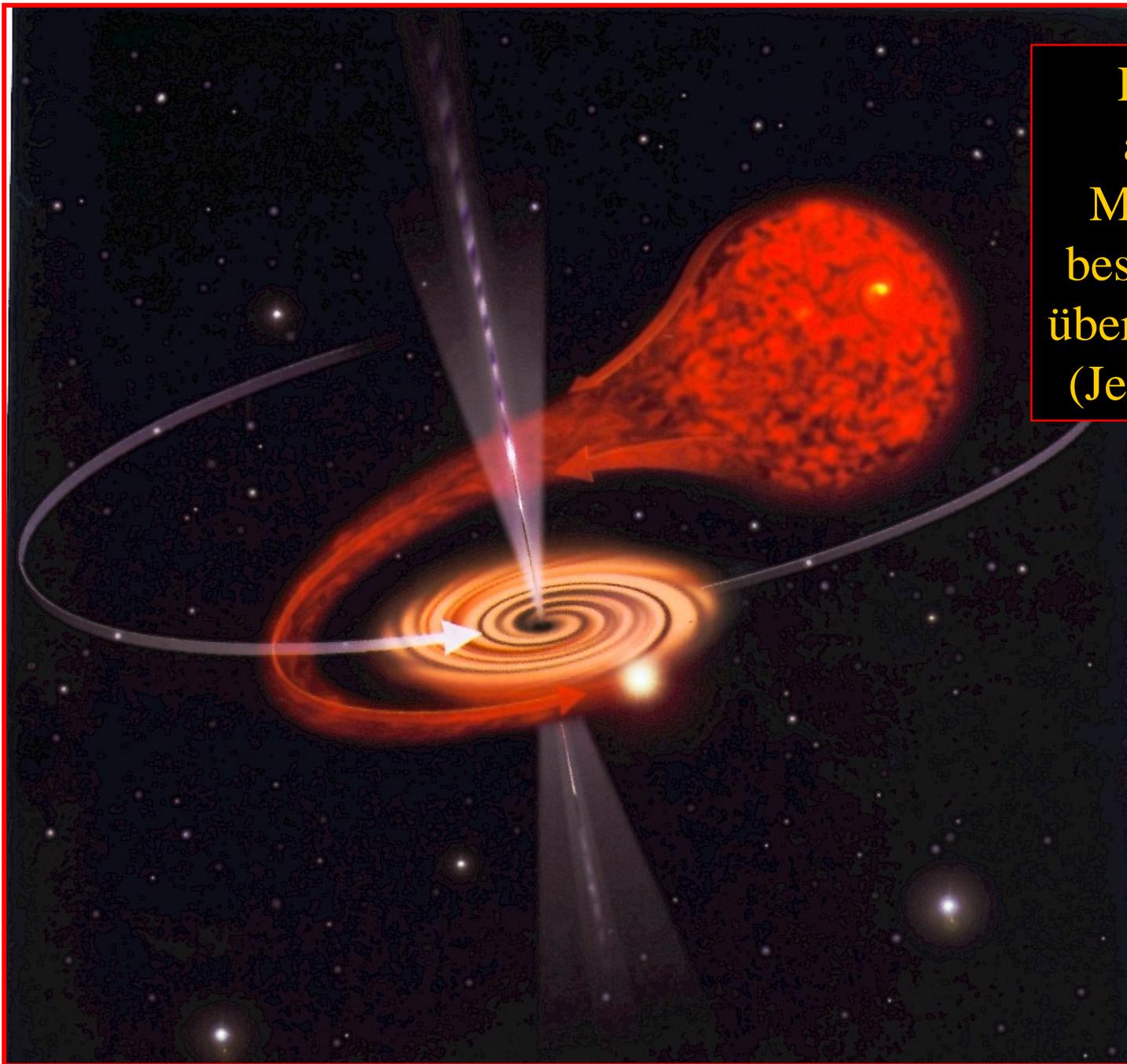
Aufbau

- Stellare und supermassive Schwarze Löcher
- Entstehung und Entwicklung von Galaxien
 - Das Zentrum der Milchstraße
- Neuste und zukünftige Messungen

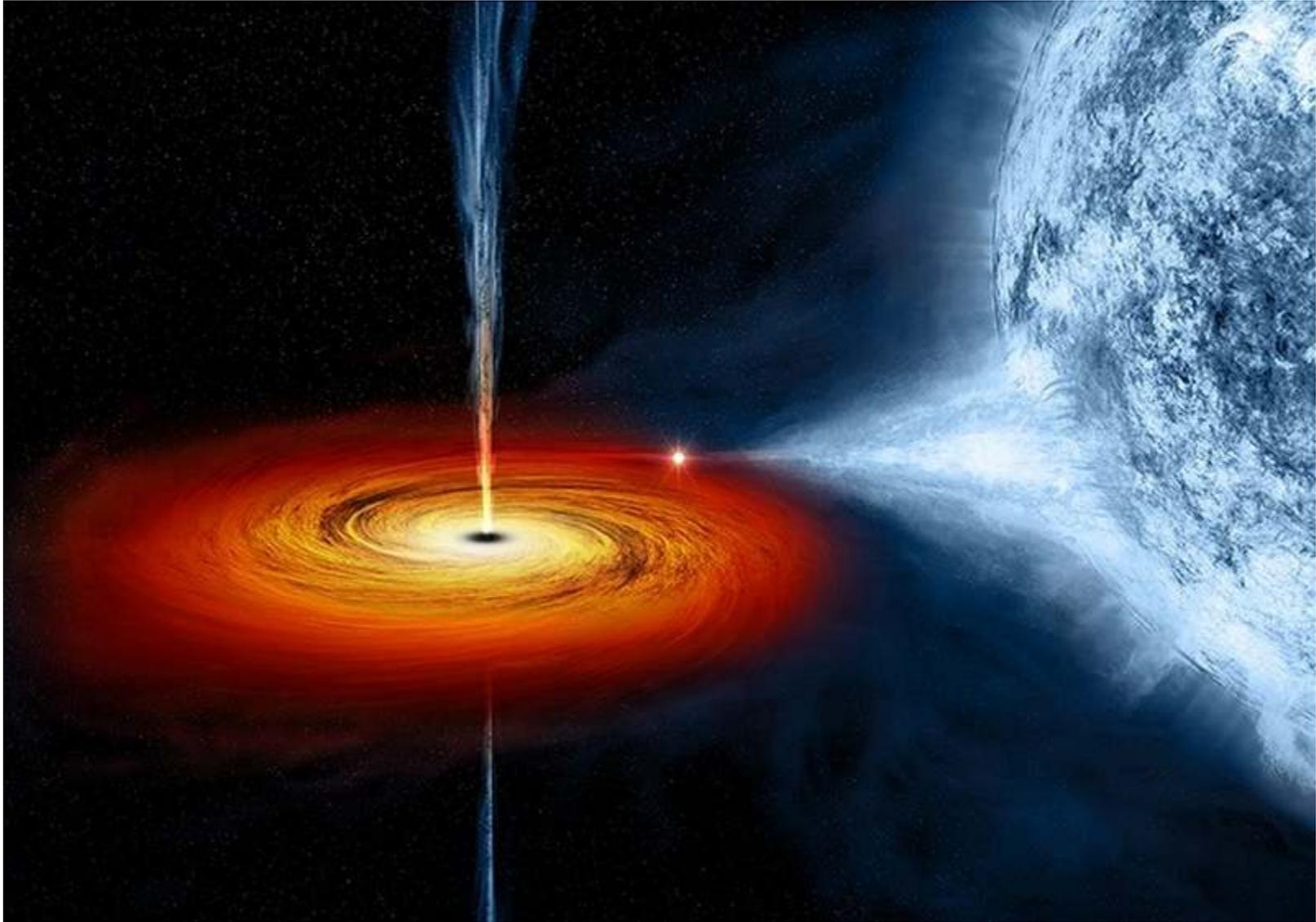
Stellare und supermassive Schwarze Löcher

Stellare Entwicklung: Die Bildung stellarer Schwarzer Löcher





Ein Teil des
akkretierten
Materials wird
beschleunigt und
über Düsenstrahlen
(Jets) abgegeben.



Warum untersucht man super-kompakte Massen?

- Physik extremer Zustände von Materie
 - Kein Laborexperiment möglich
(für massive Schwarze Löcher)
- Überprüfung physikalischer Erkenntnisse

Plan

- Einleitung
- Das Zentrum der Milchstraße
 - Geschichtliches und Einführung
 - Staubquellen im Galaktischen Zentrum
 - Quelle DSO/G2 auf Kollisionskurs
- Sternentstehung und super-massive Schwarze Löcher?
- Ausblick

Unterscheidung zwischen stellaren und galaktischen Schwarzen Löchern

Stellare Schwarze Löcher entstehen durch
Kollaps der Kerne schwerer Sterne ; $M \sim 10$

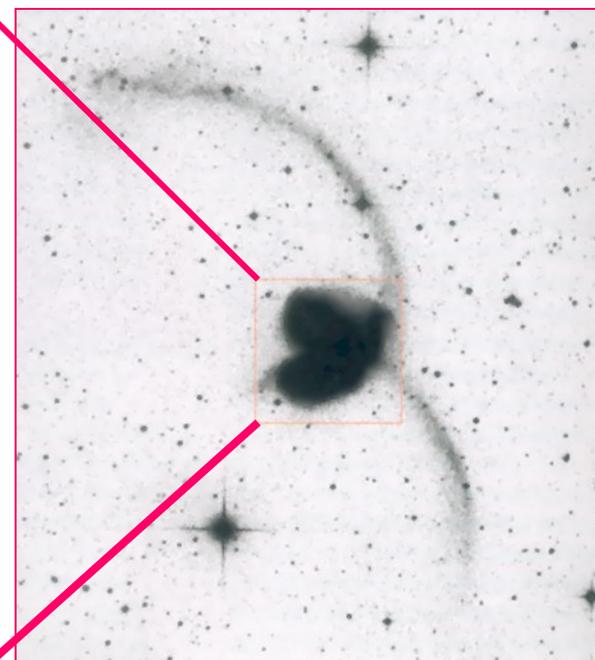
Galaktische Schwarze Löcher haben sich in den Kernen von
Galaxien gebildet; $M > 1.000.000$

Wie können galaktische Schwarze Löcher nachgewiesen werden?

Kollisionen von Galaxien

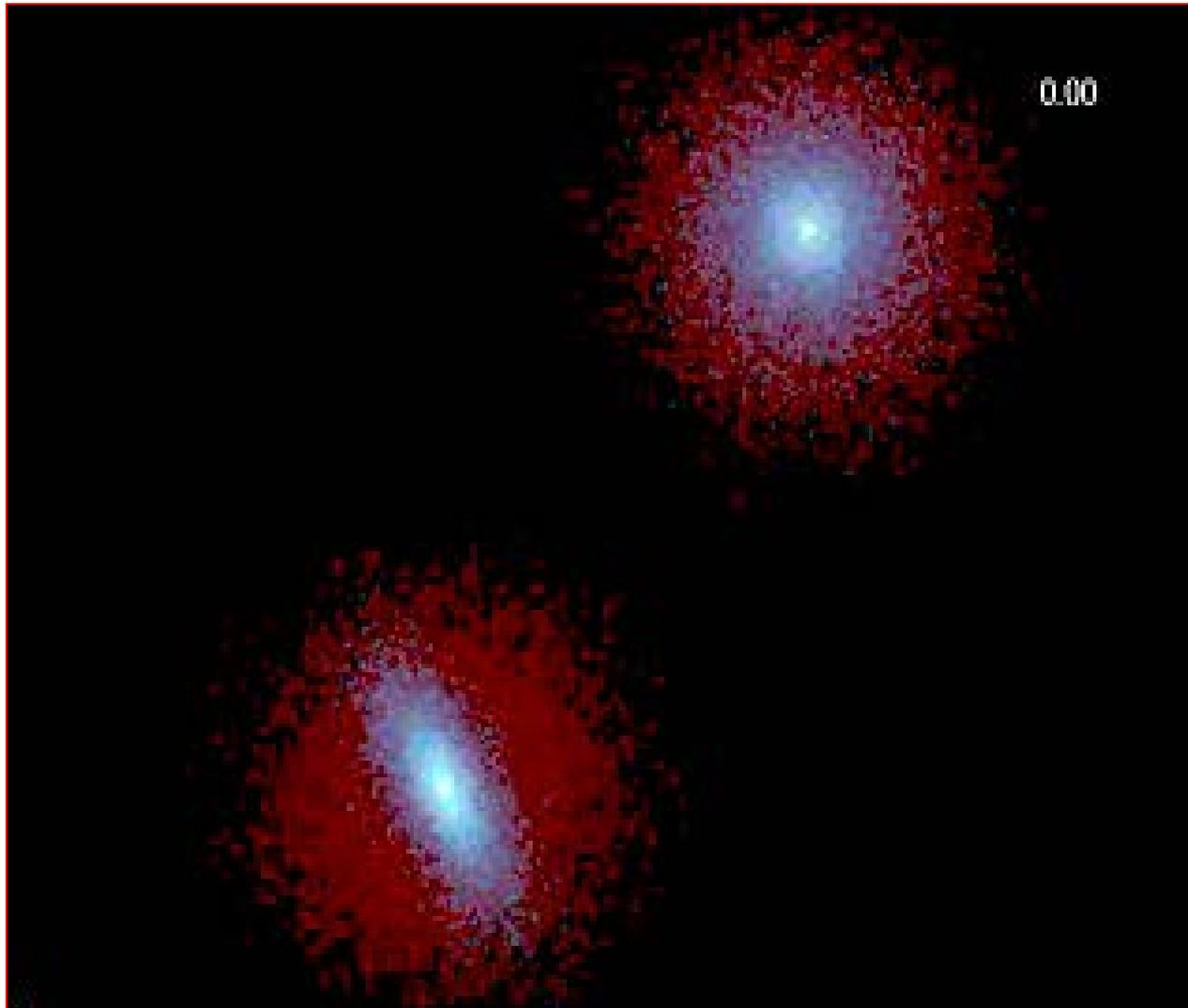


Antennen-Galaxie
NGC 4038/39

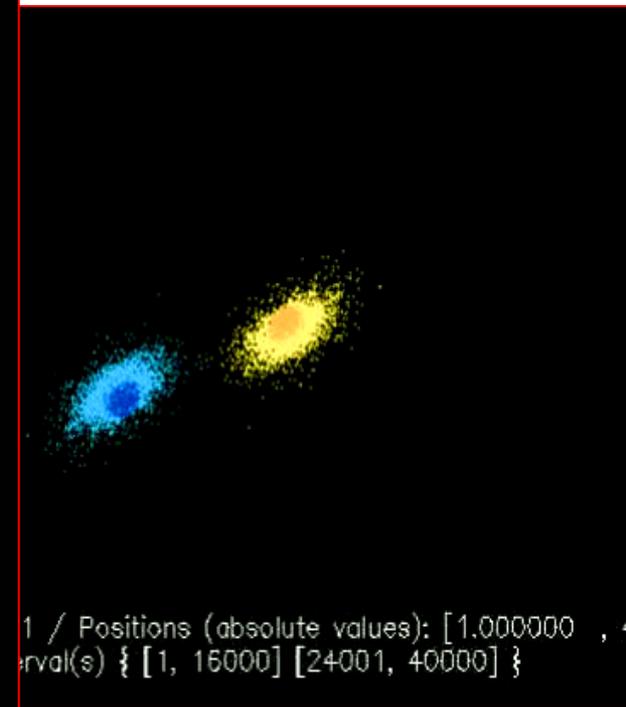


20 Mpc Entfernung
 $1'' = 140 \text{ pc}$

Galaxien können zusammenstoßen und miteinander verschmelzen!

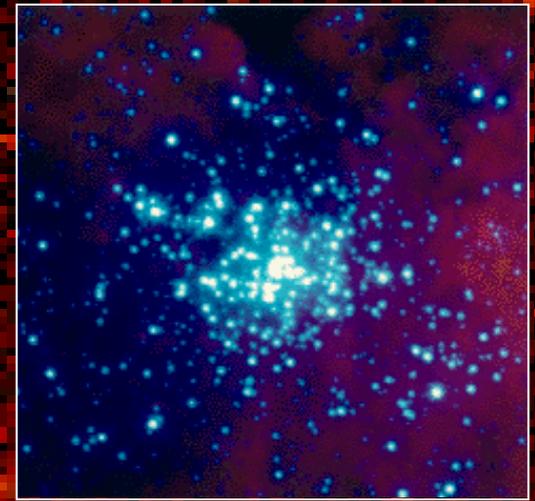


- Aus Spiralen werden elliptische Galaxien
- Die zentralen Verdickungen von Spiralgalaxien verschmelzen

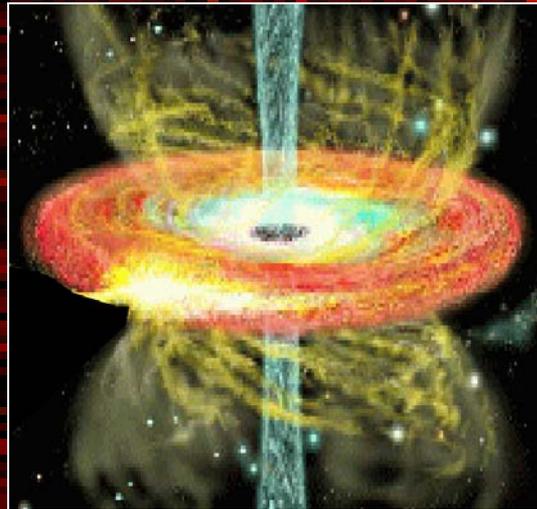


Aktive Galaxien- Kerne: Sterne oder schwarze Löcher?

Wie lässt sich die hohe
Energieabgabe der
Zentren aktiver Galaxien
erklären?



$E < 0.005 Mc^2$



Massenverteilung

$E < 0.1 Mc^2$

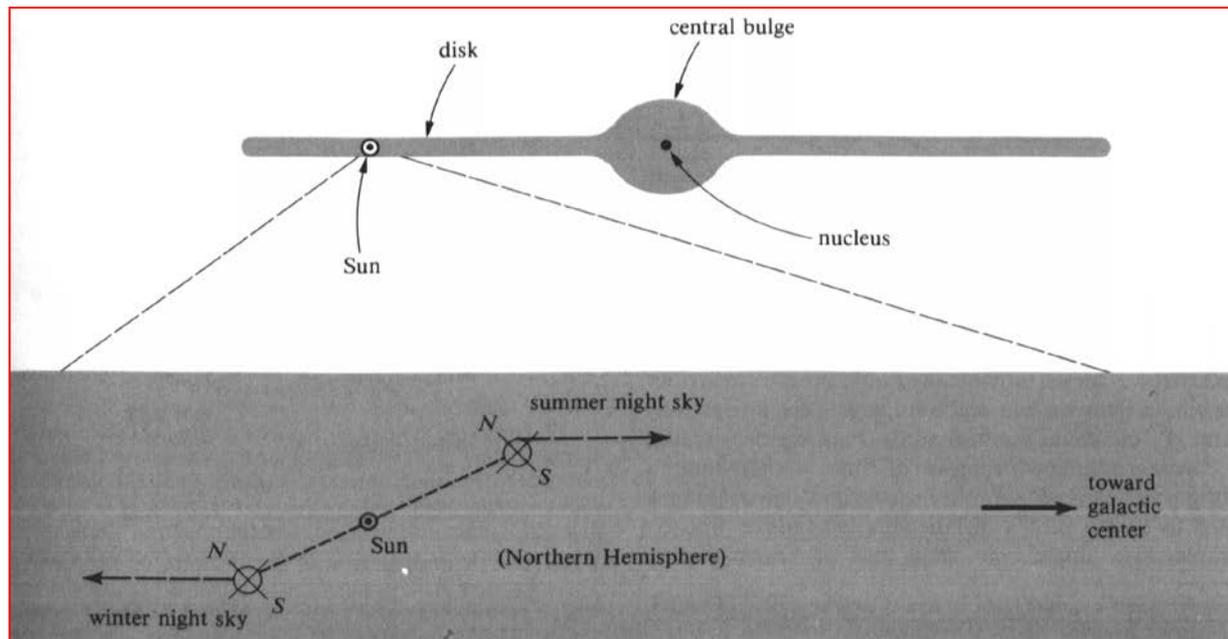
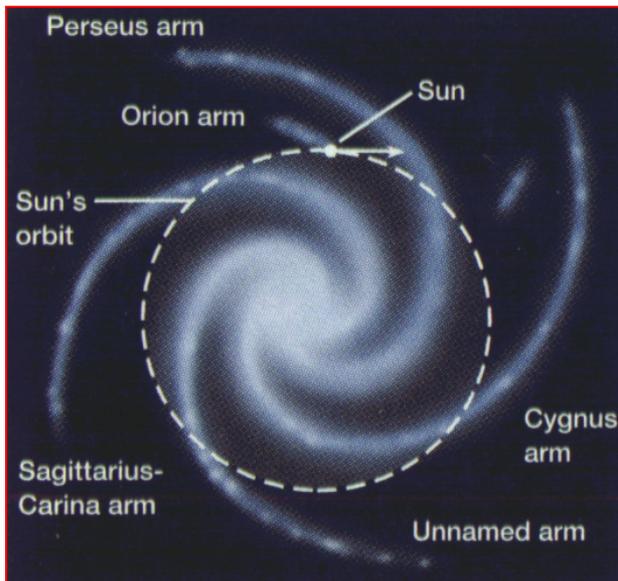
*veränderliche Röntgen-
und γ - Strahlung
relativistische radio jets*

HST WFPC 2

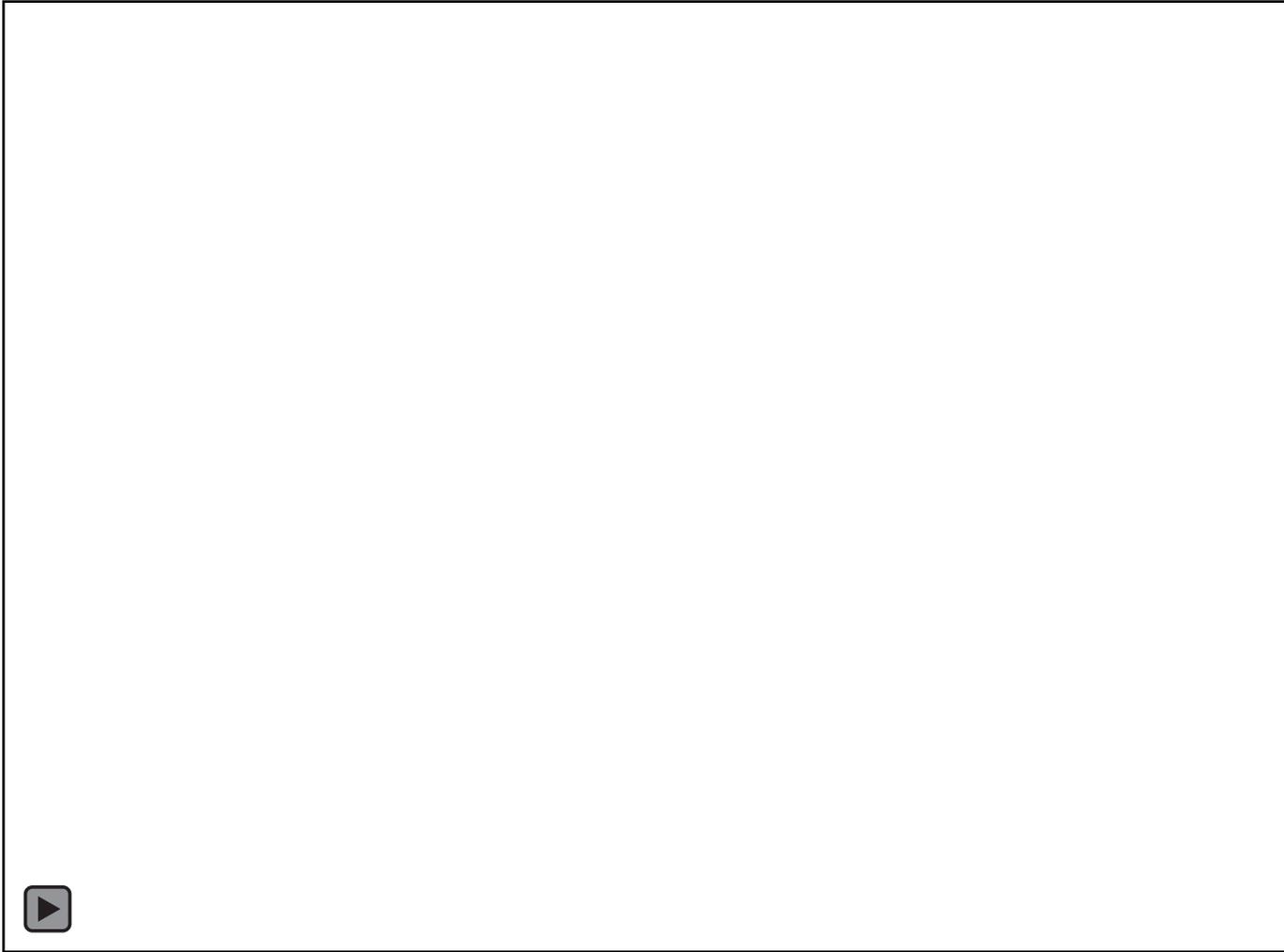
Das Zentrum der Milchstrasse

ist der nächste Galaxienkern mit einem Abstand von nur 8 Kiloparsek, d.h. das Licht ist etwa seit 26.400 Jahren zu uns unterwegs.

Die hohe Extinktion von $A_v=30$ $A_k=3$ erfordert Beobachtungen im Infraroten (Radio- und Röntgenbereich) !

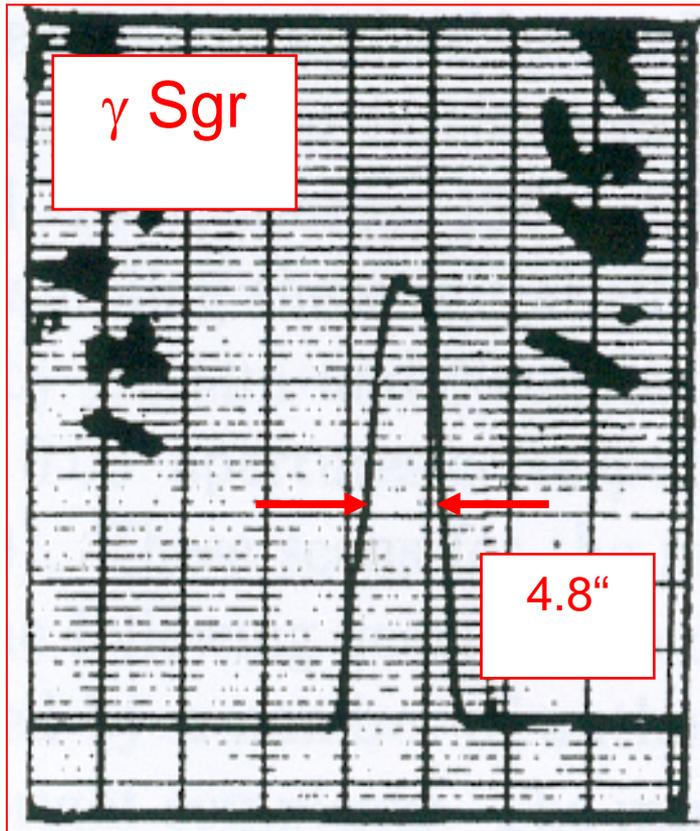


SgrA* and its Environment



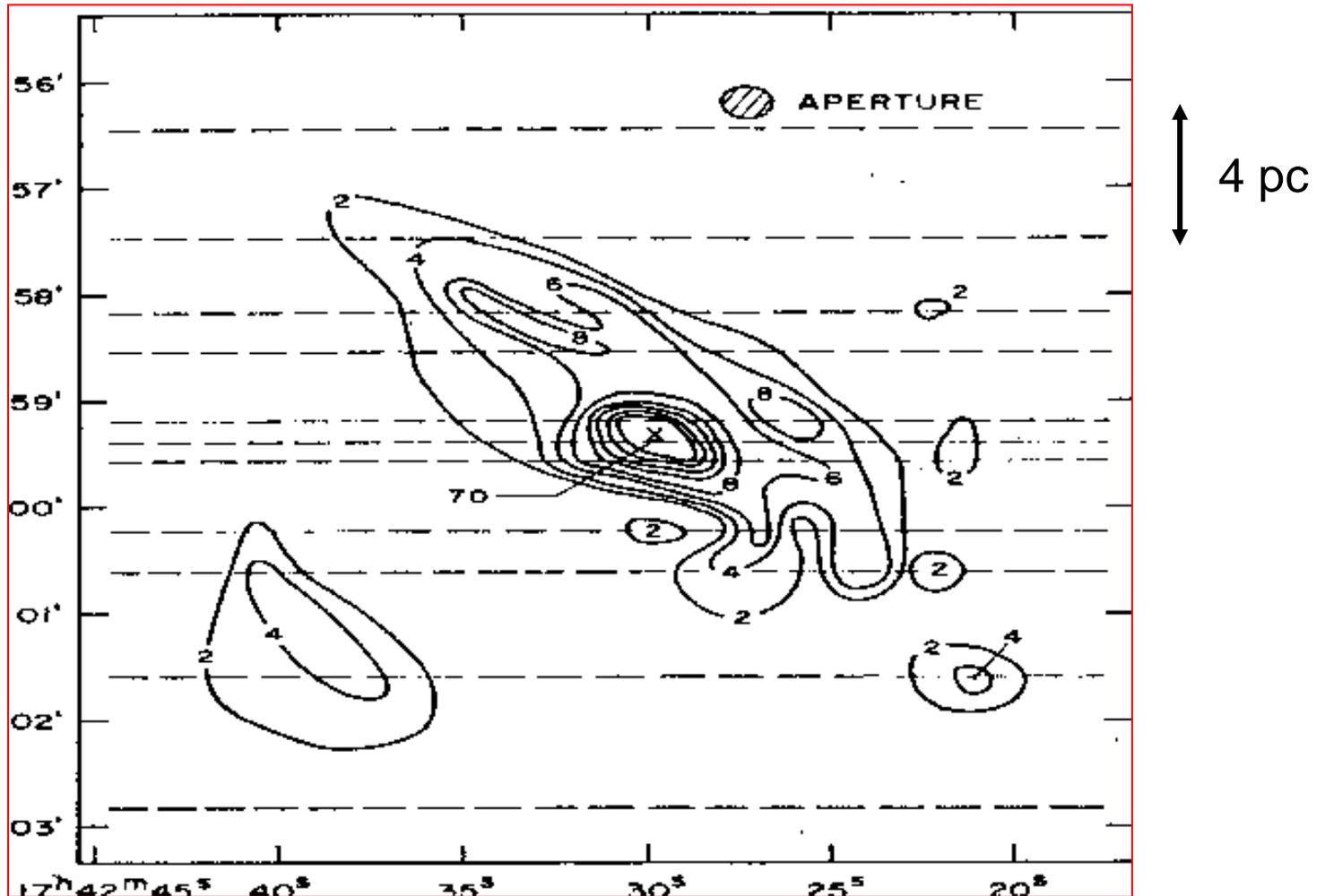
Source : NASA/Chandra

Die ersten 2.2 μ m Scans durch das GC



R.A. Scans für Streifenkartenmessungen mit einem einzelnen Detektor
(Becklin & Naugebauer 1968)

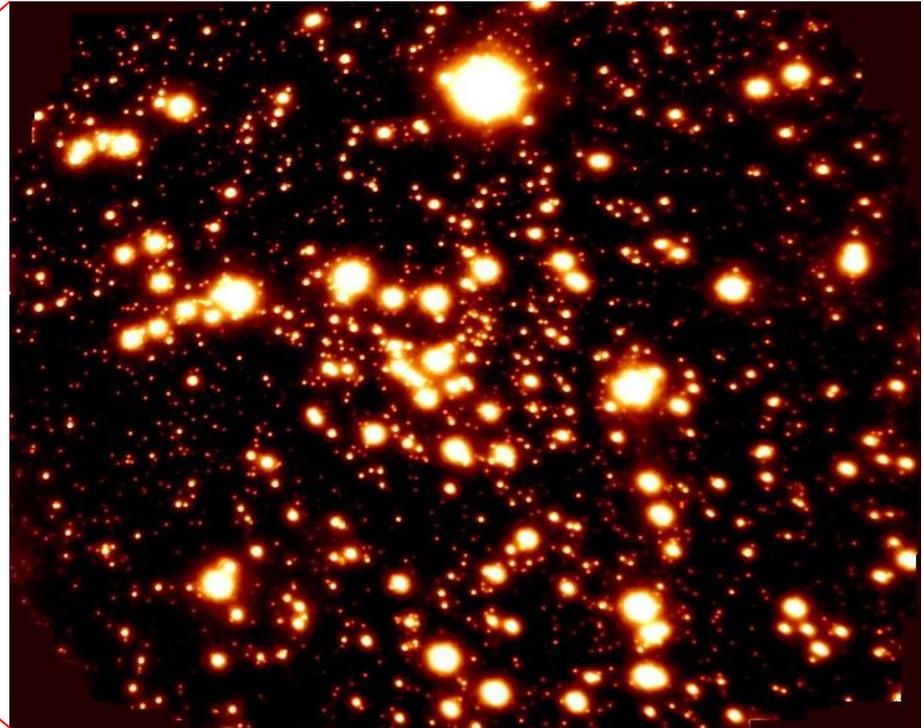
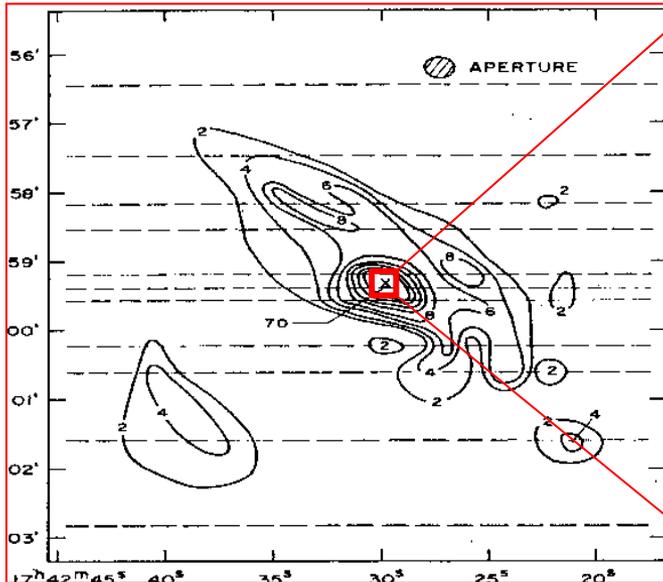
Die ersten 2.2 μ m Scans durch das GC



R.A. Scans für Streifenkartenmessungen mit einem einzelnen Detektor
(Becklin & Naugebauer 1968)

Die ersten 2.2 μ m Scans durch das GC

4 pc
↔



0.5 pc

Streifenkartenmessungen mit einem
einzelnen Detektor
(Becklin & Naugebauer 1968)

Infrarotbeobachtungen
am VLT in Chile
Beobachtungen seit 1999
(+7 Jahre NTT)

Chile.

A photograph showing two people walking away from the camera across a vast, rocky, and arid landscape. The ground is covered in reddish-brown soil and numerous dark, jagged rocks of various sizes. In the background, there are low, rolling hills of the same reddish-brown color under a clear, bright blue sky. The overall scene conveys a sense of desolation and dryness.

Dort ist es öde und trocken.

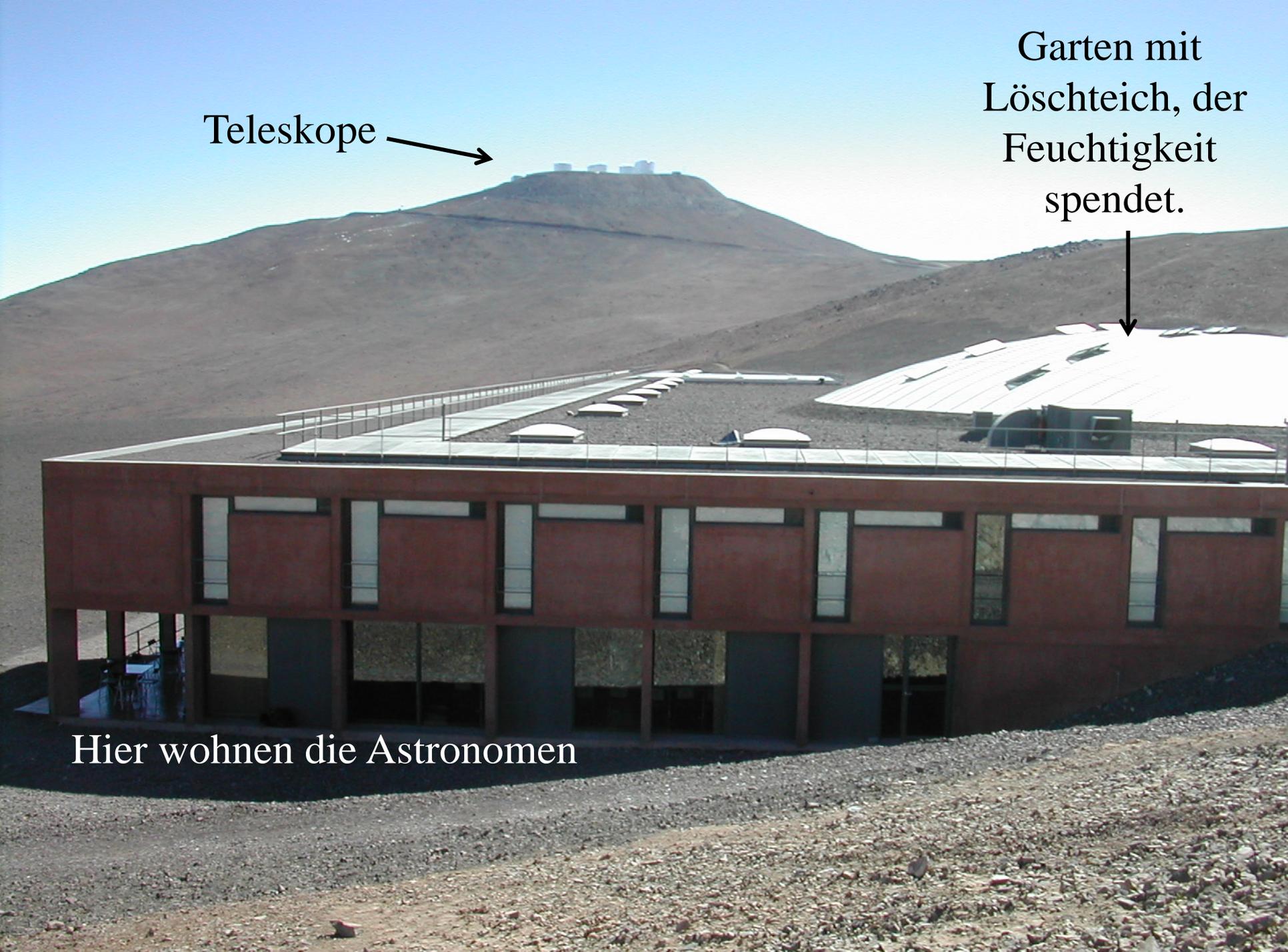


**Die Anden sind die
höchsten trockensten
Berge der Welt**

Teleskope →

Garten mit
Löschteich, der
Feuchtigkeit
spendet.

Hier wohnen die Astronomen



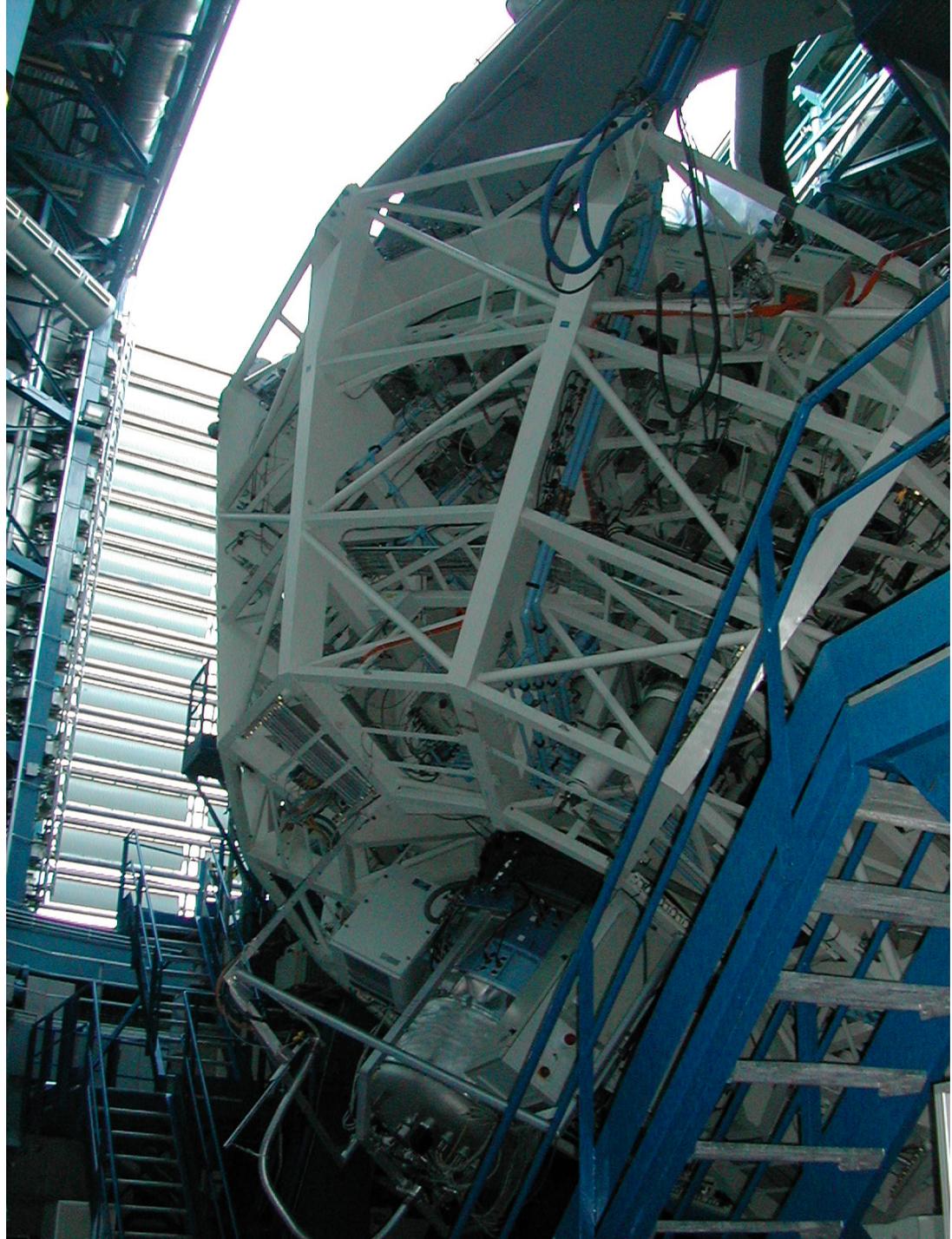


Die 4 Very Large Telescopes (VLT) der Europäischen Südsternwarte (ESO)





Teleskopstruktur
Blick auf
eine Spiegelzelle

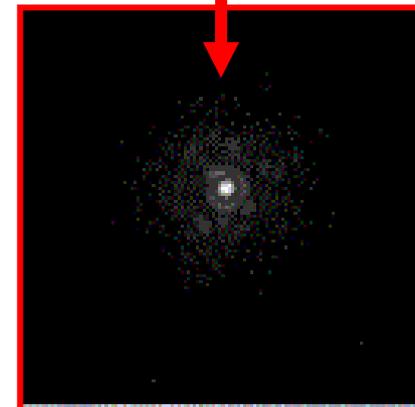
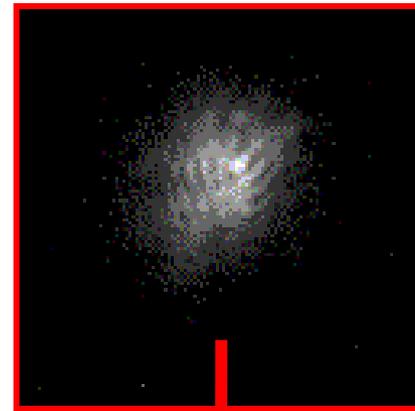
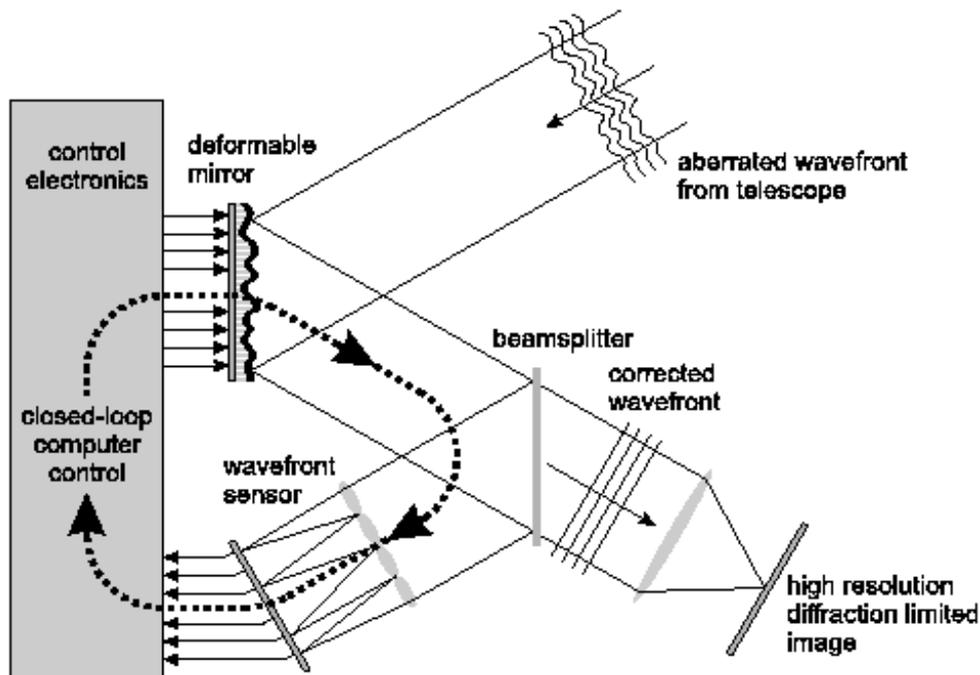
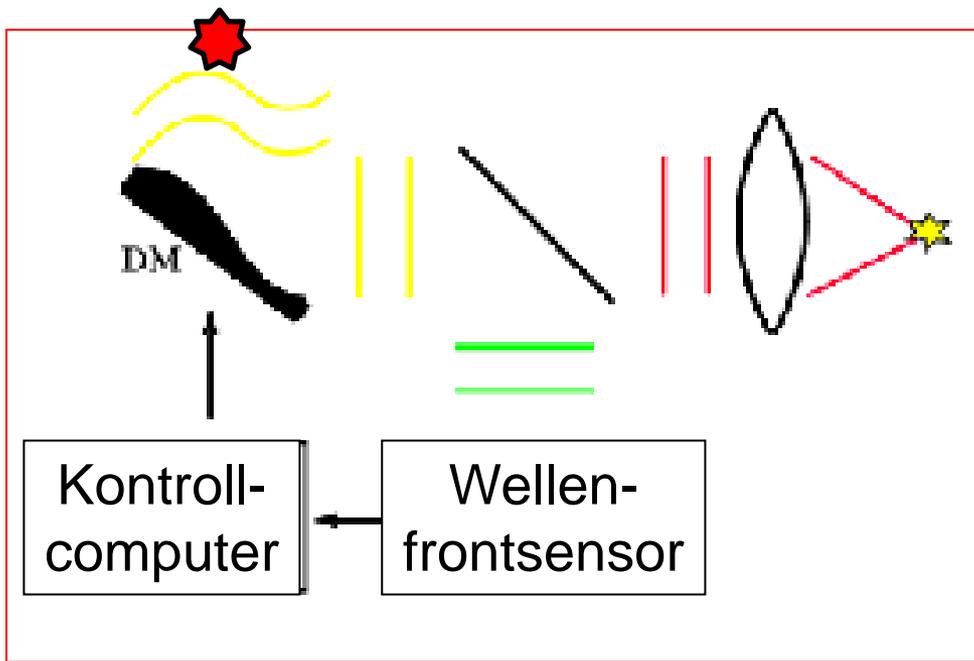


8.2m Spiegel



Adaptive Optik

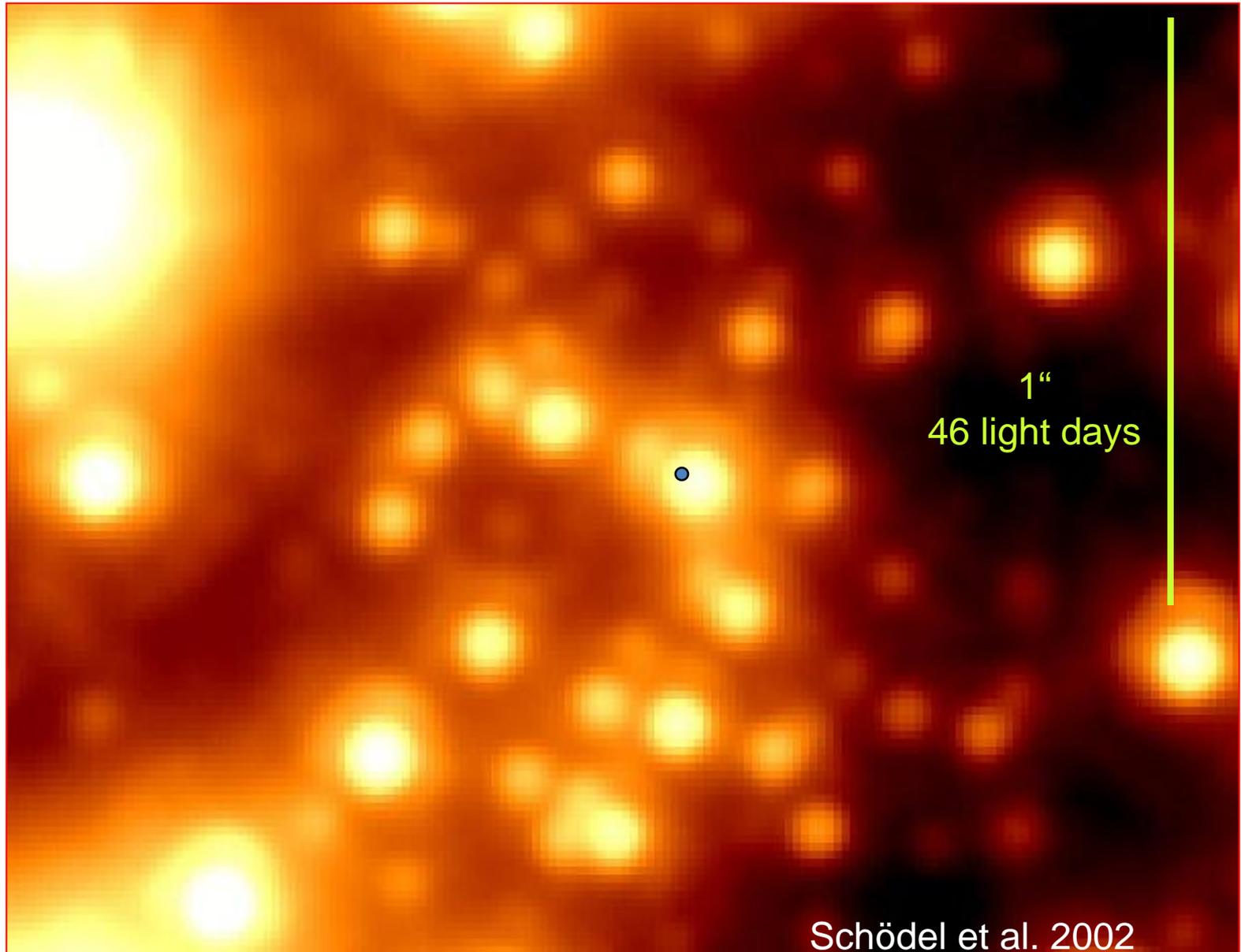
Die gestörte Wellenfront wird online gemessen und durch einen deformierbaren Spiegel geglättet



Building Blocks eines galaktischen Kerns am Beispiel des Zentrums unserer Milchstraße

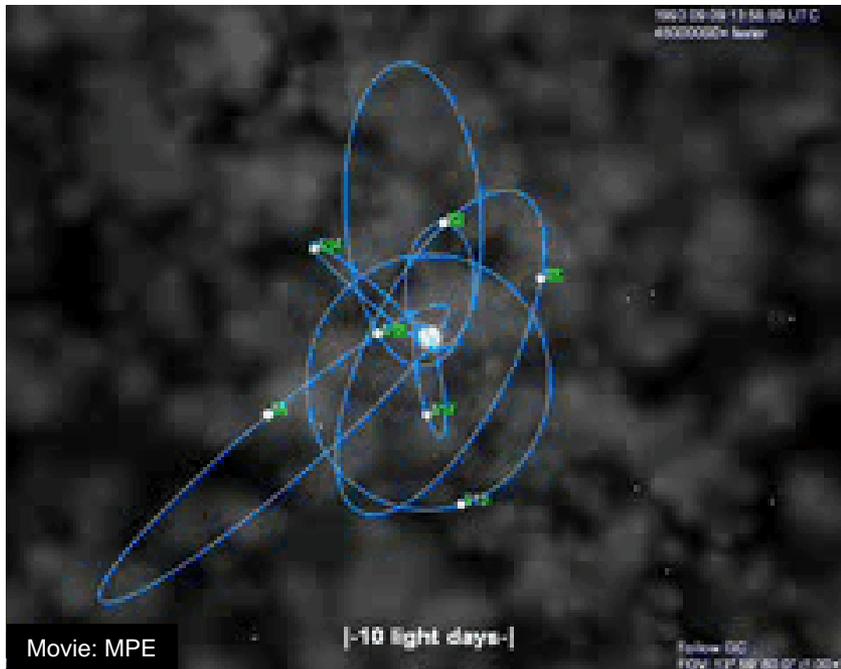
- Der zentrale Sternhaufen
- Molekulares Gas und Staub
- Variabilität
- Lichtausbrüche von SgrA*
- Relativistische Rechnungen

Adaptive Optik am VLT in Chile

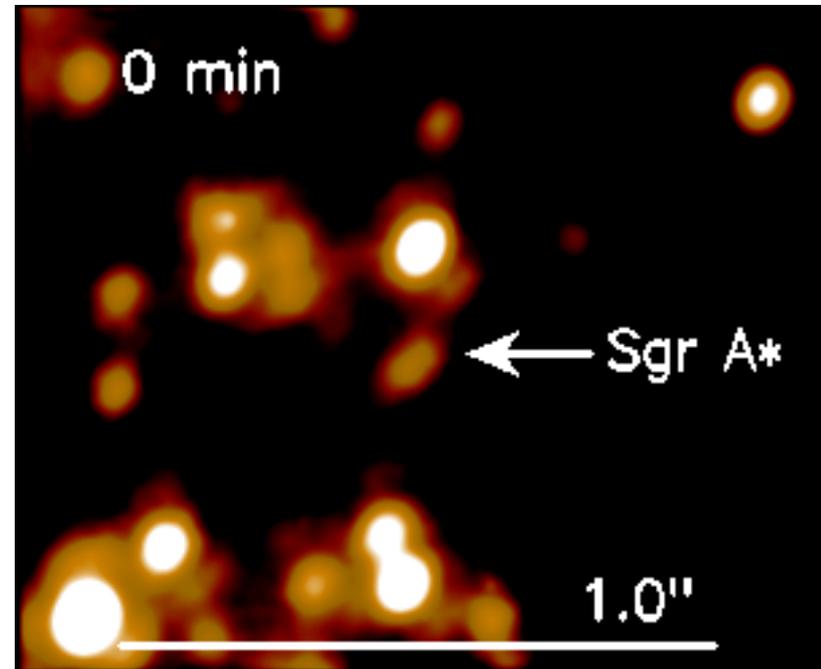


Das Schwarze Loch im Zentrum

Orbits der Hochgeschwindigkeits-Sterne in der zentralen Bogensekunde



Movie: Cologne



- Eckart & Genzel 1996/1997 (first proper motions)
- Eckart et al. 2002 (S2 is bound; first elements)
- Schödel et al. 2002, 2003 (first detailed elements)
- Ghez et al 2003 (detailed elements)
- Eisenhauer 2005, Gillessen et al. 2009
(improved elements on more stars and distance)

~4 Millionen
Sonnenmassen im
Abstand von
~8+-0.3 kpc

Bestimmung der Masse über S2

Für S2 ist der etwa 15 jährige Orbit geschlossen.
Die Kepler'schen Gesetze ergeben:

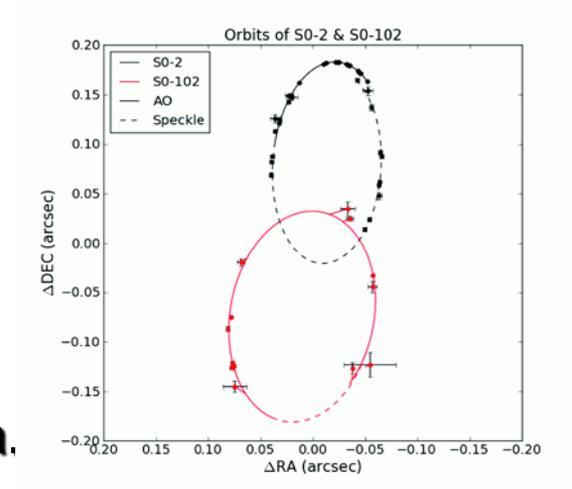
$$M_{S2} = \frac{4\pi^2 a^3}{G T^2}$$

mit der Umlaufzeit **T** und der großen Halbachse **a**.

Für S2 ergibt das:

$$M_{SgrA^*} \approx (4 \pm 0.3) \times 10^6 M_{\odot}$$

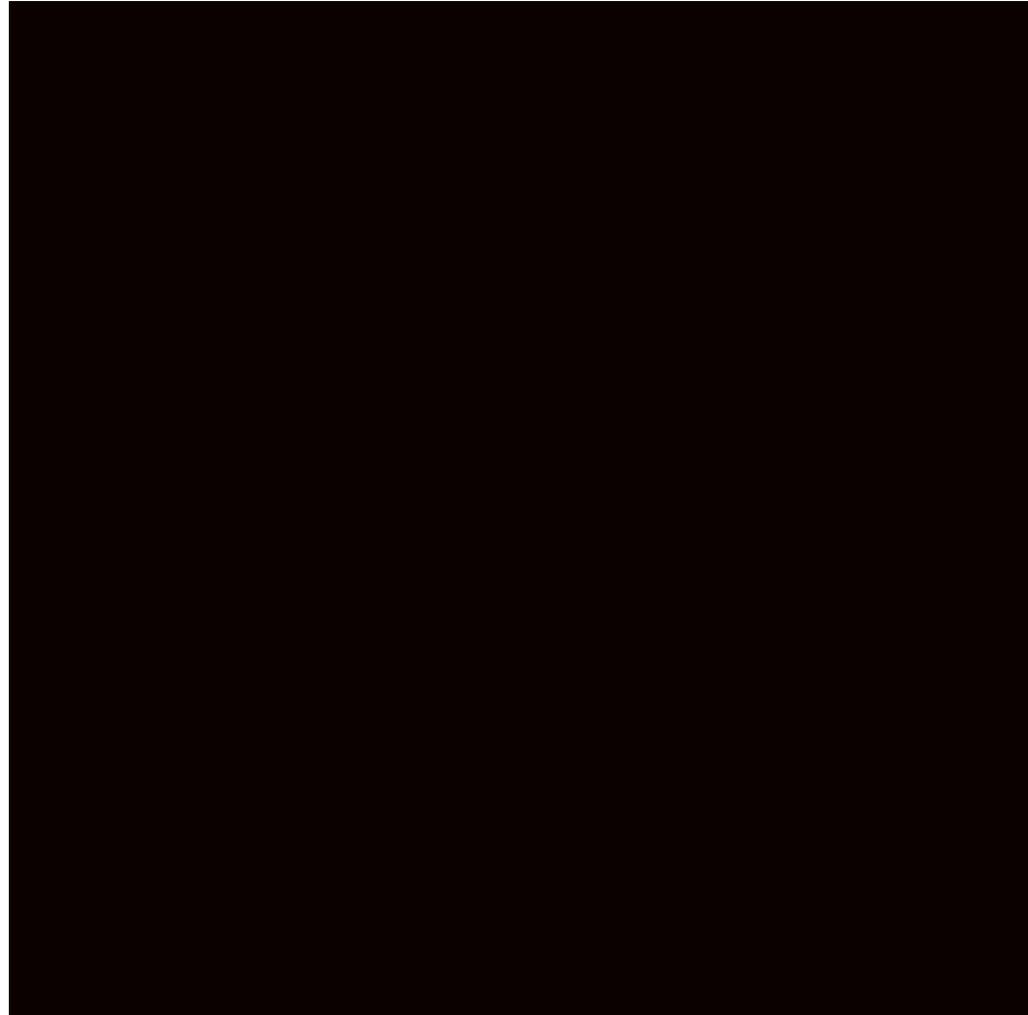
Man kann gleichzeitig für die Entfernung lösen und erhält: 7.7+/-0.3 kpc



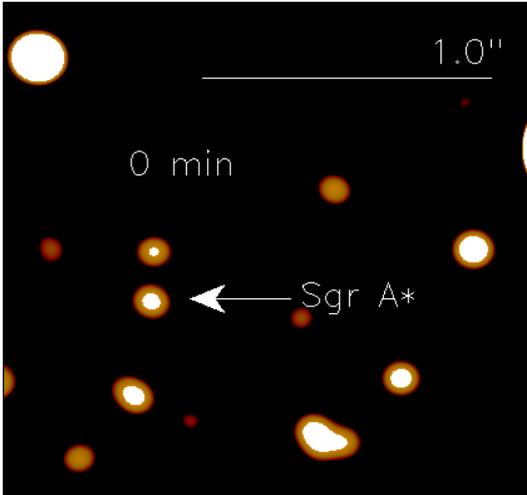
Meyer+ 2012

Eisenhauer et al. 2005

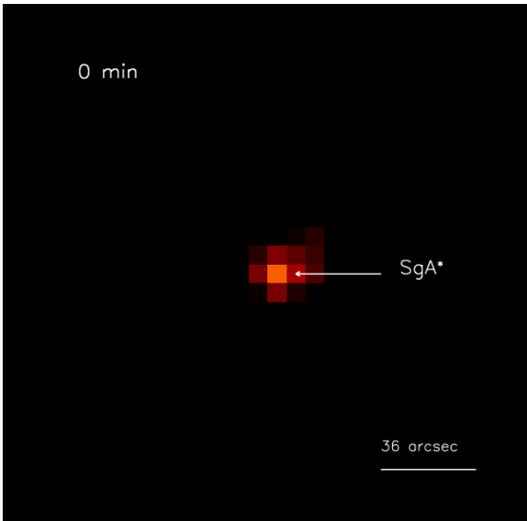
The Variabilität von SgrA*



SgrA* am 3 Juni 2008:
VLT L-band und APEX
sub-mm Messungen

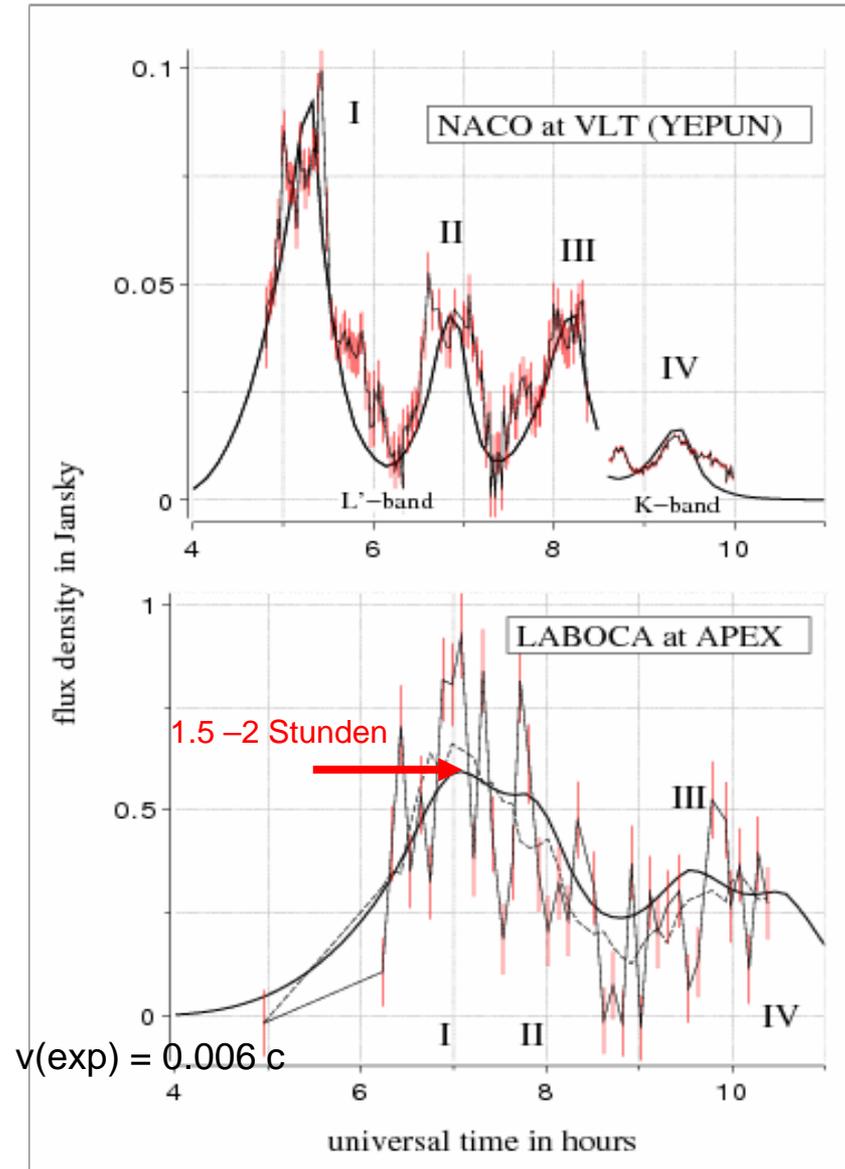


VLT 3.8um L-band



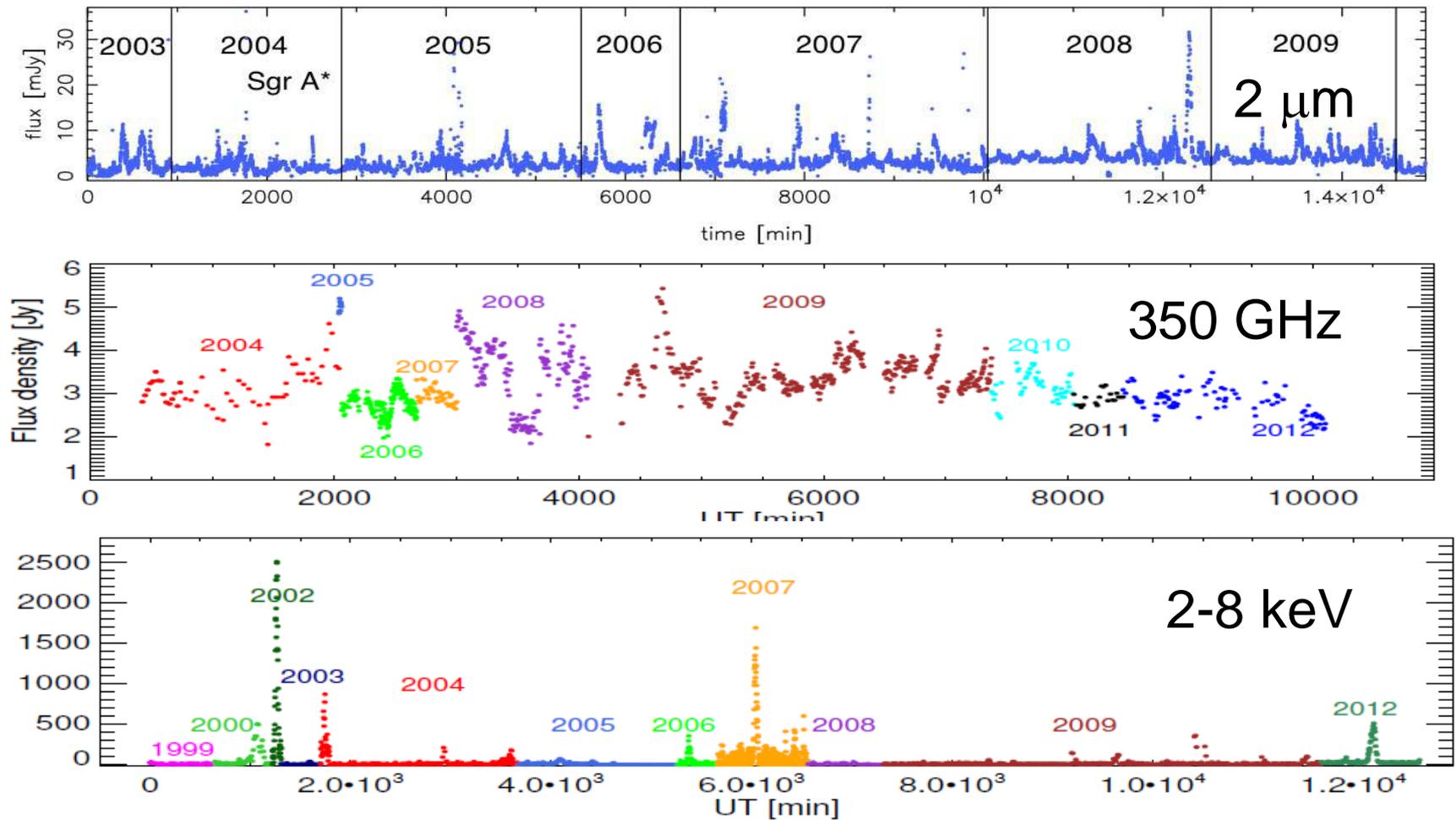
APEX 1.3 mm

'Flare'-Beobachtungen

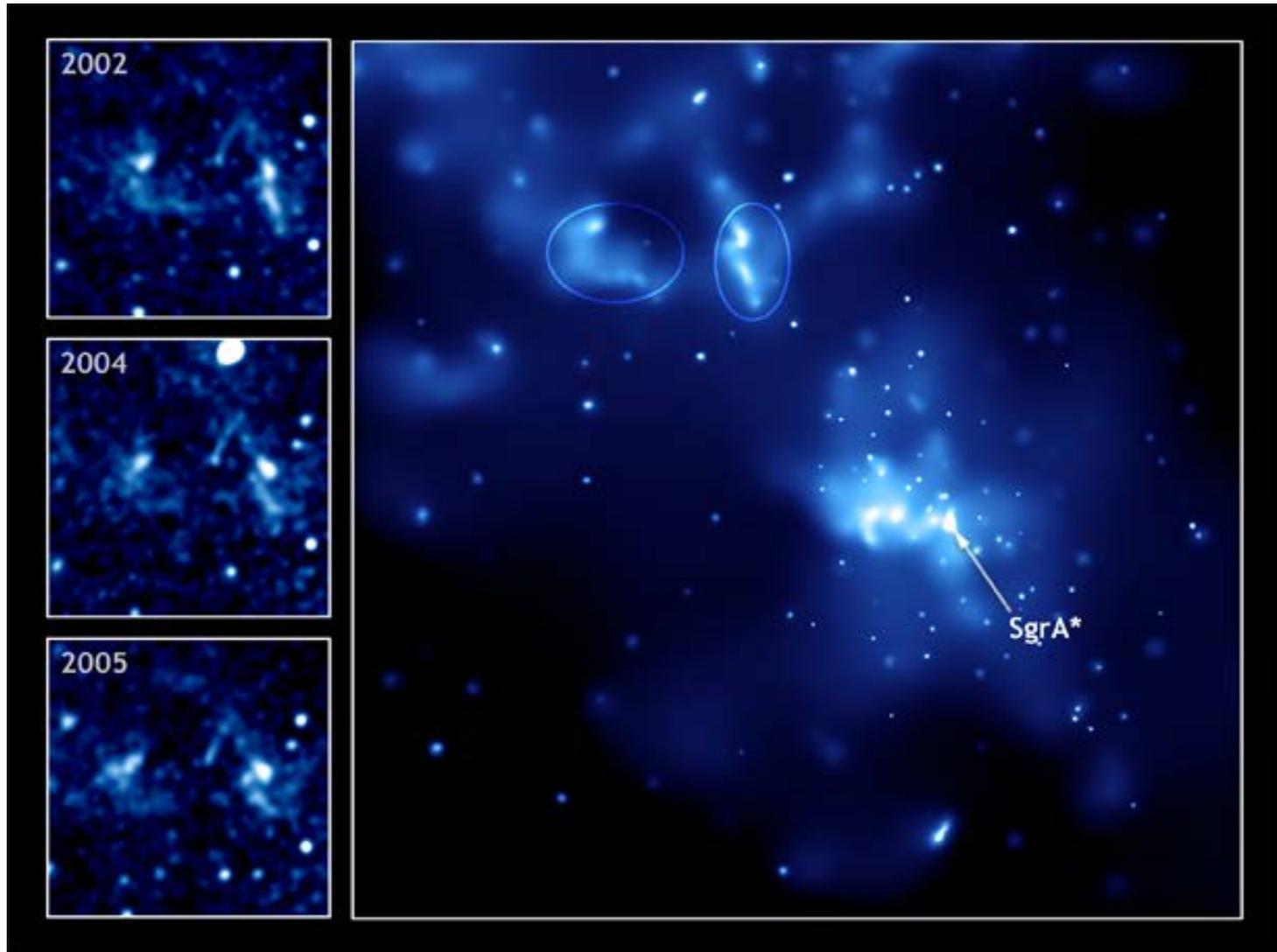


Eckart et al. 2008; A&A 492, 337
Garcia-Marin et al. 2009

The Variability von SgrA*



Röntgen-Lichtecho: Variabilität von SgrA*



Quelle: internet

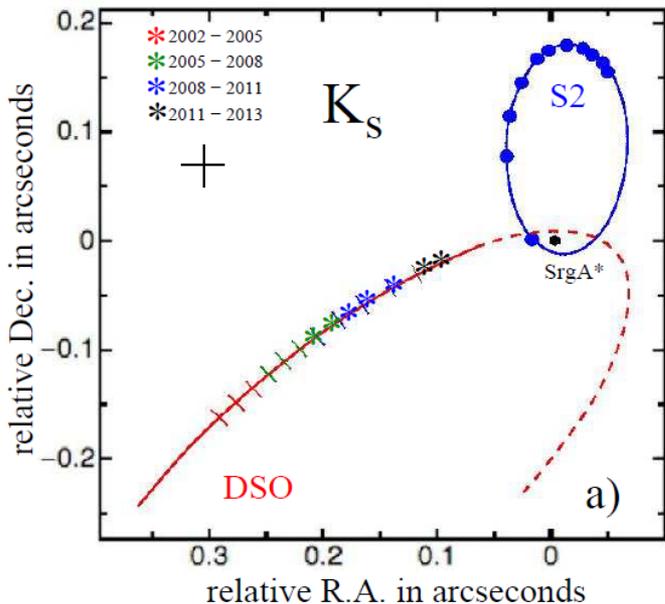
Chandra Röntgenobservatorium

Momentane Ereignisse

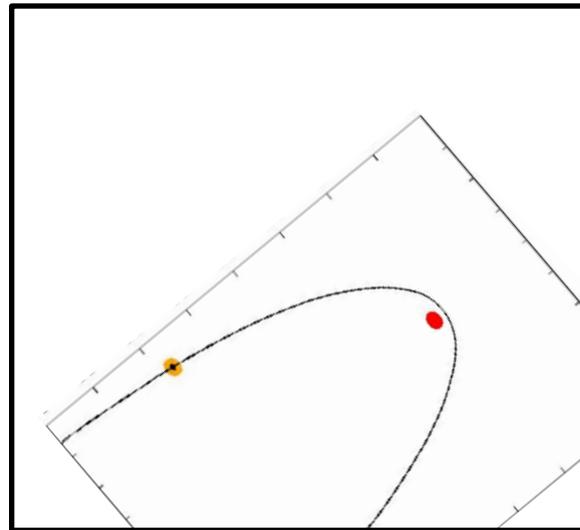
Staubiges Objekt nähert sich SgrA*

Ein staubiges Objekt, welches eventuell mit einem Stern oder einer reinen Gas- und Staubwolke identifiziert werden, kann nähert sich dem schwarzen Loch im Zentrum der Milchstrasse (Gillessen et al. 2012, Eckart et al. 2012)- Periapsis **wird vermutlich** zwischen September 2013 und März 2014 erreicht. Eine erhöhte Akkretionsaktivität von SgrA* ist möglich und wird erwartet.

Periaps fand in Mai 2014 statt!



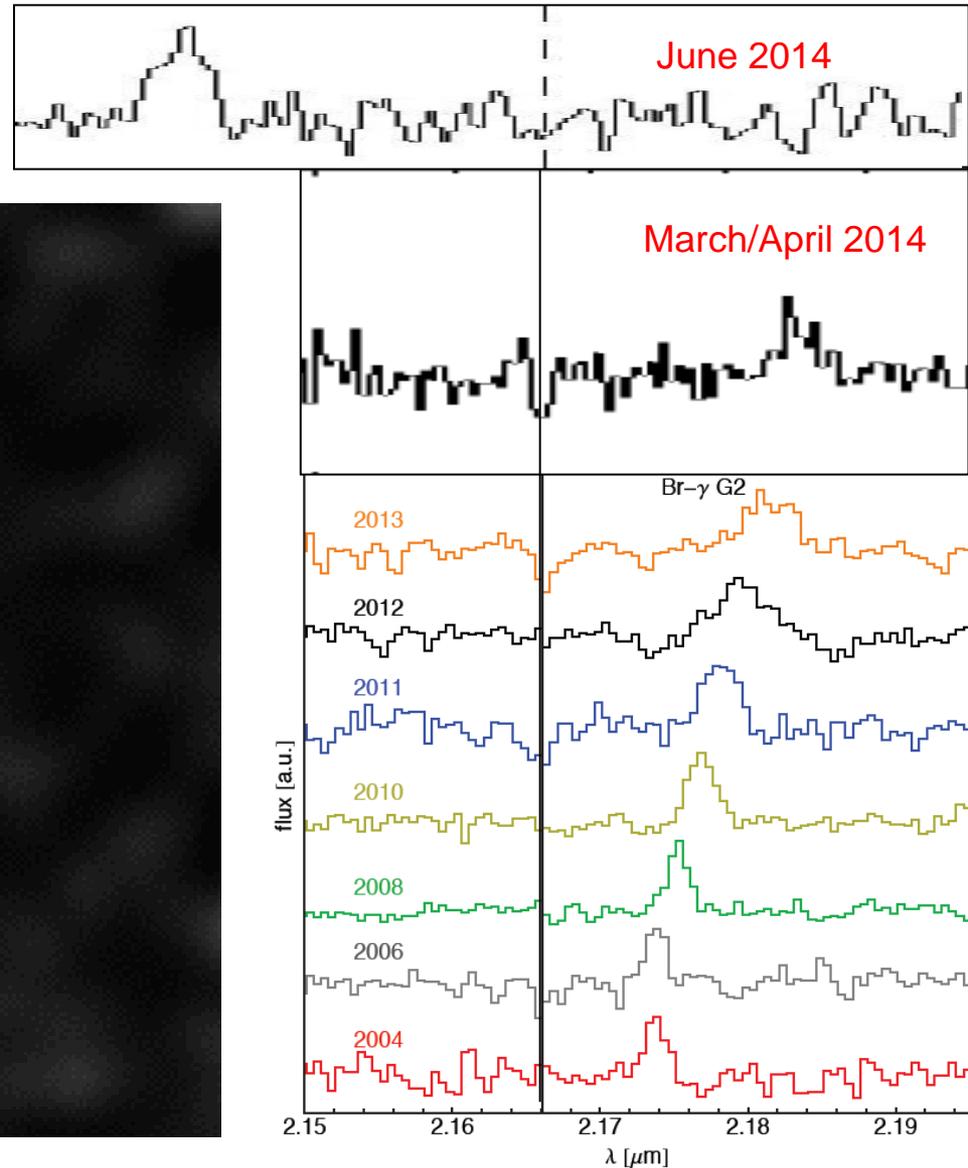
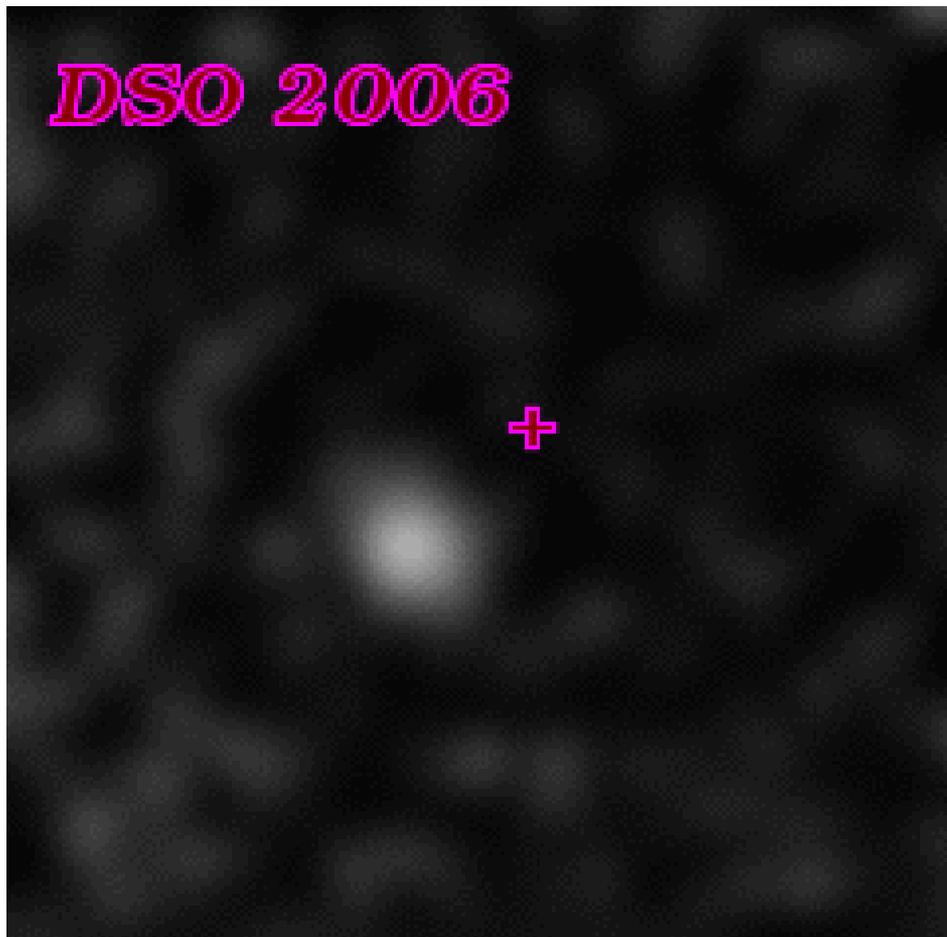
Eckart et al. 2012



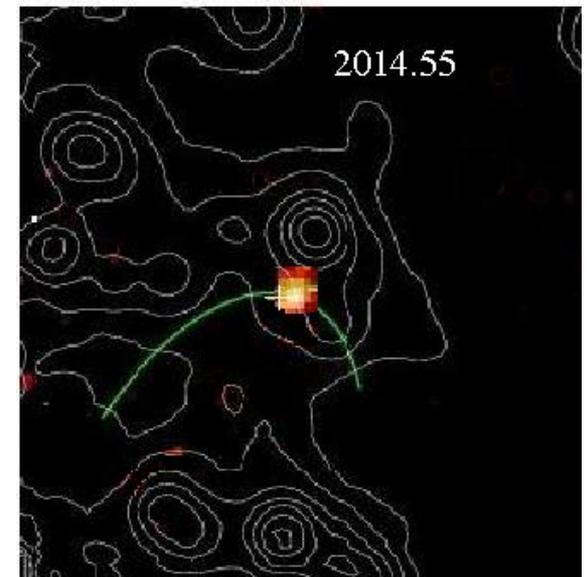
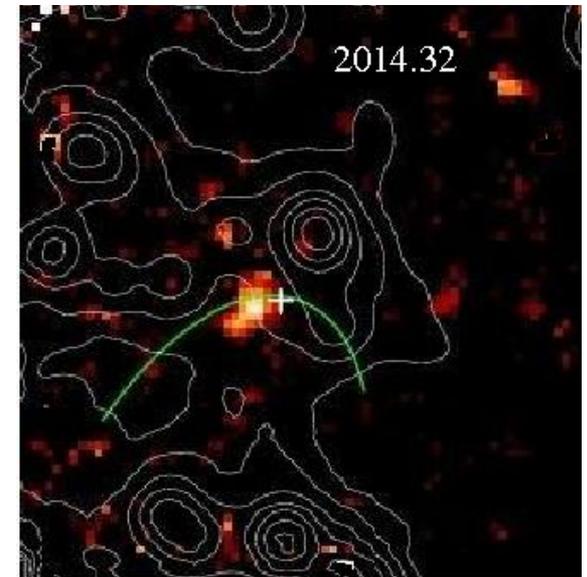
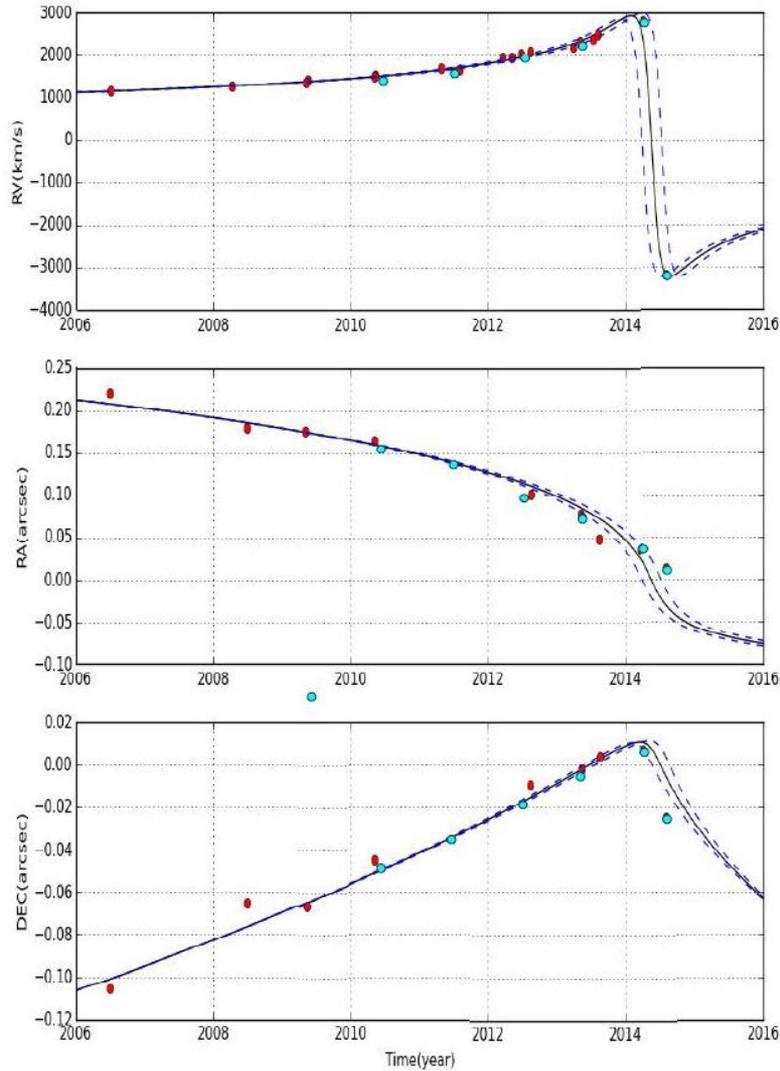
Zajacek, Karas, Eckart 2013

Gillessen+, Burkert+,
Murray-Clay & Loeb,
Eckart+
und andere

The DSO in Br γ approaching SgrA* in early 2014

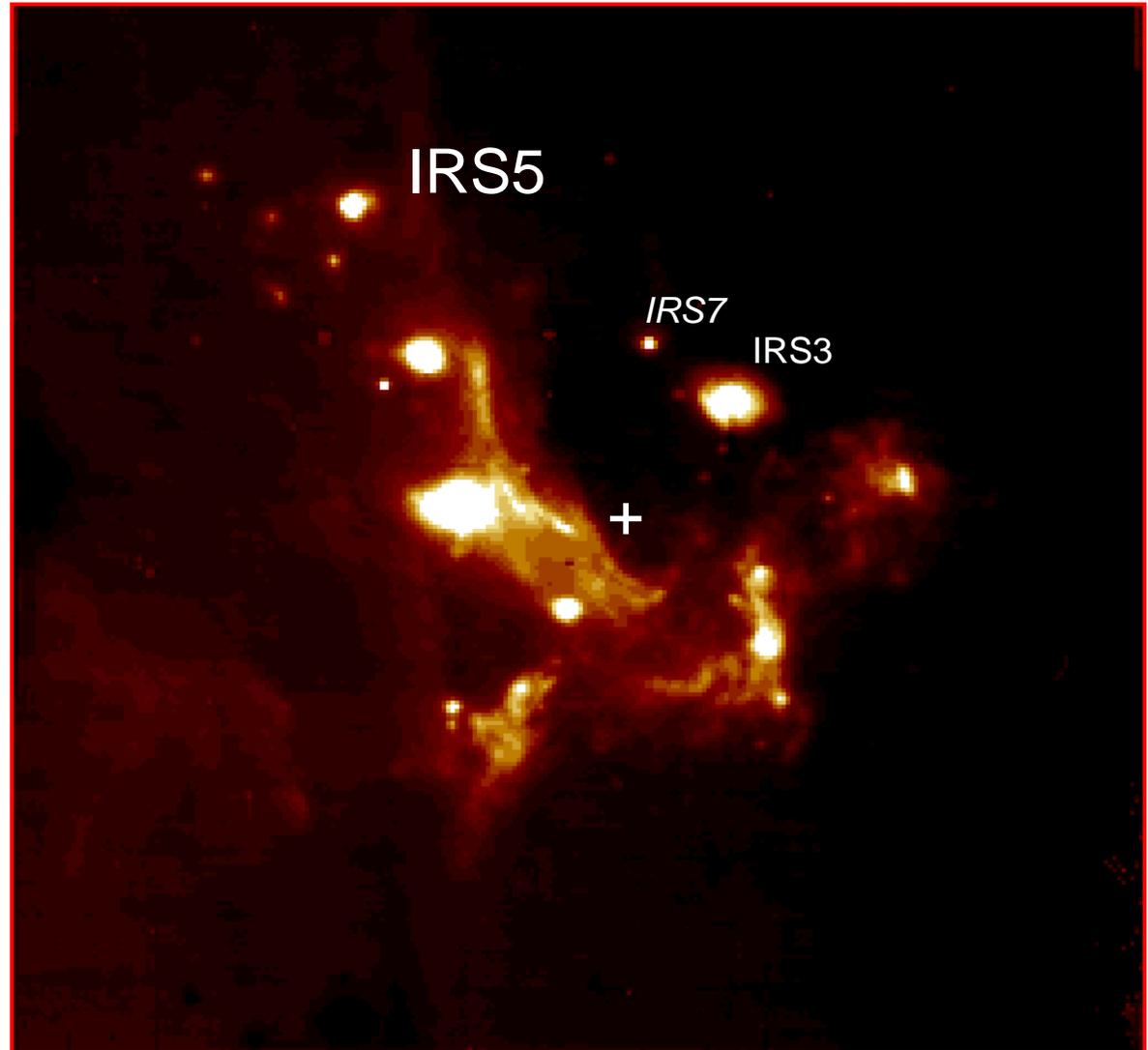


Prä- und Post-Perizentrum-Position des DSO

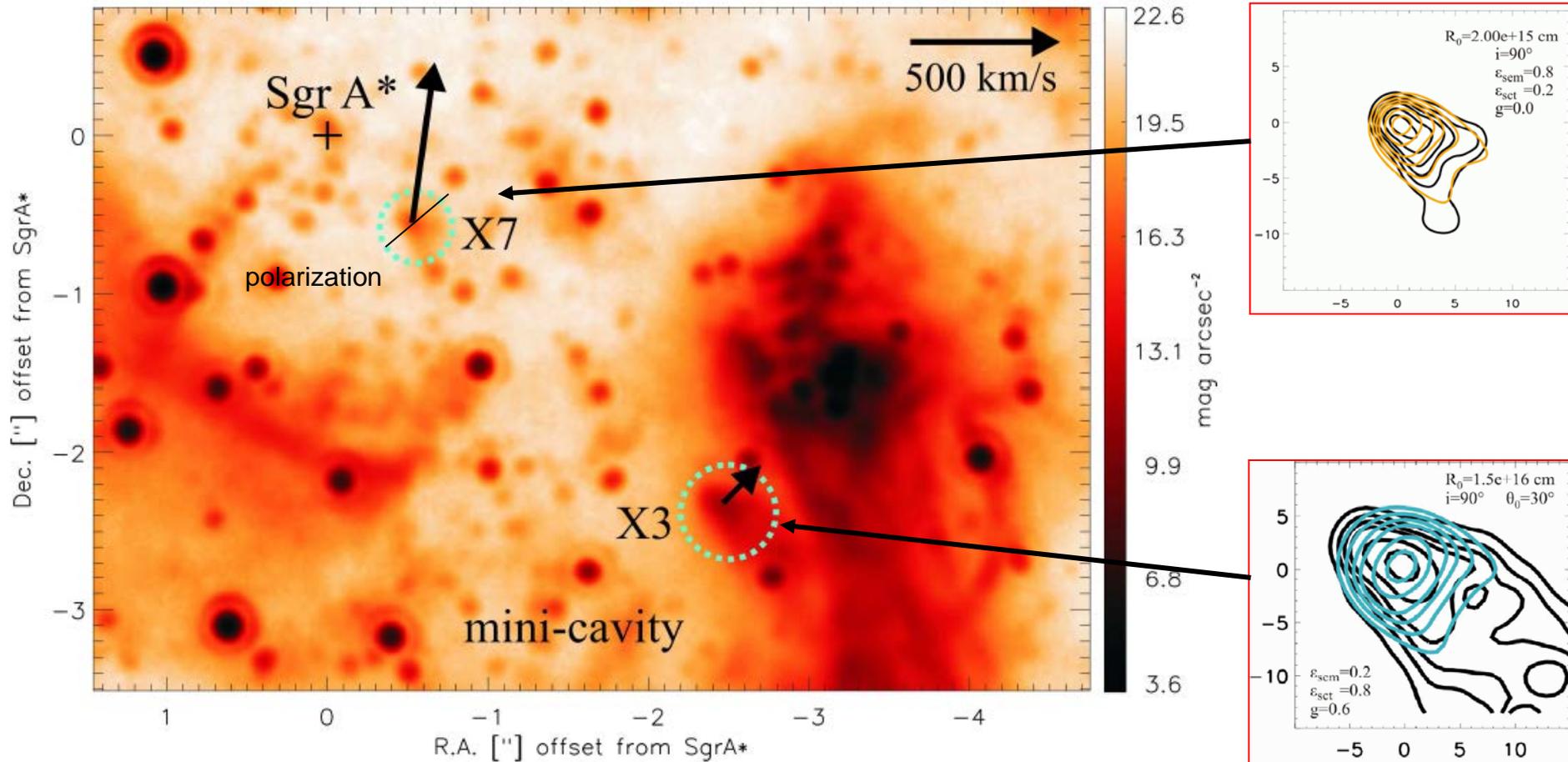


Das Zentrum der Milchstrasse im Licht des Staubes

1 Lichtjahr
Am Ort
des
Galaktischen
Zentrums

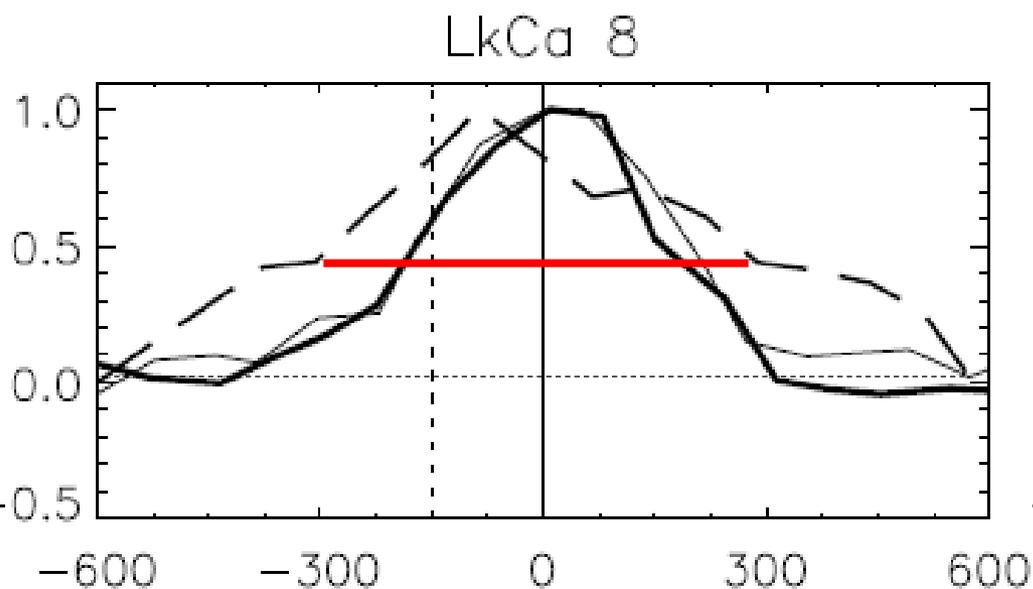


Stauquellen in Kometenform: Beeinflusst von SgrA*?

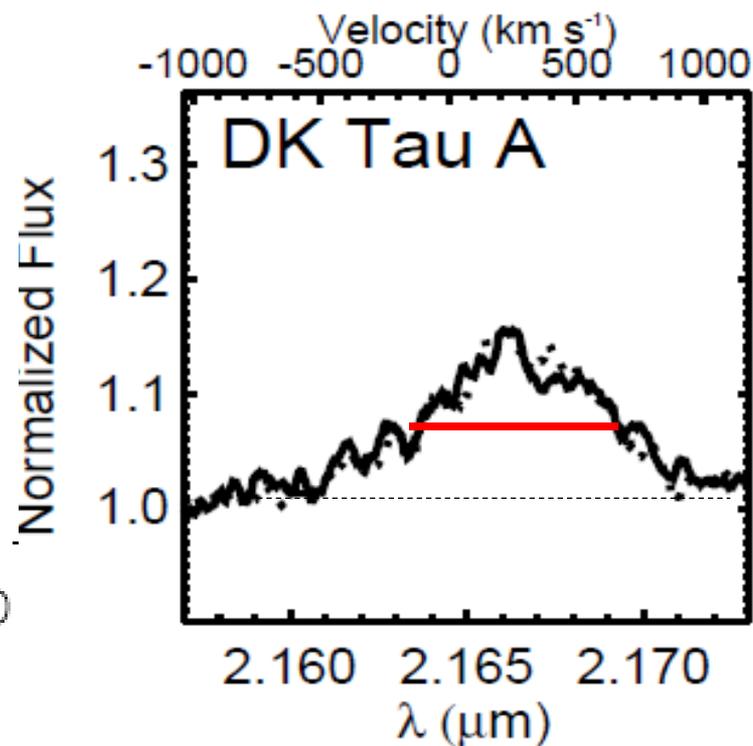


Neben der Mini-Cavity sind diese beiden Quellen der stärkste Nachweis für einen starken Wind von SgrA*!

Pre-main sequence stars with large line widths



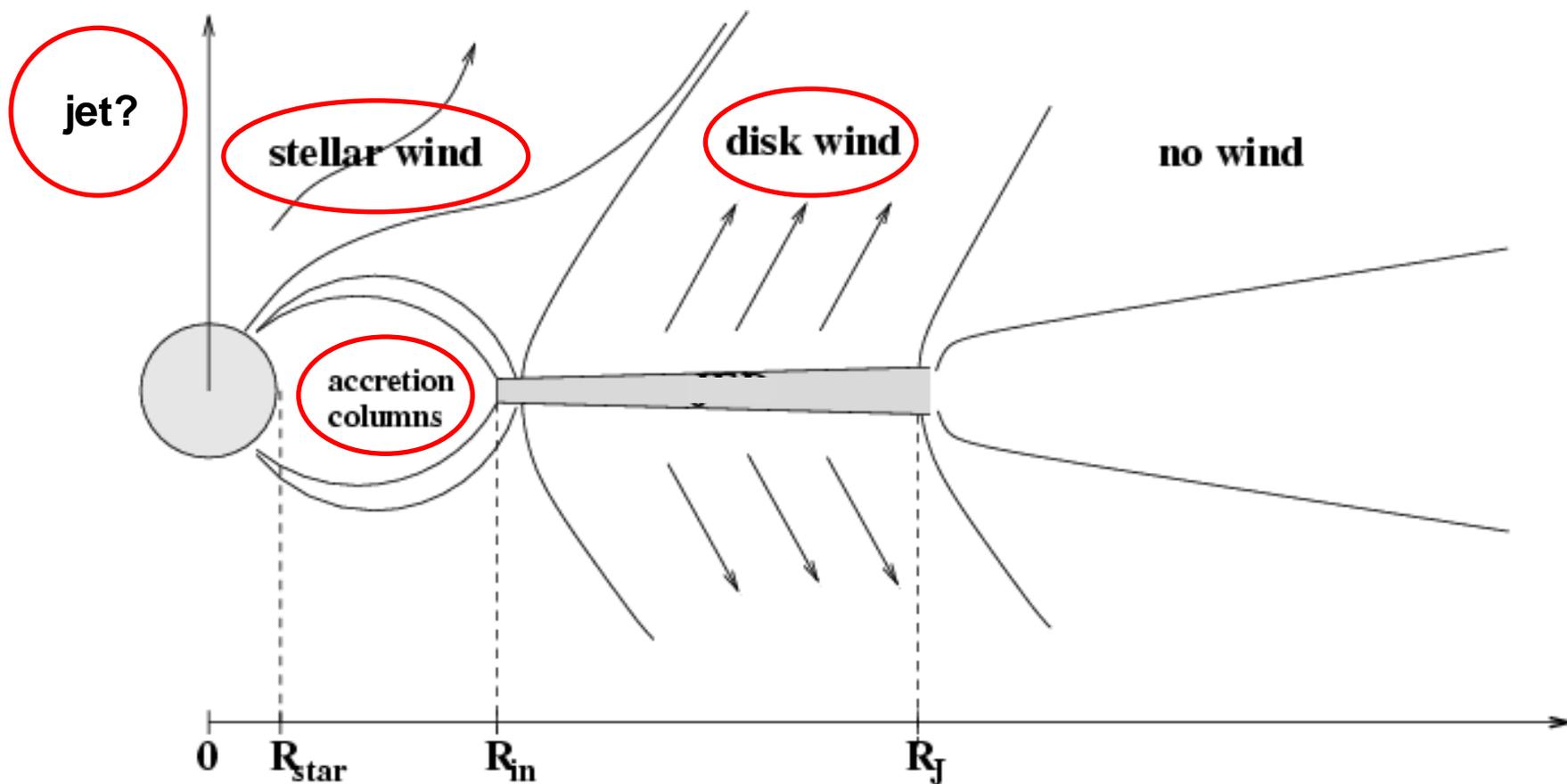
Edwards et al. 2013
M0V ; **T Tauri** ; around 2 solar masses
600-700 km/s in Br γ



Eisner et al. 2007
Herczeg & Hillenbrand 2014
K8.5 ; **0.68 solar masses**
800 km/s in Br γ

Potential reasons for having a large line width

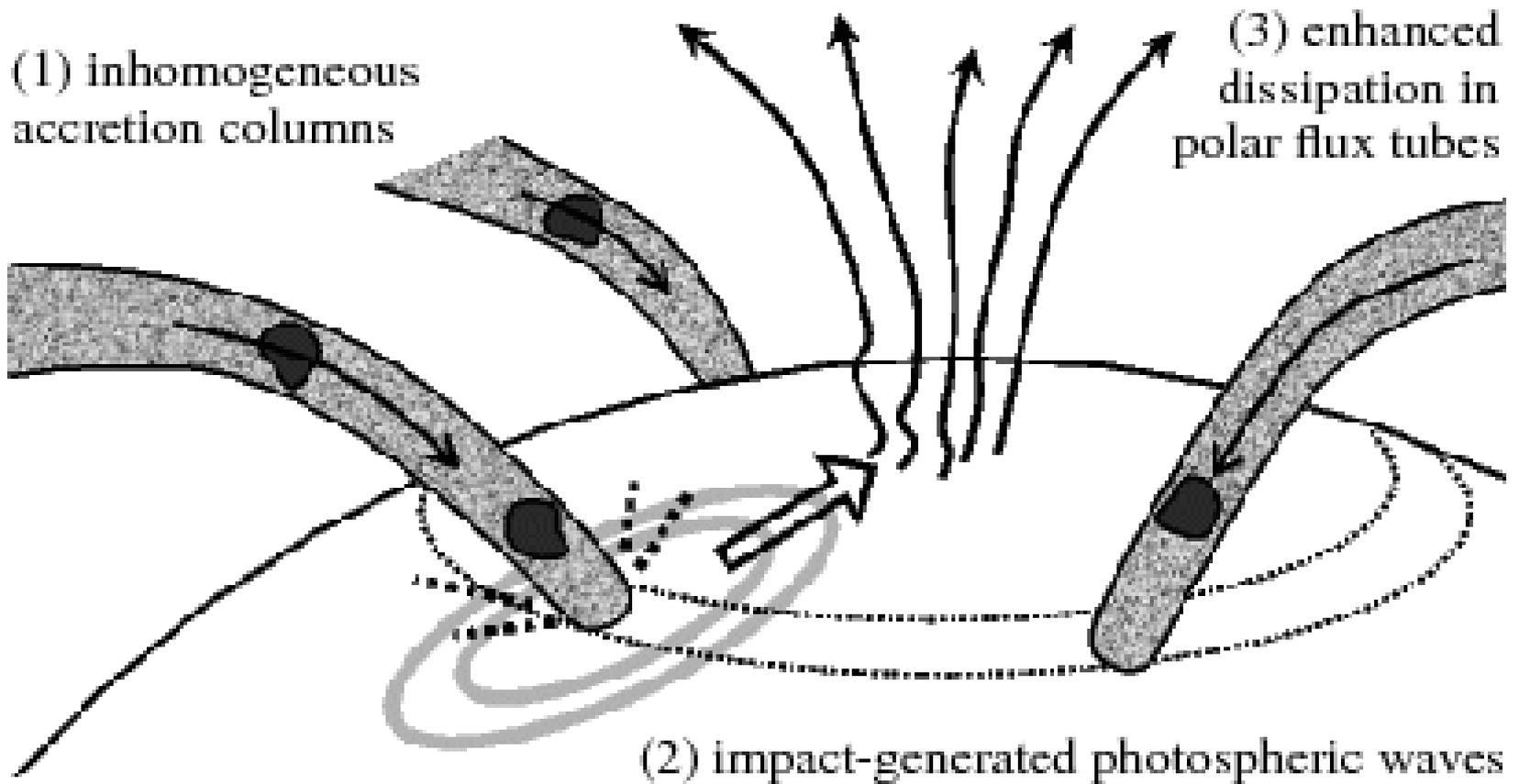
Plus interaction with ambient medium



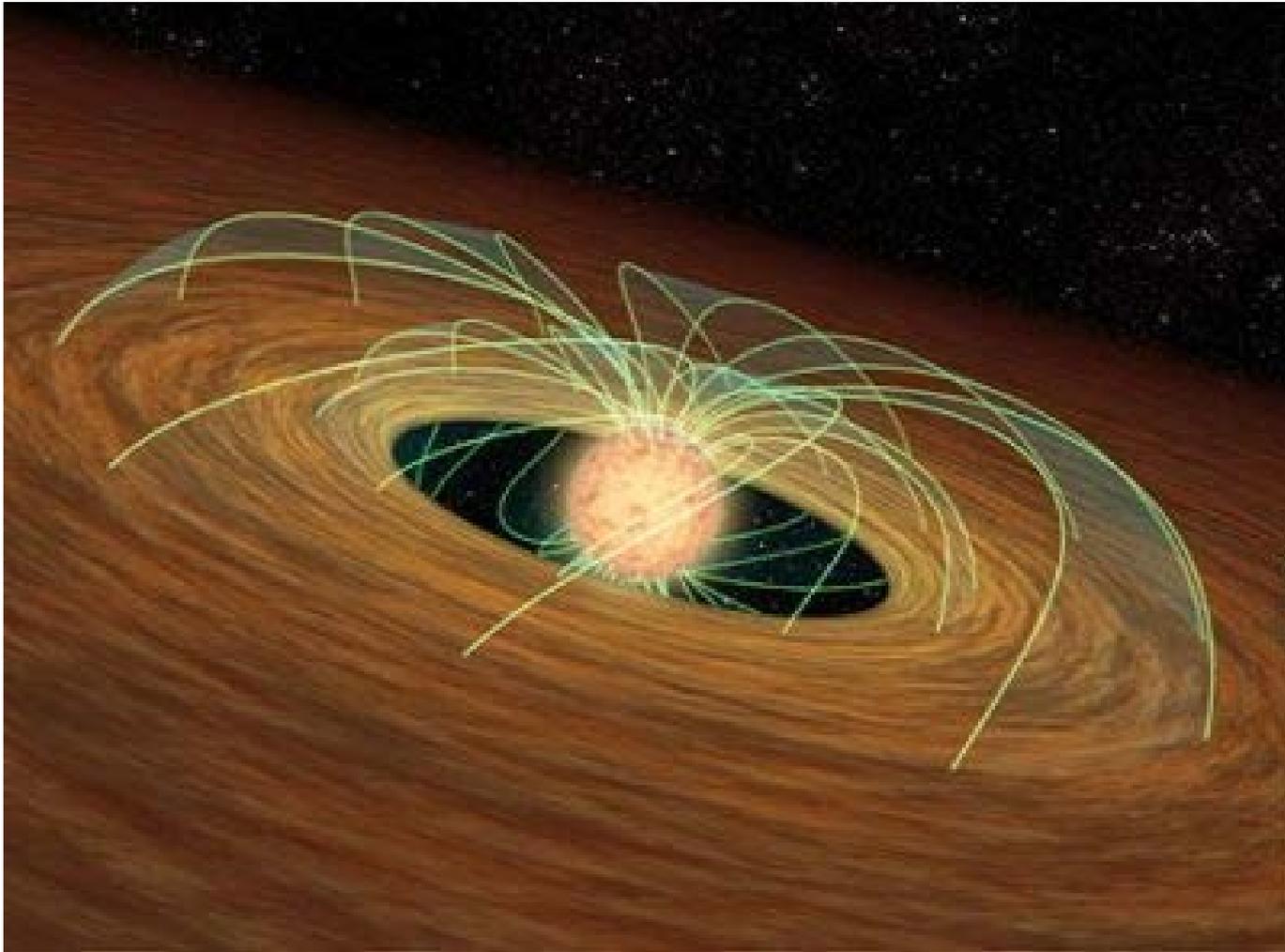
A&A 479, 481-491 (2008)

The radial structure of protostellar accretion disks

C. Combet and J. Ferreira



Cranmer, Steven R. arXiv:0808.2250 [astro-ph]



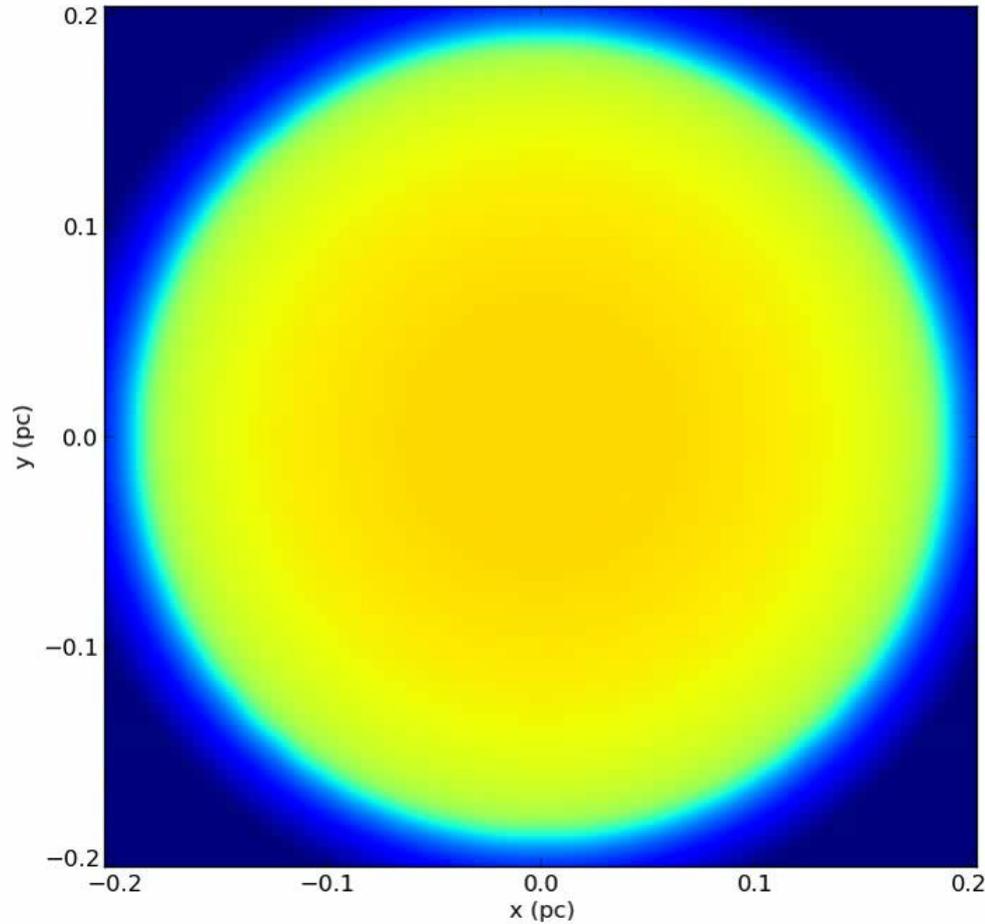
Rosen, Krumholz, Ramirez-Ruiz, 2012, ApJ 748, 97

Filling factor of threads could be high?! Adding to the extinction to the star.

Staubquellen im GC

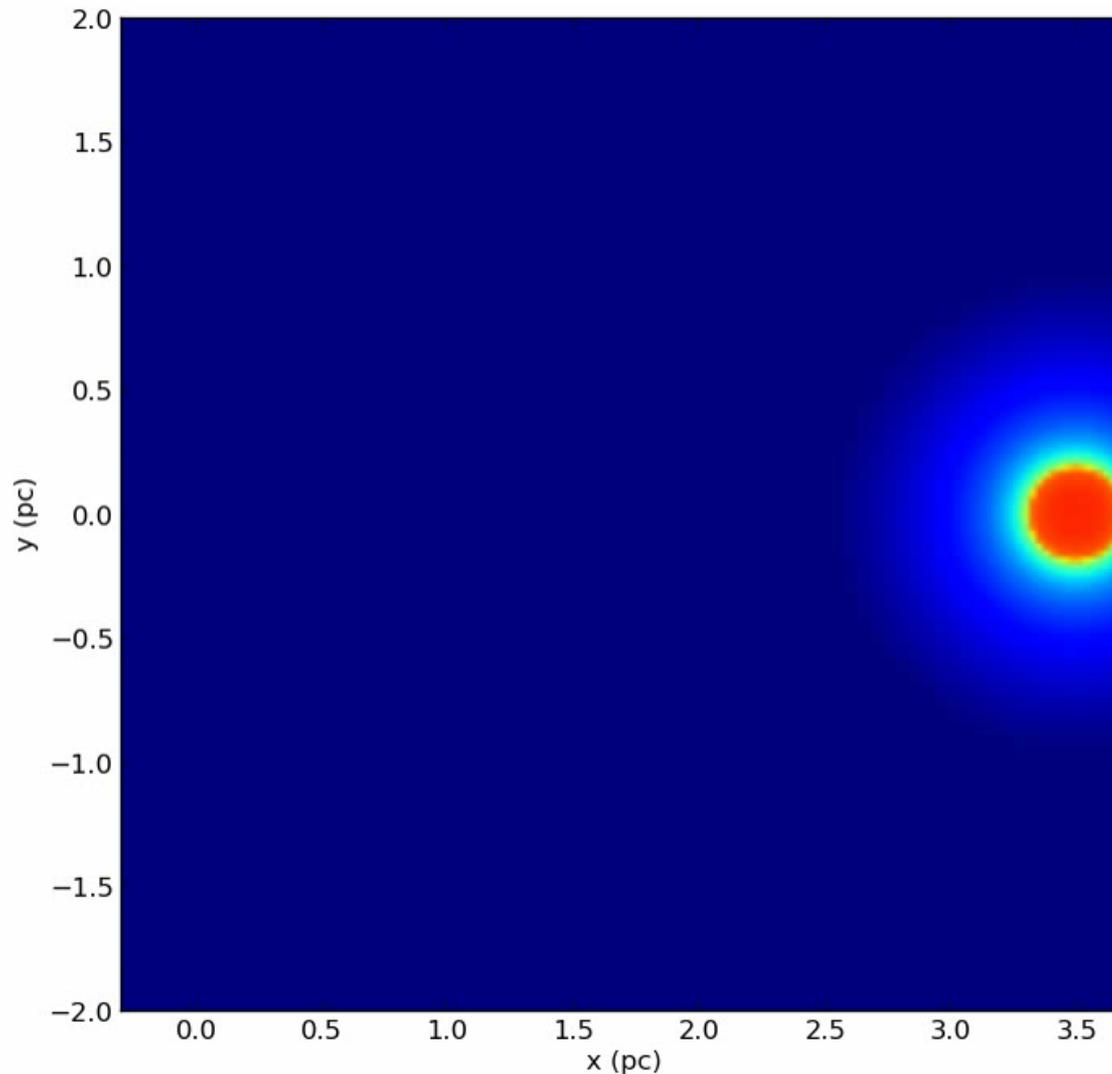
Viele der Staubquellen
sind vermutlich junge Sterne
die noch in ihren Staubhüllen
eingebettet sind

Isolierter kalter (10 Kelvin) Gas- und Staubklumpen



Gasdichte nimmt von blau nach rot zu

Kalter Klumpen auf elliptischer Bahn um ein Schwarzes Loch

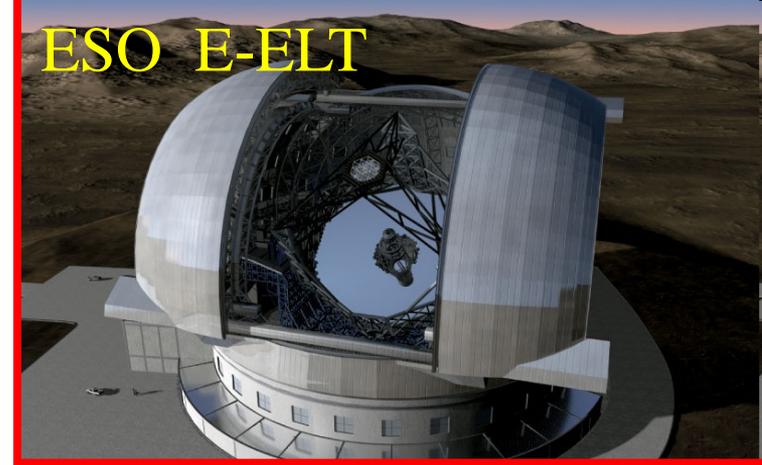


Zusammenfassung

- Das Galaktische Zentrum ist ideal geeignet um die Physik in galaktischen Kernen zu studieren.
- Es gibt Hinweise auf vergangene und zukünftige virulente Aktivitäten im GC.
- Junge Sterne können in unmittelbarer Umgebung von Schwarzen Löchern entstehen



NL leads Euro-Team
University of Cologne
studies for
METIS @ E-ELT



MPE, MPIA, Paris, SIM
University of Cologne
participation
GRAVITY @ VLT

Das Galaktische Zentrum stellt ein
einzigartiges Laboratorium dar,
in dem die Signaturen von starken
Gravitationsfeldern untersucht
werden können.



NIR Beam Combiner:
University of Cologne
MPIA, Heidelberg
Osservatorio Astrofisico di Arcetri
MPIfR Bonn

Cologne
contribution to
MIRI on JWST



Strahlvereiniger von Gravity für das VLTI

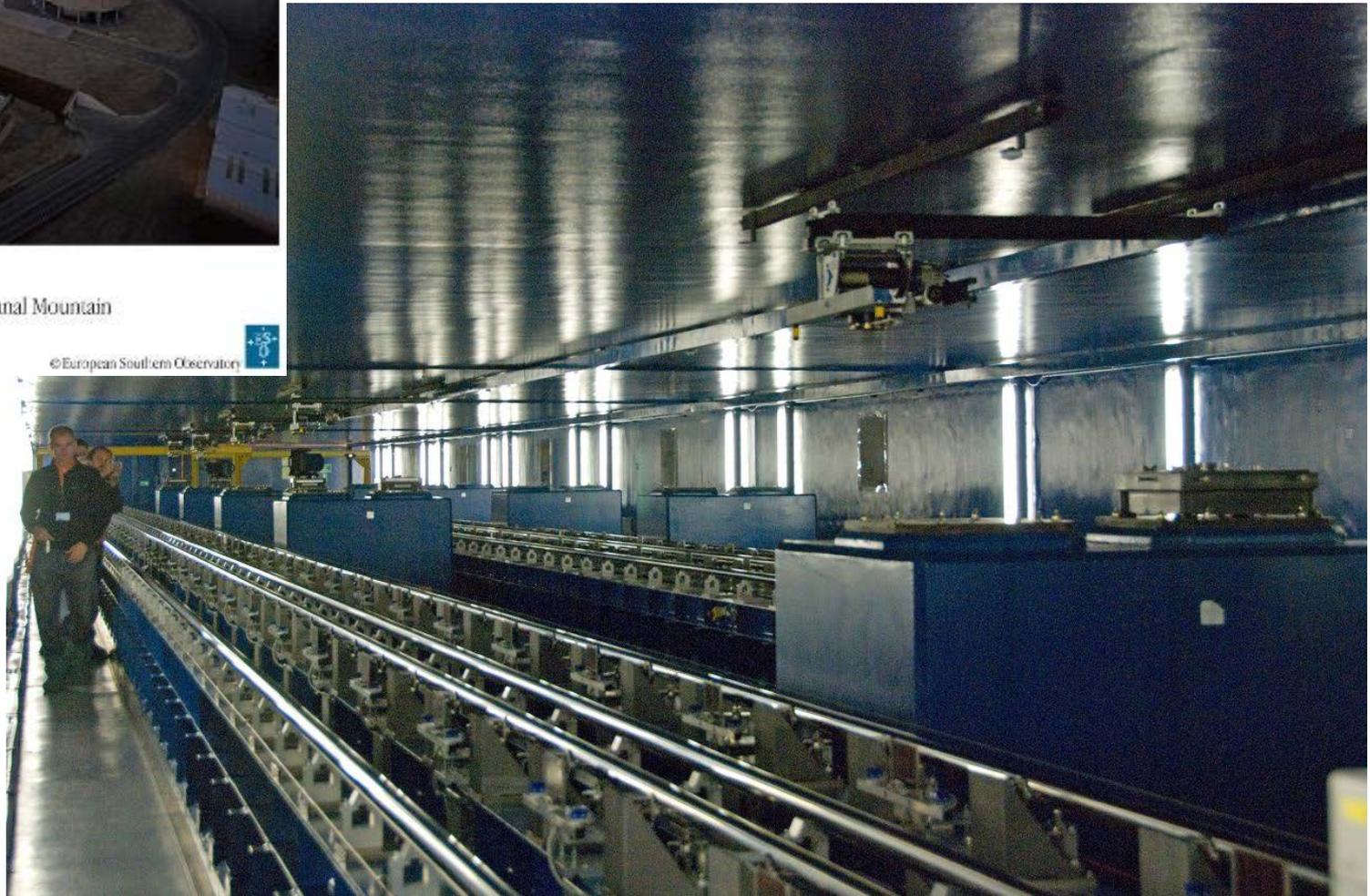
Unterstützung durch
Universität zu Köln, DFG und verbundforschung



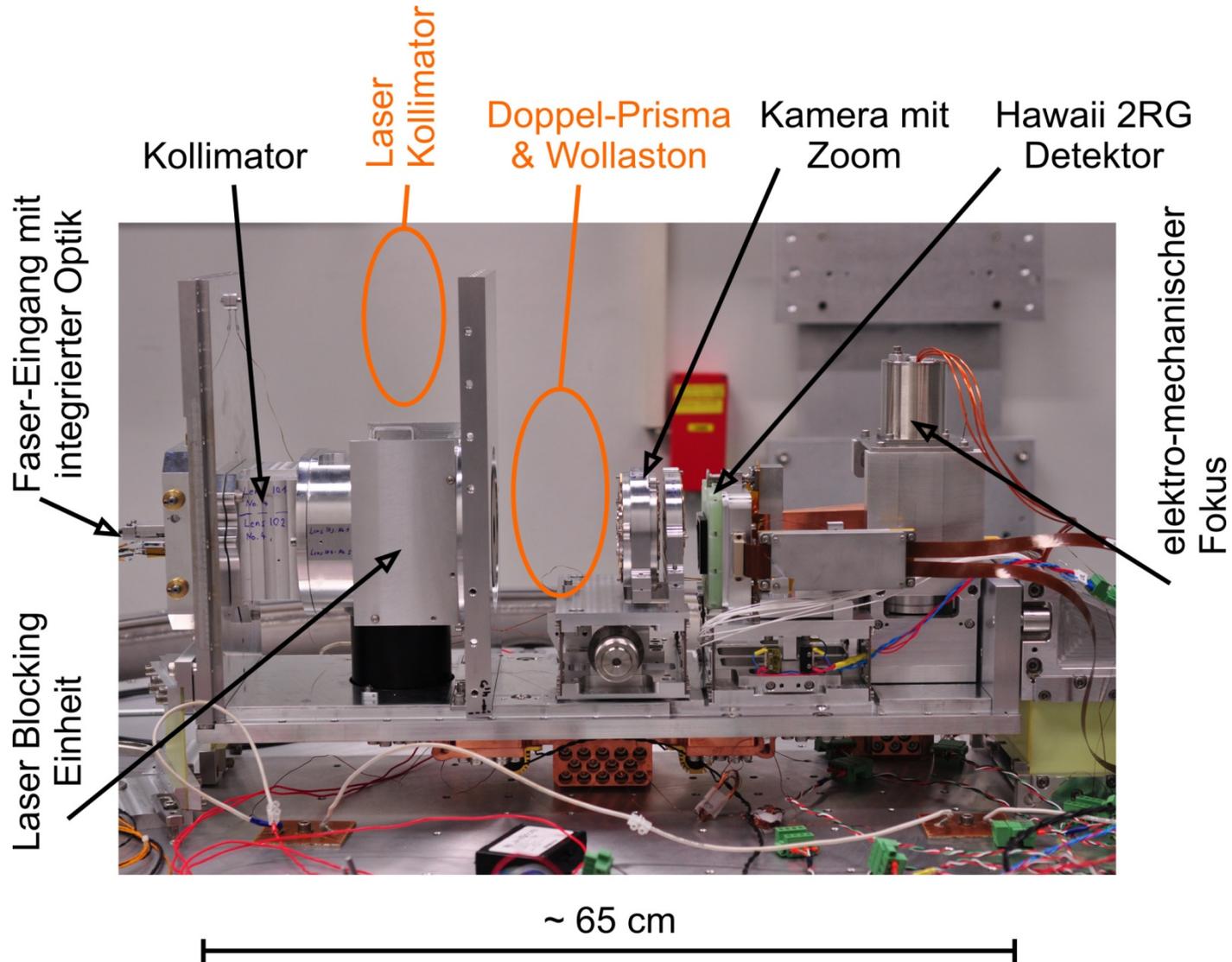
The VLT Array on the Paranal Mountain

ESO PR Photo 14a-00 (24 May 2000)

© European Southern Observatory



Fringe Tracking Spektrometer (11.01.13)



Strahlvereiniger von LINC/NIRVANA für das LBT in Arizona

