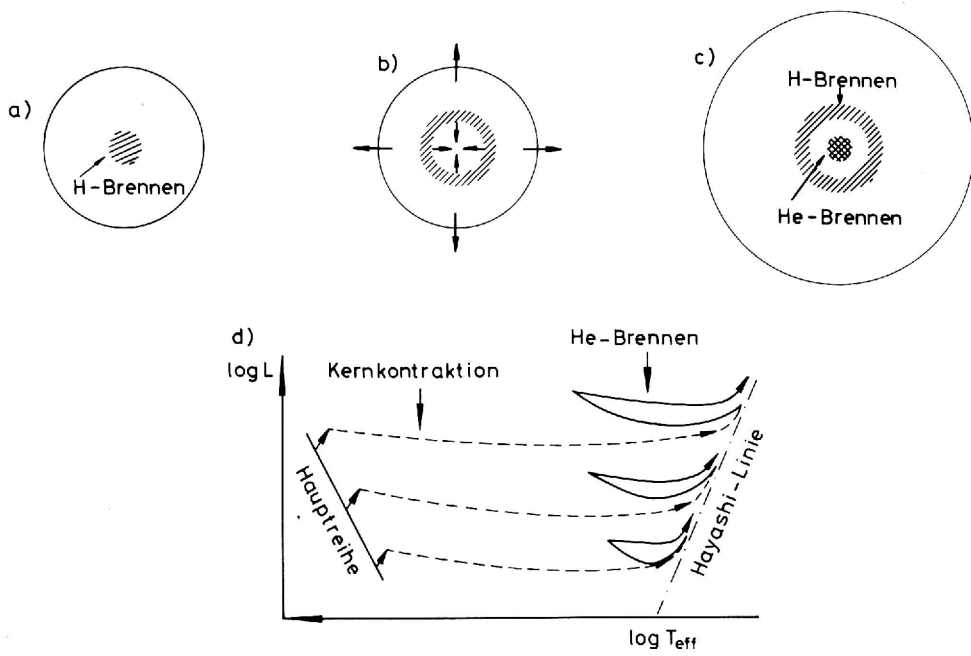
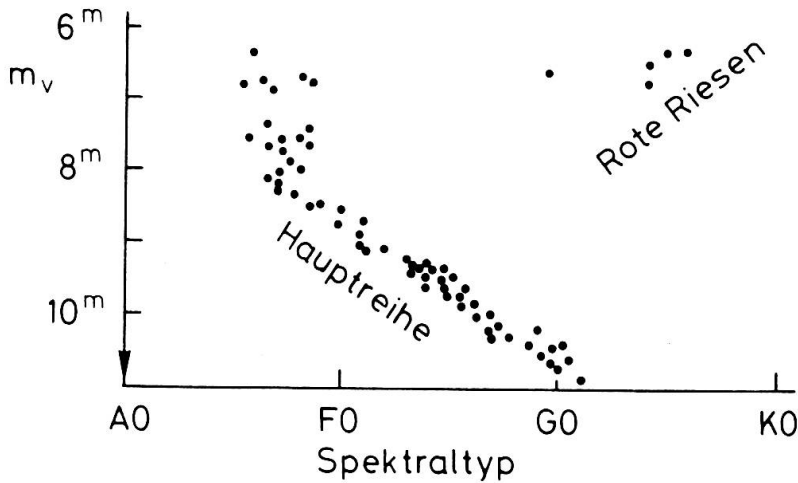
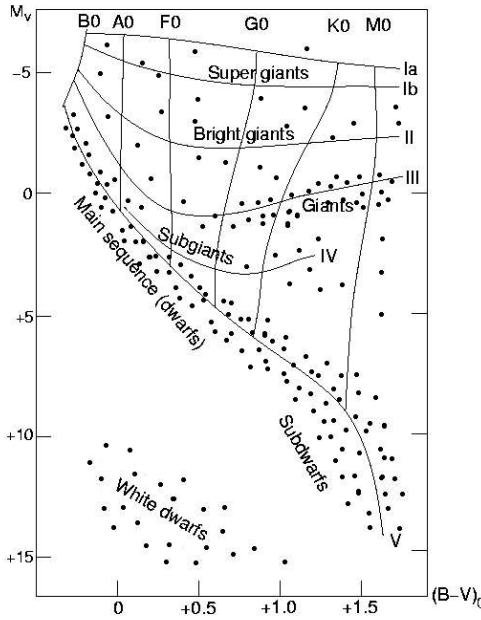


Masseübertrag I – Sternwind



vom H- zum He-Brennen
(Weigert/Wendker1 1996)

das HRD,
oben: allgemein,
unten OH Praesepe
(Weigert/Wendker1 1996)

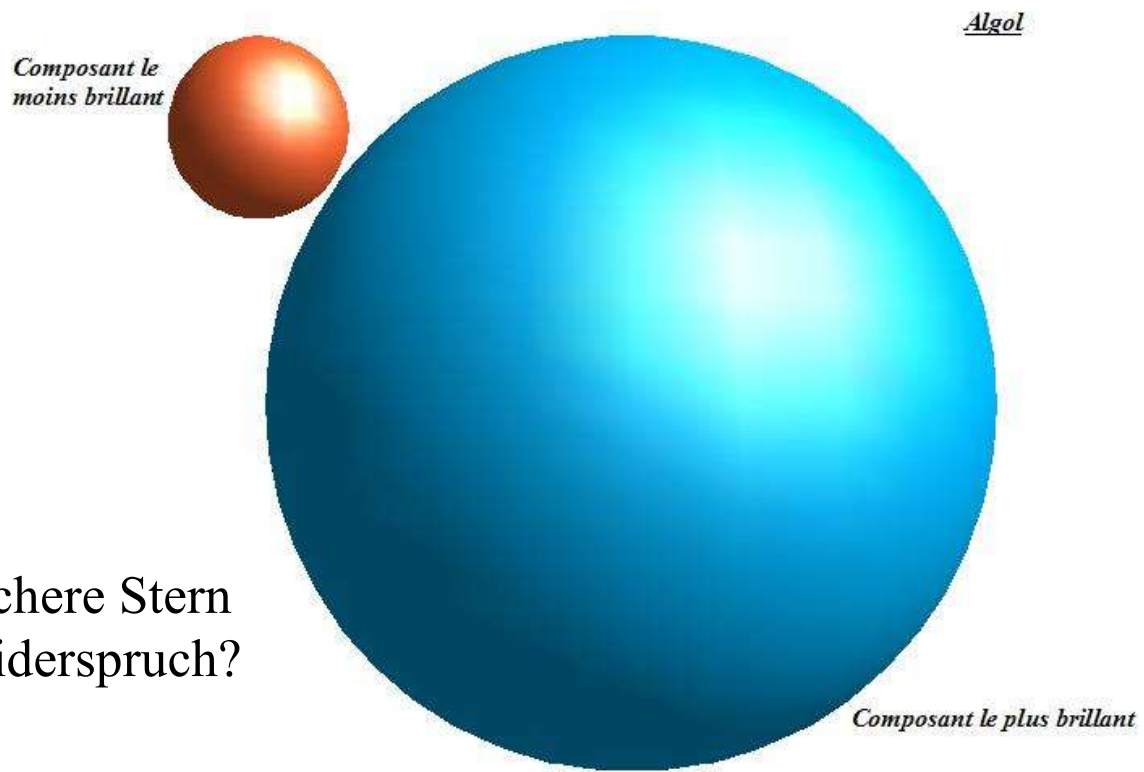
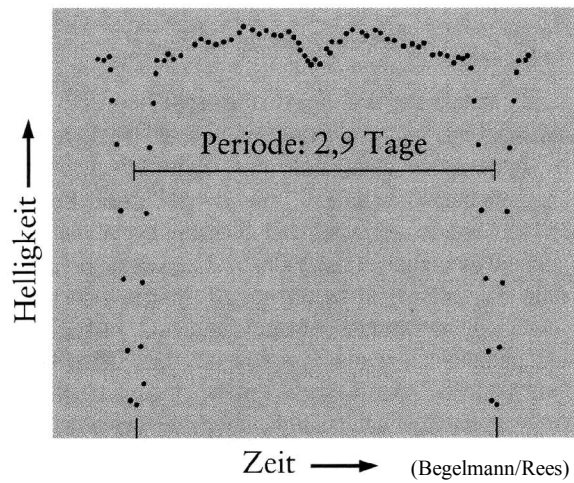


Algol (Beta Persei) und sein Paradoxon

Blauer Hauptreihenstern,
roter Riesenstern mit

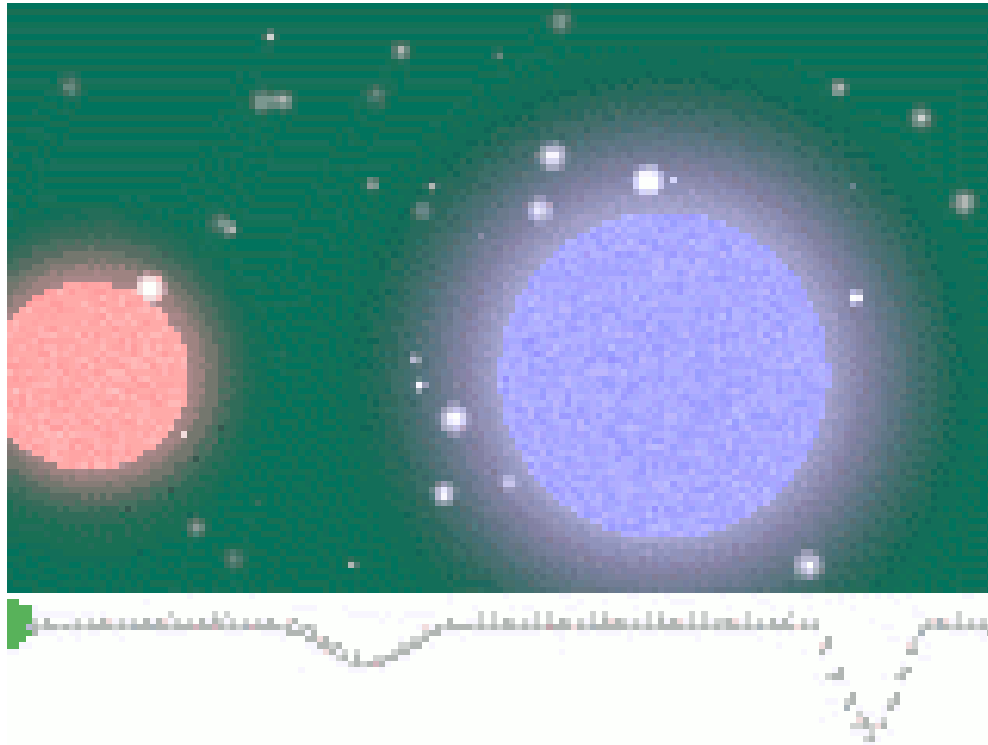
$$M_{\text{blau}} > M_{\text{rot}}$$

Eigentlich müßte der massereichere Stern
zuerst roter Riese werden – Widerspruch?



Algol – die Größe der Kugeln symbolisiert die Leuchtkraft

Algol (Beta Persei) und sein Paradoxon



Physik der Doppelsterne

Effektivpotential (Roche-Potential)

$$\Phi_R(r) = -\frac{\Gamma M_1}{|\vec{r} - \vec{r}_1|} - \frac{\Gamma M_2}{|\vec{r} - \vec{r}_2|} - \frac{(\vec{\omega} \times \vec{r})^2}{2}$$

Graphik

- 1. Äquipotentialflächen
- 2. **Roche-Fläche:**
grenzt Bereiche ab, in denen
Materie an einen der beiden
Sterne gebunden ist
- 3. Sattelpunkte des
Potentials (L_i)

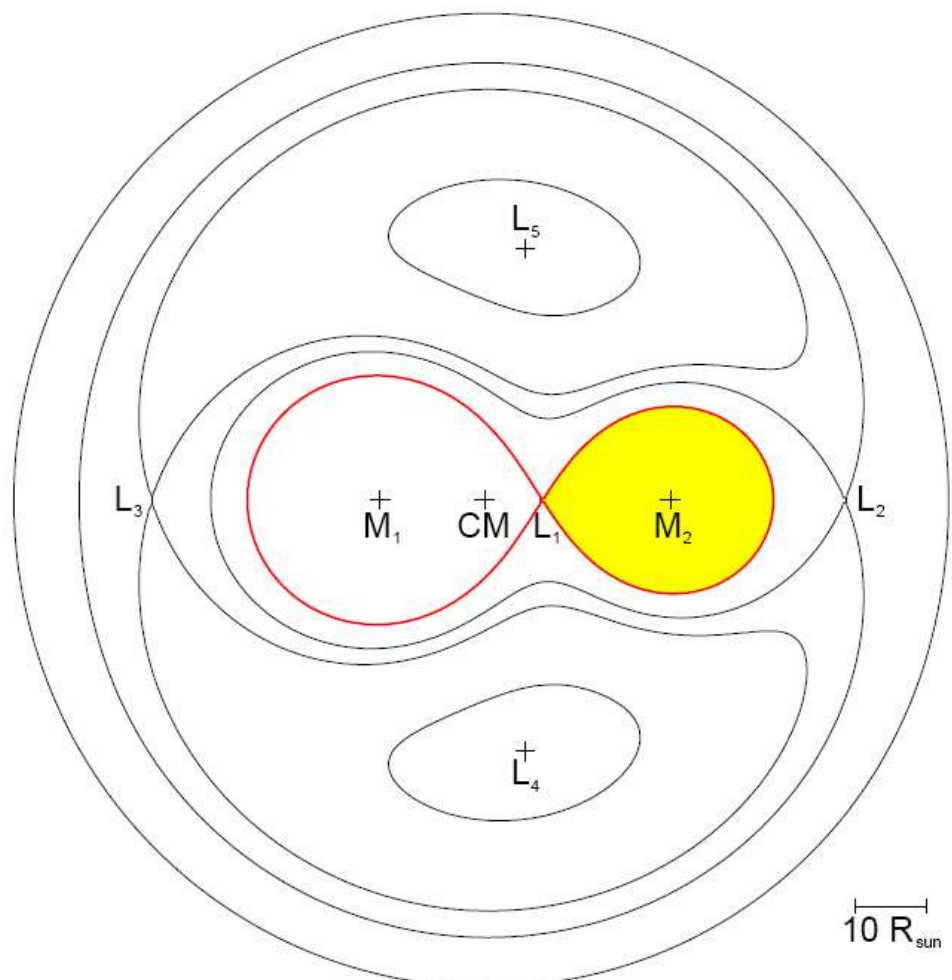


Abbildung 5: die Äquipotentialflächen des Roche-Potentials und Sattelpunkte (Lagrangepunkte für $M_1 = 18M_\odot$, $M_2 = 10M_\odot$)

(Wilms, 2002)

Physik der Doppelsterne

Anwachen des Sterns
(Roter Riese)



Ausfüllen der Roche Fläche
Und Abfluß von Masse an den
Begleitstern über Lagrange-
punkt L_1

Roche Lobe Overflow (RLOF)

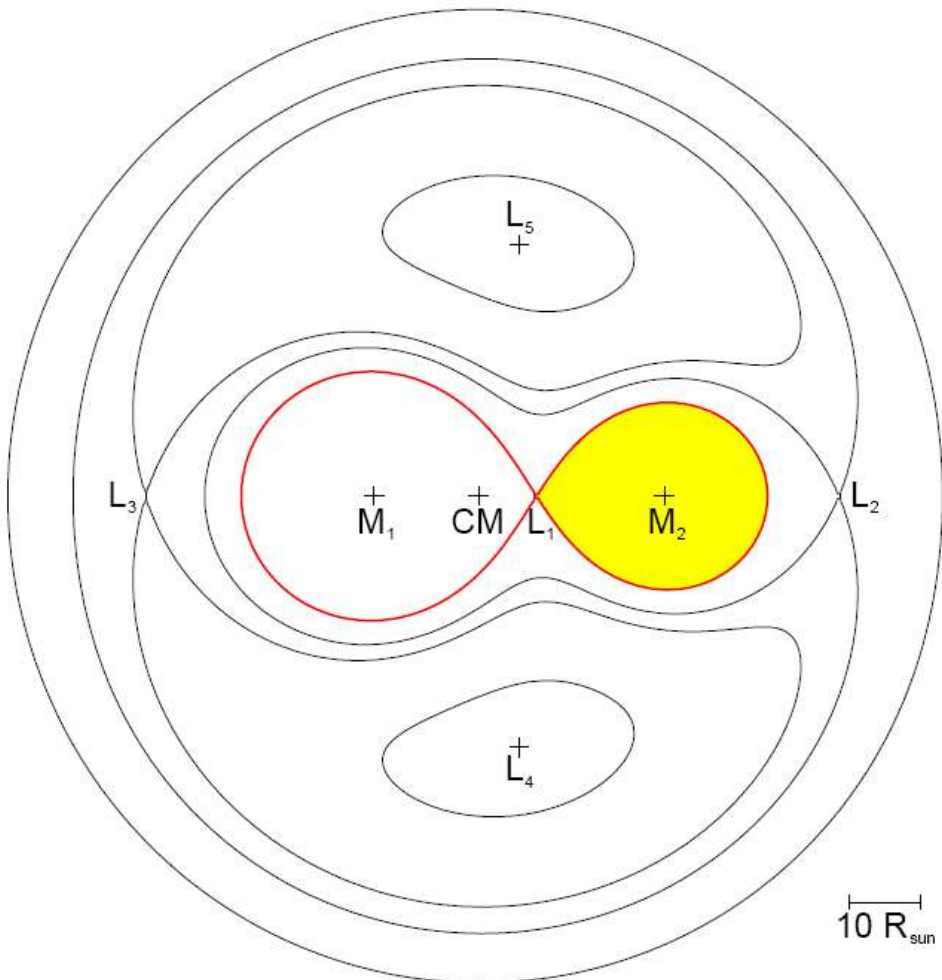
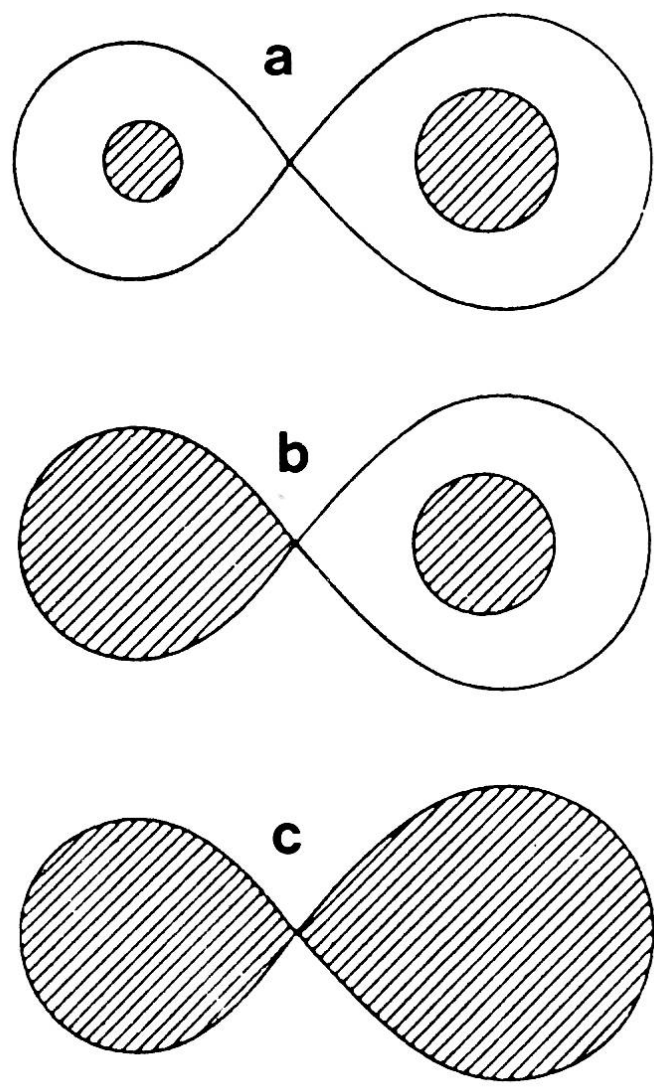


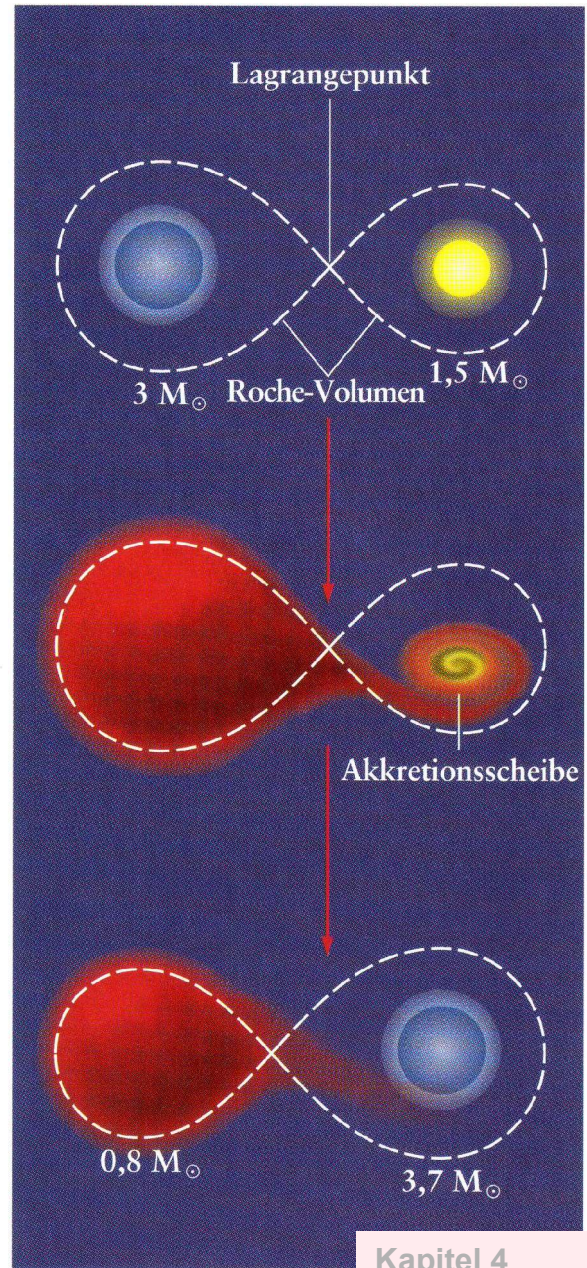
Abbildung 5: die Äquipotentialflächen des Roche-Potentials und Sattelpunkte (Lagrangepunkte für $M_1 = 18M_\odot$, $M_2 = 10M_\odot$)

(Wilms, 2002)

Masseübertrag II – Roche Lobe Overflow

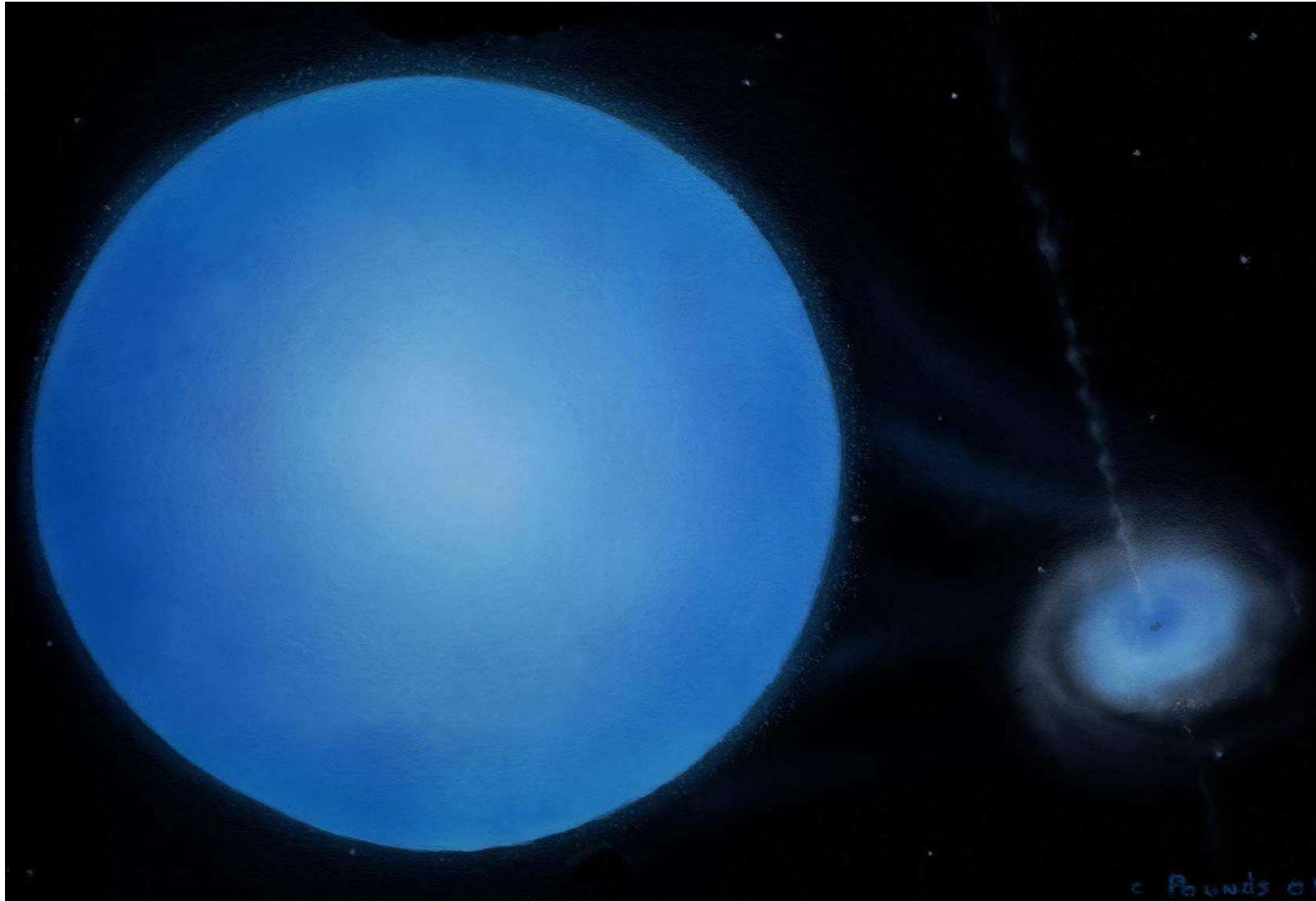


(Karttunen et al., 1994)



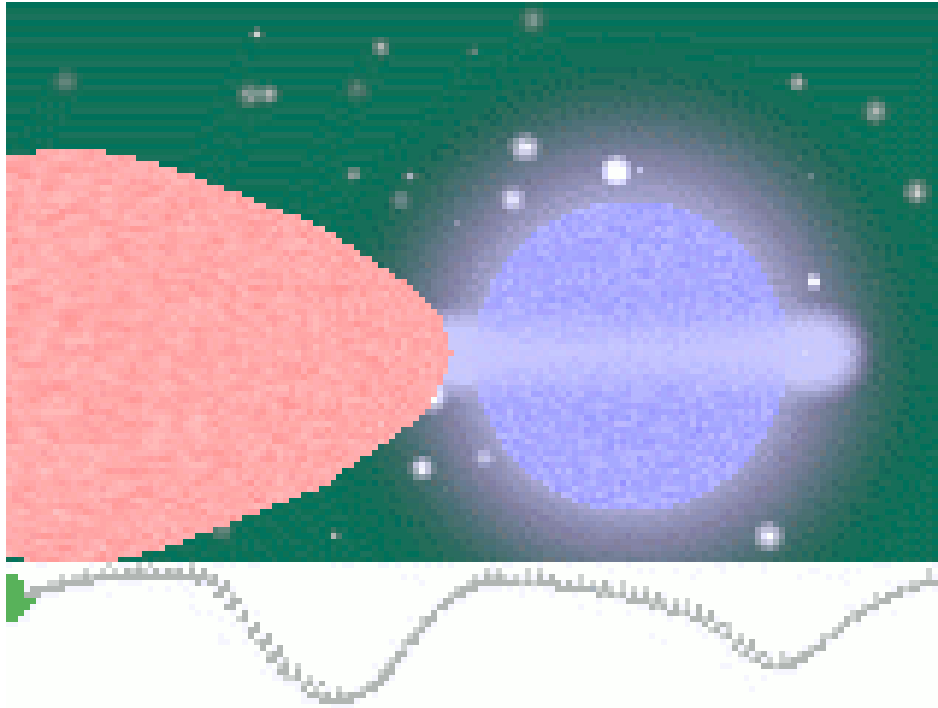
(Begelman/Rees)

Masseübertrag II – Roche Lobe Overflow



NOAO Press
Release

Masseübertrag II – Roche Lobe Overflow

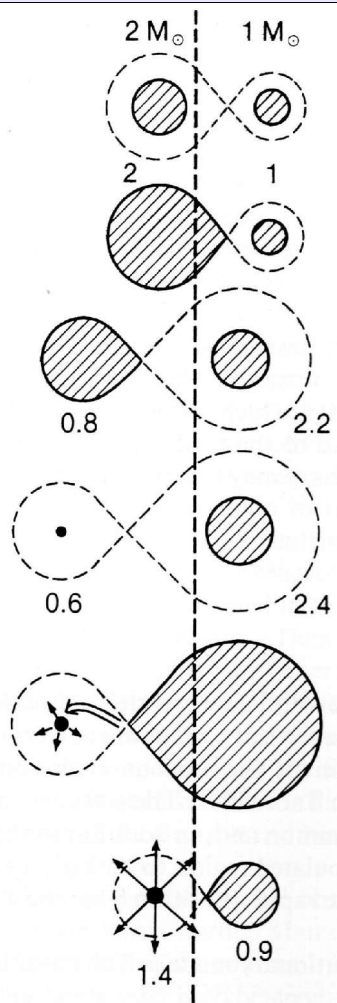


Masseübertrag II – Roche Lobe Overflow

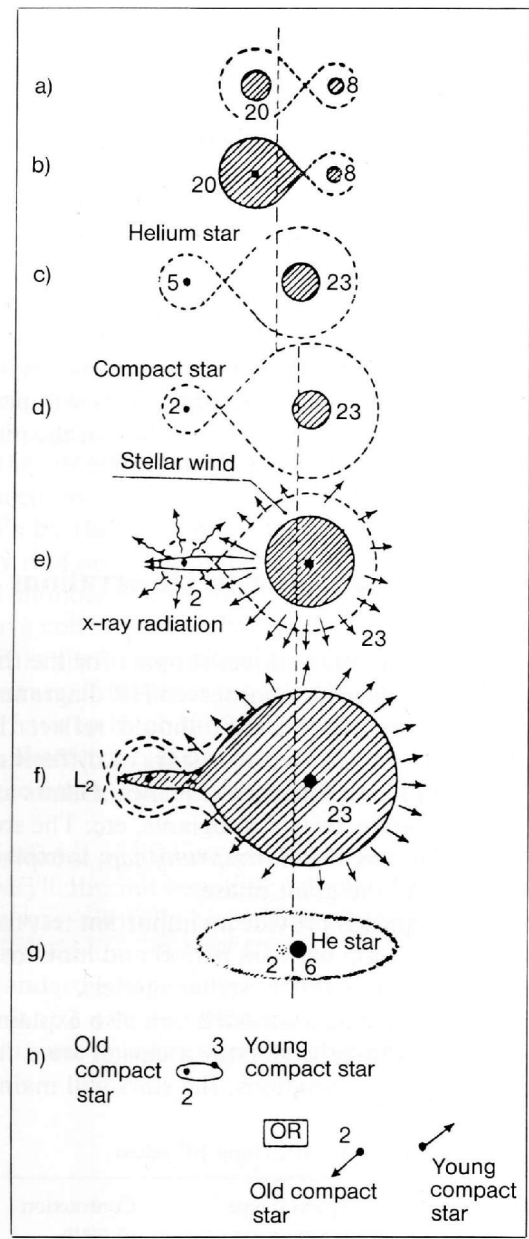
Entwicklung massiver DS (rechts)

main sequence

a	mass tranfer I RLOF	
b	He-star (wolf-rayet)	
c	SN -> compact star	
d	X-ray source	supergiant
e	common envelope (CE) phase, large-scale mass loss	
f	compact star	He-star (wolf-rayet)
g		SN -> disruption?



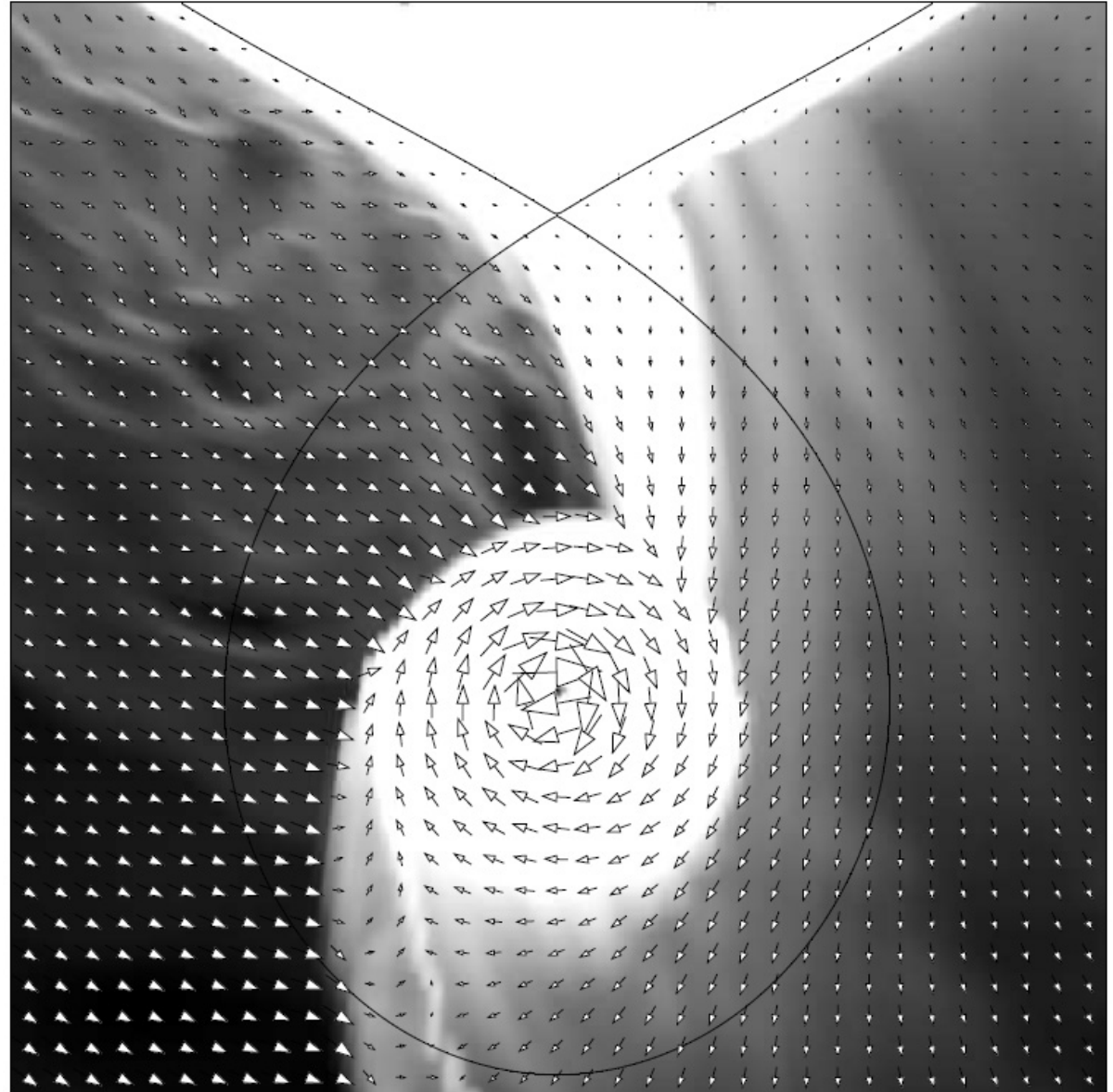
(Karttunen et al., 1994)



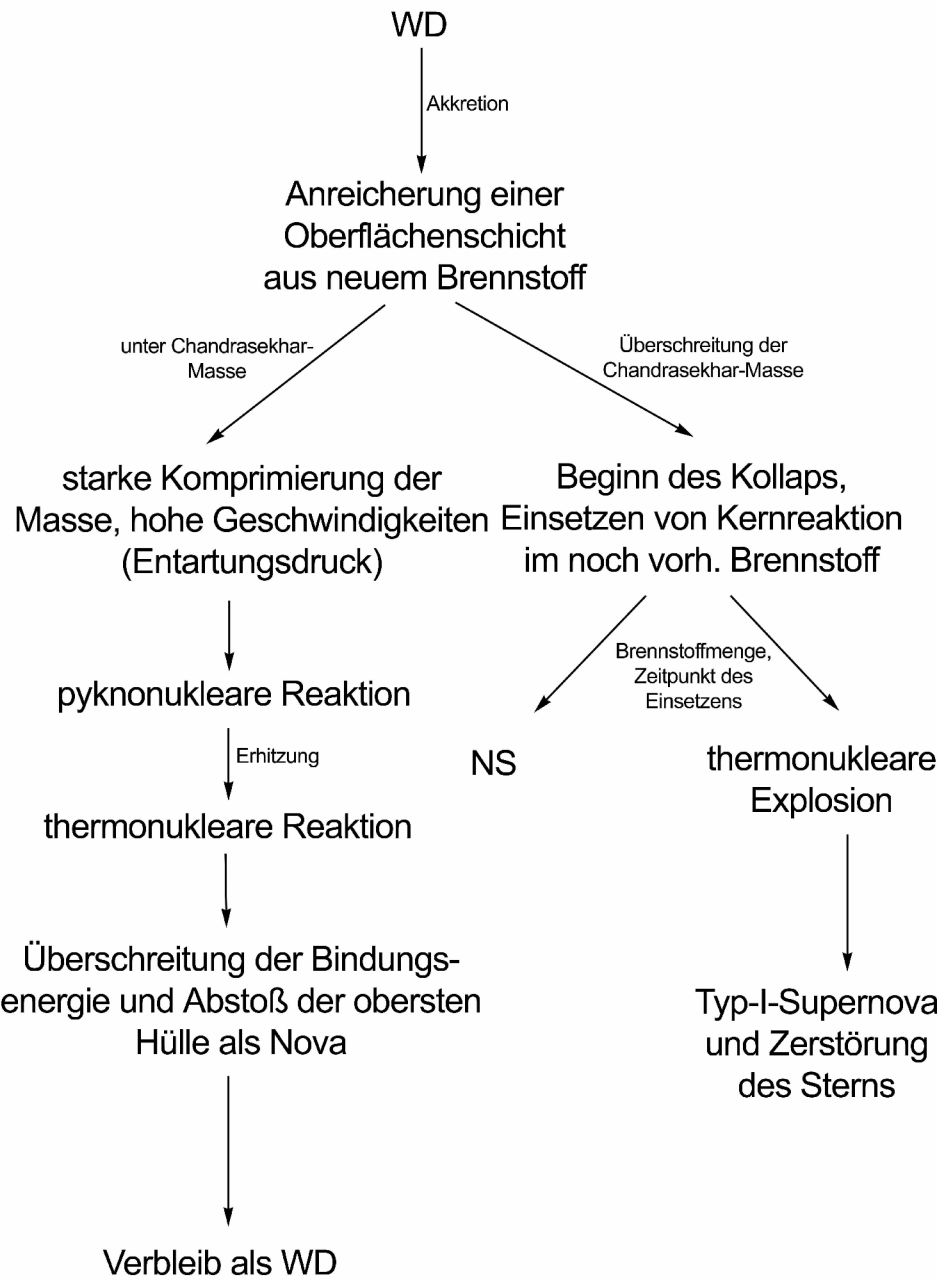
Masseübertrag III

Simuliertes Geschwindigkeitsfeld für
den massereichen
Röntendoppelstern LMC X-4

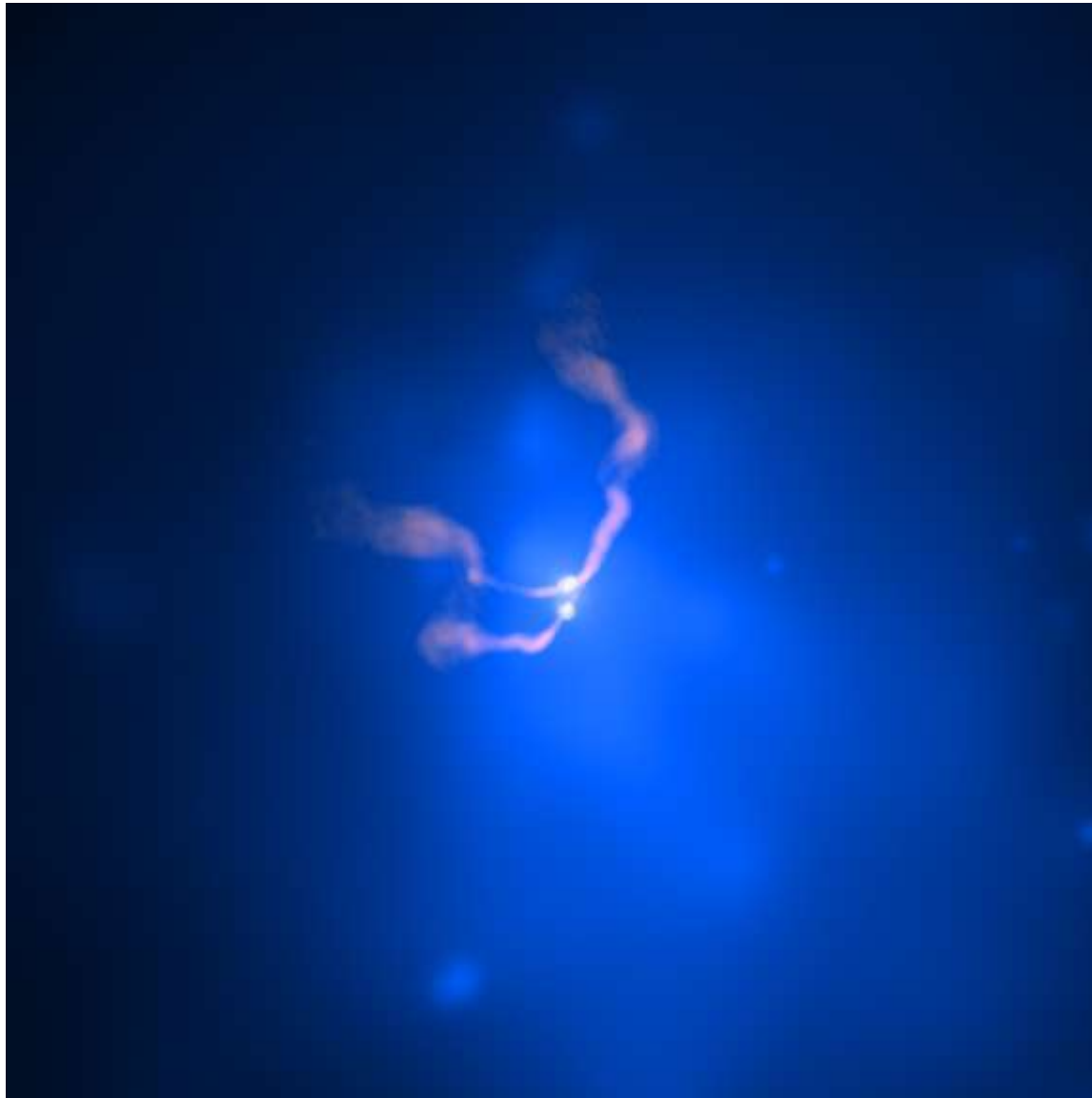
(Blondin, priv. comm.)



Bildung schwarzer Löcher Im 2. Masseübertrag



Schwarze Löcher in Binärsystemen

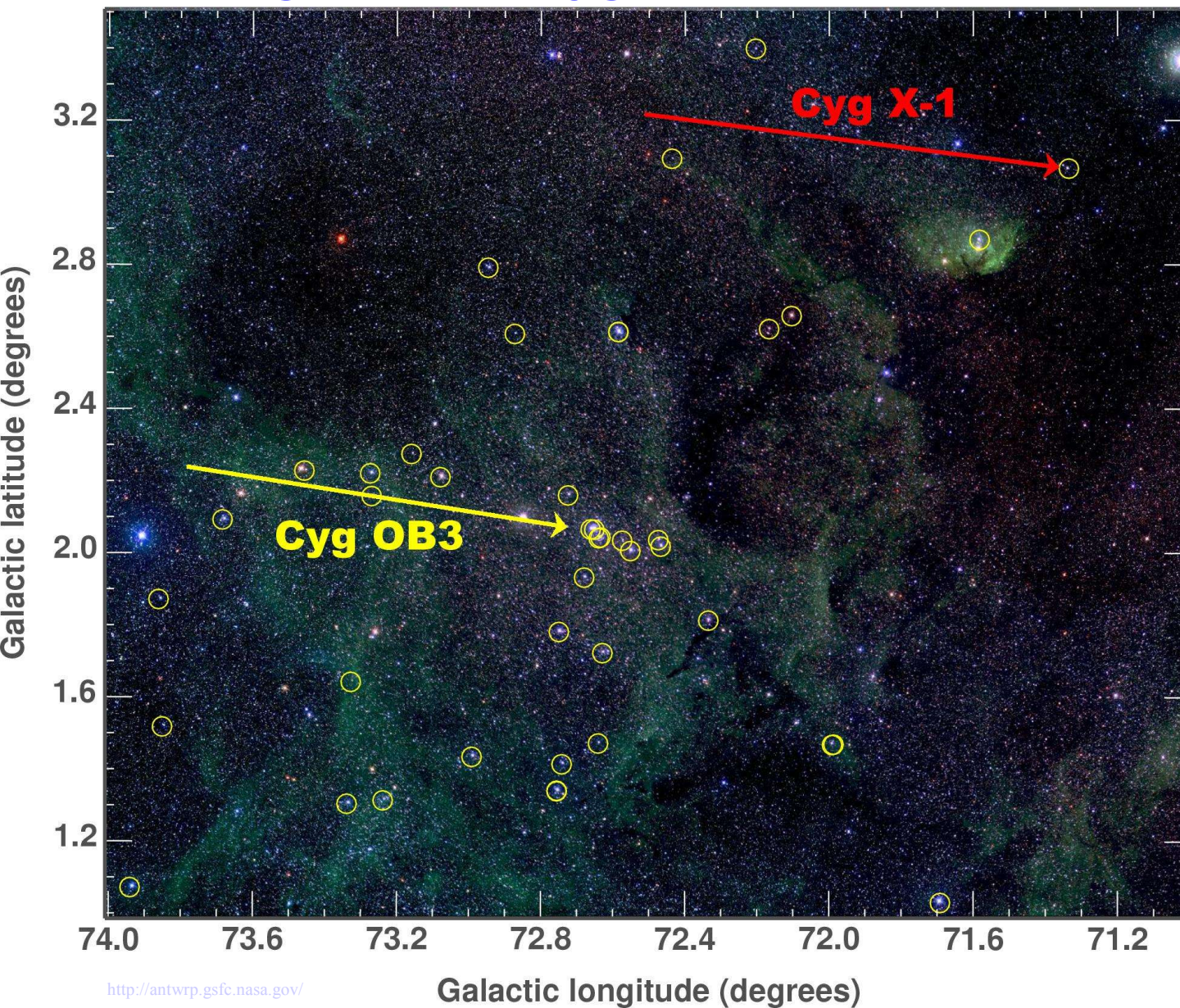


The two bright sources at the center of this composite x-ray (blue)/ radio (pink) image are co-orbiting supermassive black holes powering the giant radio source 3C 75. Surrounded by multimillion degree x-ray emitting gas, and blasting out jets of relativistic particles the supermassive black holes are separated by 25,000 light-years. At the cores of two merging galaxies in the Abell 400 galaxy cluster they are some 300 million light-years away. Astronomers conclude that these two supermassive black holes are bound together by gravity in a binary system in part because the jets' consistent swept back appearance is most likely due to their common motion as they speed through the hot cluster gas at 1200 kilometers per *second*.

Klassifikation von Röntgendoppelsternen

	LMXB	HMXB
Sekundärstern	A und später $M \lesssim 1, 2 M_{\odot}$	O, B $M \gtrsim 10 M_{\odot}$
Mechanismus	RLOF	Sternwind
Effekt m. BHC	soft X-ray transients, die meisten BHC	dauerhafte Röntgen- quelle, 5 Objekte bekannt (Cyg X-1, LMC X-1, LMC X-3)

Die Röntgenquelle Cyg X-1



Die Röntgenquelle Cyg X-1. Die gelben Kreise markieren Mitglieder eines Haufens massereicher Sterne, bekannt als Cyg OB3. Die Pfeile veranschaulichen die Geschwindigkeitsfelder. Die Ähnlichkeit legt nahe, dass der Vorläuferstern von Cyg X-1 ebenfalls Mitglied der Gruppe war und ohne SN-Explosion kollabierte.

Black hole binaries

Black hole binaries

$$L = \eta \dot{M}_{acc} c^2$$

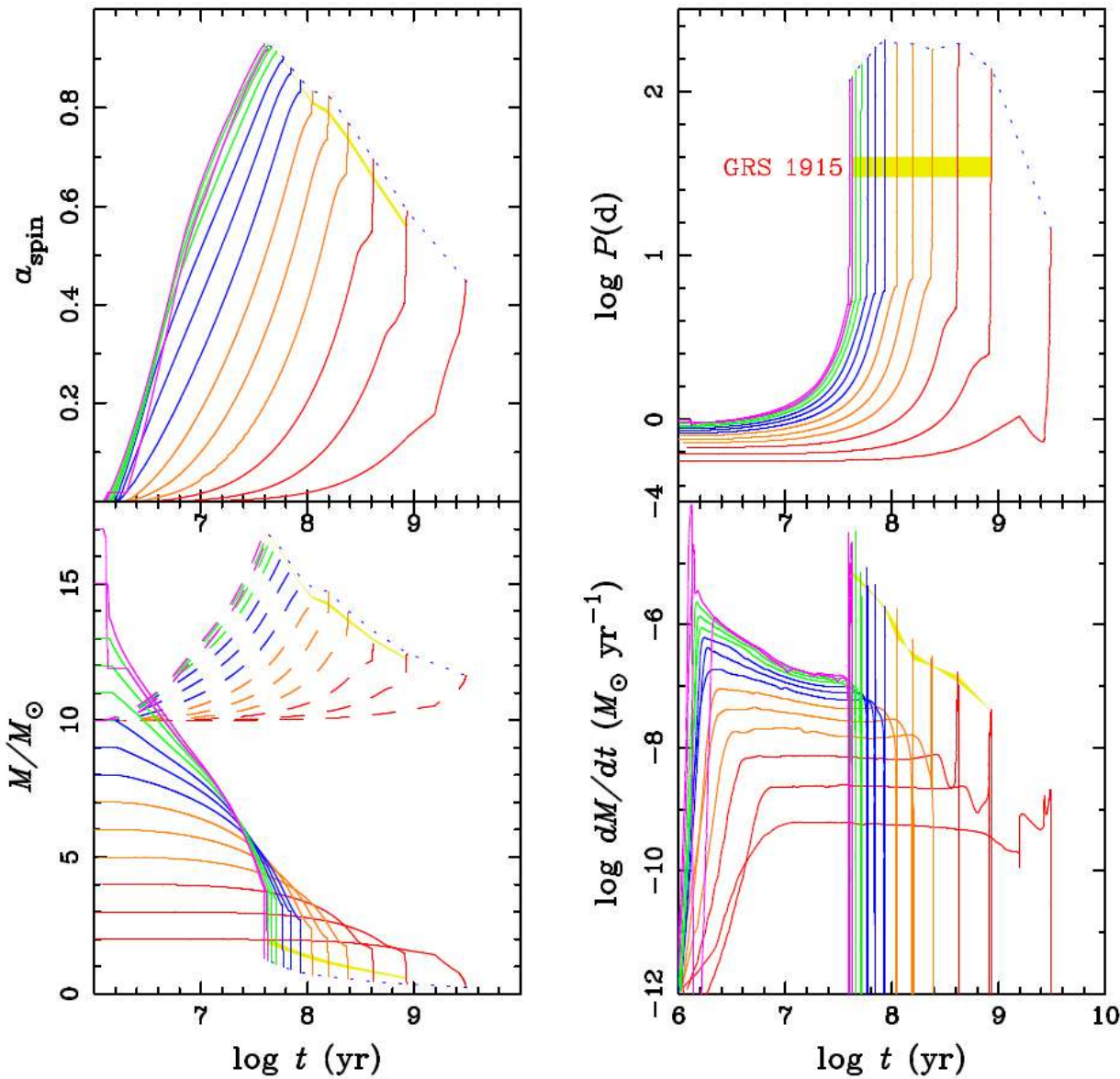
$$\eta = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{M_{BH}}{3M_{BH}^0} \right)^2}$$

$$L_{edd} = \frac{4\pi\Gamma M_{BH} c}{\kappa}$$



$$\dot{M}_{edd} = \frac{4\pi\Gamma M_{BH}}{\kappa c \eta}$$

Black hole binaries



(Podsiadlowski et al., 2006)

Literatur und Bildquellen

Quellen und Literatur:

Kippenhahn, Weigert: Stellar Structure and Evolution, Springer 1990

Landau, Lifschitz: Lehrbuch der Theoretischen Physik, Bd. 2: Klassische Feldtheorie, Akademie-Verlag 1976¹¹

Karttunen et al., Fundamental Astronomy, Springer 1994²

Begelman, Rees: Schwarze Löcher im Kosmos, Spektrum 2000

Kawaler, Novikov, Srinivasan: Saas-Fee Advanced Course – Stellar Remnants, Springer 1996

Vorlesung „X-ray astronomy“ von Jörn Wilms, Kapitel „X-ray binaries“

Podsiadlowski, Rappaport, Han: On the formation and evolution of black hole binaries, arXiv:astro-ph/0207153