

## 7. Entstehung von Kataklysmischen Doppelsternen

Literatur: de Kool, M.: 1992, A&A 261, 188

Politano, M.J.: 1988, Ph.D. thesis, Univ. Illinois, Urbana

Politano, M.J.: 1996, ApJ 465, 338

### ▶ Wichtige Eigenschaften der Kataklysmischen Doppelsterne

a) sie enthalten (fast) alle einen CO- oder ONeMg-Weissen Zwerg mit  $0.5M_{\odot} \lesssim M_{WZ} \lesssim M_{CH}$ .

b) sie haben sehr kurze Umlaufzeiten,  $0.05d \lesssim P \lesssim 0.4^d \dots (\sim 6^d)$

### ▶ Folgerungen aus der Sternentwicklung

Damit ein CO- oder ONeMg-WZ überhaupt entstehen kann, muss der entsprechende Primärstern genügend Masse ( $1M_{\odot} \lesssim M_{1,i} \lesssim 10-12M_{\odot}$ ) und (sehr) viel Platz haben, da für AGB-Sterne  $\log R/R_{\odot} \approx 1.5 + 1.3M_c/M_{\odot}$

↪ a) Vorläufersysteme von CVs müssen ehemals sehr weite Systeme mit  $P \approx \text{Monate} \dots \text{Jahre}$  und  $30R_{\odot} \lesssim A_i \lesssim 1000R_{\odot}$  gewesen sein (Ritter, H.: 1976, MNRAS 175, 279; → de Kool 1992, Fig. 4)

b) Die Vorläufersysteme müssen unter erheblichem Massen- und Drehimpulsverlust enger geworden sein, und zwar nachdem der CO- oder ONeMg-Kern gebildet wurde (Ritter 1976).

▶ Massen- und Drehimpulsverluste erfolgen in einer sog. Common-Envelope-Entwicklung, als Folge von vorangegangenem adiabatisch instabilen Massentransfer (Paczynski, B.: 1976, IAU Symp. No. 73, p. 75).  
→ Vorlesung "Sternaufbau und Sternentwicklung, Teil II, Kap. 35.3

Häufigkeit der Common-Envelope-Entwicklung: Nach de Kool (1992, → Fig. 3) gehen  $\sim 1/3$  aller Doppelsterne beim 1. Massentransfer durch eine Common Envelope, d.h. das ist ein häufiger Prozess.

▶ Endprodukte der Common-Envelope-Entwicklung:  $\exists$  mehrere Möglichkeiten

a) die beiden Sterne verschmelzen zu einem Stern (wenn die frei werdende Bahnenergie zum Abwurf der gemeinsamen Hülle nicht ausreicht).  
Nach de Kool (1992) für  $\sim 18\% - \sim 26\%$  aller Systeme, (→ Fig. 3).

b) es entsteht ein getrenntes System mit kurzer Periode, bestehend aus dem Kern des Primärsterns (dem zukünftigen Weissen Zwerg) und dem praktisch unveränderten Sekundärstern (betr. ca. 5-13% aller Systeme, → de Kool 1992, Fig. 3).

► Entwicklung von getrennten Post-Common-Envelope-Systemen

in den halbgetrennten Zustand, entweder durch

- nukleare Entwicklung des Sekundärsterns, oder
- weiteren Drehimpulsverlust (magn. Bremsung, Gravitationswellen)

► Ist  $q > q_{\text{crit}} \Leftrightarrow$  Massentransfer stabil  $\Rightarrow$  Entstehung von CVs (nur wenige % aller Systeme, → de Kool 1992, Fig. 3)

► Ist  $q < q_{\text{crit}} \Leftrightarrow$  Massentransfer instabil  $\Rightarrow$  Entstehung von Systemen mit sehr hohem  $\dot{M}$ , u.a. wahrsch. auch SSSs ( $\sim 1.5\% - 6\%$ ).

► Beobachtungen

a) Systeme während einer Common-Envelope Phase: sind wahrsch. nicht als solche erkennbar; ausserdem ist diese Phase sehr kurz. Daher kein Objekt bekannt.

b) getrennte Post-Common-Envelope Systeme: → Tabelle

b1) direkte Post-Common-Envelope Systeme, als enge Doppelsterne, die in einem Planetarischen Nebel eingebettet sind ( $\lesssim 10^4$ a nach Abwurf der Hülle). Derzeit ~ 18 Objekte bekannt.

b2) danach als getrennte, kurzperiodische Doppelsterne, bestehend aus einem WZ (oder WZ-Vorläufer, z.B. sdO/B-Stern) und einem HR-Stern/Riesen als Begleiter. Derzeit ca. 40 Objekte mit  $P \lesssim 20$ d.

► Systeme ohne Planetarischen Nebel haben im Mittel kürzere Perioden ( $\langle \log P(d) \rangle \approx -0.34$ ) als solche mit einem PN ( $\langle \log P(d) \rangle \approx -0.06$ ).  
→ Entwicklungseffekt ! ?

De Kool, M.: 1992, Statistics of cataclysmic variable formation, Astron. Astrophys. 261, 188

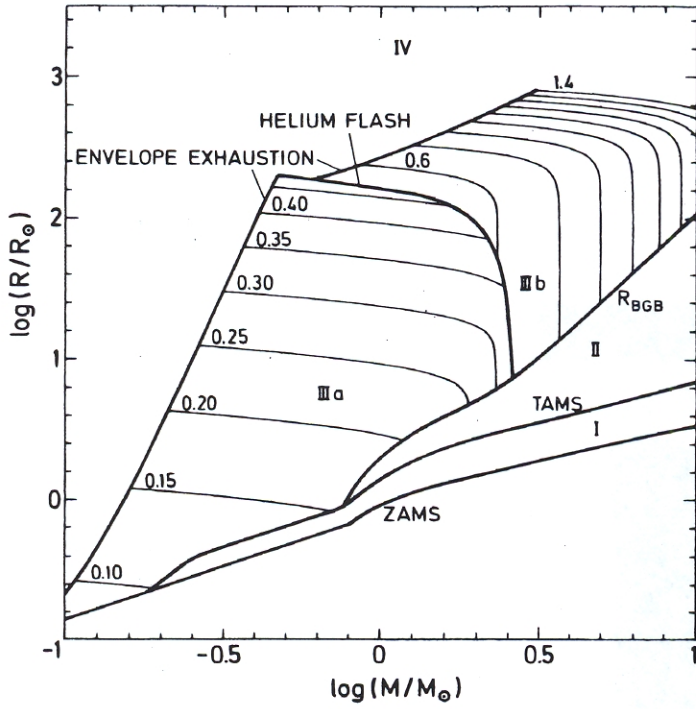


Fig. 1. This diagram gives the radius of a star of given zero-age mass as a function of its evolutionary state. Lines indicating the zero-age main sequence (ZAMS) radius, the terminal age main sequence (TAMS) radius, the radius when the star first comes to the giant or asymptotic giant branch ( $R_{BGB}$ ), and the maximum radius a star can reach before it becomes a white dwarf or a neutron star are plotted. For stars on the giant branch or asymptotic giant branch, lines giving the position of stars with a given degenerate core mass are drawn. The areas corresponding to the GB (IIIa) and the AGB (IIIb) are separated by the helium flash line, which gives the largest radius a star can reach while it has a degenerate He core. (Adapted from Politano 1988)

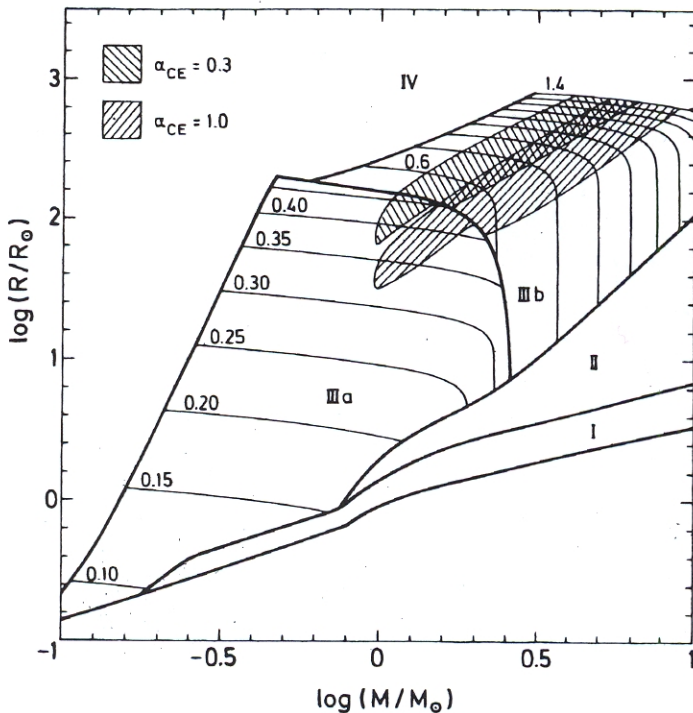


Fig. 4. The areas in the  $(M_1, R_{L,1})$  plane from which binaries can evolve to a CV. The two areas are for  $\alpha_{CE} = 1.0$  and  $\alpha_{CE} = 0.3$

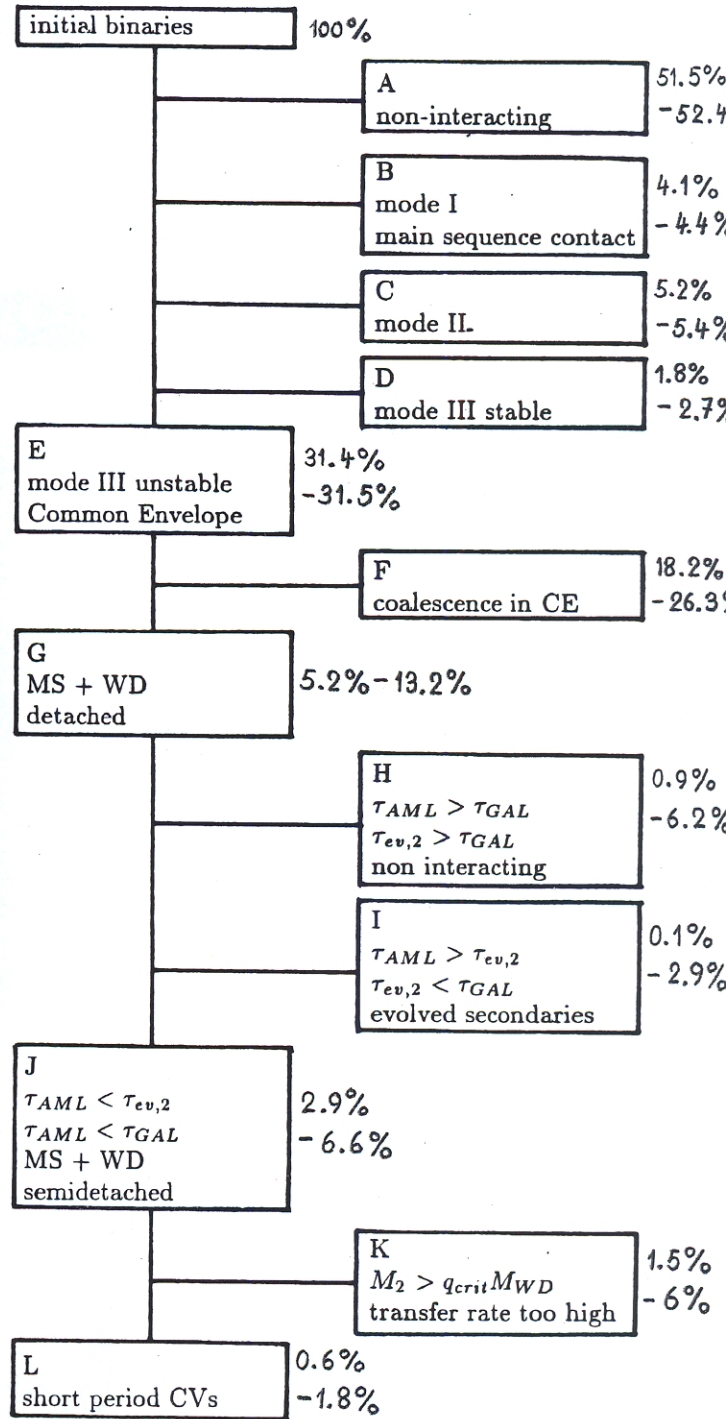


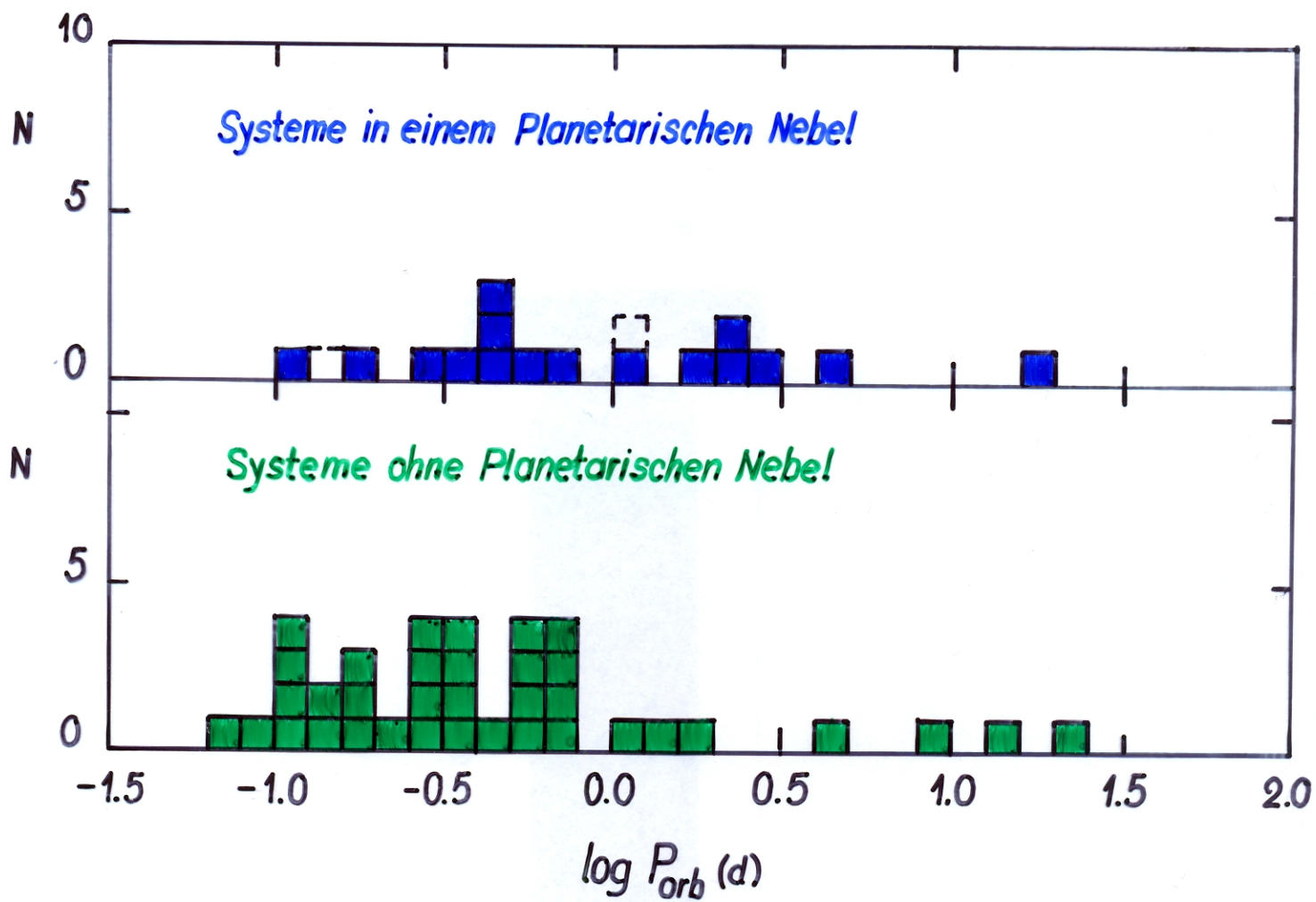
Fig. 3. A schematic representation of the evolutionary routes we consider for the initial binaries

Getrennte, kurzperiodische Doppelsterne bestehend aus einem Weissen Zwerg oder dem Vorlaeufer eines Weissen Zwergs und einem massearmen, unentwickelten Begleiter sowie binaere Zentralsterne von Planetarischen Nebeln (Post-Common-Envelope Systeme) aus Ritter & Kolb (2003, A&A 404, 301) mit Ergaenzungen. (Stand Januar 2004)

Objekt	Typ	Periode (d)	Spektrum
IK Peg		21.7217	DA + A8V
V651 Mon	PN	15.991	A5V
G 203-47A		14.7136	+ M3.5V
FF Aqr		9.207755	sdOB + G8III
SuWt 2	PN	4.9	B9V
Feige 24		4.23160	DAO + M1-2V
SP 1	PN	2.91	
QR Sge	PN	2.3583	WN8
BE Uma	PN	2.291166	DAO + K3-4V
1114+1842		1.75992	
Ht Tr 4	PN	1.71	
IN Cma		1.26245	DAO + M0-2V
0808+1106	PN	1.1806	:
Abell 65	PN	1.00	
1136+6646		1.	DAO + K6V
J1016-0520		0.78929	DAO + M0-4V
2009+6216		0.741	DA3
J2013+4002		0.7059	DAO + M3-4V
VW Pyx	PN	0.6701	
EG Uma		0.667659	DA + M4-5V
UZ Sex		0.597257	DA3 + M4eV
V664 Cas	PN	0.5817	
HZ 9		0.56433	DA2 + M5eV
V471 Tau		0.521183	DA2 + K2V
J2130+4710		0.521036	D + M4eV
V1513 Cyg		0.497	sdM1.5e
V477 Lyr	PN	0.471729	sdO
UU Sge	PN	0.465069	sdO + MV
Hf 2-2	PN	0.398571	
DE CVn		0.364095	M0V
KV Vel	PN	0.357113	sdO
GK Vir		0.344331	DAO + M3-5V
1042-6902		0.336784	DA3 + MeV
TW Crv		0.32762	sdO + dM
RR Cae		0.303700	DAwk + M5-6V
CC Cet		0.286654	DA2 + M5eV
NGC 6026	PN	0.2636	
AA Dor		0.261540	sdO
LM Com		0.258689	DA + M4+V
BPM 71214		0.201626	DA + M2.5V
NGC 6337	PN	0.1735	
MS Peg		0.173666	DA2 + M3-5V
2333+3927		0.171802	sdB + M3-4V
J1129+6637		0.171	M4.5V
1150+5956	PN	0.1523	:
1347-1258		0.150758	DA + M4eV
NN Ser		0.130080	DAO1 + M6.5V
2237+8154		0.123681	DA + M3-4V
HW Vir		0.116720	sdB
MT Ser	PN	0.113227	sdO
HR Cam		0.103063	DA3 + MV
NY Vir	CP	0.101016	sdB + MV
0705+6700		0.095647	sdB + M
1017-0838		0.072994	

PN = Zentralstern eines planetarischen Nebels  
 CP = mit pulsierendem Weissen Zwerg

# Umlaufzeiten von Post-Common-Envelope Systemen



### 8. Die Periodenlücke als kollektives Phänomen

- ▶ Ausgangspunkt:
  - $\exists$  Systeme mit  $P_l \approx 2^h < P_i < P_u \approx 3^h$  (wenn  $0.2M_\odot \lesssim M_{2,i} \lesssim 0.3M_\odot$ )
  - $\exists$  Systeme, die sich in den Periodenbereich  $2^h \lesssim P \lesssim 3^h$  hineinentwickeln können
- ▶ Frage: Kann die Periodenlücke unter diesen Umständen bestehen bleiben?
- ▶ Antwort nur mit Hilfe einer vollständigen Populationssynthese für CVs möglich.  $\rightarrow$  Kolb, U.: 1993, Astron. Astrophys. 271, 149

$\rightarrow$  erfordert die Lösung von drei Teilproblemen

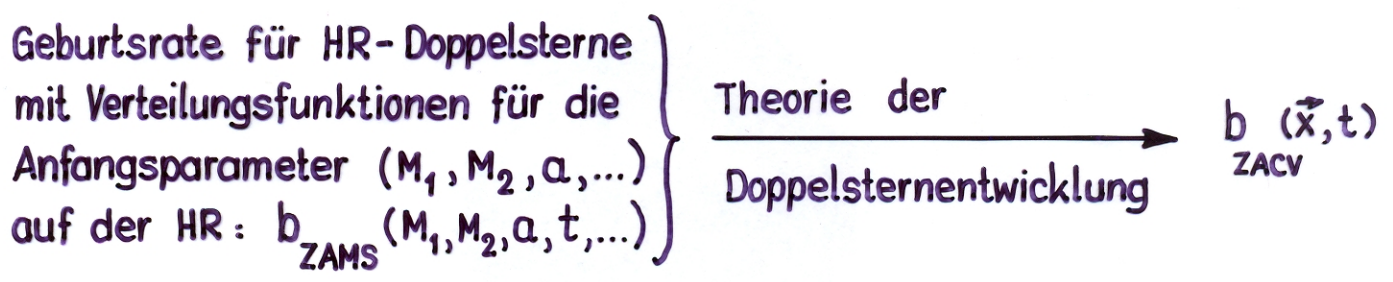
#### a) Die Berechnung der Geburtsrate für CVs

(Politano, M.J.: 1988, Doktorarbeit, Univ. of Illinois, Urbana-Champaign ; de Kool, M.: 1992, A&A 261, 188; Politano, M.J.: 1996, ApJ 465, 338)

Sei  $\vec{x} = (M_{1,i}, M_{2,i}, R_{2,i}, \dots)$  = Vektor der den Anfangszustand eines CVs eindeutig charakterisierenden Parameter

Gesucht: Geburtsrate  $b_{ZACV}(\vec{x}, t)$  (ZACV = Alter Null CV)

Berechnung:



Ergebnis: z. B. von Politano (1988) für  $\vec{x} = (M_{1,i}, M_{2,i}) \rightarrow$  Figuren

- Verteilung der Massen der WZ ist bimodal:
  - $\exists$  He-WZ ( $M_{1,i} \lesssim 0.46M_\odot$ ) und CO-WZ ( $0.51M_\odot \lesssim M_{1,i} \lesssim 1.38M_\odot$ )
- für geg.  $M_{1,i}$  ist  $b_{ZACV}(M_{1,i}, M_{2,i}, t)$  am grössten für  $M_{2,i} = M_{1,i} q_{crit}^{-1}$ .

b) Die Berechnung der momentanen intrinsischen CV-Population aus der Geburtsrate (Kolb, U.: 1993, Astron. Astrophys. 271, 149)

→ Entwicklung von Systemen mit der Anfangskonfiguration  $\vec{x}$  zur gegenwärtigen Konfiguration  $\vec{y}$ , wobei  $\vec{y} = (M_1, M_2, \dot{M}_2, P, \dots)$  der Vektor aller einen sich entwickelnden CV eindeutig charakterisierenden Zustandsgrößen ist.

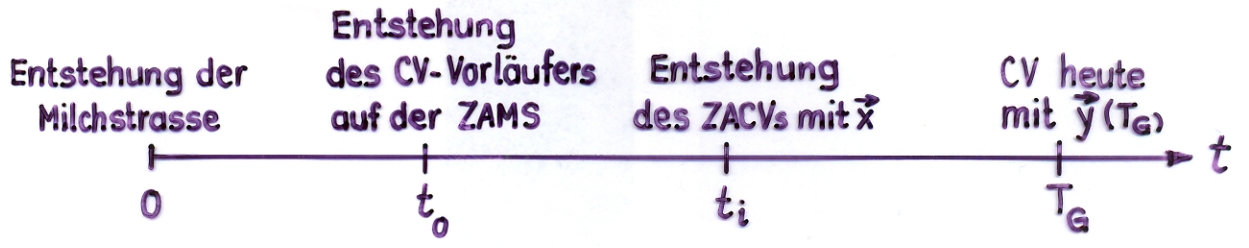
→ definiert Abbildung:  $f_{cv} : (\vec{x}, t_i) \mapsto \vec{y}$

▶  $f_{cv}$  transformiert die Anfangsverteilung  $b(\vec{x}, t_i)$  von CVs, die zur Zeit  $t_i$  geboren wurden in die gegenwärtige <sup>ZACV</sup> Verteilung  $\dot{n}(\vec{y})$ . Integration über  $t_i \in [0, T_G]$ ,  $T_G =$  Alter der Milchstrasse, liefert die intrinsische Populationsdichte  $n(\vec{y})$ :

$$n(\vec{y}) = \int_0^{T_G} \frac{b_{ZACV}}{|\partial(\vec{y})/\partial(\vec{x})|} \Big|_{f_{cv}^{-1}(\vec{y})} dt$$

wobei  $|\partial(\vec{y})/\partial(\vec{x})| =$  Jacobi-Determinante der Abbildung  $f_{cv}$ , die durch die säkulare Entwicklung definiert wird.

zur Zeitachse:



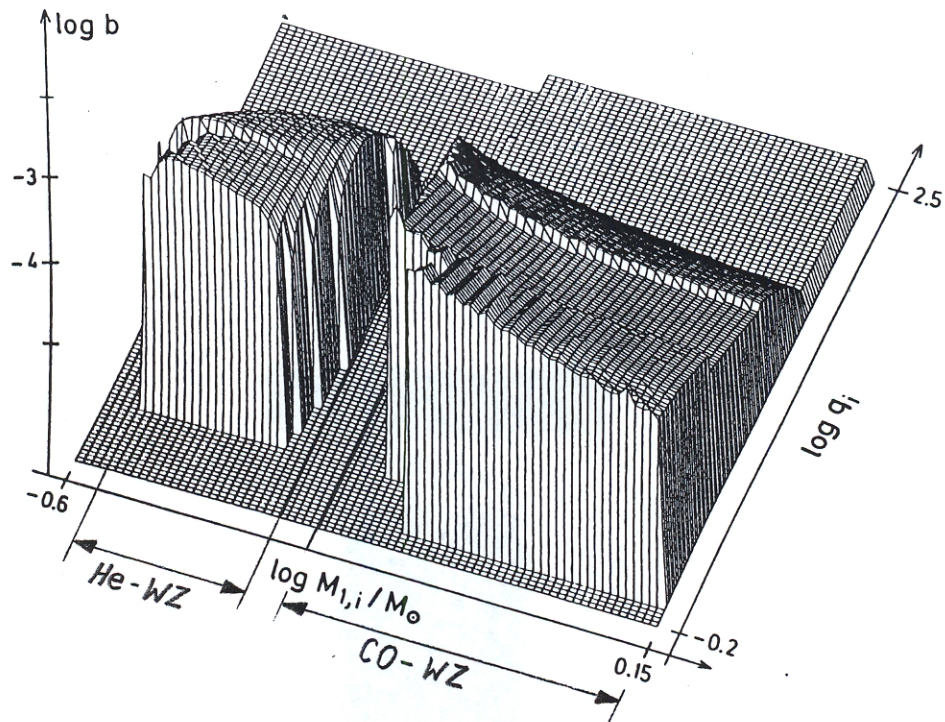
▶ Realisierung von  $f_{cv}$  durch säkulare Entwicklungen über einem Gitter  $(M_{1i}, M_{2i})_{jk}$  ( $\sim 50 \times 50$  Wertepaare)

▶ Ergebnisse für CVs der Pop. I (Kolb 1993): → auch Figuren

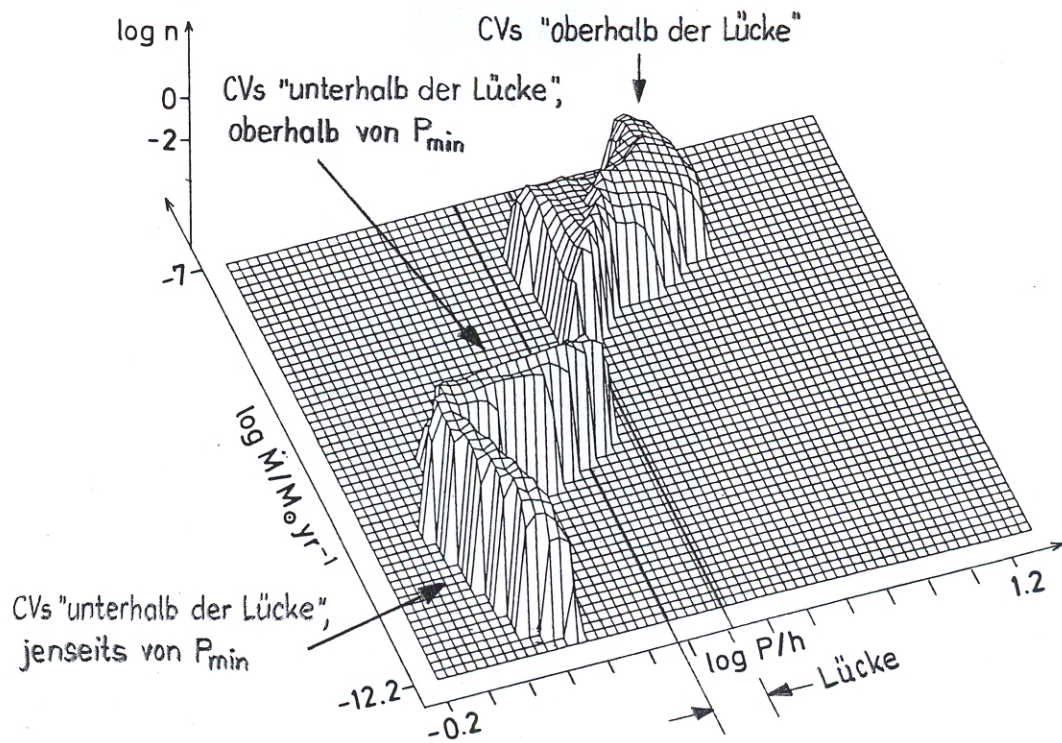
- intrinsisch sind  $\sim 99\%$  der Systeme unterhalb der Lücke ( $P < 2^h 34$ )
- $\sim 0.5\%$  " " oberhalb " " ( $P > 3^h 24$ )
- $\sim 0.5\%$  " " in der Lücke ( $2^h 34 < P < 3^h 24$ )
- $\sim 70\%$  " " jenseits von  $P_{min}$
- $\sim 2\%-4\%$  der totalen Population in der getrennten Phase ( $P_l < P < P_u$ )

unter der Annahme, dass  $\frac{\partial b_{ZACV}}{\partial t} = 0$ , und  $b_{ZACV}(\vec{x}, t) = b_{ZACV}(\vec{x}, T_G)$ , mit  $T_G = 10^{10} a.$

(Kolb, U.: 1993, Astron. Astrophys. 271, 149)



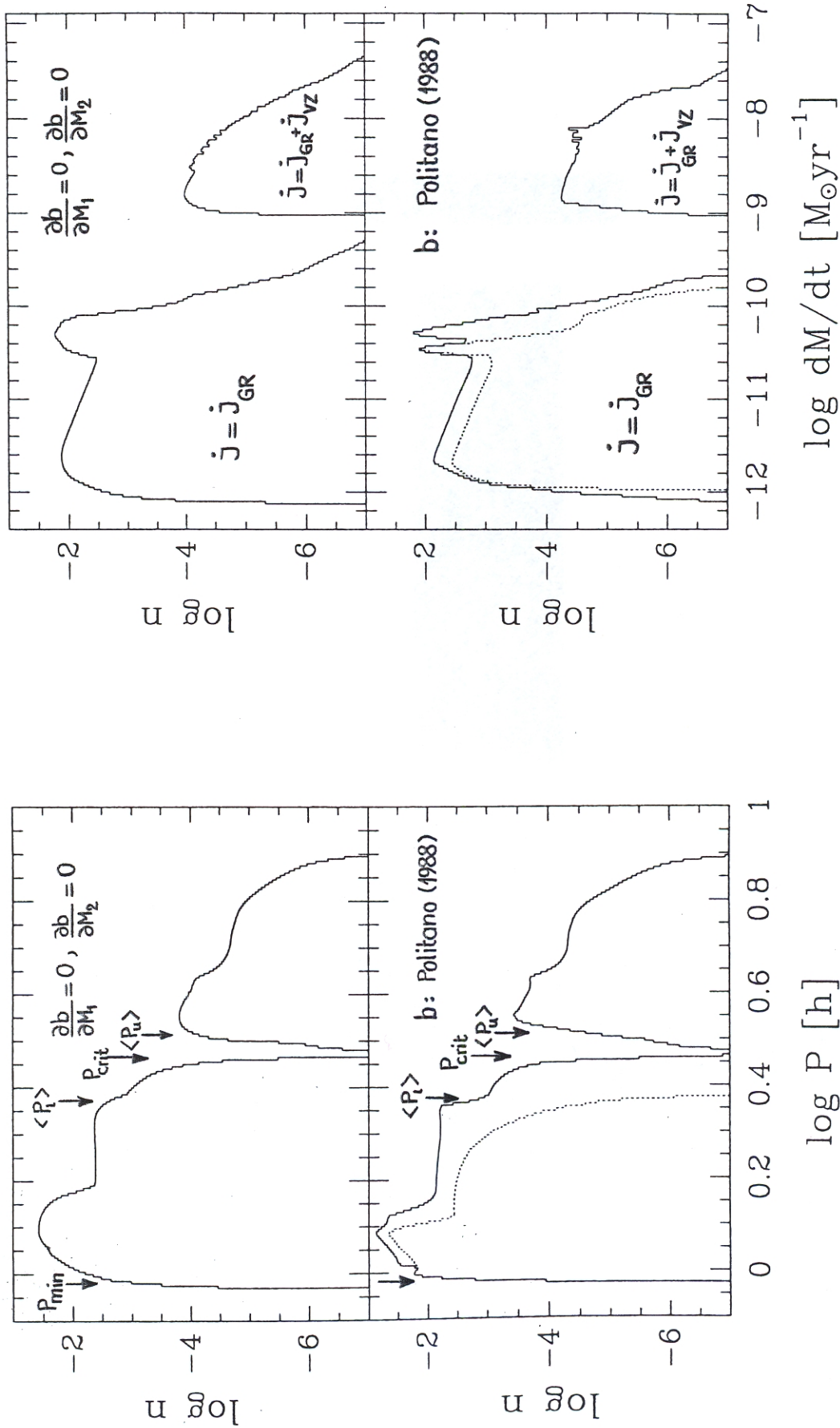
**Fig. 1.** Surface plot depicting the CV birth rate  $\log b(\log M_{1,i}, \log q_i)$  computed by Politano (1988) as a function of the initial WD mass  $M_{1,i}$  and the initial mass ratio  $q_i = M_{1,i}/M_{2,i}$ , in arbitrary normalization. There are two ridges visible along lines of constant secondary mass ( $M_{2,i} = 0.37M_{\odot}$  and  $M_{2,i} = 0.085M_{\odot}$ ); both are purely numerical and indicate the onset of magnetic braking and the low-mass end of the ZAMS, respectively



**Fig. 7.** The 2-dim. intrinsic distribution  $n(\log P, \log \dot{M})$  over the  $\log P$ - $\log \dot{M}$ -plane for model pm3 (see Table 3), not normalized



(Kolb, U.: 1993, Astron. Astrophys. 271, 149)



**Fig. 4.** The intrinsic period distribution  $n(\log P)$  for models pm1 (upper frame) and pm3 (lower frame), see Table 3. The dotted line in the lower frame shows the contribution of CVs with He-WDs. The function  $n$  results from a superposition of the subdistributions  $g_2(\log P)$  for all possible values of  $M_{1,i}$  (see Fig. 3) and is not normalized

**Fig. 5.** The intrinsic distribution function  $n(\log \dot{M})$  of the mass transfer rate  $\dot{M} = |M_2|$  (in  $M_\odot \text{yr}^{-1}$ ) for models pm1 (upper frame) and pm3 (lower frame), see Table 3, not normalized. The dotted line in the lower frame shows the contribution of CVs with He-WDs

### c) Berücksichtigung von Auswahleffekten

(Ritter, H., Burkert, A.: 1986, Astron. Astrophys. 158, 161 ; Dünhuber, H.: 1993, Dissertation, LMU München)

#### ► Beobachtung → Auswahleffekte, z.B. wegen

- Beobachtung in eingeschränktem Spektralbereich
- Flussbegrenzung der Beobachtungen
- unterschiedliche Variabilität (Amplitude, Zeitskala)
- interstellare Extinktion
- ⋮

► das Raumvolumen  $V(\vec{y})$ , aus dem CVs mit der Konfiguration  $\vec{y}$  beobachtet werden kann, hängt von  $\vec{y}$  und von den Auswahlkriterien, z.B. von der Grenzhelligkeit  $m_S$  im Spektralbereich  $S$  ab.

► Anzahl der beobachtbaren Systeme mit der Konfiguration  $\vec{y} = (y_1, \dots, y_n)$ :

$$\underline{N(\vec{y}) = \int_{V(\vec{y})} n(\vec{y}) dV}$$

► beobachtbare Verteilungsfunktion für Zustandsgrösse  $y_j$

$$N(y_j) = \int \dots \int dy_1 \dots dy_k \dots dy_n N(\vec{y}) \quad , \quad k = 1, \dots, n ; k \neq j$$

► Ergebnisse (Dünhuber 1993), basierend auf  $n(\vec{y})$  von Kolb (1993), für flussbegrenzte Stichproben. → Figuren

- die Lücke bleibt offen!

- ~ richtige Grössenordnung von  $N(P > P_u) / N(P_{\min} < P < P_l)$  für  $m_V = 10.0$

-  $\langle M_1 \rangle_{\text{obs}} \approx 0.76 - 0.80 M_{\odot} > \langle M_1 \rangle_{\text{int}} \approx 0.56 M_{\odot}$   
(für  $m_V = 10.0$ )

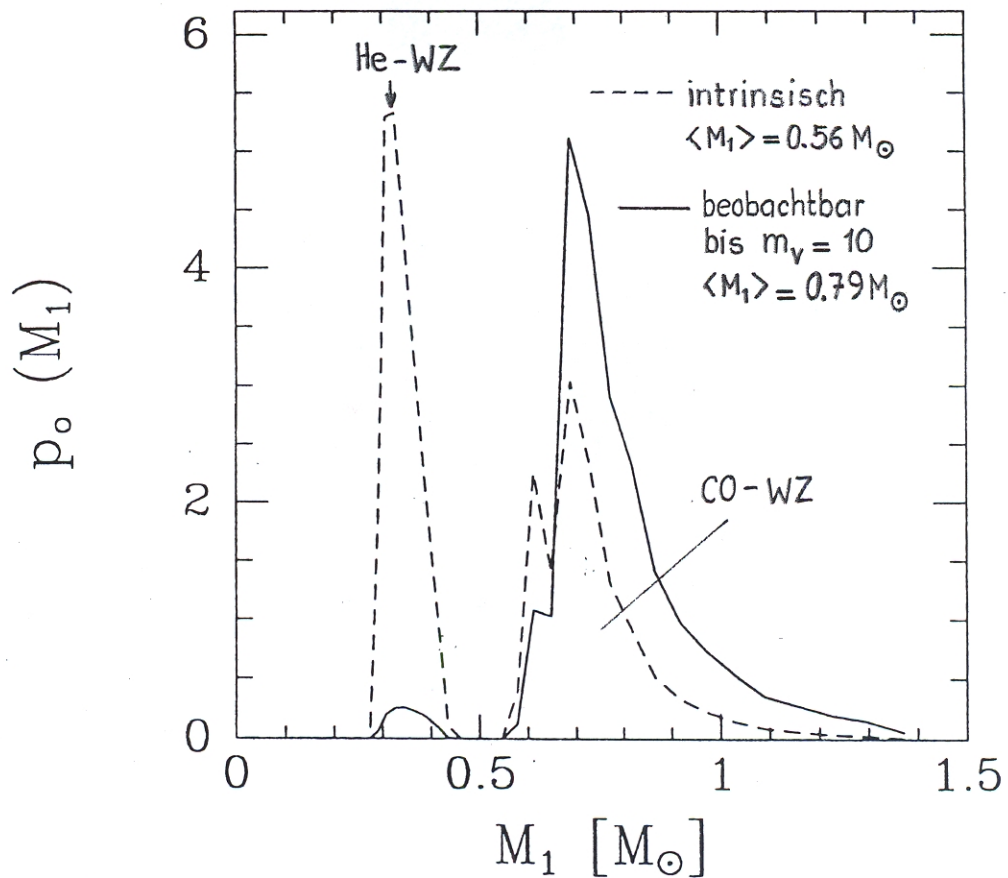
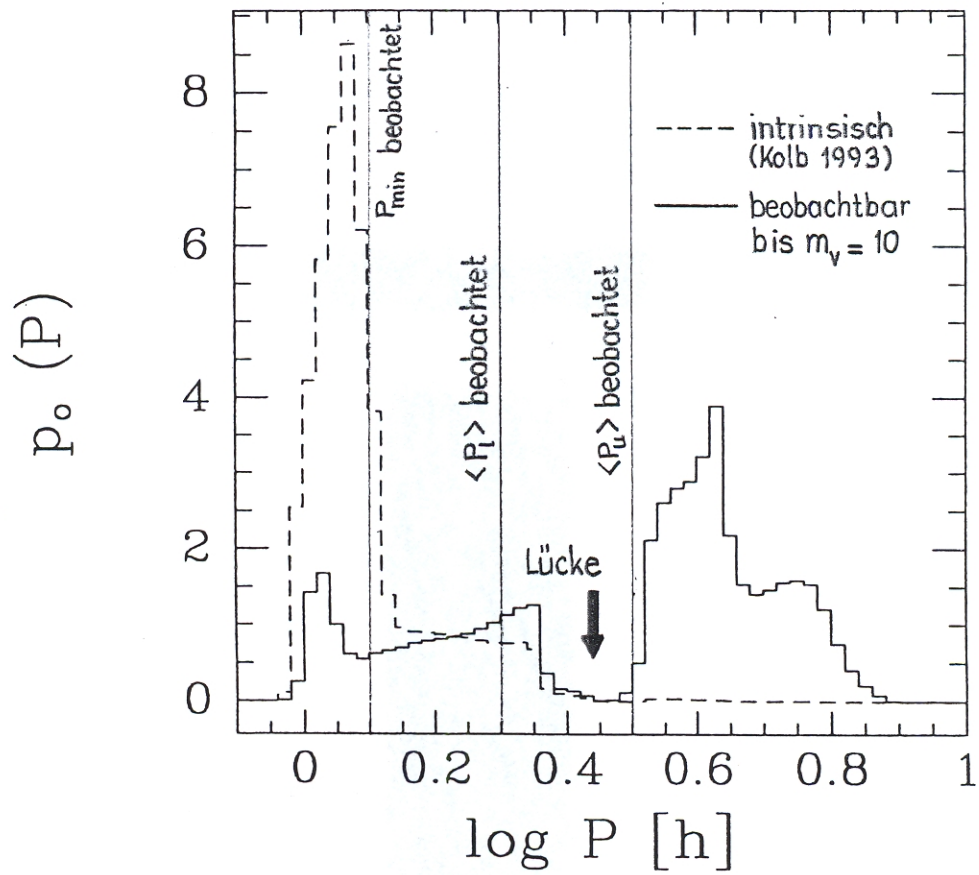
- CVs mit einem He-WZ sind sehr selten und haben  $P < P_l$

-  $P_{\min} \approx 60 \text{ min}$  ist zu klein ;  $\langle P_l \rangle \approx 2^{\text{h}} 34$  und  $\langle P_u \rangle \approx 3^{\text{h}} 24$  sind zu lang

-  $N(P)$  hat ausgeprägtes Maximum bei  $P_{\min}$ ; ein solches wird nicht beobachtet

Ein Modell für die beobachtbaren Eigenschaften von Kataklysmischen  
Doppelsternen

(Dünhuber, H.: 1993, Dissertation, LMU München)



## 9. Supersoft X-ray Sources (SSSs)

- ▶ Def. der SSSs: phänomenologische Def. → Einleitung  
hier: Quelle mit einem Wasserstoff-brennenden  
Weissen Zwerg (in einem Doppelstern).
- ▶ Ursache des nuklearen Brennens: Akkretion von wasserstoffreichem Gas  
(daher: WZ in Doppelstern)
- ∃ mehrere Moden von nuklearem Brennen:
  - a) transientes Brennen, in Form von Novae (wenn  $\langle \dot{M}_{tr} \rangle \lesssim 10^{-8} M_{\odot}/a$   
 $\ll \dot{M}_H$ ) oder nicht explosiven H-Schalenflashes (wenn  $10^{-8} M_{\odot}/a \lesssim$   
 $\langle \dot{M}_{tr} \rangle \lesssim \dot{M}_H \approx 10^{-7} M_{\odot}/a$ )
  - b) anhaltendes Brennen, (wenn  $10^{-7} M_{\odot}/a \approx \dot{M}_H \lesssim \langle \dot{M}_{tr} \rangle \lesssim 10^{-6} M_{\odot}/a$ )
- ▶ Die wahrscheinlich wichtigste "Quelle" für die SSSs sind Post-Common-Envelope Systeme, bestehend aus einem Weissen Zwerg und einem HR-Stern / Riesen mit  $q < q_{crit}$ .

### Folgerungen

- a) Der halbgetrennte Zustand wird haupts. durch nukleare Entwicklung des Begleiters erreicht (wenn  $M_2 > M_1 / q_{crit} \gtrsim 1 M_{\odot}$ ). → Bei Beginn des Massentransfers ist der Begleiter bereits mehr oder weniger nuklear entwickelt!
- b) Massentransfer ist (thermisch) instabil → wenn  $M_2 \gtrsim 1 M_{\odot}$  → Massentransferraten  $10^{-7} M_{\odot}/a \lesssim \dot{M}_{tr} \lesssim 10^{-6} M_{\odot}/a$  → anhaltendes nukleares Brennen auf dem WZ → SSS (→ van den Heuvel, E.P.J., et al.: 1992, A&A 262, 97).
- c) Der Weisse Zwerg akkretiert mit  $\dot{M}_1 = \dot{M}_H \approx 10^{-7} M_{\odot}/a$ , wobei  $\Delta M_1 \lesssim -\Delta M_2 \approx O(M_{\odot})$  möglich. → Der WZ kann unter Umständen  $M_{CH}$  erreichen! → Typ Ia SN! (Derzeit sehr populäres Modell!)

d) Am Ende der (thermisch) instabilen Phase des Massentransfers, sofern dann  $M_1 < M_{CH}$ :  $\rightarrow \exists$  System mit nuklear entwickeltem Begleiter (der durch den Massenverlust noch zusätzlich "gealtert" ist), einem WZ und Massentransfer, angetrieben durch nukleare Entwicklung / Drehimpulsverlust, d.h. ein CV mit einem entwickelten Sekundärstern.

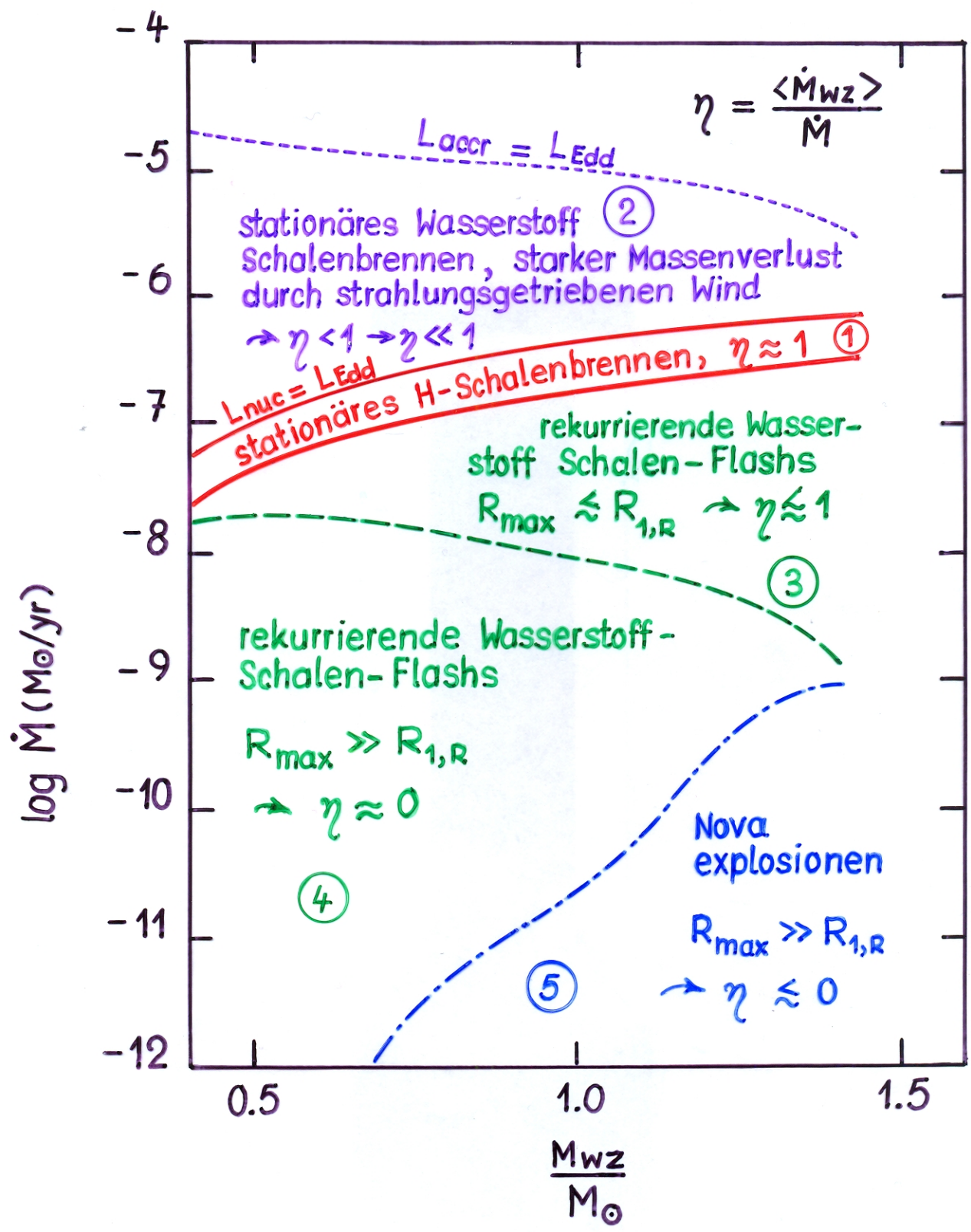
►  $\rightarrow$  Ein Teil der Systeme, die mit  $q < q_{crit}$  aus der Common-Envelope kommen ( $\sim 1.5\% \dots \sim 6\%$  aller Doppelsterne ( $\rightarrow$  de Kool 1992, Fig.3), werden zu CVs mit einem entwickelten Sekundärstern. Die Geburtsrate solcher Systeme ist vergleichbar mit der der direkt entstehenden CVs!  $\rightarrow$  CVs mit einem entwickelten Sekundärstern brauchen nicht selten zu sein!

► Beobachtungen:  $\rightarrow$  Tabelle

- nur wenige Objekte mit bekannter Periode
- bisher keine Massen bekannt
- Sekundärstern wird praktisch nicht gesehen (wird überstrahlt)

$\rightarrow$  Masse und Entwicklungsstand des Sekundärsterns unbekannt; Perioden  $P \gtrsim 0.25^d$  sind noch mit dem Modell thermisch instabilen Massentransfers verträglich.  $\exists$  zur Zeit kein Modell für Systeme mit  $P \lesssim 0.25^d$ , insbesondere für TPyx!

# Akkretion von H-reichem Gas auf Weiße Zwerge, nukleares Brennen und Supersoft X-ray Sources (SSSs)



- ▶ stationäre SSSs : aus den Bereichen (1) und (2)
- transiente SSSs: aus den Bereichen (3), (4) und (5) ;  
je geringer  $\dot{M}$ , desto kürzer die Brennphasen und desto länger die Wiederholungszeiten.

(Di Stefano, R., Nelson, L.A. 1996, in: Supersoft X-ray Sources, J. Greiner (ed.), LNP 472, Springer Verlag, Berlin, p. 3)

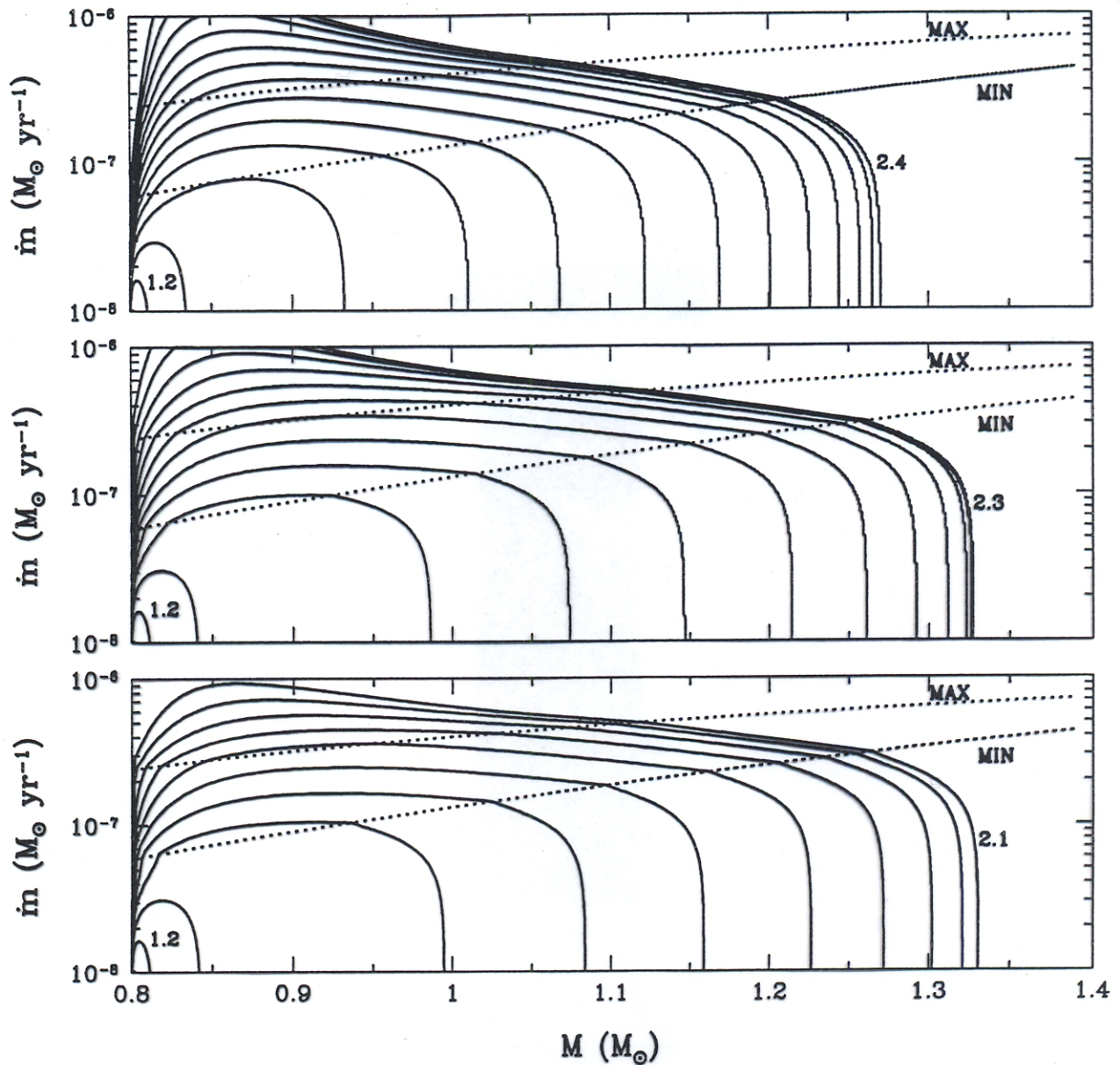


Fig. 1. The mass of the white dwarf is plotted along the horizontal axis; the rate at which mass is falling onto the surface of the white dwarf is plotted along the vertical axis. In all of the evolutionary tracks shown, the initial white-dwarf mass is taken to be  $0.8M_{\odot}$ , and the donor starts on the TAMS. Within each panel, each curve is characterized by the initial value of the donor's mass,  $m_d(0)$ ; the bottom curve has  $m_d(0)$  marked;  $m_d(0)$  is incremented by 0.1 in each subsequent curve. The value of  $m_d(0)$  associated with the upper curve of each panel is the largest value in the sequence for which  $\mathcal{D} > 0$  throughout the evolution. No radiation-driven winds were included in the evolutions shown in the bottom panel; radiation-driven winds, with an efficiency factor of 0.001 (0.01) were included in the middle (top) panel. Note that low to moderate efficiency can be expected to maximize both the number of active sources and the number of possible supernovae. As the wind efficiency increases, only slightly more systems can be evolved, but the mass transfer rates tend to be lower than would be necessary for significant mass accretion to occur.

Enge Doppelsterne unter den Supersoft X-ray Sources und verwandte Objekte

Quelle: Ritter, H., Kolb, U.: 2003, A&A 404, 301 mit Ergaenzungen (Stand Januar 2004)

Objekt	Bezeichnung	Rosat-Quelle?	anderer Typ	Bahnperiode (d)	Bedeckungen?	Bahnneigung (Grad)	Spektraltyp des Begleiters	Bemerkungen
MR Vel	J0925-4758	Ja		4.029782		45 - 65		
CAL 83	J0543-6822	Ja		1.04752		~25		
	J0513-6951	Ja		0.76278		~15		
QR And	J0019+2156	Ja		0.660472	Ja	50 - 60	WN5:	
V Sge		Ja		0.514197	Ja	72 +/- 6		
CAL 87	0547-7109	Ja		0.442677	Ja	~78		SSS?
WX Cen		Nein		0.4170				
	J0527-6954	Ja		0.3926				
HD 45166		Nein		0.357				SSS?
V617 Sgr		Nein		0.207167	Ja		sdO/qWR + B8V	
SMC 13	J0035-7230	Ja		0.171926		20 - 50	WN5	transient
	J0537-7034	Ja	VY	0.147		45 - 70		
V751 Cyg		Ja		0.144464		10 - 50		Periode fraglich
	J0439-6809	Ja	Nr	0.1403				
T Pyx		Nein		0.076223				

VY = VY Scl-Stern, sog. Anti-Zwergnova  
Nr = rekurrierende Nova



Vorlesung WS 2004/2005: Entwicklung von Kompakten Doppelsternen

## Weiterführende Literatur zu: Supersoft X-ray Sources

- Di Stefano, R., Rappaport, S. *The Derived Population of Luminous Supersoft X-ray Sources*, 1994, ApJ 437, 733
- Di Stefano, R., Nelson, L.A. *On the Evolution, Numbers and Characteristics of Close-Binary Supersoft Sources*, in: *Supersoft X-ray Sources*, J. Greiner (ed.), LNP 472, Springer Verlag, Berlin, p. 3, 1996)
- Kahabka, P., van den Heuvel, E.P.J. *Luminous Supersoft X-ray Sources*, 1997, ARA&A 35, 69
- Langer, N., Deutschmann, A., Wellstein, S., Höflich, P. *The evolution of Main Sequence Star + White Dwarf Binary Systems Towards Type Ia Supernovae*, 2000, A&A 362, 1046
- Rappaport, S., Di Stefano, R., Smith, J.D. *Formation and Evolution of Luminous Supersoft X-ray Sources*, 1994, ApJ 426, 692
- Simon, V. *Luminous binary supersoft X-ray sources: Optical colors and absolute magnitudes*, 2003, A&A 406, 613