

6. Zwergnovae und Modelle für Zwergnovaausbrüche

- Synopsis über die Zwergnovae
 - U Gem Sterne
 - Z Cam Sterne
 - SU UMa Sterne
 - WZ Sge Sterne
 - ER UMa Sterne
- Normale Zwergnovaausbrüche
 - Lokalisierung des Ausbruchs
 - Mögliche Ausbruchsmechanismen
 - Das Scheibeninstabilitäts-Modell
 - Voraussagen des Scheibeninstabilitäts-Modells; Systematik
 - Erweiterungen des Standard-Scheibeninstabilitäts-Modells
 - Das Massentransferinstabilitäts-Modell
- Z Cam Sterne; Standstills
- SU UMa Sterne
 - Beobachtungen
 - Superhumps, der Gezeitenradius und die 3:1-Resonanz
 - Superausbrüche
 - WZ Sge Sterne
 - ER UMa Sterne
- Superhumps – nicht nur bei SU UMa Sternen
 - Permanente Superhumps
 - Negative Superhumps
 - Superhumps bei Röntgendoppelsternen

Vorlesung SS 2007: Akkretionsphänomene in kompakten Doppelsternen

Weiterführende Literatur zu Zwergnovae und Modelle für Zwergnovaausbrüche

- Buat-Ménard, V., Hameury, J.-M., Lasota, J.-P. *The nature of dwarf nova outbursts*, 2001, A&A 366, 612
- Buat-Ménard, V., Hameury, J.-M., Lasota, J.-P. *Z Cam stars: a particular response to a general phenomenon*, 2001, A&A 369, 925
- Hameury, J.-M., Menou, K., Dubus, G., Lasota, J.-P., Huré, J.-M. *Accretion disc outbursts: a new version of an old model*, 1998, MNRAS 298, 1048
- Hameury, J.-M., Lasota, J.-P., Warner, B. *The zoo of dwarf novae: illumination, evaporation, and disc radius variation*, 2000, A&A 353, 244
- Lasota, J.-P. *The disc instability model of dwarf-novae and low-mass X-ray binary transients*, 2001, New Astron. Rev. 45, 449
- Liu, B.F., Meyer, E., Meyer-Hofmeister, E. *Evaporation of the accretion disk in dwarf novae during quiescence*, 1997, A&A 328, 247
- Menou, K., Hameury, J.-M., Stehle, R. *Structure and properties of transition fronts in accretion discs*, 1999, MNRAS 305, 79
- Meyer, F., Meyer-Hofmeister, E. *Accretion disk evaporation by a coronal siphon flow*, 1994, A&A 288, 175
- Osaki, Y. *Dwarf-Nova Outbursts*, 1996, PASP 108, 39
- Schreiber, M.R., Gänsicke, B.T., Hessman, F.V. *The response of a dwarf nova disc to real mass transfer variations*, 2000, A&A 358, 221

Zwergnovae und Modelle für die Zwergnovaausbrüche

1. Synopsis über die Zwergnovae

(→ z.B. Warner (1995))

- ▶ Wesentliches Merkmal der Zwergnovae: Sie zeigen quasiperiodisch sich wiederholende Ausbrüche (→ Beispiele)

a) Phänomenologische Charakterisierung der Zwergnovae

→ ∃ Einteilung in 3 Unterklassen aufgrund der Langzeit-Lichtkurve

- ▶ U Gem Sterne (UG): zeigen nur "normale" Ausbrüche
(→ Bsp. SS Cyg)
- ▶ Z Cam-Sterne (ZC): wie UG, jedoch mit gelegentlichen "Standstills"
(→ Bsp. Z Cam, SY Cnc, RX And)
- ▶ SU UMa-Sterne (SU): wie UG, jedoch zusätzlich "Superausbrüche"
(→ Bsp. VW Hyi)

b) Charakterisierung der "normalen" Ausbrüche

Eigenschaft	typischer Wert	Variationsbreite
Amplitude Δm_v	5	2 - 6 (... 10)
Dauer des Ausbruchs δt (d)	wenige Tage	
Abstand der Ausbrüche Δt (d)	10 ... 100	5 - 300 (... 12000)
Verhältnis $\Delta t / \delta t$	5	2 - 50
Dauer des Anstiegs (d)		1 - 2
Dauer des Abstiegs (d)		3 - 15
Leuchtkraft im Ausbruch (L_v)	$\sim 1 L_\odot$	$\sim 0.4 L_\odot \dots 2.5 L_\odot$
Ausbruchenergie (visuell)	$\sim 10^{39}$ erg	

2. Normale Zwergnovaausbrüche

a) Lokalisierung des Ausbruchs, mögliche Mechanismen

a1) Ort des Ausbruchs

- ▶ bis ca. 1974 \exists keine Einigkeit darüber, wo in einer Zwergnova der Ausbruch stattfindet. Vermutungen:
 - auf dem Sekundärstern
 - auf dem Weissen Zwerg (nukleares Brennen)
 - in der Scheibe
- ▶ ab 1974 eindeutige Antwort durch High-speed Photometrie von bedeckenden Zwergnovae im Minimum und im Ausbruch
- ▶ **normaler Zwergnovaausbruch = Aufhellung der Scheibe**

Entscheidende Beobachtungen

an Z Cha : Warner, B.: 1974, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 168, 235
 OY Car : Vogt, N.: 1983, Astron. Astrophys. 128, 29 (\rightarrow Figuren)

bei OY Car: **Beginn eines Ausbruchs $\hat{=}$ von aussen nach innen fortschreitende Aufhellung der Scheibe**

a2) Mögliche Ursachen der Ausbrüche

\exists im Prinzip 2 Möglichkeiten, die Aufhellung der Scheibe zu erklären:

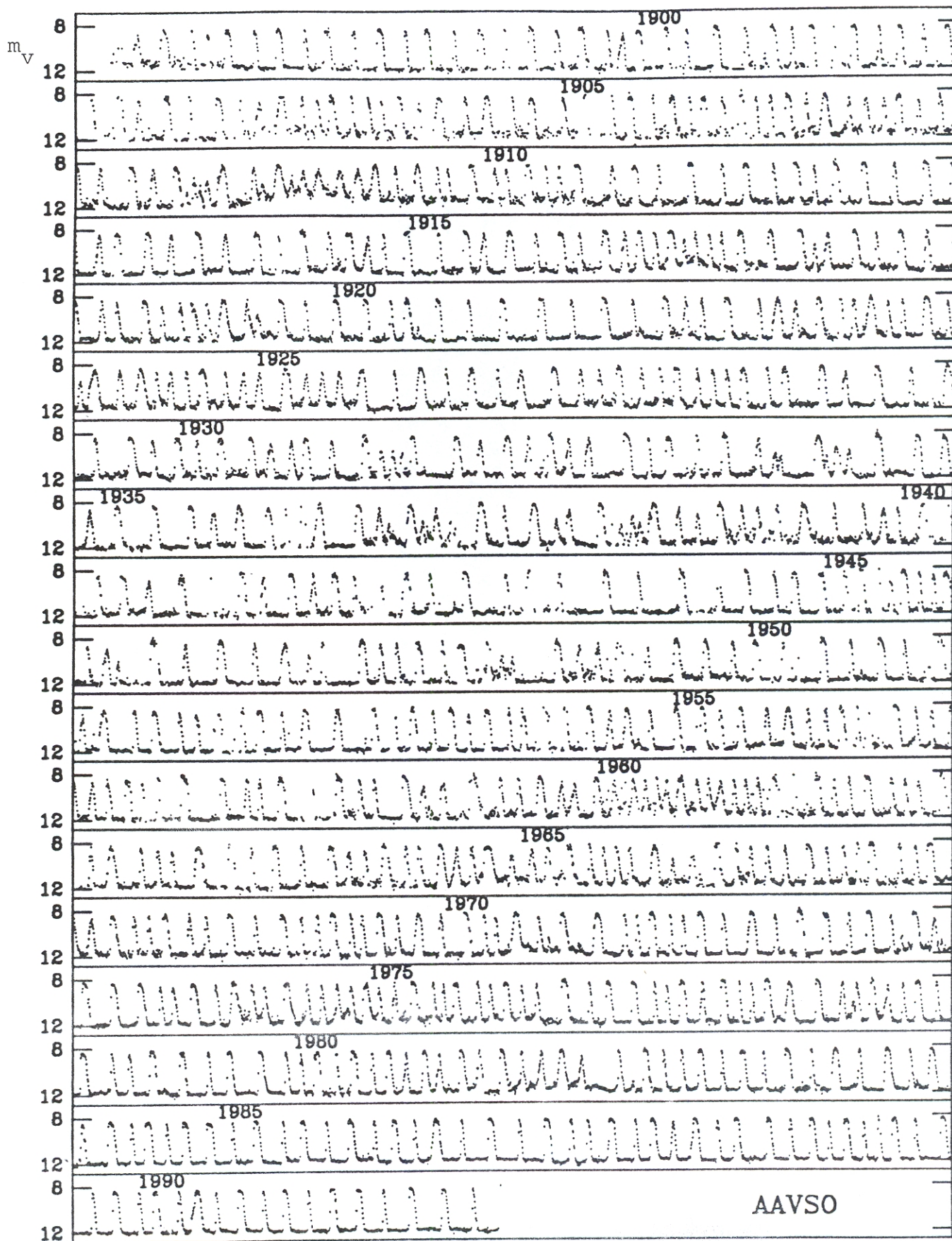
- 1.) durch eine intrinsische Instabilität der Scheibe (Osaki 1974, Hoshi 1979; Meyer & Meyer-Hofmeister 1981)

hier: Massentransferrate $\dot{M}_{tr} = -\dot{M}_2$ zeitlich \sim konstant, aber Akkretionsrate \dot{M} durch Instabilität in der Scheibe moduliert: $\dot{M} = \dot{M}(r, t)$.

\rightarrow Modulation von L_{disk} mit $\dot{M}(r, t)$

\leftrightarrow Scheibeninstabilitätsmodell (engl. disk instability model = DIM)

Langzeitlichtkurve von SS Cyg

aus: Cannizzo, J.K., Mattei, J.A.: 1992, *Astrophys. J.* 401, 642

SS Cyg (27 Sep 1896–7 Apr 1992)

Langzeitlichtkurven von Z Cam Sternen

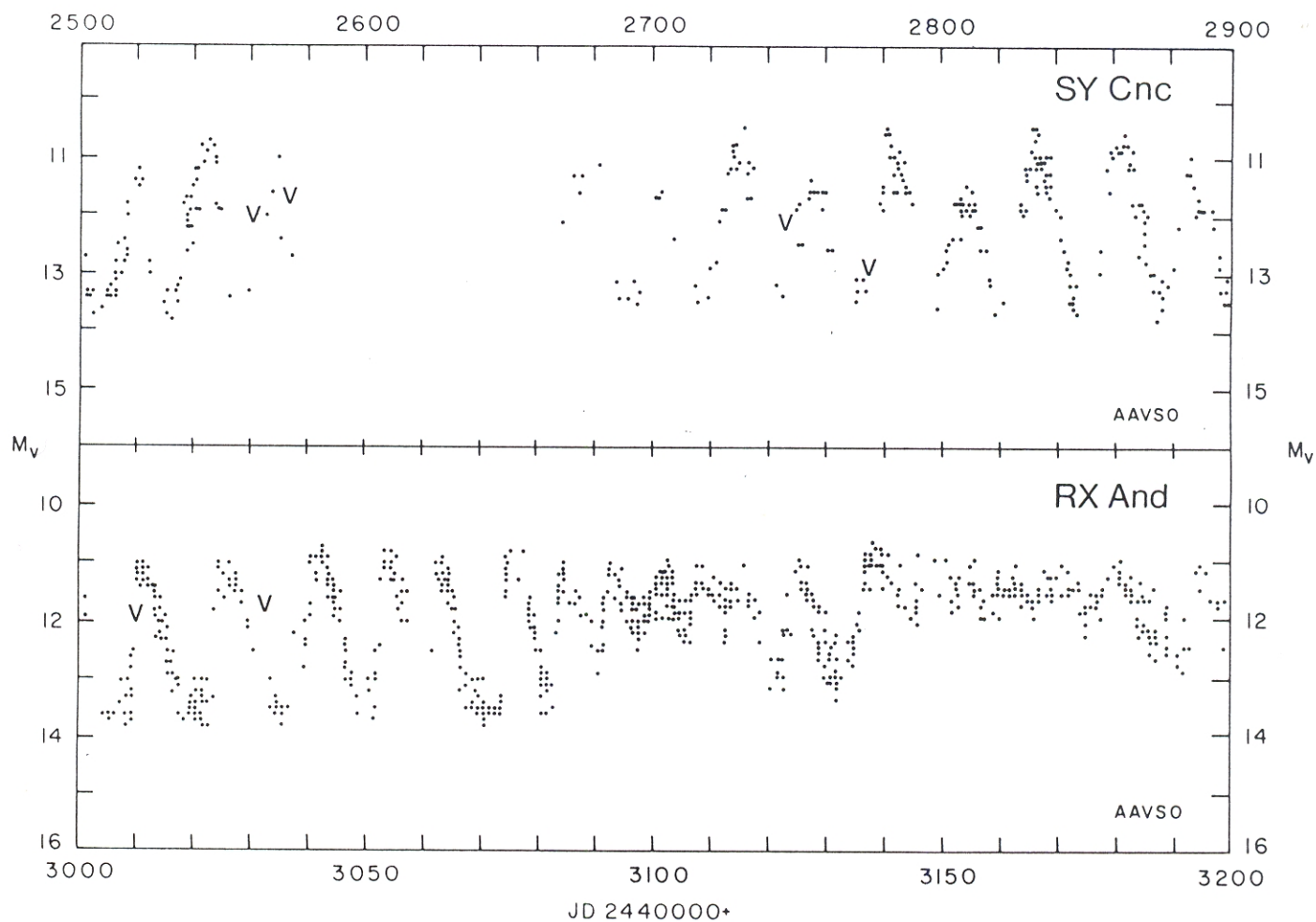


Figure 19. Visual light-curves for SY Cnc and RX And. Illustrated are 400 nights for SY Cnc and 200 nights for RX And, again from AAVSO data.

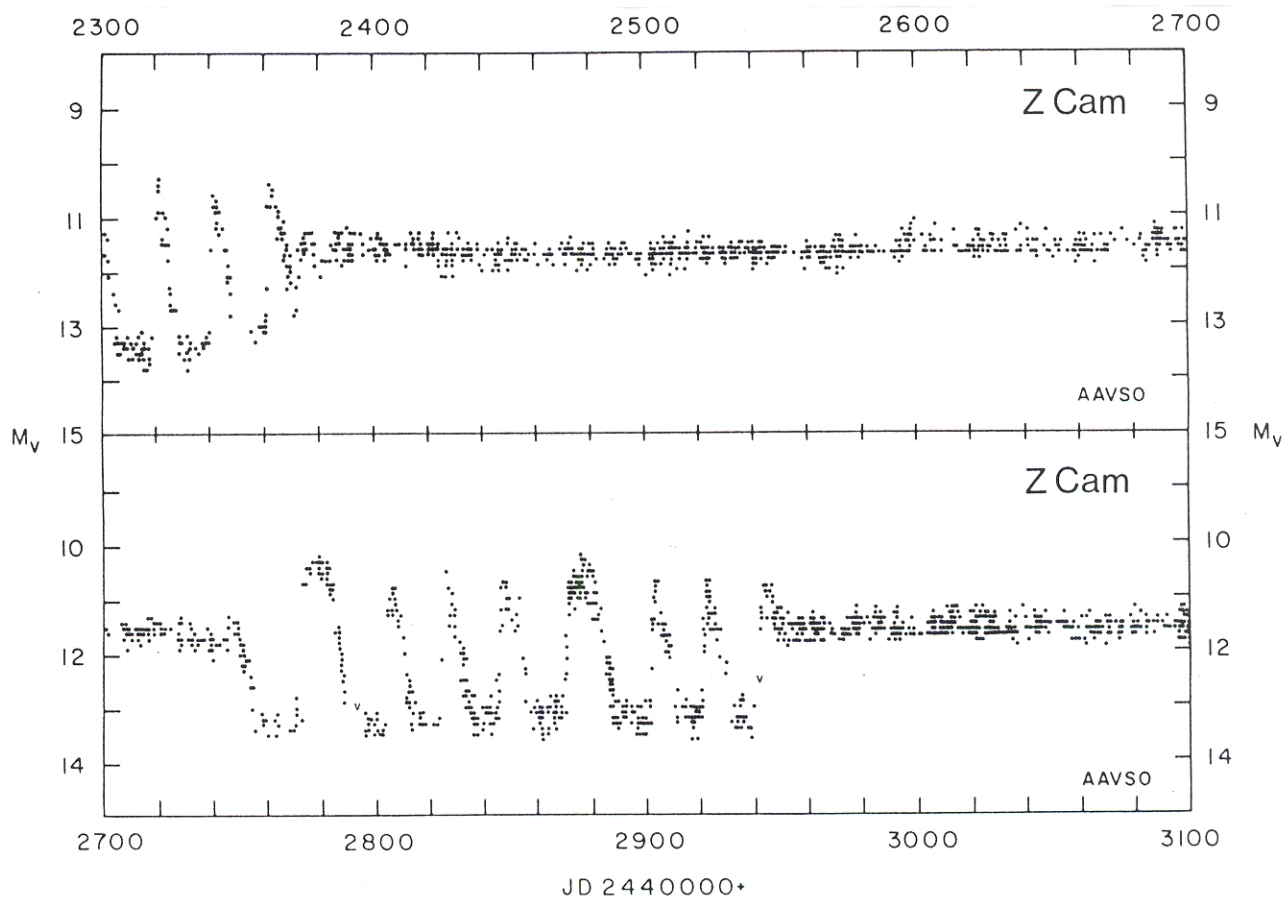


Figure 18. Visual light-curve for Z Cam, from 1974 September to 1976 November (JD - 2440 000 = 2300-3100). Panels combined from data supplied by the AAVSO.

VW Hyi: type DN, SU ; orbital period $P=0.^d074271$
long-term visual light curve

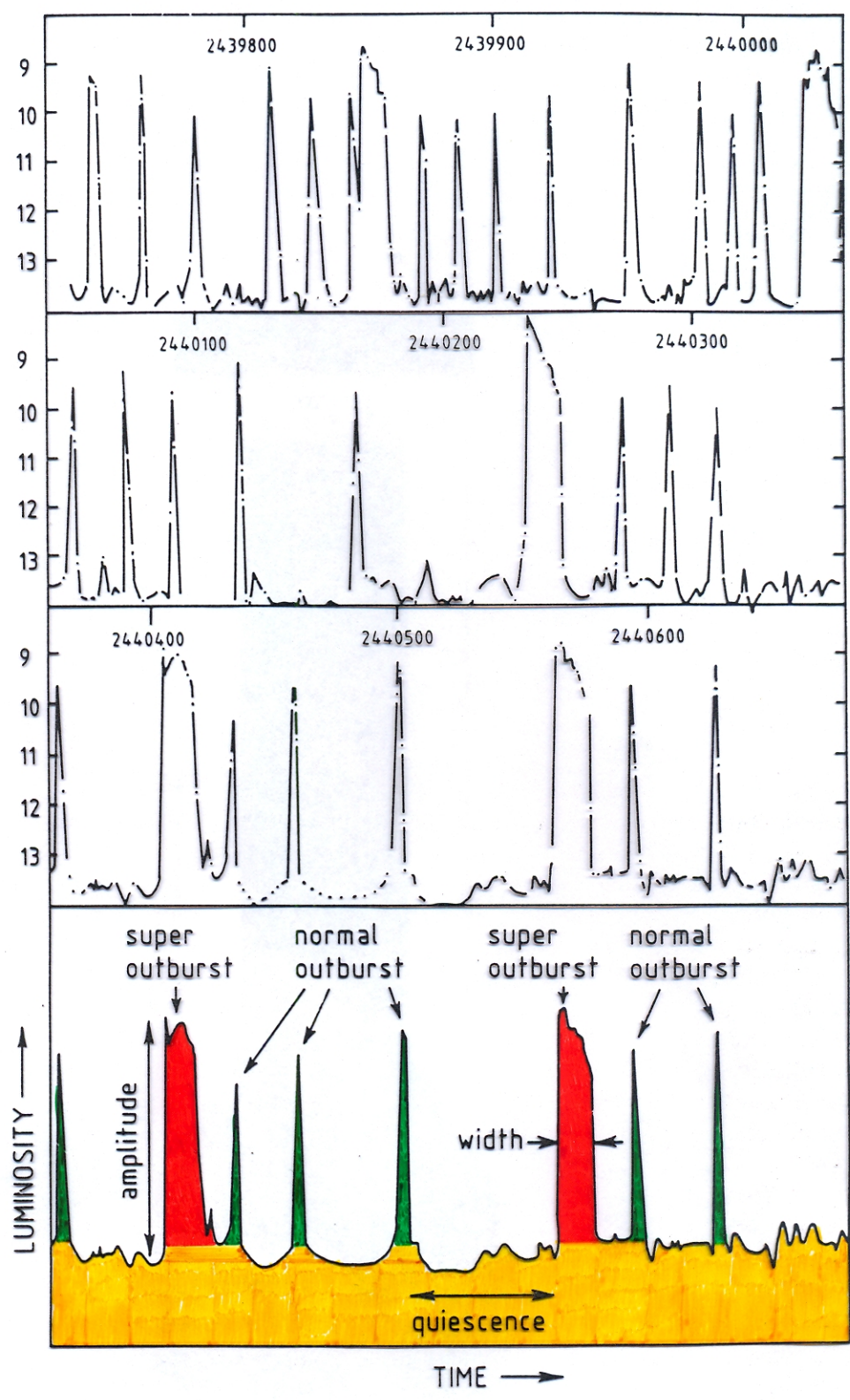


Fig. 2. The upper three panels show the visual light curve of the UMa system VW Hydri, covering an interval of almost 3 years (figu after Bateson, 1977). This dwarf nova clearly shows a large number frequently occurring narrow (normal) outbursts, together with so strong and wide (super) outbursts, which occur more regularly. So superoutbursts (e.g. at JD 2439850) show a dip after the initial ris The lower panel shows a schematic representation of this light curve.

WZ Sge stars and ER UMa stars: Observations

(Hellier, C.: 2001, *Publ. Astron. Soc. Pacific* 113, 469)

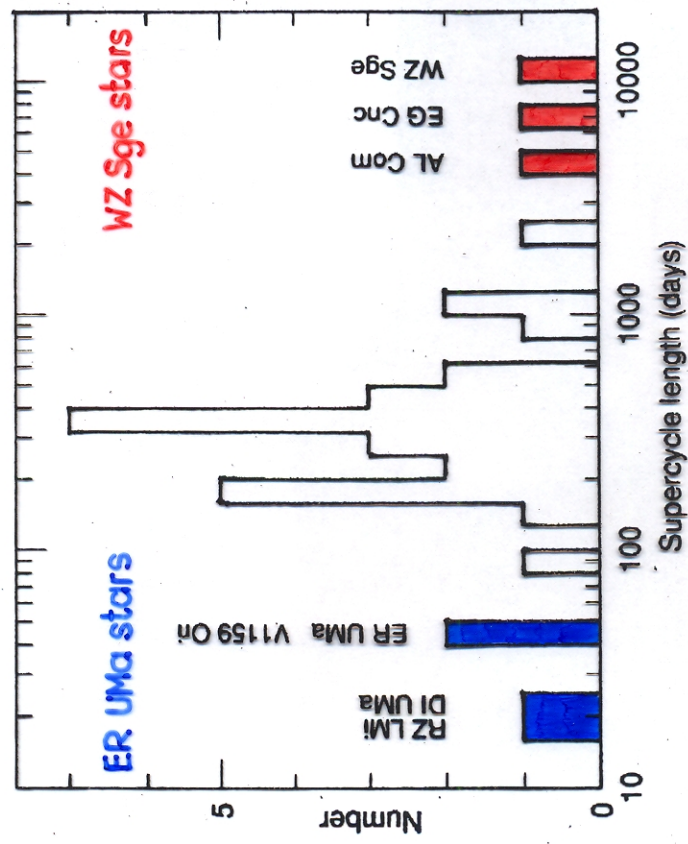


FIG. 1.—Supercycle lengths of SU UMa stars. Those with abnormally long supercycles are the WZ Sagittae stars, while those with abnormally short supercycles are the ER UMa stars. Data are from Warner (1995), supplemented by papers mentioned in the text.

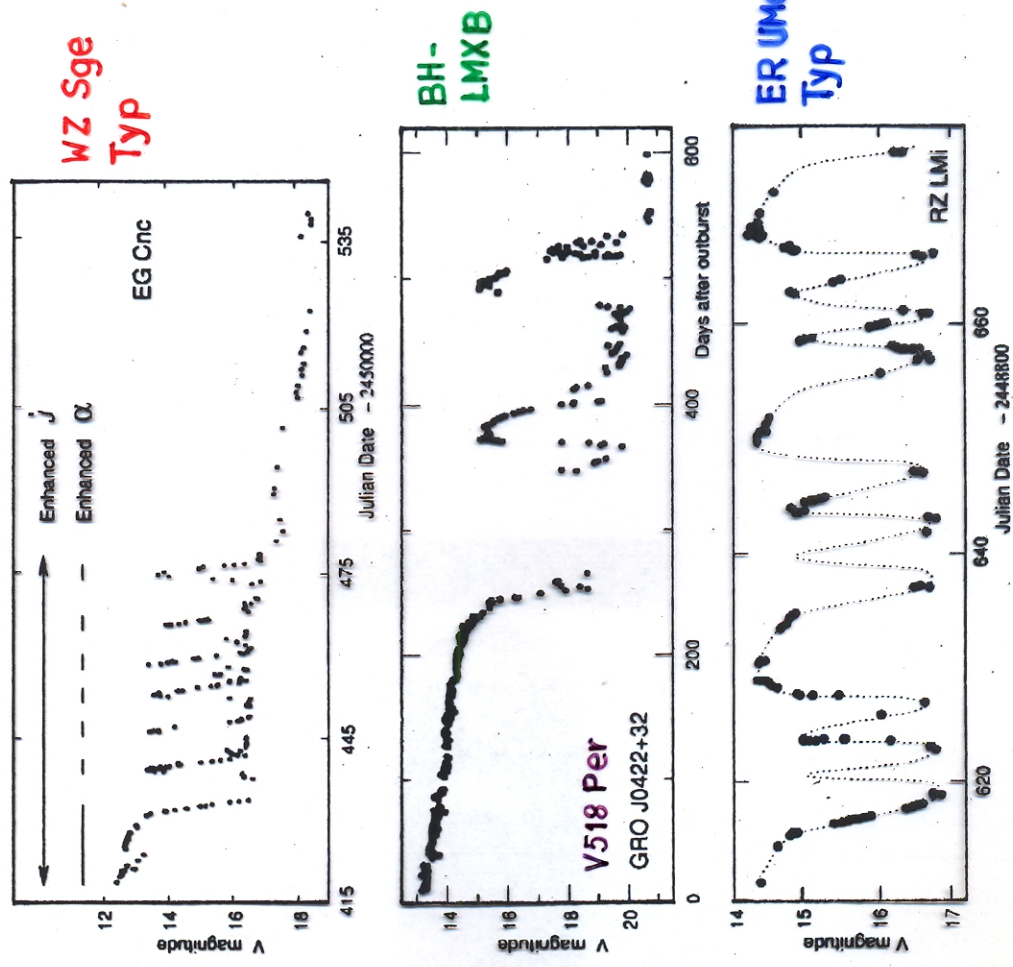


FIG. 2.—Light curves of EG Cnc (top) and the SXT GRO J0422+32 (middle) show echo outbursts after a superoutburst. The light curve of RZ LMi (bottom) shows a 19 day supercycle. (Data are from Patterson et al. 1998 [EG Cnc], Kuulkers et al. 1996 [GRO J0422+32], and Robertson et al. 1995 [RZ LMi].)

Die bedeckende Zwergnova OY Car

Bedeckungskurven am Beginn eines Zwergnovaausbruchs und deren Interpretation.

aus: Vogt, N.: 1983, Astron. Astrophys. 128, 29

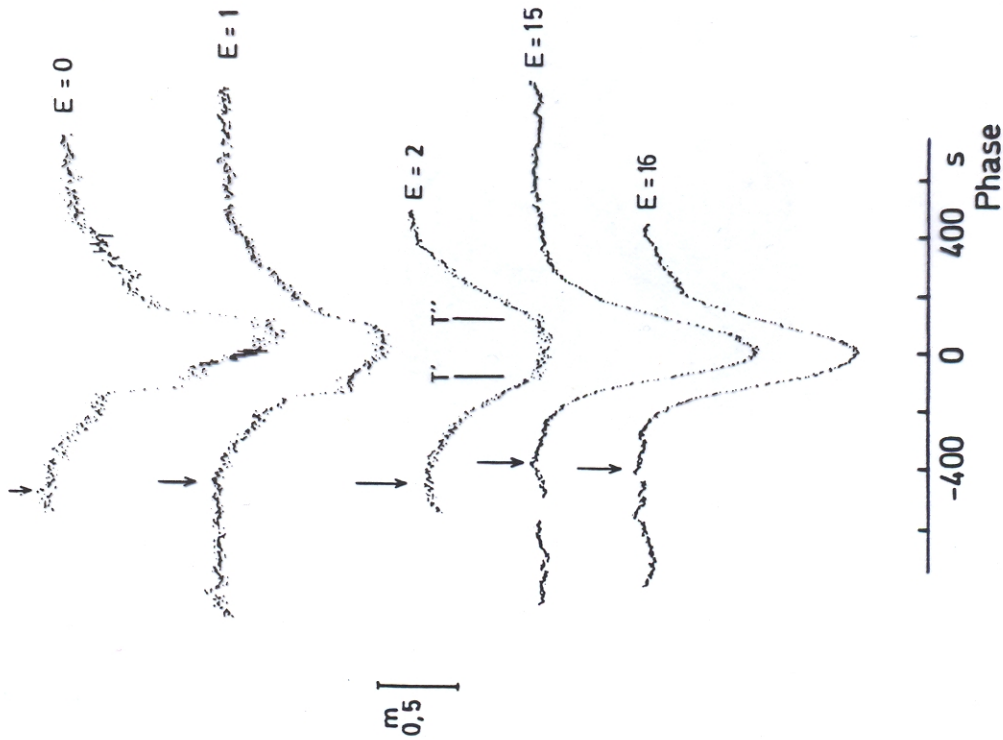


Fig. 4. Eclipse light curves of OY Car during rise ($E = 0, 1, 2$) and maximum ($E = 15, 16$) of the short eruption in April 1979. The phases refer to the ephemeris of Vogt et al. (1981). Arrows mark the ingress of the disc eclipse. Concerning significance of T' and T'' see text

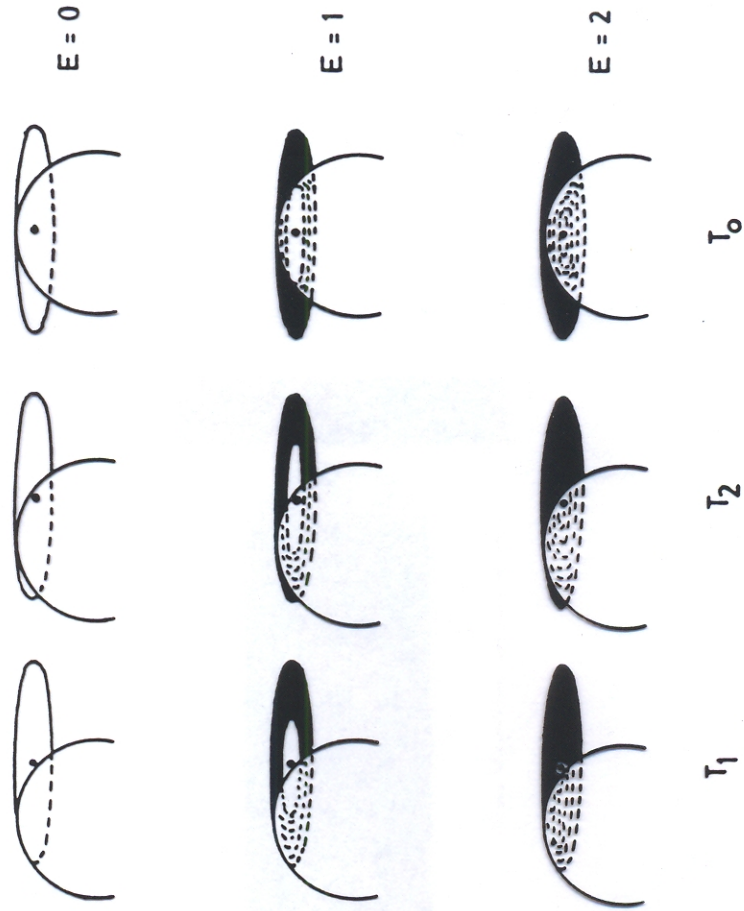


Fig. 6. Perspective appearance of OY Car during rise to an outburst, immediately before and after ingress of the white dwarf (T_1 and T_2 resp.) and at mid-eclipse (T_0). Circles: secondary component; dots: white dwarf. The black areas refer to the uneclipsed parts of the disc as actually brightened due to the outburst, the dashed areas to the eclipsed parts of the outbursting disc. The brightening propagates from the outer rim of the disc

2.) durch kurzzeitig stark erhöhten Massentransfer durch dynamische Instabilität auf dem Sekundärstern (Bath, G.T. 1969, ApJ 158, 571; 1972, ApJ 173, 121; 1976, IAU Symp. No. 73, p. 173)

hier: Massentransferrate \dot{M}_{tr} : gering im Minimum
 \dot{M}_{tr} : gross unmittelbar vor einem Ausbruch

→ Modulation von L_{disk} mit \dot{M}_{tr}

↔ Massentransferpuls-Modell (engl. mass transfer burst model = MTBM)

b) Das Scheibeninstabilitätsmodell (DIM)

b1) Grundvorstellung:

▶ im Minimum: Masseneinstrom am Aussenrand der Scheibe mit $\dot{M}(R_d, t) = \dot{M}_{tr} \approx const.$ (Durch Beobachtung des Hot Spots belegt: Helligkeit $\approx const$) Scheibe "speichert" die transferierte Materie im Aussenbereich, nur geringe Akkretion auf den WZ

→ $\frac{\partial \dot{M}}{\partial r} > 0$ und $\dot{M}(r, t) < \dot{M}_{tr} \quad \forall r \lesssim R_d$

▶ im Ausbruch: Erhöhte Viskosität → gespeicherte Materie wird in rel. kurzer Zeit auf dem WZ akkretiert. Dabei ist

$\dot{M}(r) \gg \dot{M}_{tr} \quad \forall r < R_d$

Nach dem die Scheibe "entleert" ist, Rückkehr in den Zustand geringer Viskosität, d.h. ins Minimum.

b2) Beobachtungen:

▶ Beobachtungen bestätigen die Grundvorstellung des DIM !

Beispiele

U Gem: (z.B. Paczyński, B., Schwarzenberg-Czerny, A.: 1980, Acta Astron. 30, 127). Im Minimum wird die transferierte Materie nicht akkretiert, sondern sammelt sich aussen in einem Ring an.

OY Car : (Wood, J.H., et al. 1989) } High-speed Photometrie im Minimum,
 Z Cha : (Wood, J.H., et al. 1986) } Entfaltung der Lichtkurven, Bedeckungstomographie des Scheibenanteils.

→ Scheibe hat $\sim \text{const. Flächenhelligkeit}$ → $\frac{\partial \dot{M}}{\partial r} > 0$

Materie sammelt sich aussen an

(→ Figuren für OY Car & Z Cha)

Z Cha : (Horne & Cook 1985) High-speed Photometrie im Ausbruch, Lichtkurvenanalyse wie oben.

→ Scheibe ist im Zentrum am hellsten, $\frac{\partial \dot{M}}{\partial r} \approx 0$

→ Scheibe ist \sim stationär mit $\dot{M} \approx 1-3 \cdot 10^{-9} M_{\odot} \text{yr}^{-1} \gg \dot{M}_{\text{tr}}$

(→ Figuren)

OY Car : Beginn eines Ausbruchs (Vogt 1983), High-speed Photometrie, Lichtkurvenanalyse

→ Scheibe wird von aussen nach innen zu nach und nach heller

(→ Figuren)

High-speed Photometrie der Zwergnova OY Car im Minimum

Lichtkurven und deren Entfaltung in die Beiträge der einzelnen Komponenten (Scheibe, Weisser Zwerg und Hot Spot)

aus: Wood, J.H., Horne, K., Berriman, G., Wade, R.A.: 1989, Astrophys. J. 341, 974

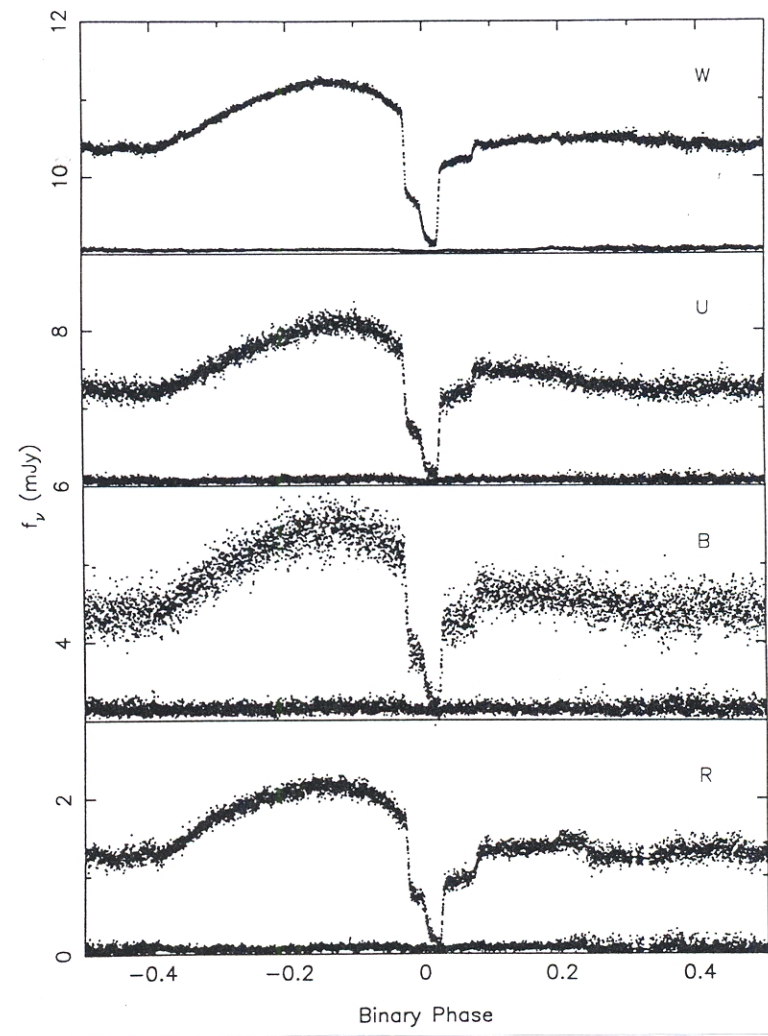


FIG. 2.—Average of the individual light curves plotted with 1 s time resolution. Each light curve is offset by 3 mJy with R at its measured flux density. Given below each light curve is the standard deviation of the mean. The mean W and R light curves have had 0.032 mJy and 0.126 mJy subtracted, respectively, to account for the secondary-star light.

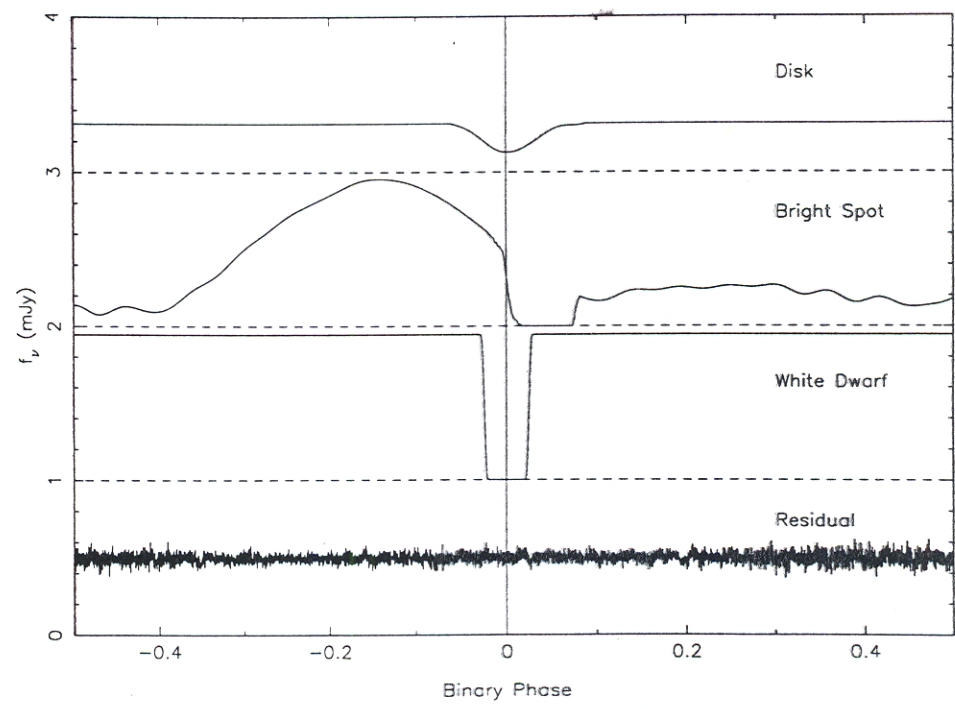


FIG. 10.—Decomposition of the mean white light curve. The separated components of the disk, bright spot, and white dwarf are shown. They have been offset, but the zero levels are shown for each one. The residual noise is also shown, offset upward by 0.5 mJy. The disk light curve has been corrected by 0.032 mJy to account for the secondary-star light.

High-speed Photometrie der Zwergnova OY Car im Minimum

Rekonstruktion der Helligkeitsverteilung der Akkretionsscheibe aus der Bedeckungslichtkurve der Scheibe mit Hilfe von Bedeckungs-Tomographie

aus: Wood, J.H., Horne, K., Berriman, G., Wade, R.A.: 1989, Astrophys. J. 341, 974

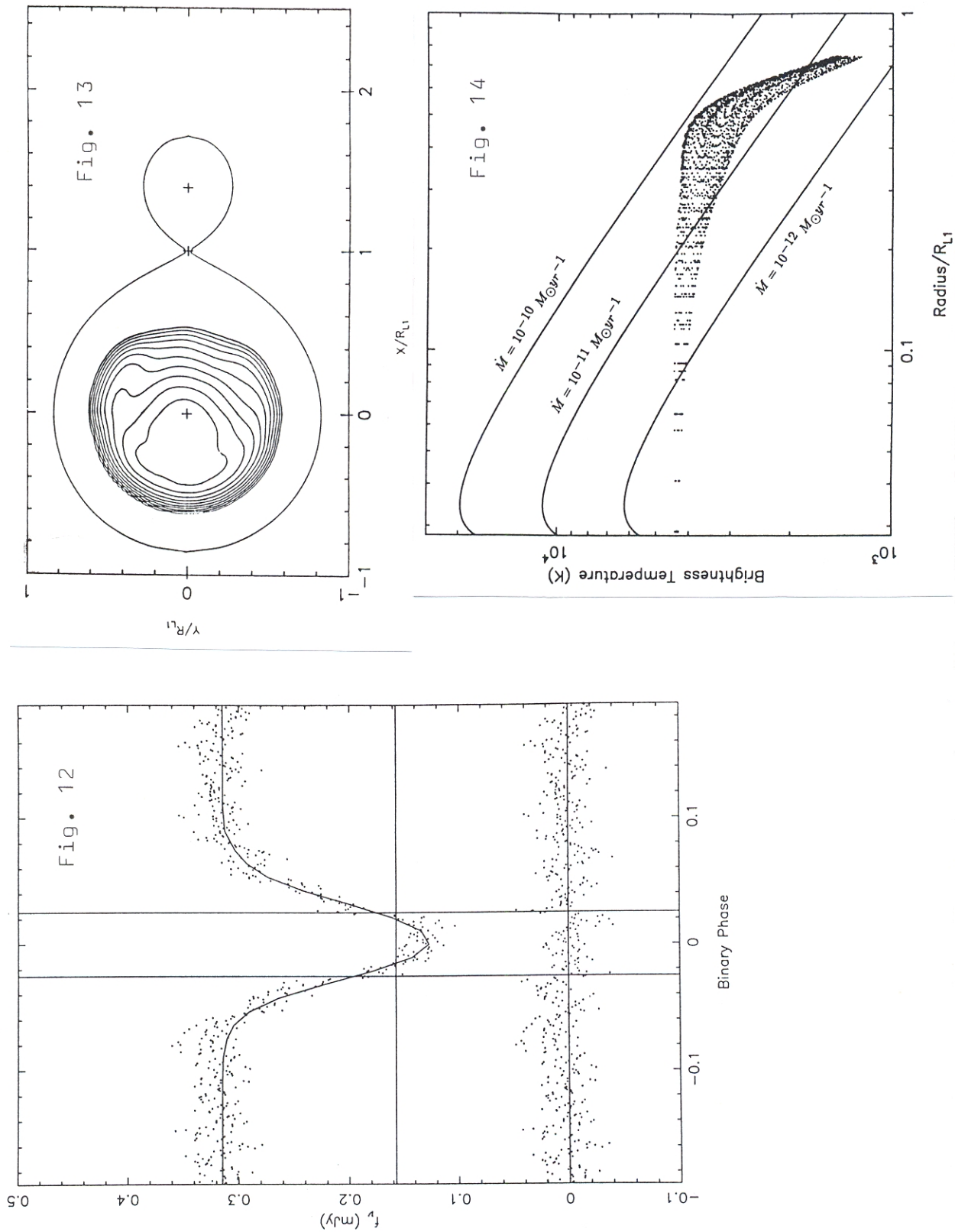


FIG. 12.—Light curve of the reconstructed disk image. The mean W -band light curve is plotted at 5 s time resolution, before the removal of noise. It has been corrected by 0.032 mJy to account for the secondary-star light. The residuals from the fit are also plotted. Lines corresponding to half the disk light and the half-flux phases of white dwarf ingress and egress are also shown.

FIG. 13.—Contour map of the reconstructed surface brightness distribution in the disk. The scale is logarithmic, and the interval between contours is 0.2 decades. The outer "figure eight" curve represents the critical Roche equipotential surface.

FIG. 14.—Brightness temperature in the disk. Models of steady state optically thick disks for several mass transfer rates are also shown.

Entfaltung der Lichtkurve, Rekonstruktion der Helligkeitsverteilung der Akkretionsscheibe mit Hilfe von Bedeckungs-Tomographie.

aus: Wood, J., Horne, K., Berriman, G., Wade, R., O'Donoghue, D., Warner, B.: 1986, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 219, 629

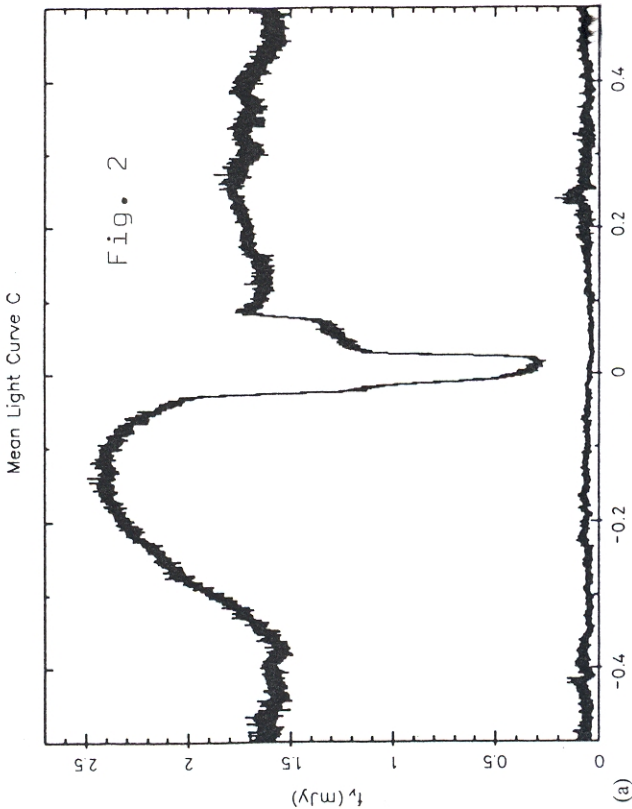


Figure 2. (a) Average of the 17 white light curves observed at CTIO at 1 s time resolution. The lower curve is a measure of the uncertainty in the mean light curve.

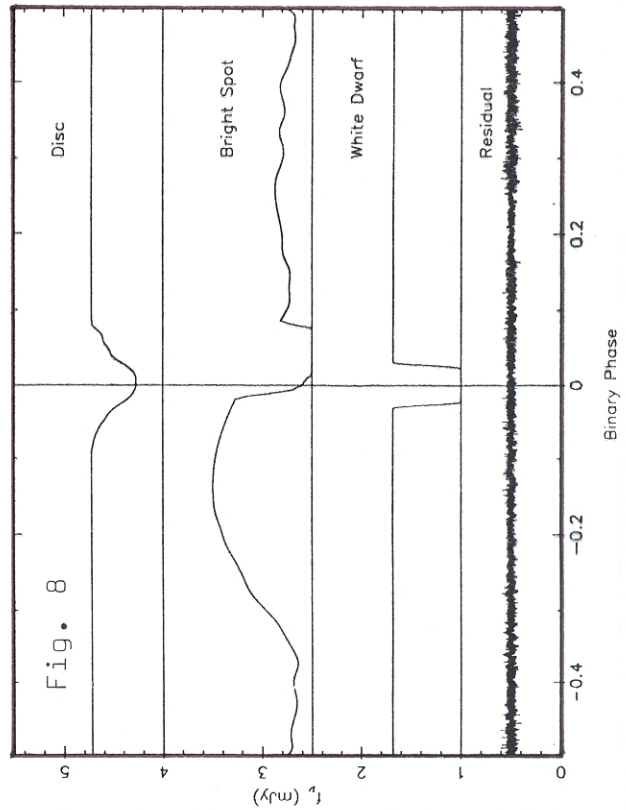


Figure 8. Decomposition of mean light curve C. The separated components of the disc, bright spot and white dwarf are shown. They have been offset but the zero levels are shown for each one. The residual noise is also shown offset upwards by 0.5 mJy.

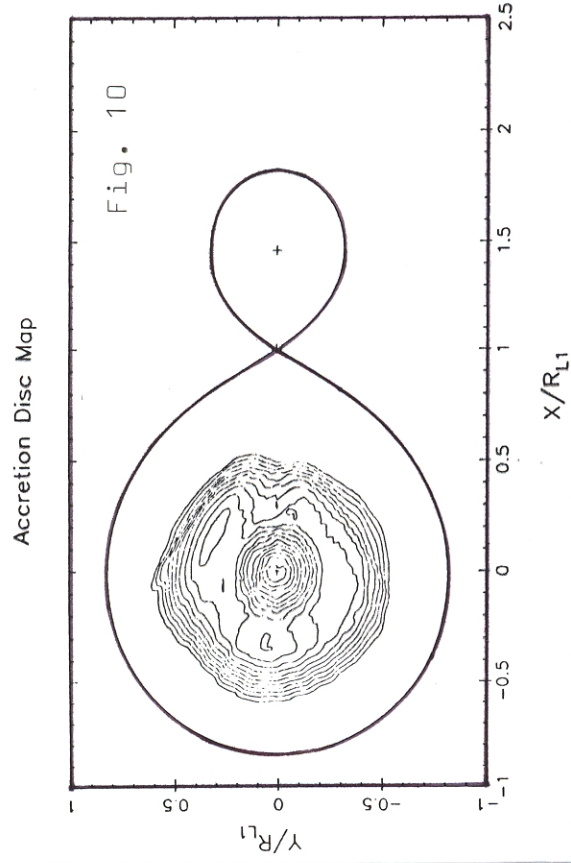


Figure 10. Contour map of the accretion disc. The scale is logarithmic and the interval between contours is 0.08 decades.

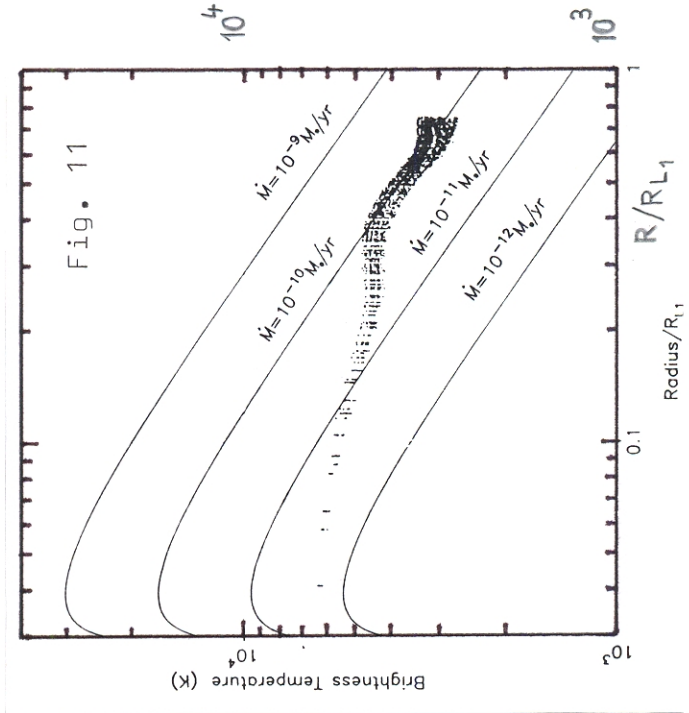


Figure 11. Brightness temperature in the disc. Models of steady state optically thick discs for several mass transfer rates are also shown.

UBV-Photometrie der Zwergnova Z Cha im Ausbruch

Rekonstruktion der Helligkeitsverteilung der Akkretionsscheibe im Ausbruch aus den Bedeckungslichtkurven mit Hilfe von Bedeckungs-Tomographie

aus: Horne, K., Cook, M.C.: 1985, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 214, 307

Figure 2. Two outburst eclipses at V, and the mean quiescent eclipse in white light, at 6-s time resolution. The white dwarf and hotspot ingress and egress, clearly visible in the quiescent eclipse light curve, are not prominent in outburst.

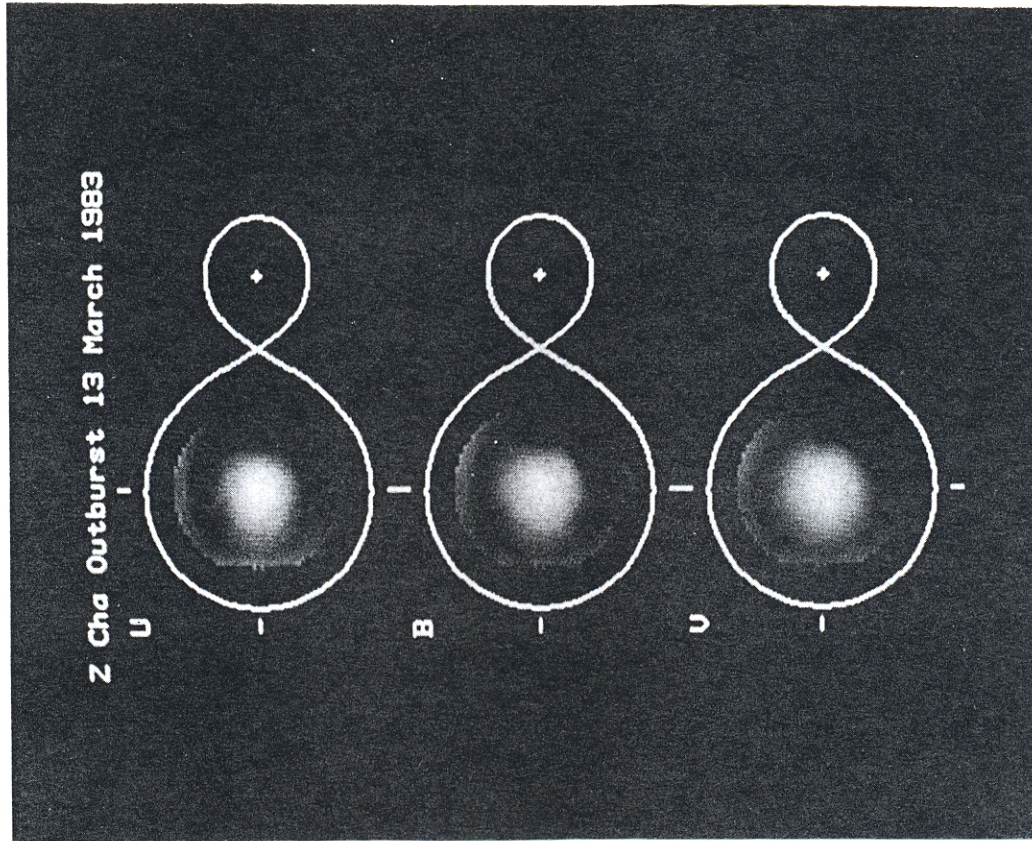
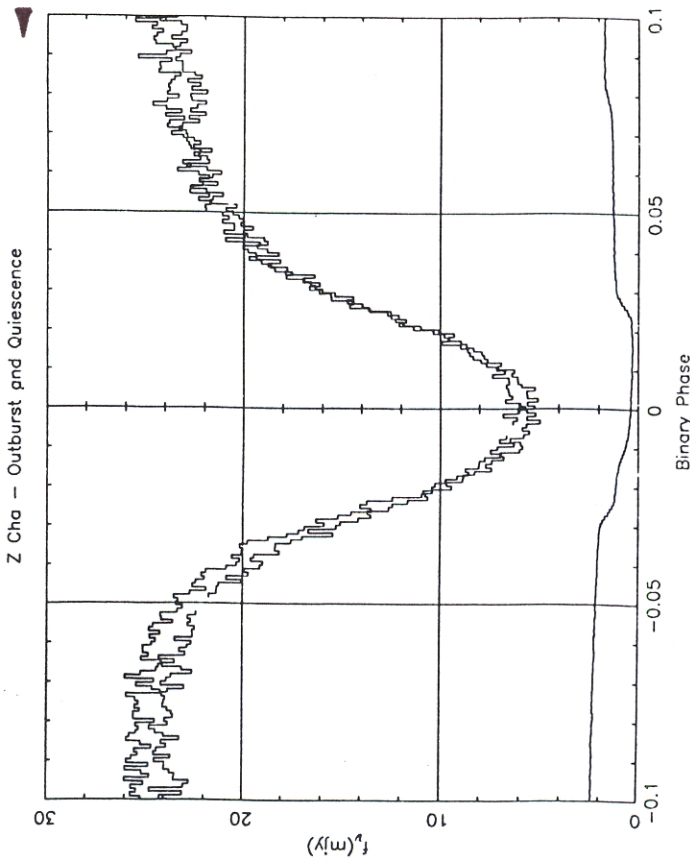


Plate 1. These accretion disc surface brightness distributions at U, B, and V were reconstructed from the observed eclipse light curves. The light at all three wavelengths has a broad distribution that is concentrated toward the centre of the disc.

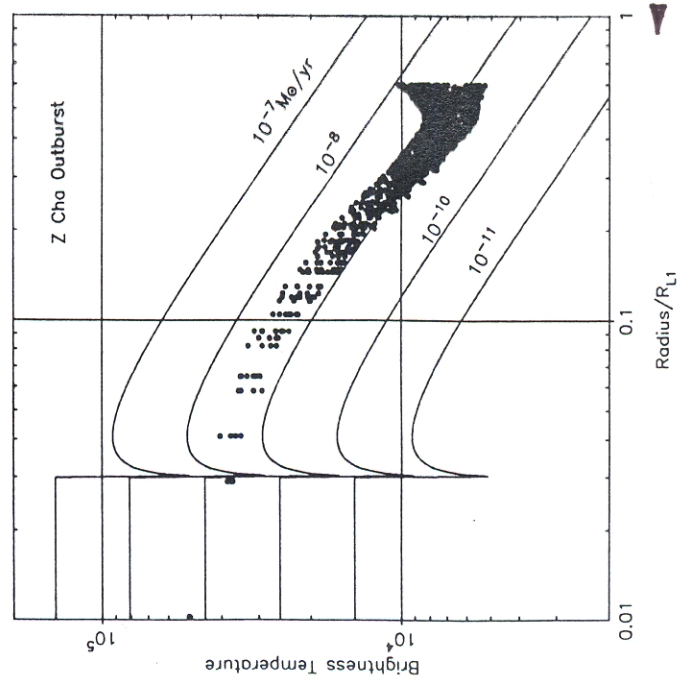


Figure 6. The observed temperature profile of the accretion disc is compared with the predicted temperature profiles of steady accretion discs at a range of accretion rates. Pixels with $R < 0.03 R_L$ correspond to the white-dwarf surface, which has a temperature of $\sim 40,000$ K. The mass transfer rate in the disc is $10^{-9} M_\odot \text{yr}^{-1}$.