

TABLE 1  
FUNDAMENTAL DATA

(1) Name of Object	(2) PN	(3) $\alpha(1950)$	(4) $\delta(1950)$	(5) $\log F(\text{HB})$	(6) Diameter	(7) Ex	(8) PNN	(9) Sp	(10) C	(11) $V_{\text{LSR}}$	(12) $T_{\text{e}}/10^4$	(13) $N_{\text{e}}/10^3$	(14) Table	(15) References
M1-4	147-2°1	3 37 59.1	+52 07 26	-12.14	4"	6	16.7V	Of	1.86 - 34.1	1.16	4.0	2B	1,7,11,12,13,15,16,23,26,30	
M2-2	147+4°1	4 09 10.2	+56 49 20	-12.22	12"	6		cs	2.0 - 7.4	1.20	5.0	2A	1,3,6,12,16,23,24,30	
K3-67	165-6°1	4 36 27.5	+36 39 52		15"	4.5		cw	1.38 - 84.2	1.35	3.0	2B	2,3,7	
K3-68	178-2°1	5 28 25.0	+28 56 31			10		cw	1.36 54.7	1.96	0.5	2F	2,3	
M2-6	353+6°2	17 01 06	-30 49 21		0.9	4.5		cw	1.3 - 79.3	(0.94)	9.2	2C	3,8	
M4-3	357+7°1	17 07 34.7	-27 05 03		0.75	4		cw	1.8 166.5	0.93	11	2C	3,8	
M2-10	354+4°1	17 10 53.5	-31 16 16		1.2	3		cw	1.65 - 65.6	(0.68)	(3.)	2C	3,8,16	
H1-18	357+2°4	17 26 31.6	-29 30 32		0.85	4.5		---	2.92 -193.9	1.0	7.5	2C	8	
NGC 6369	2+5°1	17 26 18	-24 43 12	-11.34	29"	5	16.6	WR	2.23 - 90.0	1.2	6.0	2A	1,2,5,7,9,15,18,19,20,21,25	
H1-23	357+1°1	17 29 35	-29 58 09		1.3	4		Of?	2.85 - 62.0	0.95	2.3	2C	1,8	
Hubble 4	3+2°1	17 38 48	-29 40 12	-11.94	6"	7	16.16B	WC	1.94 - 51.1	1.05	5.6	2E	1,5,7,11,15,18,23,28	
H2-18	6+4°1	17 40 29.3	-21 08 33		1.8"	5.5		Of?	1.83 -103.5	1.2	7.5	2C	1,8	
M3-15	6+4°2	17 42 32.4	-20 56 52		3.0	5		WC	2.68 112.8	1.12	2.5	2C	1,3,8	
Hubble 5	359-0°1	17 44 44.5	-24 58 53	-11.50	20	9		cw	2.28 - 17.9	1.25	5.5	2F	1,2,7,15,18,25	
NGC 6439	11+5°1	17 45 26.3	-16 27 47	-11.68	6"	7		---	1.11 - 80.1	1.09	4.0	2E	1,2,7,11,15,18,20,21,25,29	
Cn 2-1	356-4°1	17 51 13.6	-34 21 50	-11.63	2.5	5.6		Of	1.09 -262	0.79	4.0	2B	3,7,29	
Hubble 6	7+1°1	17 52 06.7	-21 44 12	-11.75	6"	6.5	16.38B	cw	2.40 21.7	1.10	6.0	2E	1,5,7,11,15,18,22	
M2-21	0-2°4	17 54 57.5	-23 44 06	-12.50	<5"	6.5		cw	1.60 -123	1.26	2.8	2E	18,29	
M3-20	2-2°2	17 56 09.7	-21 13 35	-12.40	<5"	5		Of	1.91 65.7	1.04	4.5	2A	16,18,29	
M2-23	2-2°4	17 58 33.7	-28 25 44	-11.57	0.40	5		Of	1.36 234.7	1.26	3.0	2C	8,18	
IC 4673	3-2°3	18 00 10.4	-27 06 32	-11.81	17"	8		cw	1.20 - 4.9	1.10	1.3	2F	1,7,15,16,18,29	
M1-35	3-2°1	18 00 31.9	-26 43 66	-12.85		4.5			2.2 93.1	1.05	5.5	2A	16,28	
M1-38	2-3°5	18 02 58.5	-26 40 50		2.0	1			1.80 - 59.5			2A	8,28	
M1-42	2-4°2	18 07 04.3	-28 59 40	-11.62	9"	6		cs	0.60 - 33.3	0.83	1.5	2E	1,7,15,16,29	
H1-59	3-4°3	18 08 20.3	-27 47	-12.54	6"	8		cw	0.90	1.2	0.8	2F	16,29	
M2-30	3-4°8	18 09 24.9	-27 59 01	-11.95	5"	7		cw	0.77 184.7	1.11	8.0	2F	18,29	
NGC 6567	11-0°2	18 10 48	-19 05	-10.89	11"	5.5	15.0	WC	0.72 132.9	1.06	16.6	2B	1,4,5,7,9,10,13,15,16,17,18,19,20,21,23,25,29	
M2-33	2-6°1	18 11 53.9	-30 16 33		2.0	4		Of	0.75 -101.9	(0.85)	(2.3)	2C	1,8	
M1-44	4-4°2	18 13 09.5	-27 05 37	-12.00		2		wc	1.17 - 64	0.66	1.2	2A	1,16,29	
NGC 6578	10-1°1	18 13 18	-20 28	-11.00	8.5	5	14.78B	Of	1.76 17.3	0.85	3.8	2D	1,7,9,12,15,16,18,19,20,21,25,29	
Cn 3-1	38+12°1	18 15 12.24	10 07 51.8	-11.05	5"	2		Of	0.79 22.5	See Text	4.0	2B	1,2,3,4,5,7,11,13,17,18,25	
H1-65	7- 4°1	18 17 05.07	-24 16 26.3		1.3	1		cw	0.83			2C	3,8	
NGC 6620	5- 6°1	18 19 46.8	-26 50 58	-11.72	5"	6.5		cs	0 ? 83.6	0.99	1.85	2E	1,3,5,7,11,15,18,19,20,22,29	
NGC 6629	9- 5°1	18 22 40	-23 13 57	-10.84	16"	4	13.0B	Of	0.96 26.6	0.89	1.26	2D	1,2,5,7,9,15,16,18,19,20,21,23,25,26,29	
IC 4732	10- 6°1	18 30 53.2	-22 41 02.8	-11.52	5"	5	>16 ?	Of	0.4 -13.3	1.30	12.5	2B	1,3,7,11,15,16,18,19,20,26,29	
NGC 6781	41- 2°1	19 16 02	+06 25 48	-11.19	106"	4	15.9B		1.0 21.5	1.07	0.37	2D	1,5,7,15,16,18,19,20,23,25	
NGC 6804	45- 4°1	19 29 12.0	+09 07 13	-11.51	63"	9	14.4B		0.9 5.3	1.29	1:	2C	1,2,5,7,12,13,15,17,18,20,21,23,25,30	

# *Häufigkeit chemischer Elemente*

## 7. Die Häufigkeiten der chemischen Elemente

Intensität in einer beobachteten Spektrallinie

$$I_\nu = \int j_\nu ds$$

Seklinie

$$j_\nu = \frac{h\nu}{4\pi} n_{up} A_{up,low}$$

- Rekombinationslinien:

z.B. Wasserstoff

$$n_{up} = b_{up} g_{up} \left( \frac{h^2}{2\pi m k T} \right)^{3/2} e^{-x_n / kT} n_p \cdot n_e$$

- stoßangeregte Linien:

$$n_{up} = f \cdot n(\text{ion})$$

Intensitätsverhältnis einer stoßangeregten Linie zu einer Balmerlinie (z.B.  $H\beta$ ):

$$I_{st} / I_{H\beta} \sim \frac{\int f \cdot n(\text{ion}) ds}{\int f'(T) n_p n_e ds} \approx \frac{f}{f'(T) n_e} \cdot \frac{n(\text{ion})}{n_p}$$

wenn  $T$  und  $n_e$  bekannt:

→ homogener Nebel,  
sonst: Strukturmodell

$$I_{st} / H\beta \sim n(\text{ion}) / n_p$$

Beobachtung von  $\uparrow$  liefert  $\uparrow$

Wasserstoff (fast) vollständig ionisiert:  $n_p \approx n_H$

Intensitätsverhältnisse relativ zu  $H\beta$ :

$$\text{z.B. } O\text{II} (3729 + 3726 \text{ \AA}) / H\beta \quad \rightarrow \quad n(O\text{II}) / n_H$$

$$O\text{III} (5007) / H\beta \quad \rightarrow \quad n(O\text{III}) / n_H$$

$$n(O) = n(O\text{I}) + n(O\text{II}) + n(O\text{III}) + n(O\text{IV}) + \dots$$

Problem: nicht für alle Ionisationsstufen  
sind Spektrallinien beobachtbar

Ionisationskorrekturfaktoren (ICF) für nicht-  
beobachtbare Ionen mittels Ionisationsgleich-  
gewicht berechnen

→ relative Häufigkeiten für

He, C, N, O, Ne, Na, Si, S, Ar, K, Ca...

Definition:  $\log n_H = 12,0$

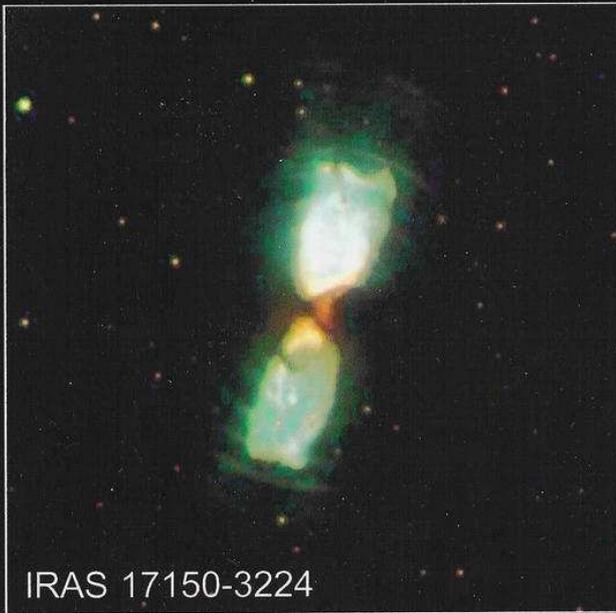
# Beispiel: Der planetarische Nebel NGC 6818

Intensitäten normiert:  $I(H\beta) = 100$

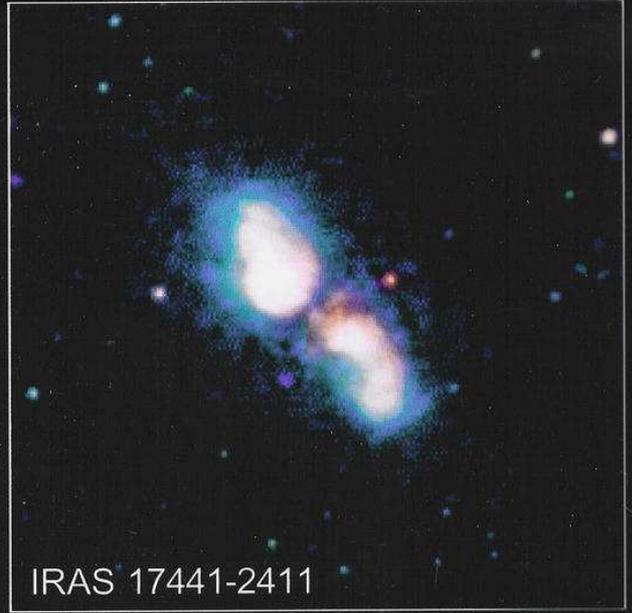
$\lambda/\text{\AA}$	I	Ion	$\tau$	Häufigkeit		ICF	log N(element)		$\Delta$	
				log N( $X_1$ ) Ion	log $\Sigma$ Element		Direct	(Model)		
		He I	1.28	10.65						
		He II	1.28	10.79	11.03	1.0	11.03	11.05	-0.01	
	4267	0.44	C III	1.28	8.65					
v [	1907/1909	696	C III	1.28	8.50	8.56	1.30	8.67	8.67	0.00
	1548/1559	173	C IV	1.35	7.59					
	6583	34.9	N II	1.13	6.58					
	1747	43.2	N III	1.28	7.95	8.20	1.03	8.21	8.32	-0.11
	1487	45	N IV	1.4	7.73					
	1238/1241	21.2	N V	1.56	6.95					
	3727	52.2	[O II]	1.28	7.04					
→	4959/5007	2310	[O III]	1.28	8.41	8.43	1.45	8.60	8.72	-0.12
	1661/1666	49.8	O III	1.28	8.54					
	3868	110	[Ne III]	1.28	7.64					
	4725	1.33	[Ne IV]	1.5	7.67					
	2423	165	[Ne IV]	1.5	7.60	7.94	1.01	7.94	8.06	-0.12
	3346/3426	122	[Ne V]	1.55	7.32					
	1892	17.5	Si III	1.28	6.18	6.18	2.8	7.53	7.66	-0.13
	3241	1.8	[Na IV]	1.35	5.89	5.89	2.8	6.33	6.33	0.00
	6717/6730	6.71	[S II]	1.13	5.17	6.58	3.0	7.05	7.06	-0.0
	6312	2.77	[S III]	1.14	6.56					
	5517/5537	1.4	[Cl III]	1.28	4.70	4.70	3.0	5.18	5.14	-0.04
	7135	15	[Ar III]	1.28	5.85					
	4740	8.4	[Ar IV]	1.28	6.24	6.42	1.18	6.49	6.57	-0.08
	6435/5007	3.0	[Ar V]	1.37	5.19					
	6101	0.41	[K IV]	1.28	4.75	5.07	1.53	5.26	5.10	+0.16
	5603	0.081	[K VI]	1.35	4.80					
	5309	0.13	[Ca V]	1.35	4.47	4.47	4.3	5.10	5.26	-0.16

↑ Intensität  
↑  $T/10^4 K$

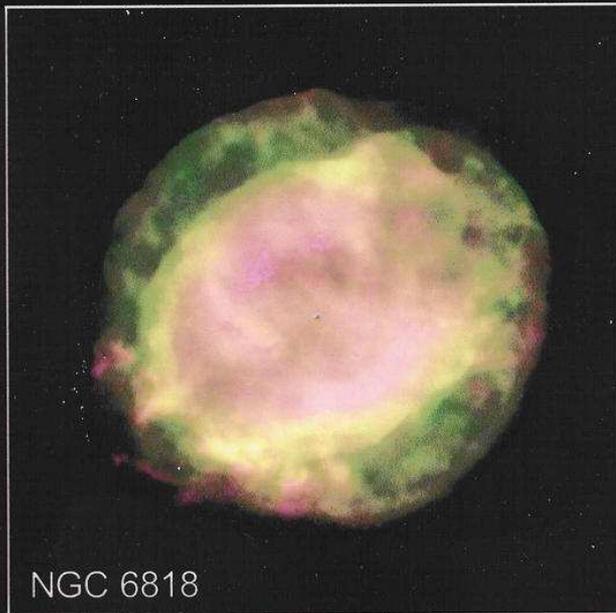
$\log n_H = 12$



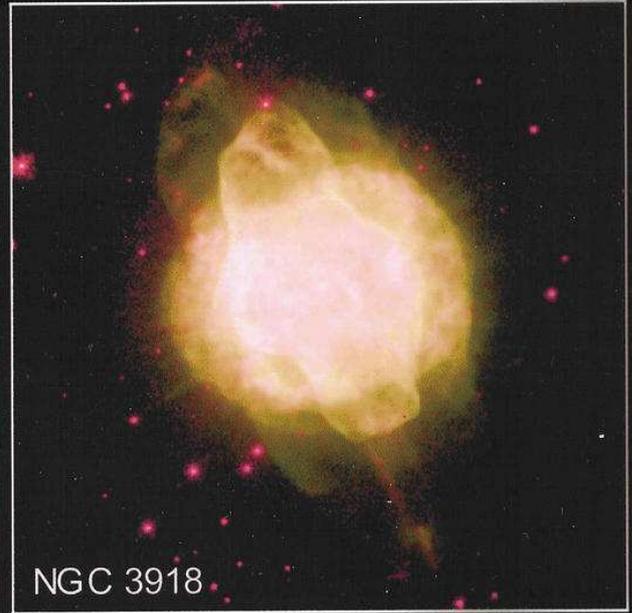
IRAS 17150-3224



IRAS 17441-2411



NGC 6818



NGC 3918

**Planetary Nebulae**  
**Hubble Space Telescope • WFPC2**

PRC98-11b•STScIOPO•March 12,1998  
S. Kwok (University of Calgary), R. Rubin (NASA Ames Research Center), H. Bond (STScI) and NASA



# Berechnung der Struktur von Modellnebeln

- vernünftige Annahmen für: physikal. Parameter des Zentralsterns, Dichteverteilung im Nebel (Geometrie), Elementhäufigkeiten
- Berechnung der vollst. Nebelstruktur (Temp., Ionisation, Emissionskoeffizienten als Funktion des Ortes)
- Berechnung des emergenten Spektrums für jeden Punkt auf dem „Gesicht“ des Nebels

→ Vergleich mit beob. Spektrum → Iteration a) → b) → c)

Strukturberechnung b) erfolgt durch simultane (numerische) Lösung folgender Gleichungen:

●  $\frac{dI_\nu}{ds} = -I_\nu k_\nu + j_\nu$  Strahlungstransportgleichungen  $\forall \nu$

↳ wobei  $k_\nu = \sum n_j a_{\nu j}$

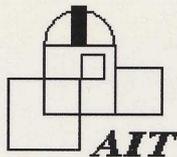
●  $N(x^{+i}) \int_{\nu_i}^{\infty} \frac{4\pi j_\nu}{h\nu} a_\nu(x^{+i}) d\nu = N(x^{+i+1}) n_e \alpha_G(x^{+i}, T)$

Ionisationsgleichungen für 2 aufeinanderfolgende Ion.stufen

●  $\sum_{i=0}^{\max} N(x^{+i}) = N(x)$  Teilchenzahlerhaltung

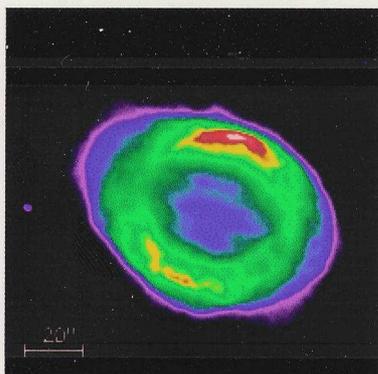
- $G = L_R + L_{ff} + L_c$       Energiegleichgewicht

Lösung dieses Gleichungssystems iterativ,  
Startlösung z.B. „on-the-spot“-Näherung

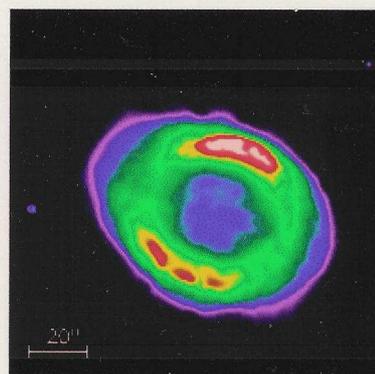


---

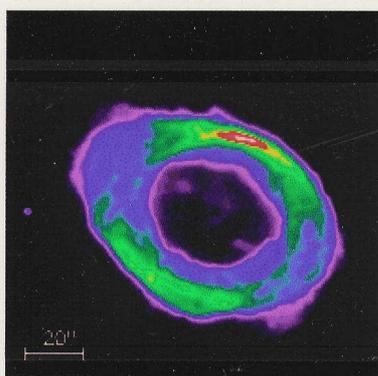
## Images of the Planetary Nebula NGC 6720



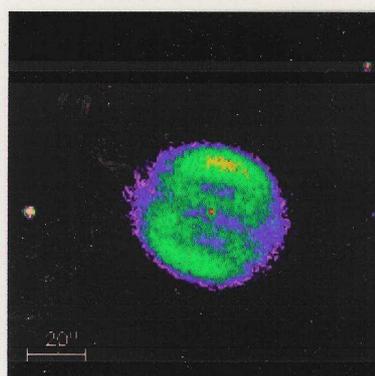
H alpha



O III



N II



He II

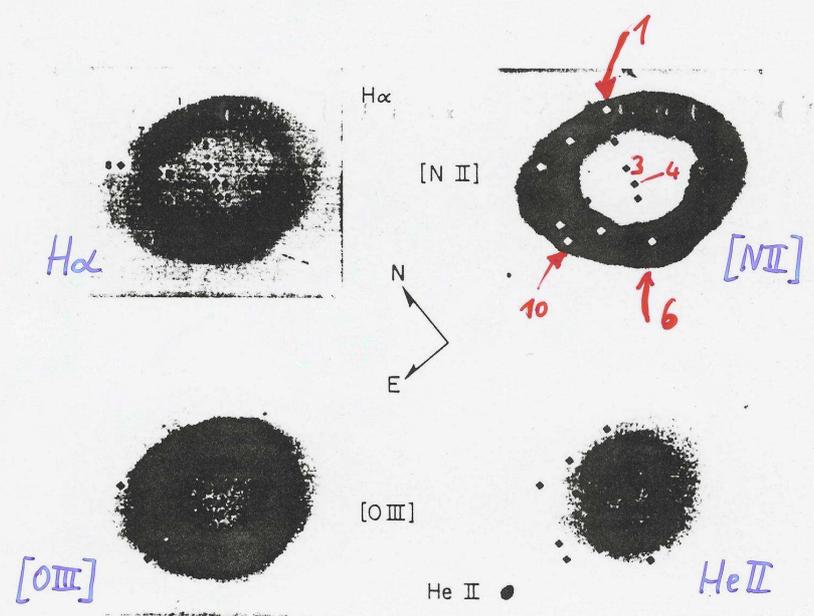
---

[\[Home Page\]](#) [\[Planetary Nebulae\]](#) [\[Quick Reference\]](#) [\[Feedback\]](#)

# Untersuchungen räumlich auflösbarer Nebel

z.B. der Ringnebel in der Leier NGC 6720

(nach Hawley, Miller 1977, ApJ 212, 94; Aller 1976, PASP 88, 574)



Aller, Fig 11-1

Aller, Tab. 11-1

Position	(1) N. Ring	(3) Interior	(4) Interior	(6) S. Ring	(10) E. Ring	A Mean <i>Aller</i>	H,M Mean <i>andere Arbeiten</i>	B 1981 <i>zum Vergleich</i>	<i>Solar</i>
$T_E [O III]$	10,200	10,200	11,500	10,200	10,200				
$T_E [N II]$	10,200	9,800	9,500	10,200	10,200				
$n_e / 10^2 \sqrt{T}$	0.13	0.13	0.08	0.25	0.10				
$\log N_e n_e$	3.12	3.12	2.93	3.40	3.00				
He	11.00	11.02	11.01	11.02	10.98	11.00	11.06	11.04	11.0
N	8.53	8.21	8.21	8.36	8.31	8.32	8.40	8.34	7.98
O	8.90	8.86	8.87	8.83	8.87	8.87	8.98	8.80	8.91
Ne	8.39	8.23	8.10	8.39	8.74	8.28	8.40		8.05
S	7.13	7.09	6.69	7.01	7.46	7.15	6.65	6.99	7.23
C2	5.26			> 5.4		> 5.2			(5.5)
Ar	6.57	6.65	> 6.19	6.55		6.59		6.57	6.57

NGC 6720 : Keine Variation der Elementhäufigkeiten  
mit dem Ort

gilt für die meisten Nebel

bekannte Ausnahmen : die PN Abell 30 und Abell 78

äußere Bereiche : normale Komposition  $n_{\text{He}}/n_{\text{H}} = 0.1$

innere Bereiche :  $n_{\text{He}}/n_{\text{H}} \approx 10$  !

$[n(\text{N}, \text{O}, \text{Ne}) / n(\text{H} + \text{He}) \text{ normal (außen)}]$

→ nuklear prozessierte Materie (H → He Brennen)  
vom Stern abgestoßen

(Hazard et al. 1980, Nature 285, 463    Jacoby 1979, PASP 91, 754

Jacoby & Ford 1983, ApJ 266, 298 )

HST-imaging (Borkowski et al. ApJL 415, 47    1993)

(Siehe 7.14)

PN  $\hat{=}$  Spätphasen der Sternentwicklung

nuklear prozessierte Materie kann unter z.T.

ungeklärten Umständen an die Sternoberfläche

und in den PN gelangt sein

## Elementhäufigkeiten in H II-Regionen

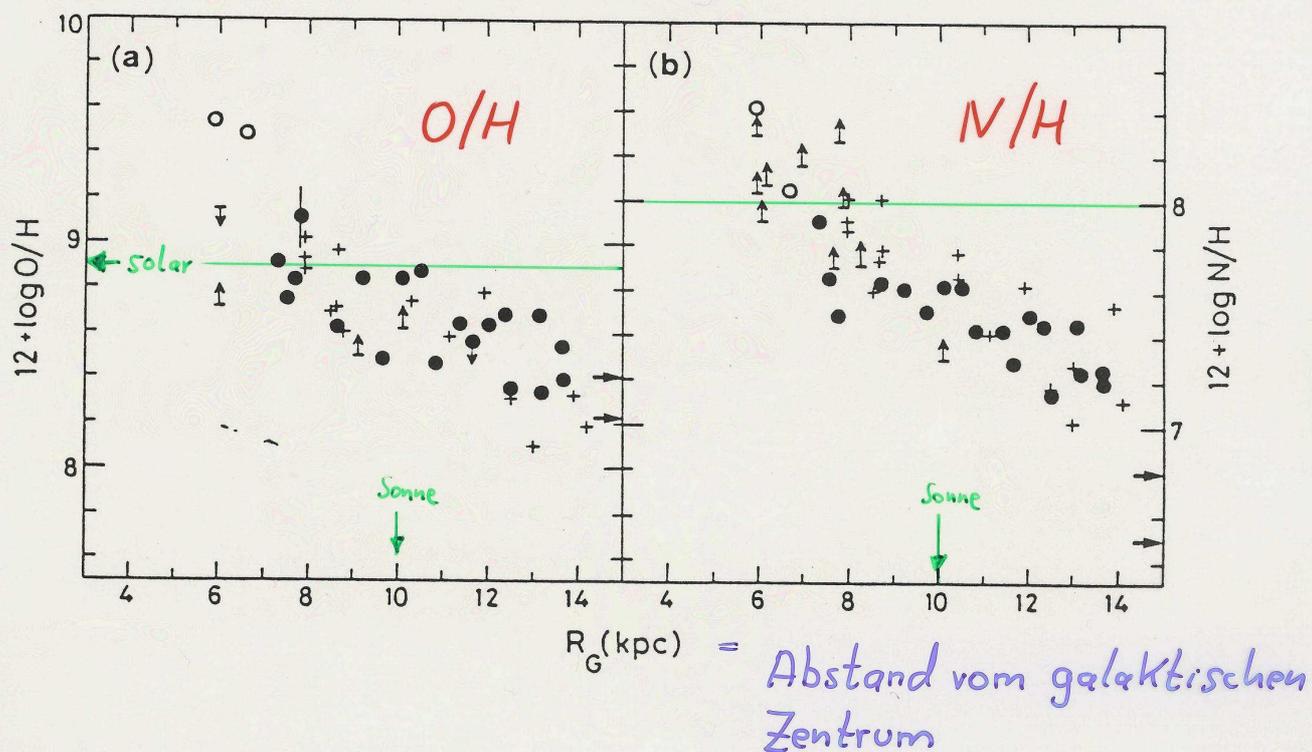
H II - Regionen beherbergen junge Sterne,  
reflektieren die chemische Zusammensetzung des  
interstellaren Mediums.

Sind die Häufigkeiten der Elemente in allen Teilen  
unserer Galaxis gleich?

Shaver et al. (1983, MNRAS 204, 53)

Radiospektroskopie zur Bestimmung von  $T_e$   
+ optische Spektren  $\rightarrow n_e$ , Elementhäufigkeiten

O/H, N/H



N- und O-Häufigkeiten weisen Gradienten in der galaktischen Scheibe auf :

nahe dem Zentrum größer als weiter außen

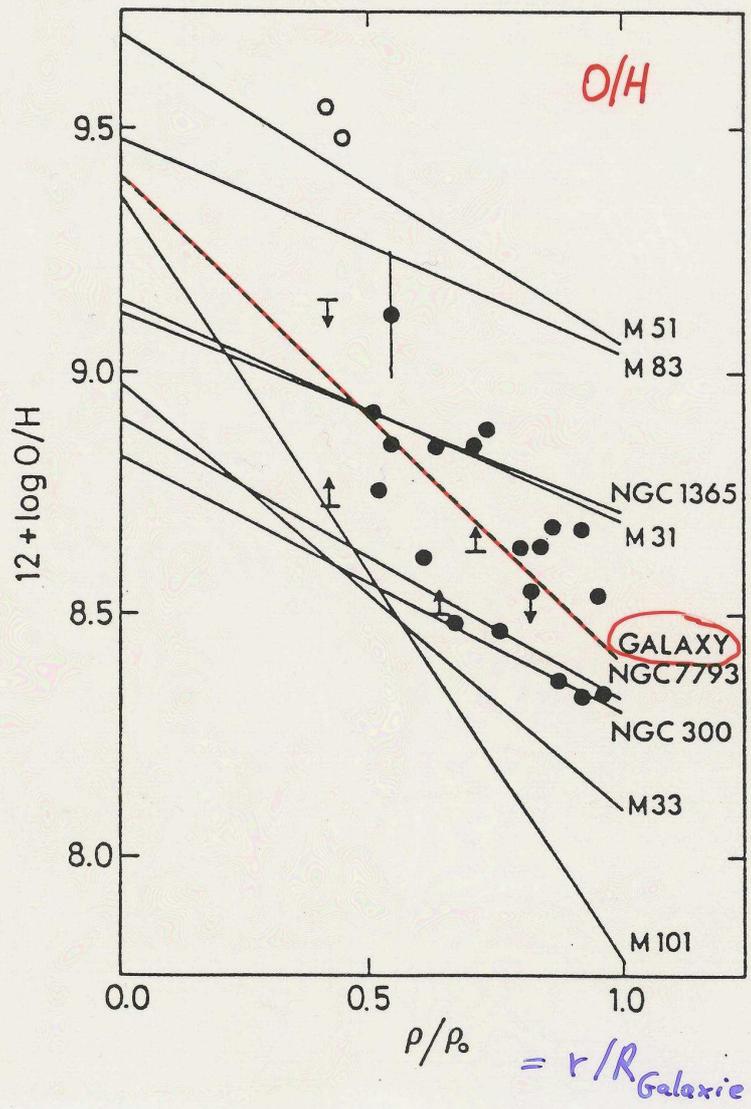
H II - Regionen auch in anderen Galaxien beobachtbar :

Magellansche Wolken (LMC+SMC, irreguläre Galaxien)

LMC: "Metalle" 1/2 - 1/3 solar

SMC: " " ~ 1/5 solar

andere Galaxien, von Shaver et al. (1983):



galaktische  
PN: 70 analysierte Objekte (nach Pottasch 1986)

Helium:

He/H = 0.115 (Mittelwert)

≅ ~solare Häufigkeit aber: 20% der PN sind  
signifikant angereichert: He/H = 0.20

Stickstoff:

N/H variiert von PN zu PN (bis zu Faktor 100)

Korrelation mit He/H: alle He-reichen PN  
sind auch N-reich

Sauerstoff:

O/H ≤ O/H (Sonne)

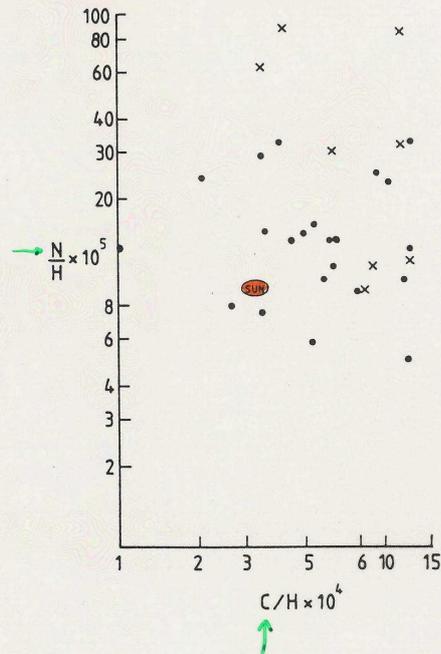
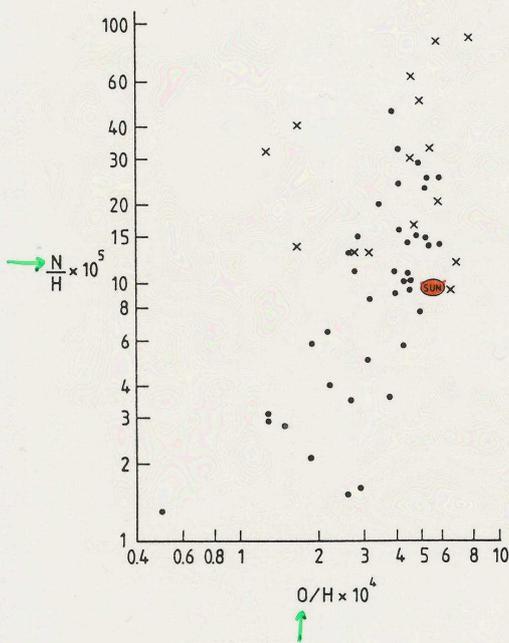
Kohlenstoff:

C/H ≥ C/H (Sonne)

Korrelation mit He/H wie bei N/H

x = heliumreich

• = Helium normal



Korrelation von  $N/H$  und  $C/H$  mit  $He/H$

in vielen Fällen nicht die ursprüngliche (primordiale) Komposition.

Nukleosynthese: **CNO-Zyklus**:  $He, N$  angereichert  
 $C, O$  abgereichert

**$3\alpha$ -Prozeß (Heliumbrennen)**:

$C$  angereichert

Wahrscheinlich ist durch Nukleosynthese verändertes Material im Laufe der Sternentwicklung an die Sternoberfläche gelangt und mit dem PN abgestoßen worden. Keine quantitative Übereinstimmung der Häufigkeiten Stern  $\leftrightarrow$  PN (meistens...)

PN auch in einigen anderen Galaxien entdeckt worden (intensive  $O III$ -Emission).

[Zu schwach für quantitative Analyse]

Ausnahme: **Magellansche Wolken**

# Elementhäufigkeiten von PN in den Magellanschen Wolken

Aller et al.: 1987 ApJ 320, 159

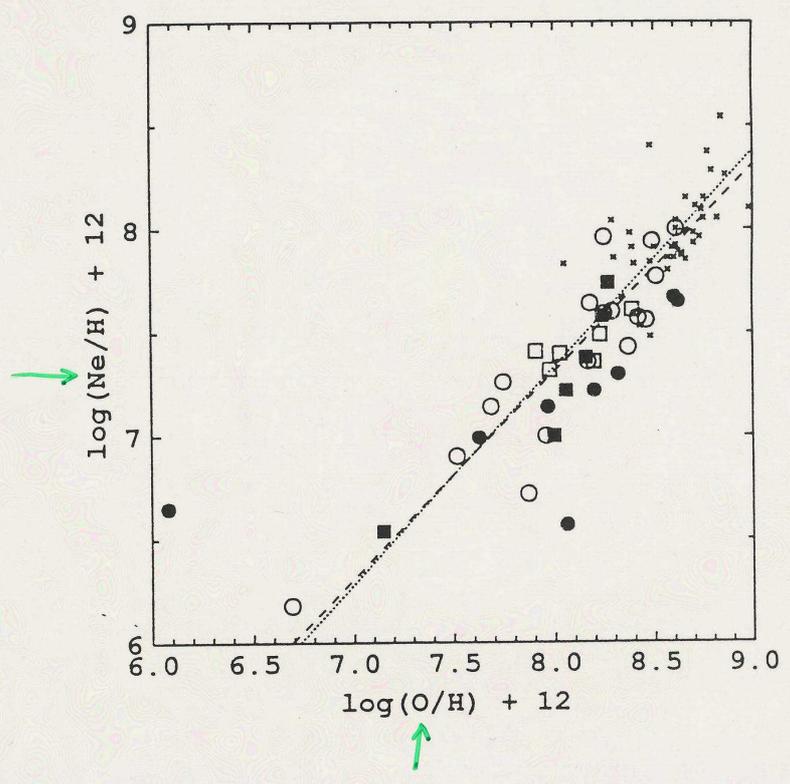
Henry, Liebert, Boronson: 1989 ApJ 339, 872

Bestimmung von  $T_e$  aus [OIII]

$n_e$  aus [SII]

+ Elementhäufigkeiten für He, N, O, Ne

Resultate: 1) Korrelation Ne/H und O/H



x galaktische PN

o offene Symbole: LMC - PN

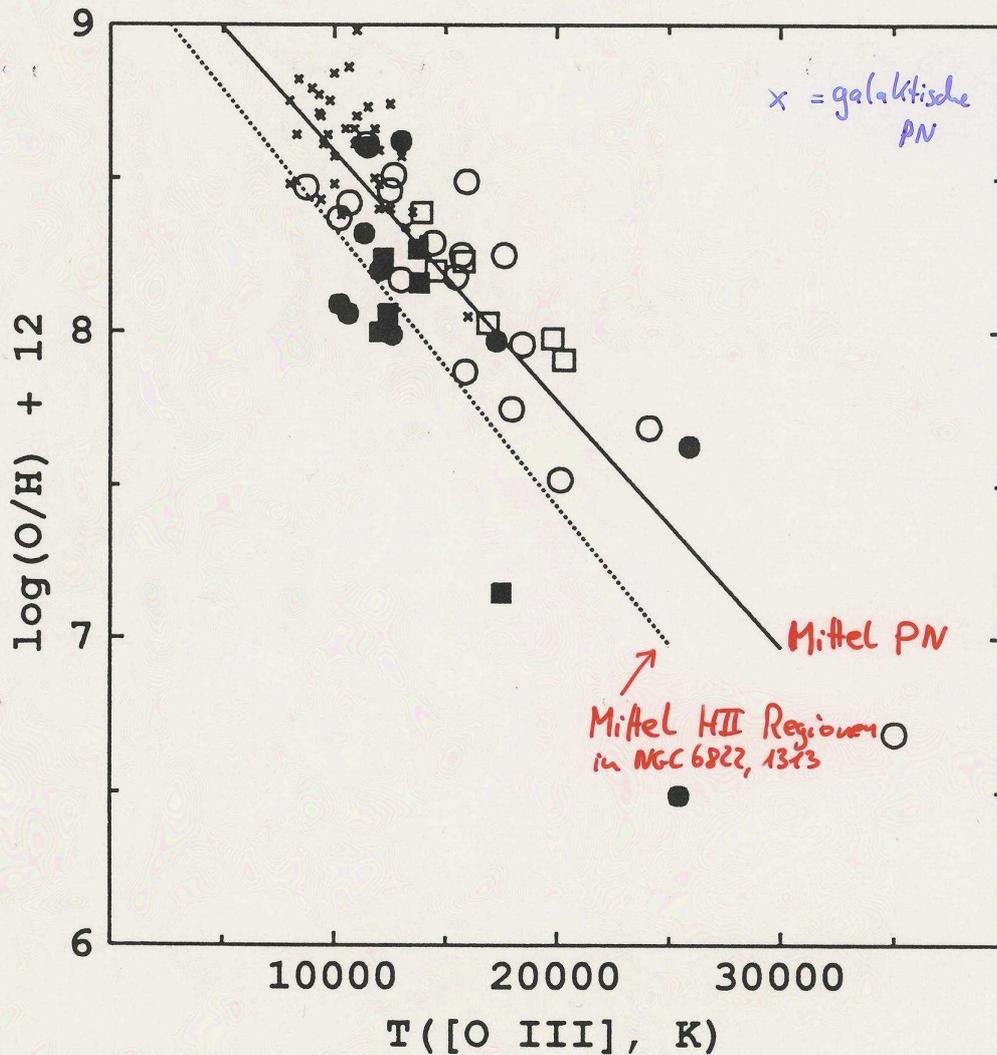
• volle " : SMC - PN

.... HII Regionen

Korrelation identisch mit der für HII-Regionen

→ O, Ne - Häufigkeit primordial  
Maß für „Metallizität“

2) Korrelation O/H mit  $T_e$



niedrige Metallizität → Kühlrate klein  
→  $T_e$  groß

### 3) He-Häufigkeit

ganz ähnlich wie in unserer Galaxis

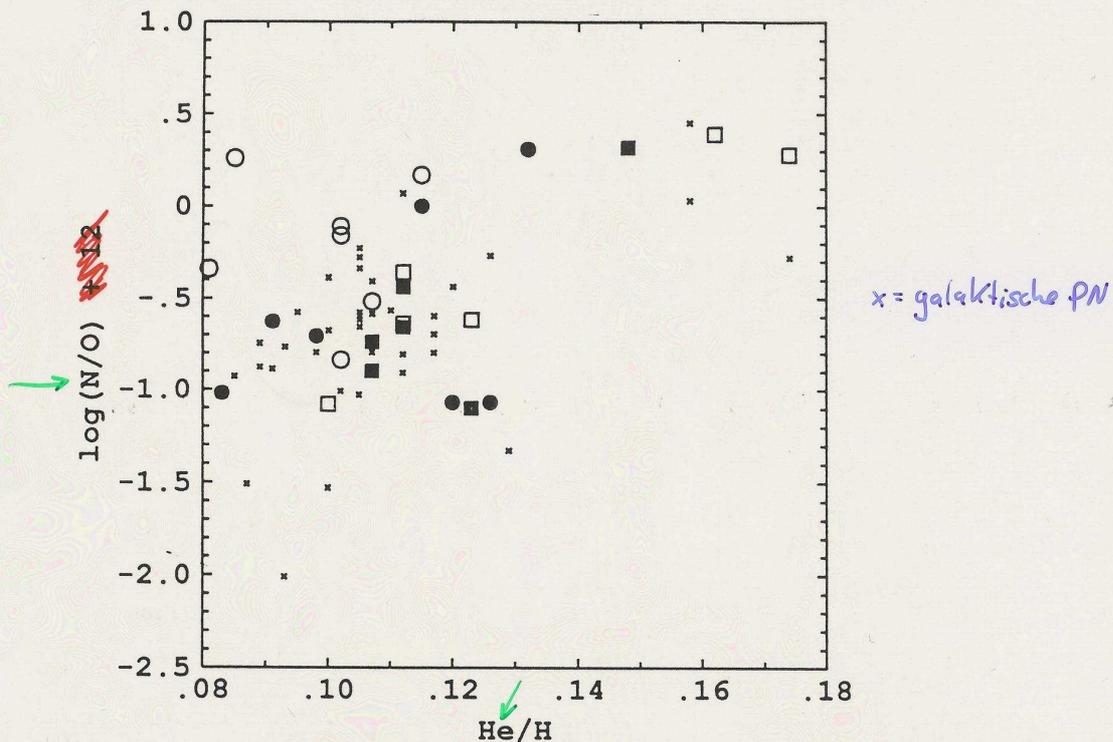
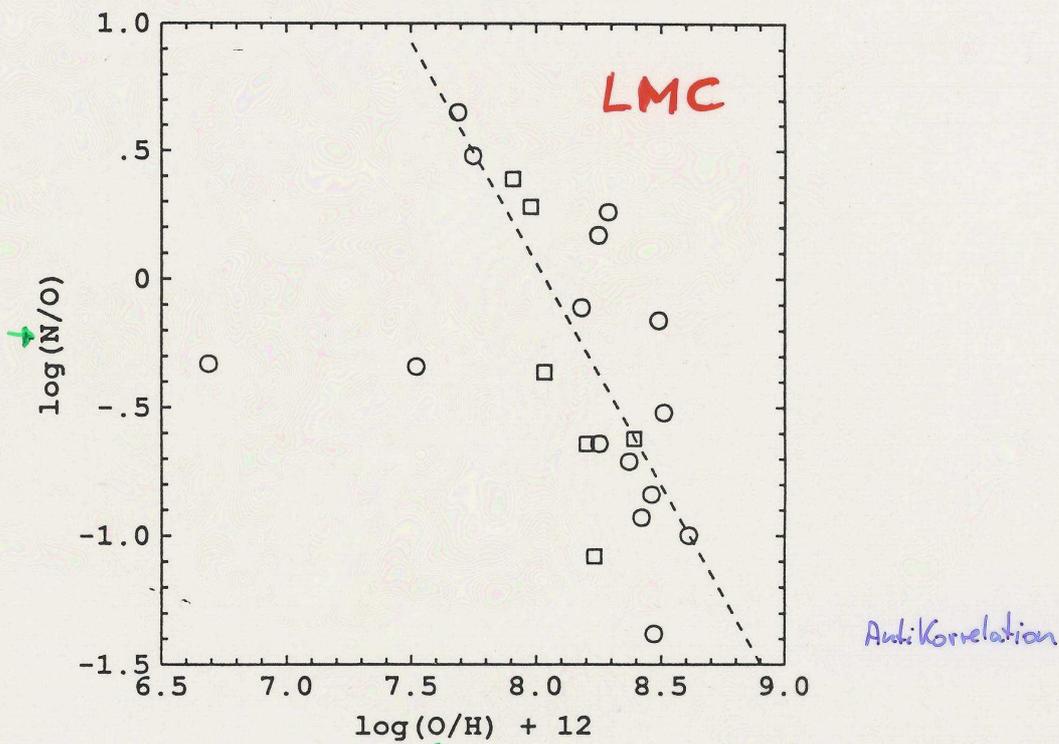


FIG. 6.— $\log(N/O) + 12$  vs.  $He/H$  for the same sample of PNs plotted in Figs. 2a, 3a, and 4a. Symbol convention is the same as in these figures.

### 4) N/O versus O/H



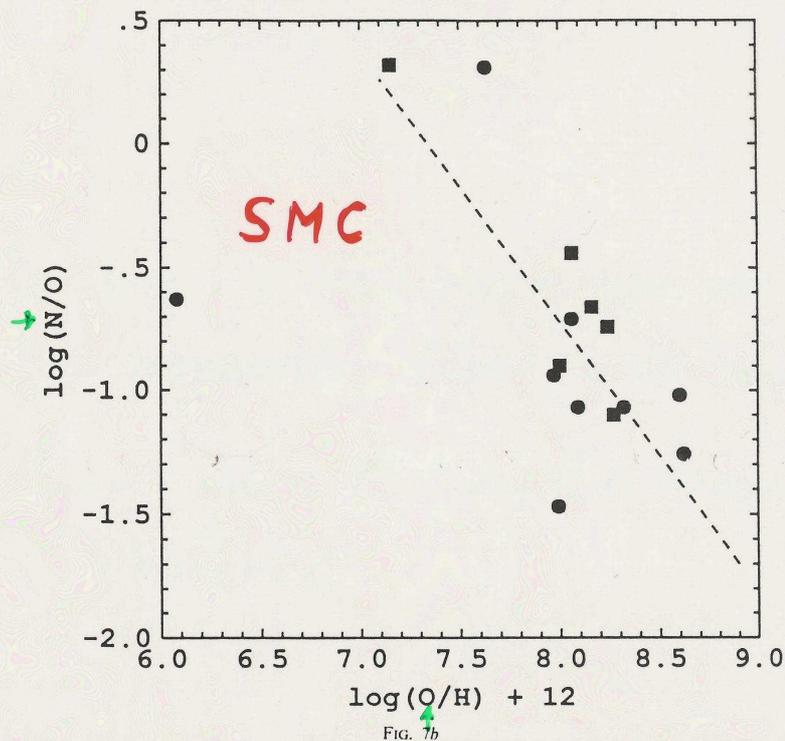


FIG. 7b

FIG. 7.—(a)  $\log(N/O)$  vs.  $\log(O/H) + 12$  for LMC objects studied in this paper (circles) and that of A87 (squares). Dashed line is the least-squares fit to all points but the two isolated ones in the left half of the figure (LMC 10 and LMC 17). (b)  $\log(N/O)$  vs.  $\log(O/H) + 12$  for SMC objects studied in this paper (circles) and that of A87 (squares). Dashed line is the least-squares fit to all points but the isolated one in the left half of the figure (SMC 23). (c)  $\log(N/O)$  vs.  $\log(O/H) + 12$  for the sample of Galactic planetary nebulae studied by Aller and Czyzak (1983). The scale is the same as that in (a) and (b).

### 5) C/O versus N/O

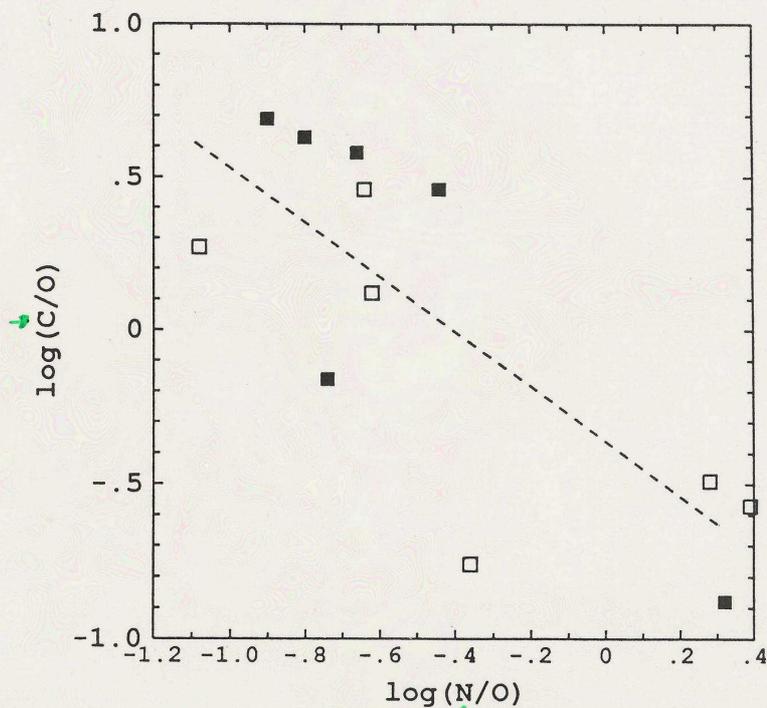


FIG. 8.— $\log(C/O)$  vs.  $\log(N/O)$  for Aller *et al.*'s (1987) sample of planetary nebulae in the LMC (open symbols) and the SMC (filled symbols). Dashed curve is a least-squares fit to the data.

$N/O$  ist antiKorreliert mit der  $O$ -Häufigkeit

$C/O$  ist antiKorreliert mit  $N/O$

→ Evidenz für Mischungsprozesse von  
CN-prozessierter Materie an die Sternoberfläche → PN

Effizienz dieser Mischung ist abhängig von  
der Metallizität

Extreme PN (in unserer Galaxis) :

3 Objekte ohne Wasserstoff (siehe 7.5)

Hinweis auf außergewöhnliche Ereignisse in /auf dem  
Zentralstern:

→ Objekte (Sterne) ohne Wasserstoff sog. PG1159-Sterne  
(~ 2 Dutzend bekannt)

7.14a

structure (Feibelman 1971). In addition, the wavelength provides a good match for commonly available photodetectors.

Photographs of Abell 30 were taken at the Kitt Peak no. 1 0.9-m telescope in its  $f/7.5$  configuration with the CITD camera. The available data are summarized in Table I and a reproduction of plate 5077 is shown

in Figure 1. The continuum plates (5116 and 5121) were taken to distinguish the nebular features near the nucleus from the companion star identified by Cudworth (1974), and the  $H\alpha$  plate (5118) provides a qualitative indication of the excitation level in each feature.

A careful examination of the Palomar Observatory

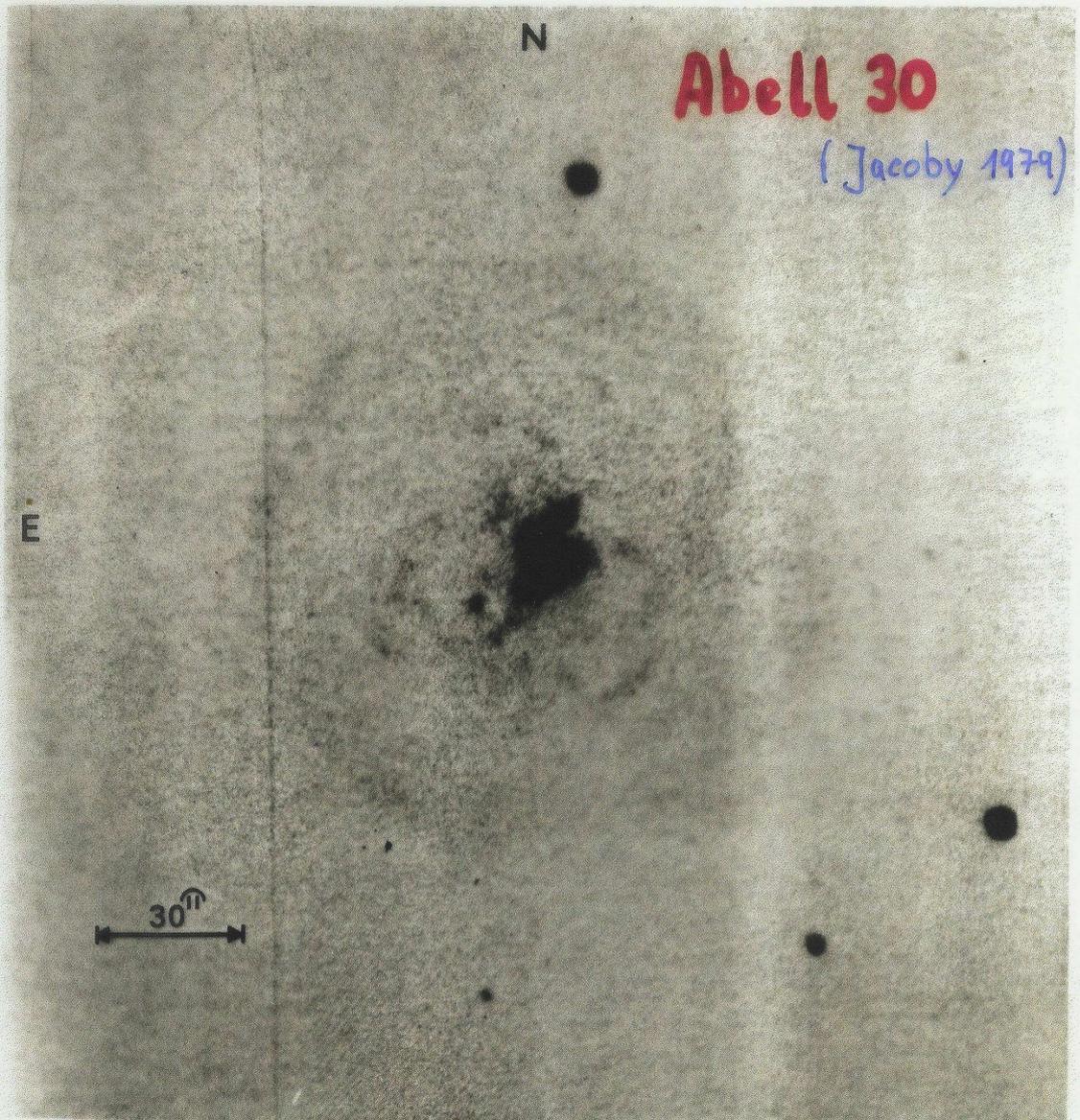


FIG. 1—A reproduction of plate 5077—a  $30^m$  exposure of Abell 30 at  $\lambda 5007$ . The companion star is just visible to the southeast. The knots are numbered in a clockwise fashion starting with the southernmost feature.

# Hubble Space Telescope, Wide Field/Planetary Camera (WFPC 2)

PLATE L17

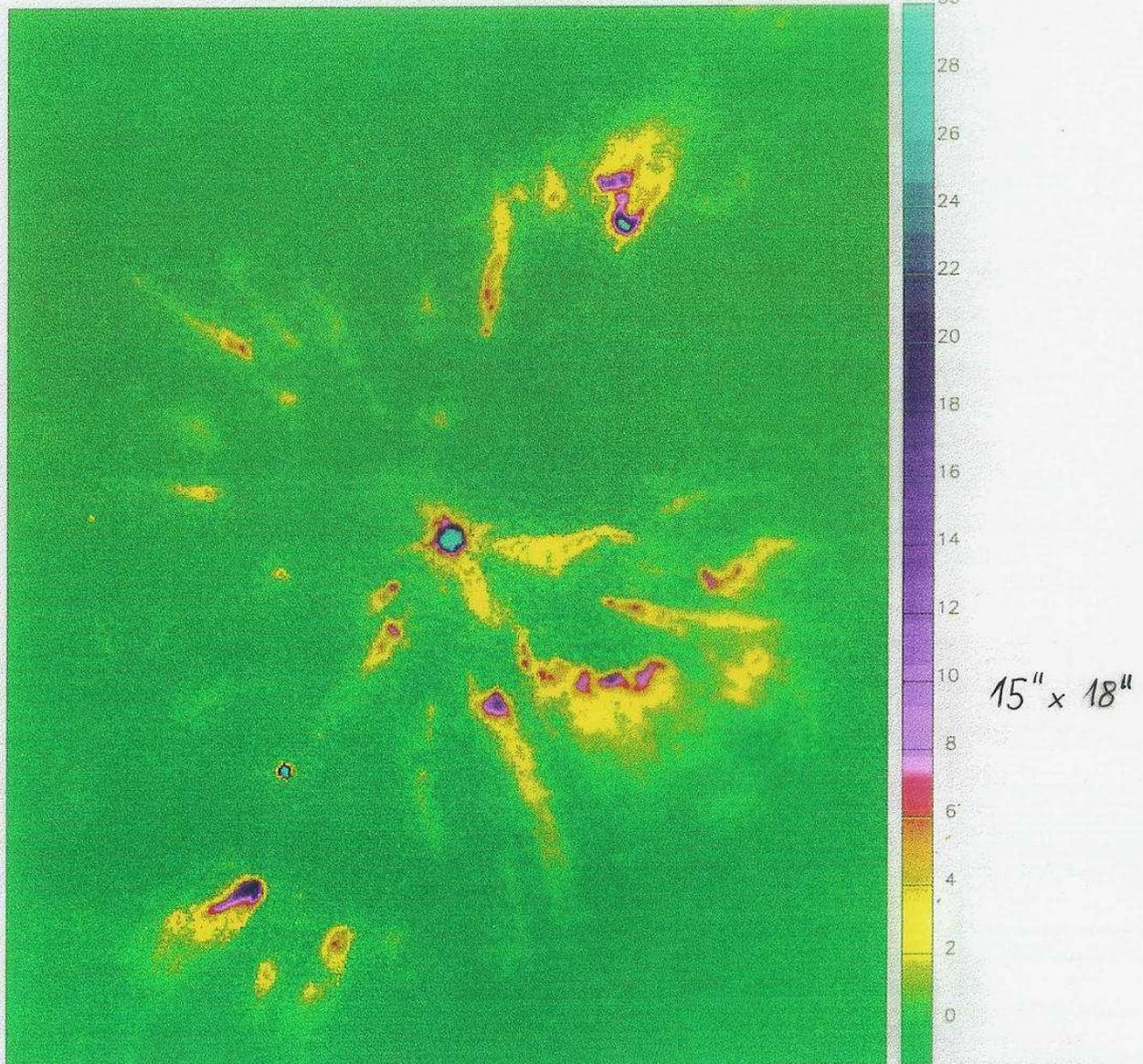


FIG. 3.—Central region of Abell 30 imaged with the *Hubble Space Telescope* WFPC2, using the [O III]  $\lambda 5007$  narrow-band filter. The field of view is  $15''.3 \times 18''.5$ . : scale is in counts  $\text{pixel}^{-1}$ . For this image, each count  $\text{pixel}^{-1}$  corresponds to  $6.6 \times 10^{-15} \text{ ergs cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ arcsec}^{-2}$ .

ORKOWSKI, HARRINGTON, & TSIVETANOV (see 449, L144)

Interaction of a stellar wind with clumpy stellar ejecta :

**Knots:** hydrogen-deficient,  $v \approx 100 \text{ km/s}$ ,  $\approx 1000$  years since ejection

**fast central star wind:**  $v \approx 4000 \text{ km/s}$ , shapes knots to "comets"

Borkowski et al. (1995)

# ORFEUS - Mission

~~7.14c~~  
~~7.14c~~  
7.14c

ORBITING AND  
RETRIEVABLE  
FAR AND  
EXTREME  
ULTRAVIOLET  
SPECTROGRAPH

Tübingen  
Heidelberg  
Berkeley  
Princeton } Kollaboration

1-Meter Teleskop für Spektroskopie im Bereich  
400 - 1300 Å

Start & Rückführung mit U.S. Raumfähre

Mehrtägige Beobachtungen nach Aussetzen von der Ladebucht

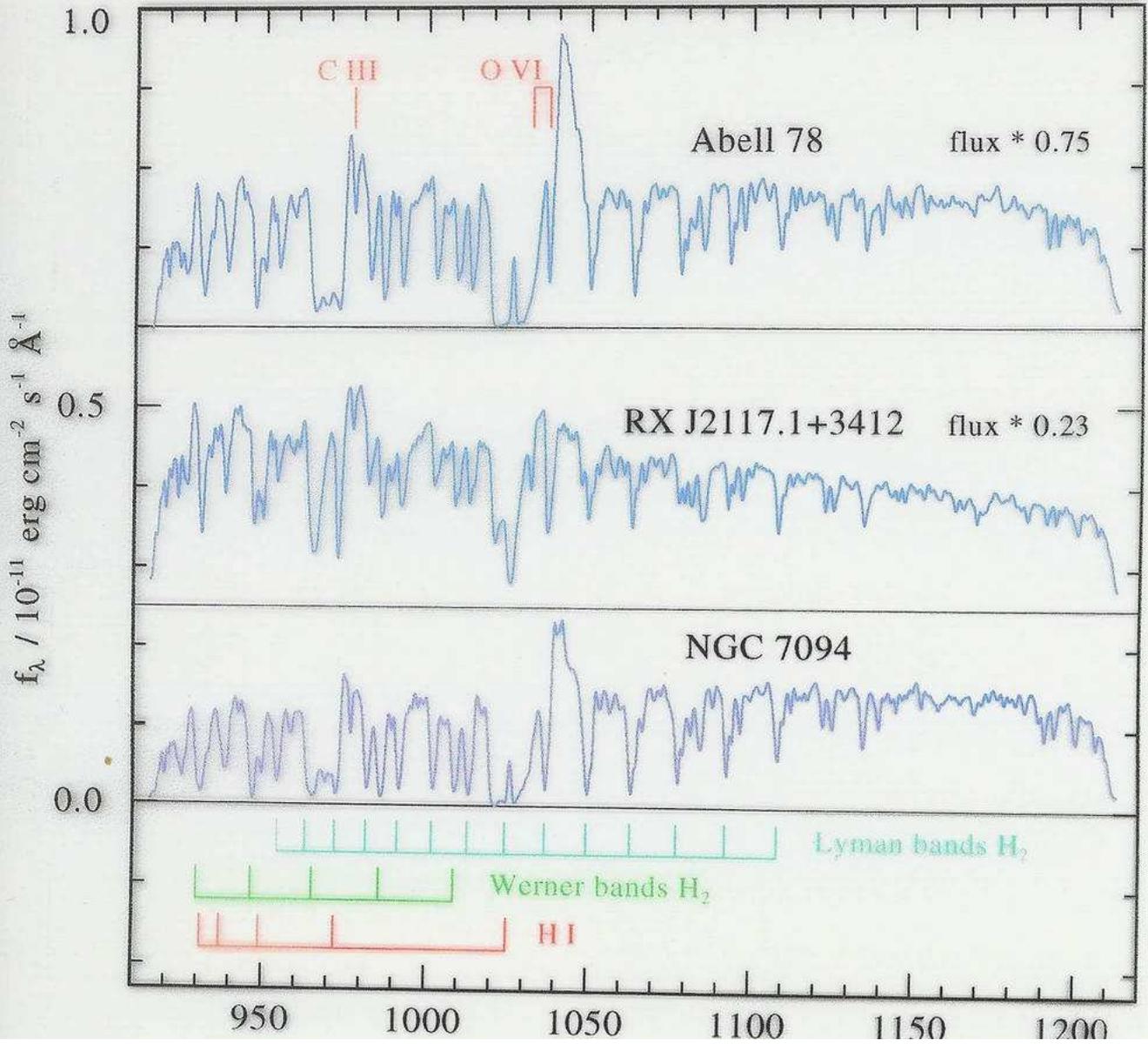
Erster Flug: Sept. 1993 , 5 Tage

Zweiter Flug: Nov. 1996 , 13 Tage

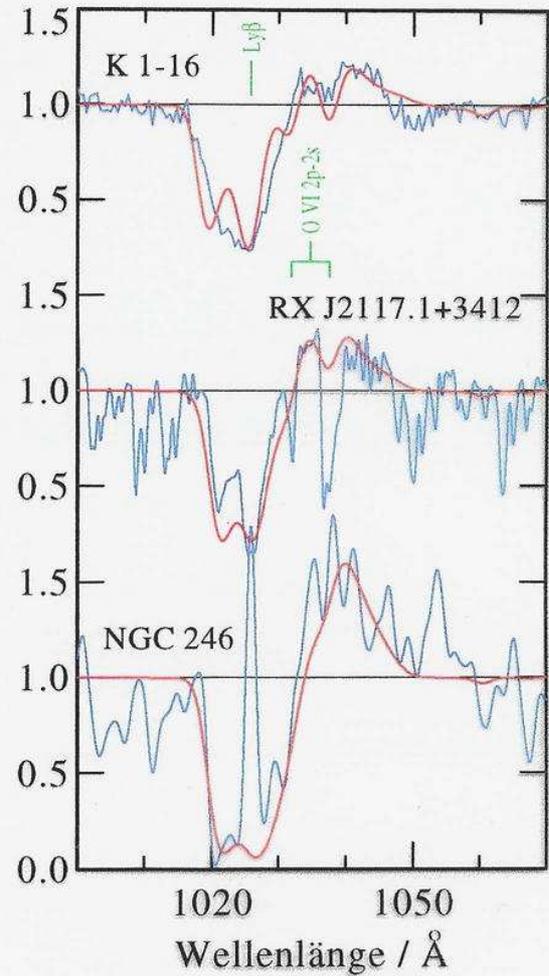
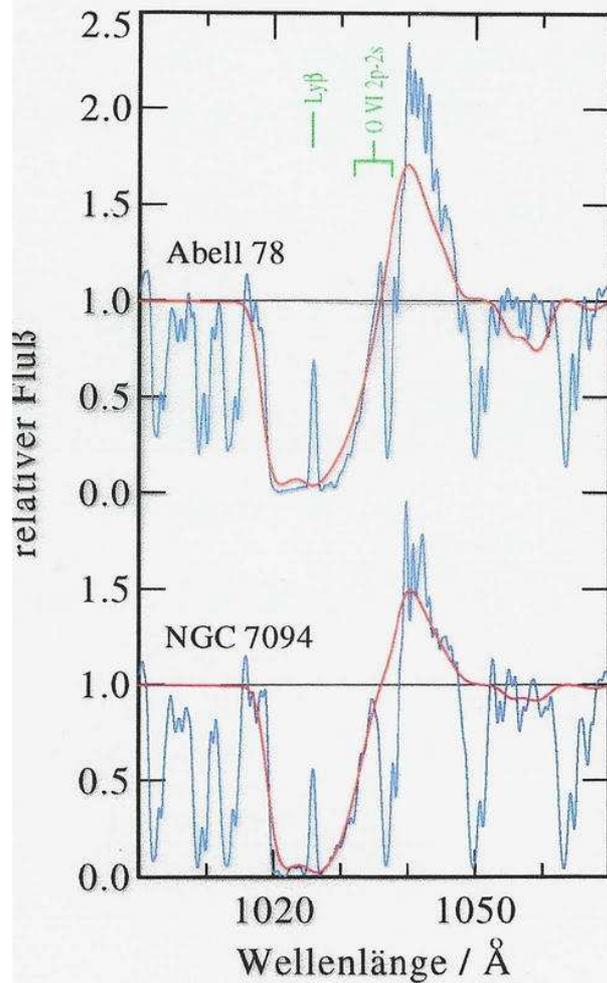
„Bedienung“ des Teleskops von der Bodenstation  
(Cape Canaveral) aus.

PG1159 - Zentralsterne

ORFEUS II Far-UV spectra



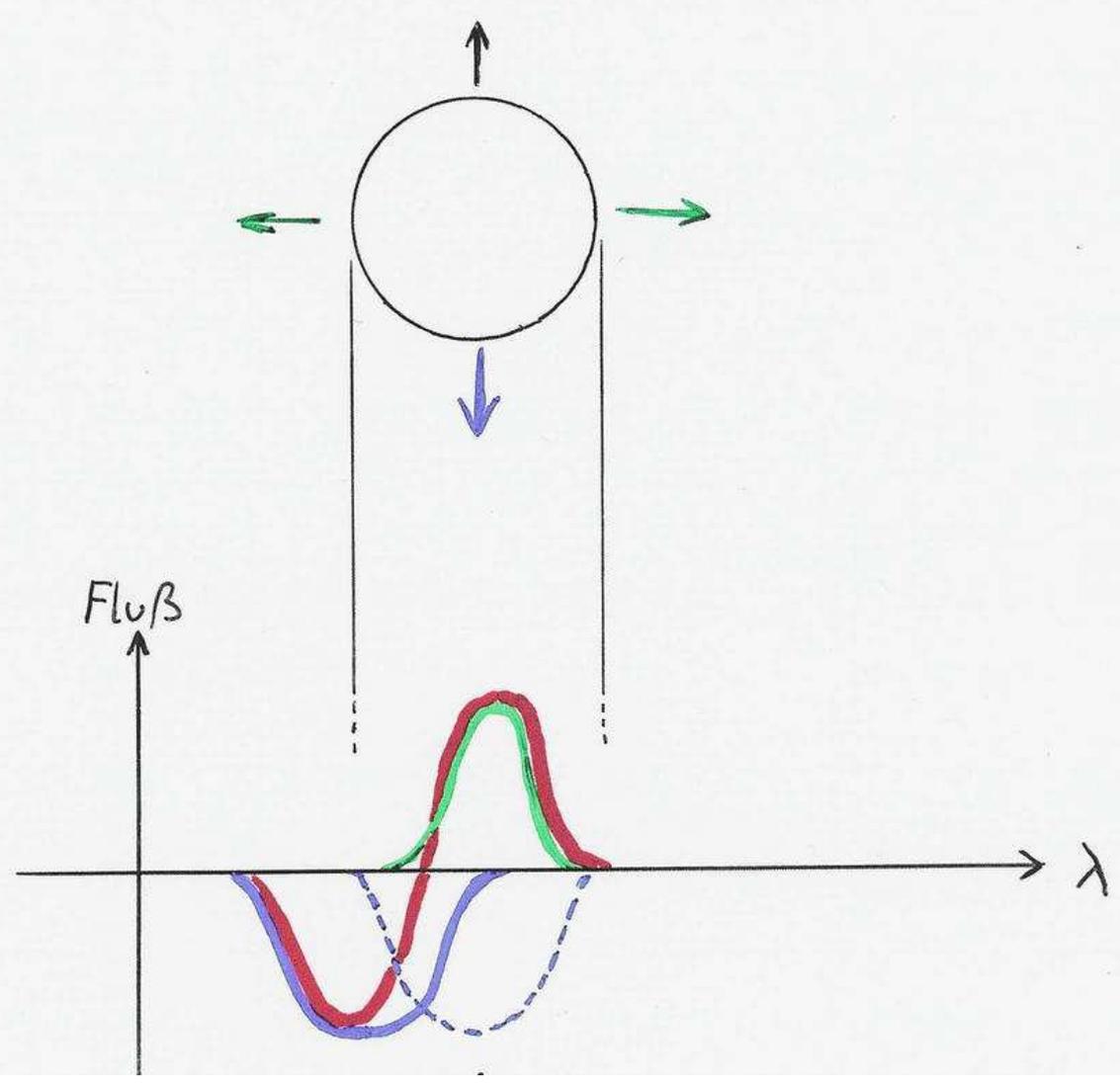
# Modellanpassungen an das P Cygni - Profil der OVI - Resonanzlinie :



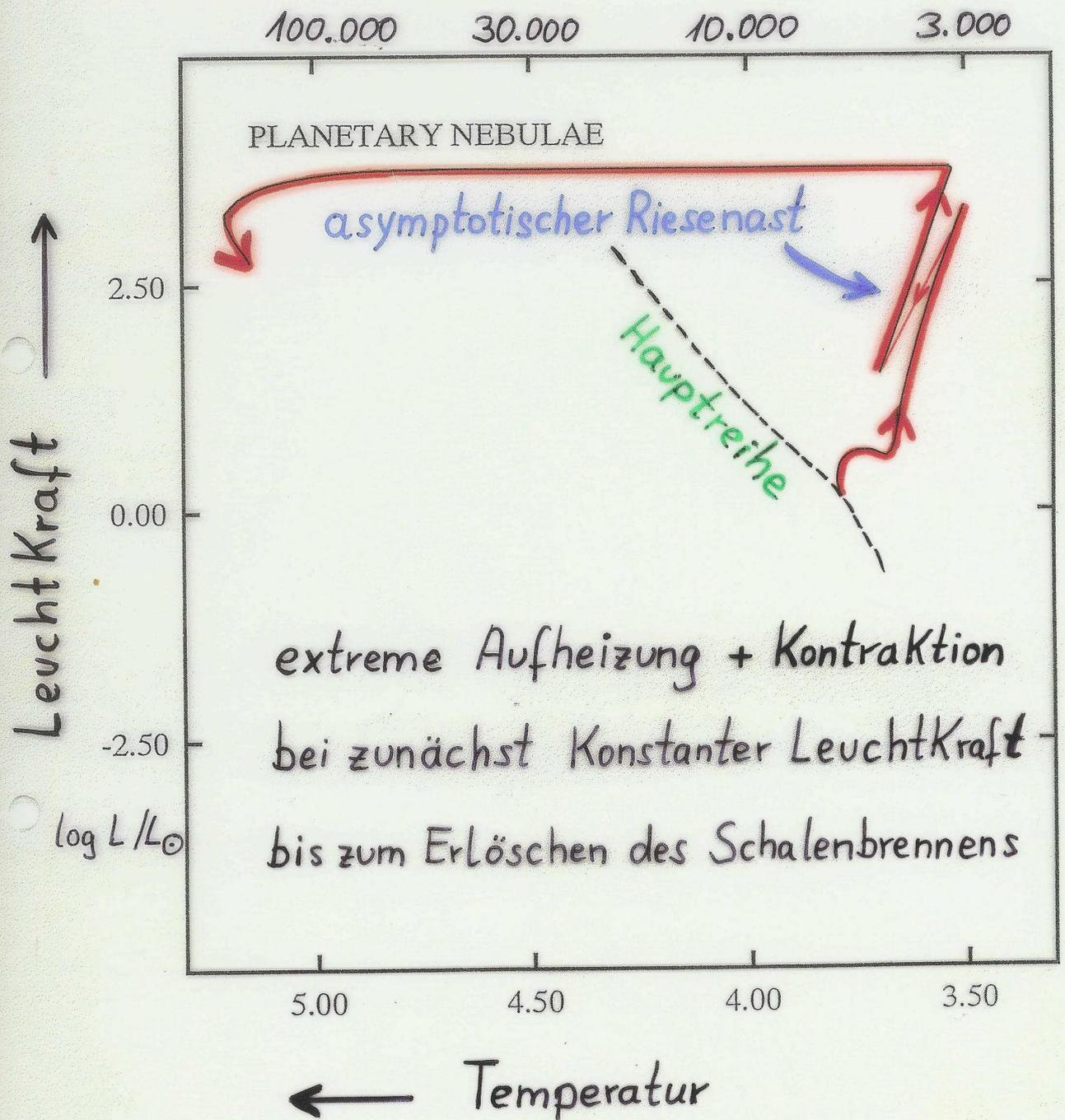
→ Massenverlustraten

$$\dot{M} = 10^{-7} \dots 10^{-8} \text{ Sonnenmassen / Jahr}$$

# Entstehung eines „P Cygni“-Linienprofils



# Entwicklung vom asymptotischen Riesenast:



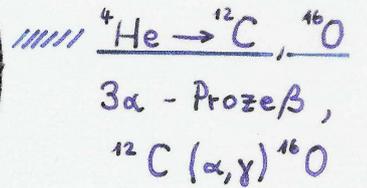
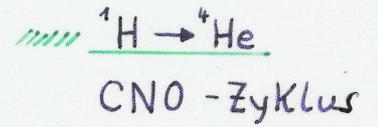
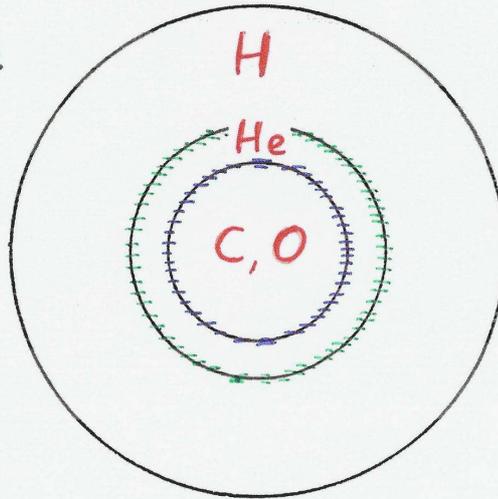
# Innerer Aufbau eines (post)-AGB Sterns

AGB:

2-Schalen-Brennen:

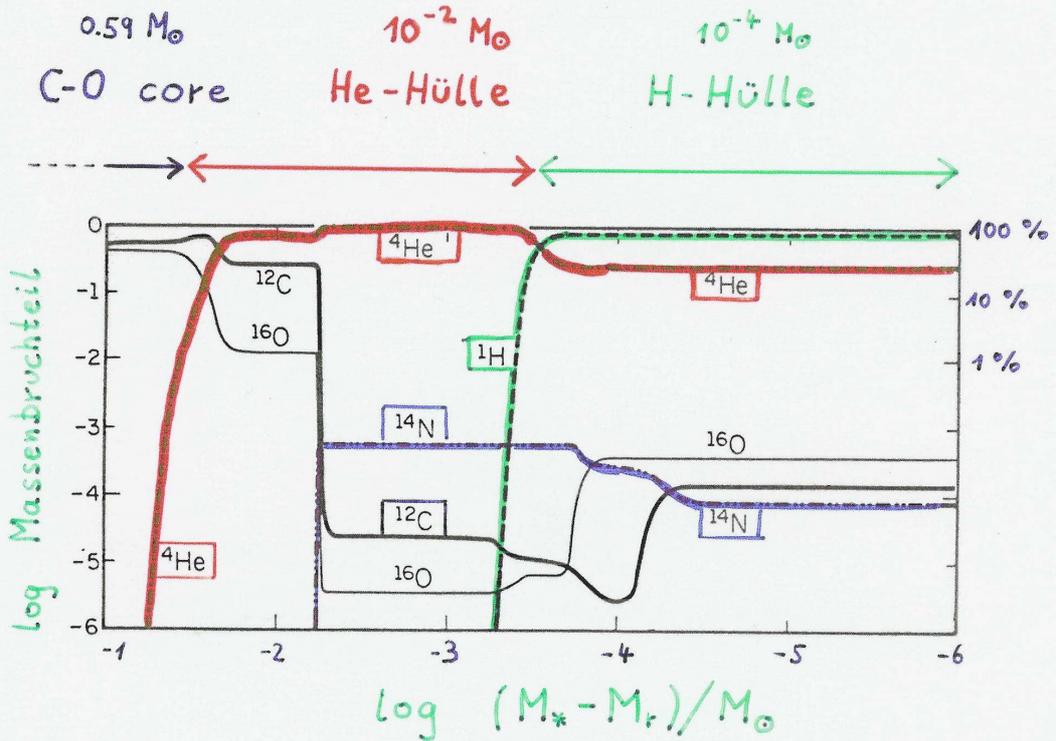
instabil

⇒  
He shell flashes  
"thermische Pulse"



Stern verläßt AGB als : H-Brenner  
oder : He - "

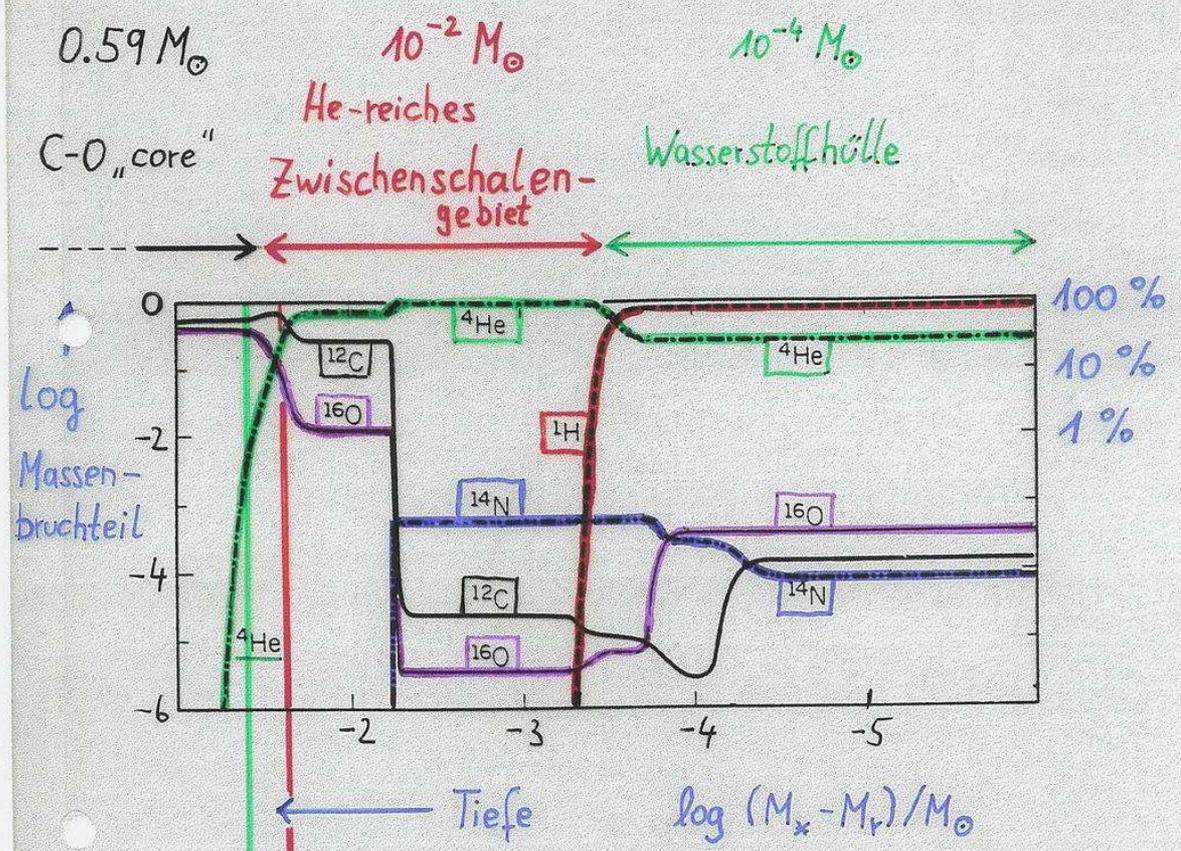
} Wahrscheinlich-  
keit  $\approx 4:1$



E

# Oberflächenhäufigkeiten der PG 1159-Sterne

typische Werte : He 33 C 50 O 17 % Massenbruchteile



PG 1159 - Oberflächenhäufigkeit

H 1504 + 65

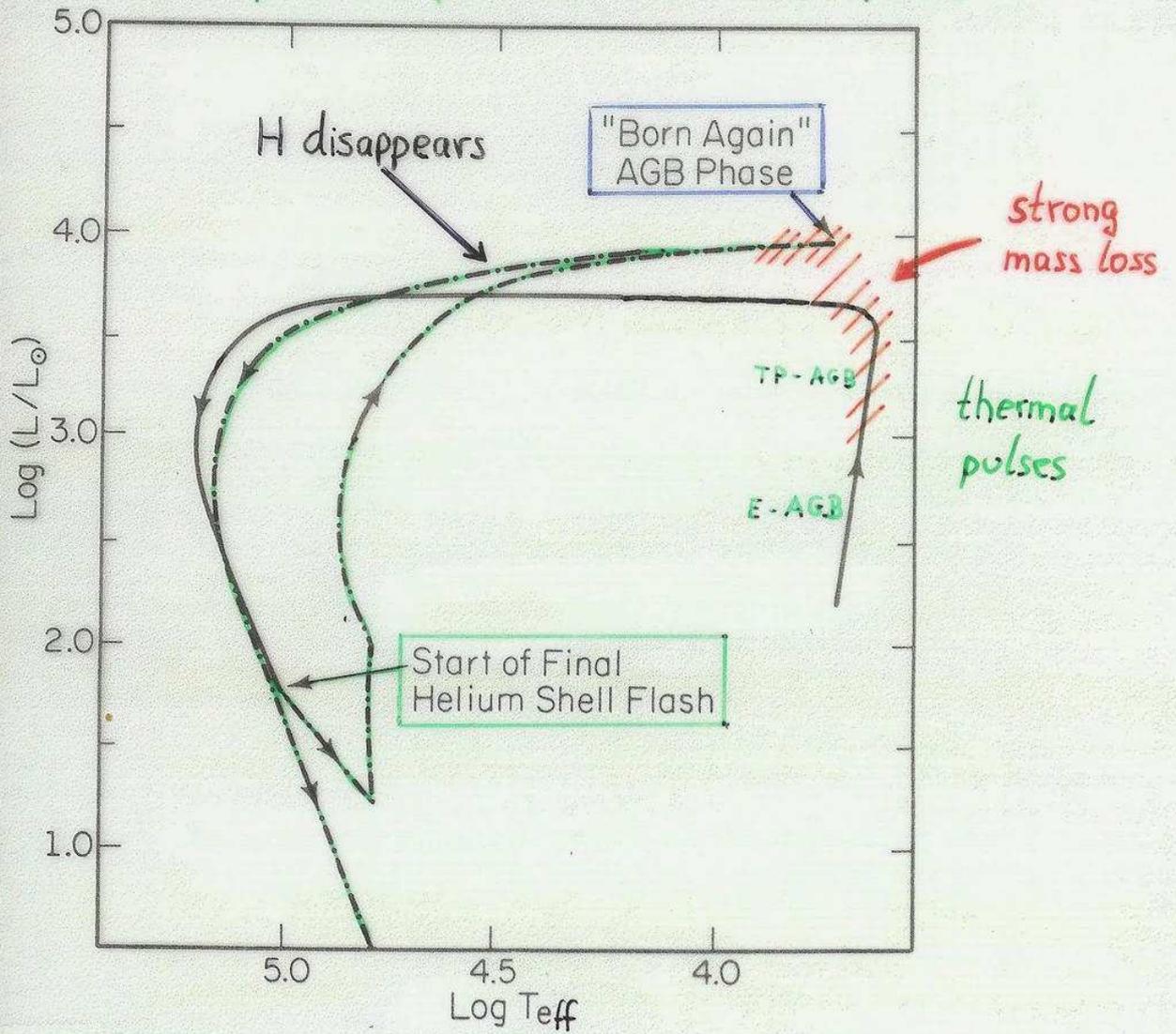
Zentralsternmodell am Ende der H-Fusion  $M = 0.6 M_\odot$  (Iben)

... ist der nackte C-O Kern eines ehemaligen AGB-Sterns, freigelegt durch extremen Massenverlust!

# "Born Again" AGB star scenario (Iben 1984)

7.14j

## consequence of a late He-shell flash



# PG 1159 Sterne im Hertzsprung-Russell-Diagramm

