

Stellare Winde

Neueste Veröffentlichungen und besondere “Winde”

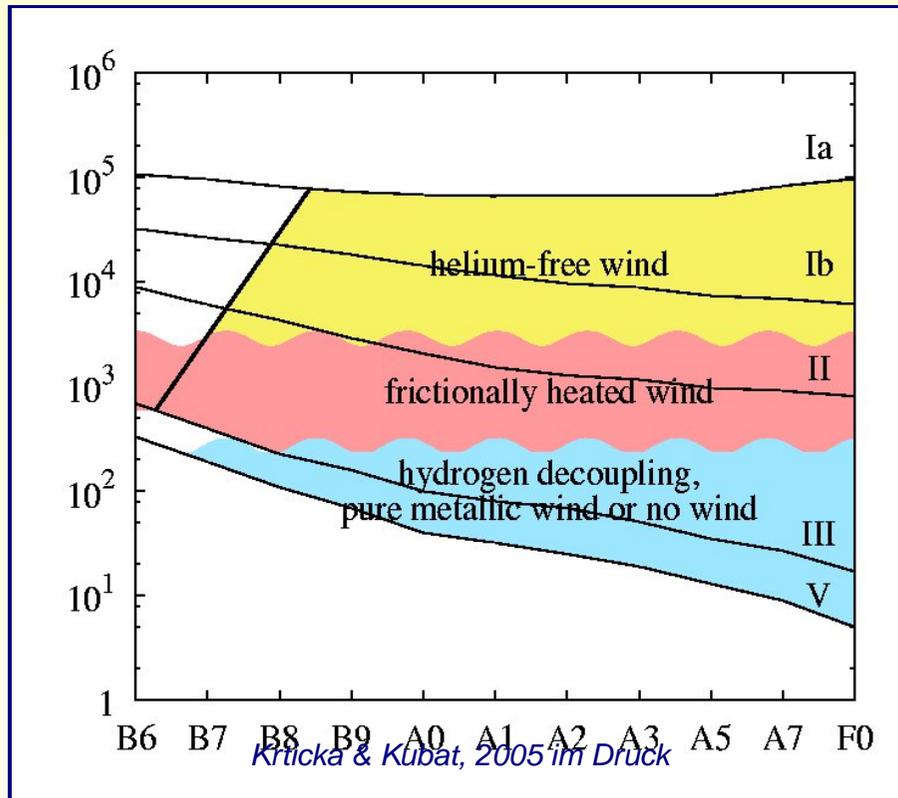
Thomas Rivinius

WS 2004/2005

Landessternwarte Heidelberg, Königstuhl

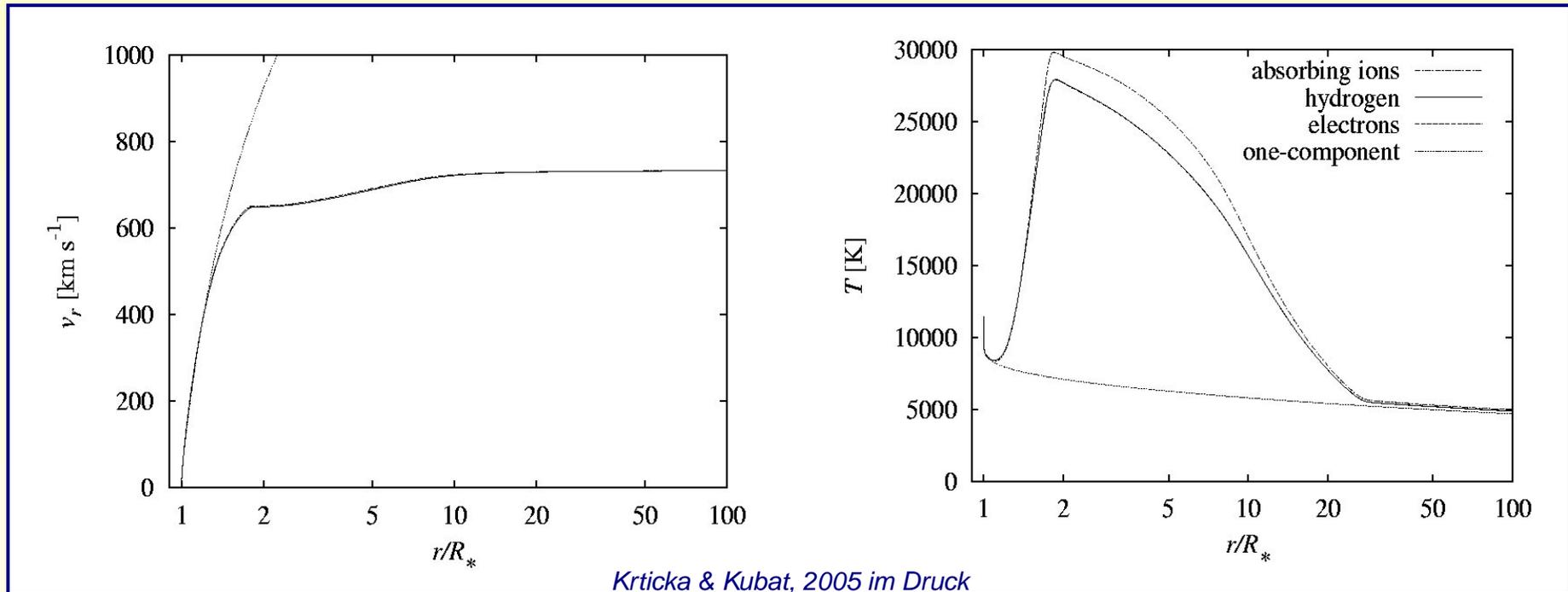
`T.Rivinius@lsw.uni-heidelberg.de`

Fraktionierte Winde



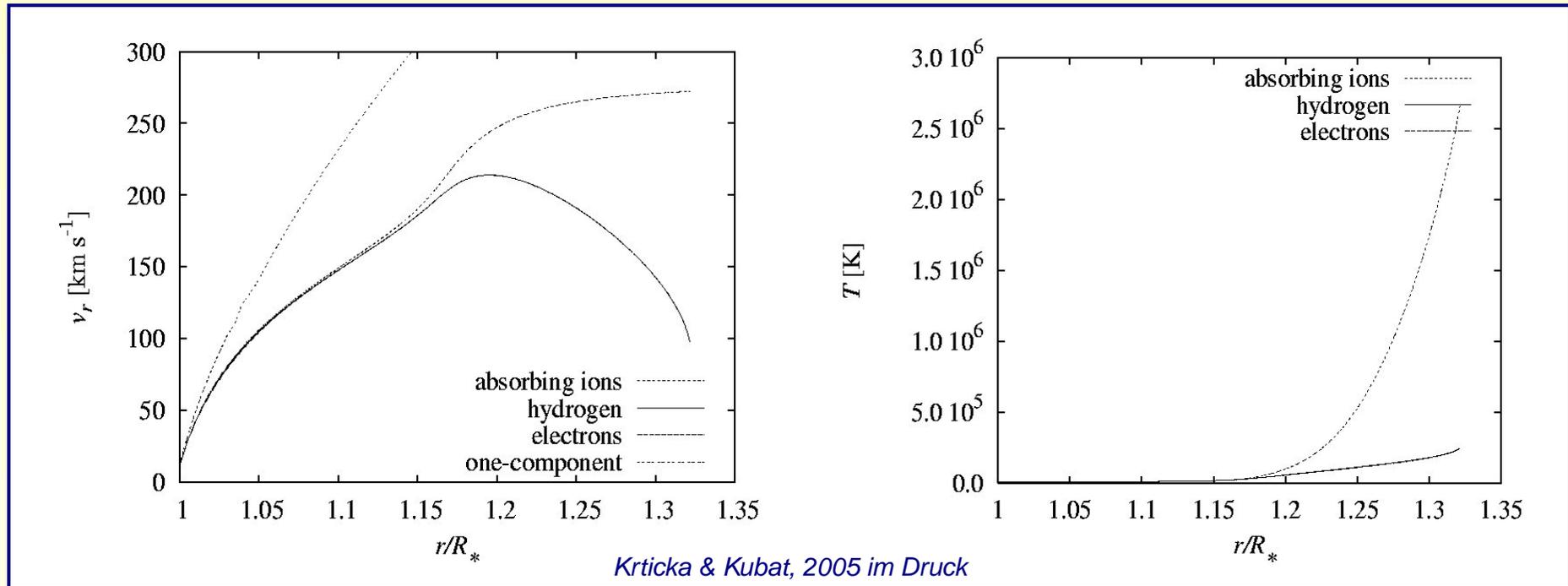
- In Winden heißer Sterne werden hauptsächlich Metallionen von der Strahlung beschleunigt.
- Andere Elemente werden durch Coulomb-Wechselwirkung mitbeschleunigt.
- Kopplung funktioniert bei typischen Winddichten von O- und frühen und etwickelten B-Sternen, bricht aber bei niederen Dichten zusammen.
- Windfraktionen nicht vollständig entkoppelt, verbleibende Wechselwirkung führt zu Reibungsaufheizung.

Reibungsheizung im fraktionierten Wind



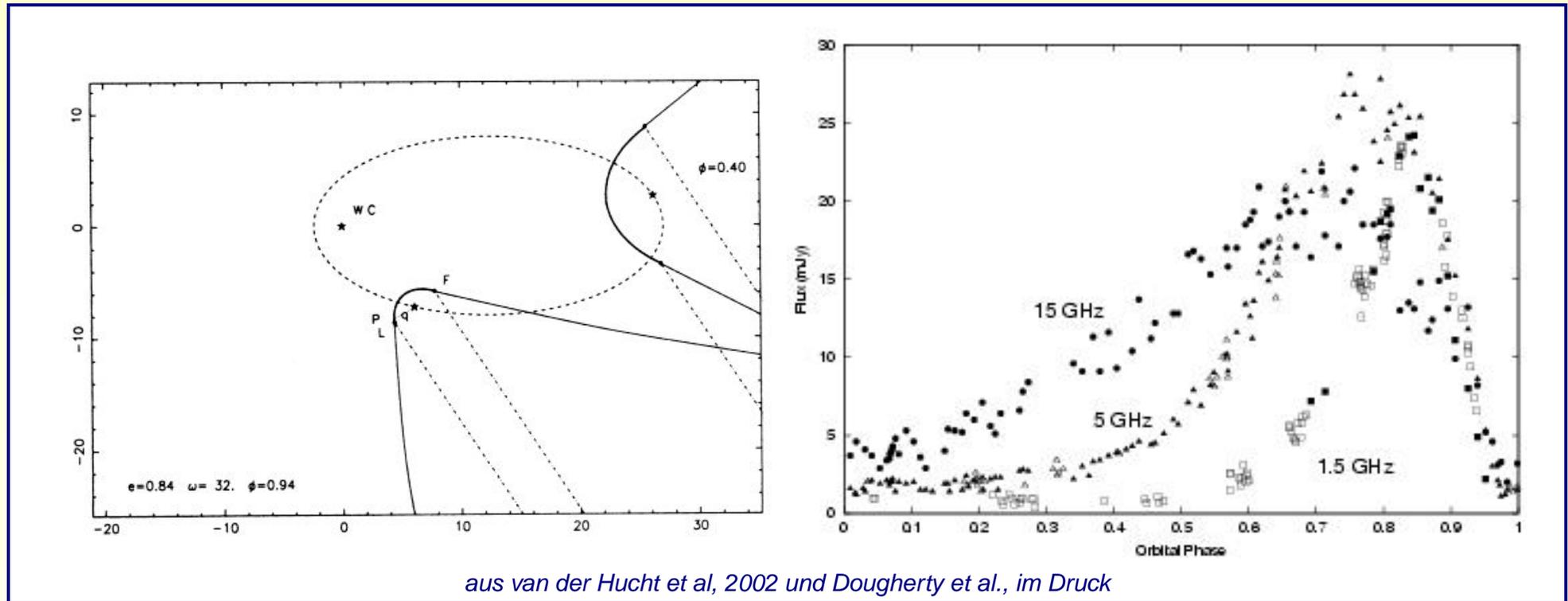
- Windmodell eines ca. B4-Hauptreihensterns:
- Sehr nah am Stern Winddichte hoch genug, keine Fraktionierung
- Weiter außen im Vergleich zu Ein-Komponenten-Modell starke Heizung des Windes
- Photonenenergie, die im Ein-Komponenten-Modell den Wind beschleunigt, wird im Mehr-Komponenten-Modell thermalisiert.

Rückfall nichtbeschleunigter Windfraktionen



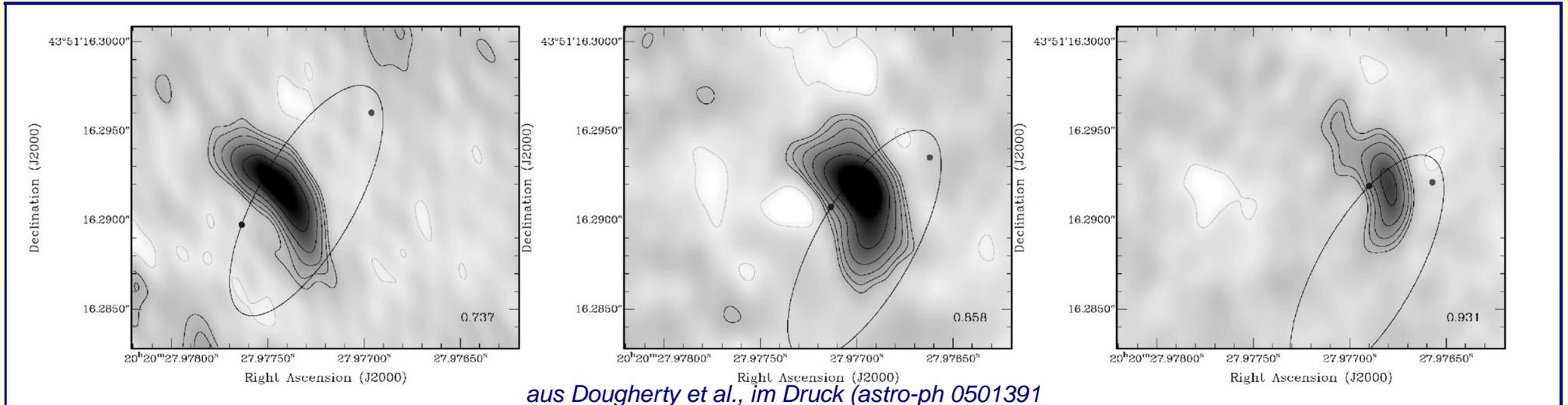
- Windmodell eines ca. B5-Hauptreihensterns:
- Wasserstoff und Metalle im Wind entkoppelt, Geschwindigkeitsdifferenz beider Fraktionen wird so groß, dass Reibungsheizung ineffizient
- Wasserstoff wird gar nicht mehr beschleunigt sondern durch Gravitation abgebremst und fällt schließlich auf den Stern zurück.
- Windfraktionierung im Zusammenspiel mit Magnetfeldern erklärt einige der chemischen Peculiaritäten, die in A-Sternen vorkommen können.

Wind-Wind-Kollision in Wolf-Rayet-Doppelsternen



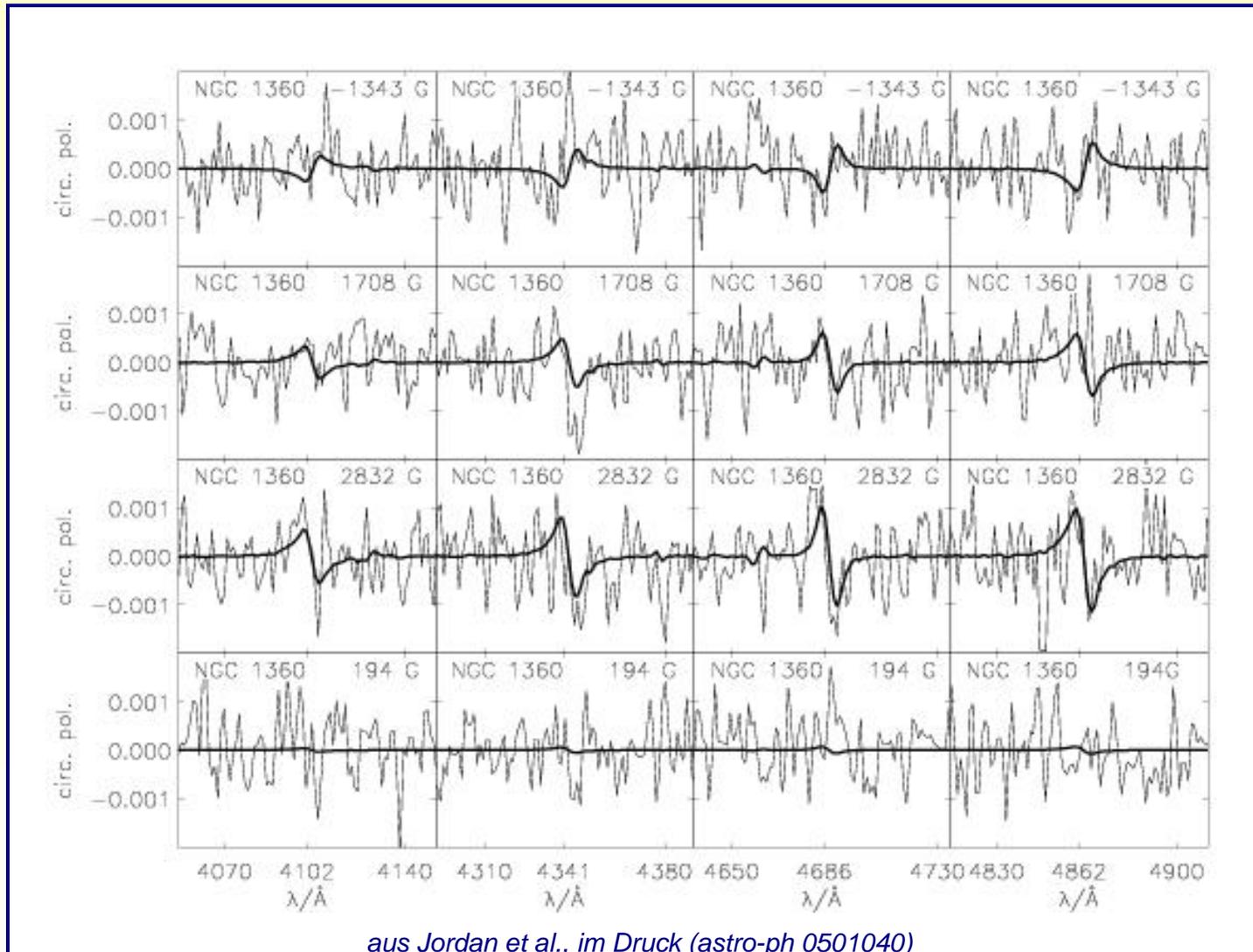
- WR140, ein WC7+O4-5 Doppelstern mit $P = 2900$ d und exzentrischer Bahn ($e = 0.85$)
- Im Periastron Staubbildung und starker Anstieg der kurzwelligen Radio und IR-Helligkeit.
- Auch phasenabhängige langwellige Radioemission durch kollidierende Winde.

Wind-Wind-Kollisionsfronten



- Radiokarten mit dem VLB-Array mit Millibogensekunden Auflösung (Auswahl von 23 Karten)
- Mit Hilfe der Messungen neuere Lösung der Bahnelemente, in Karten eingezeichnet.

Magnetische Felder in Zentralsternen planetarischer Nebel

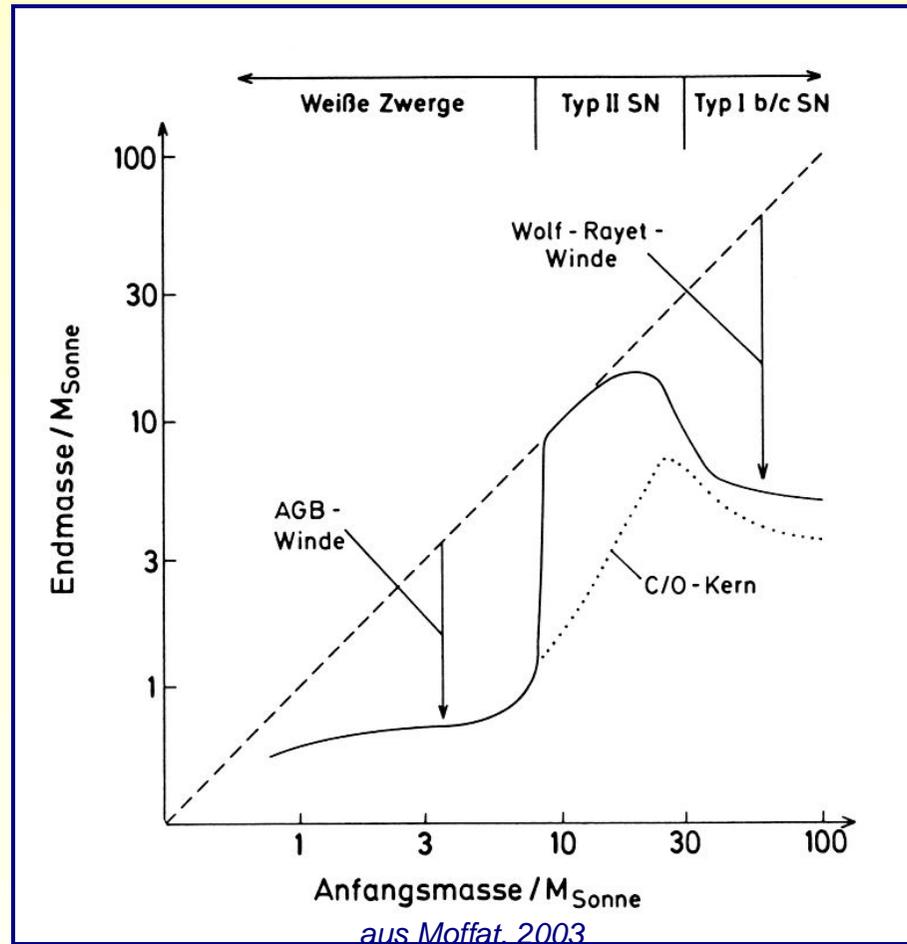


- Polarisationsignatur in Spektren von Zentralsternen planetarischer Nebel.

Strukturbildung in Planetarischen Nebeln

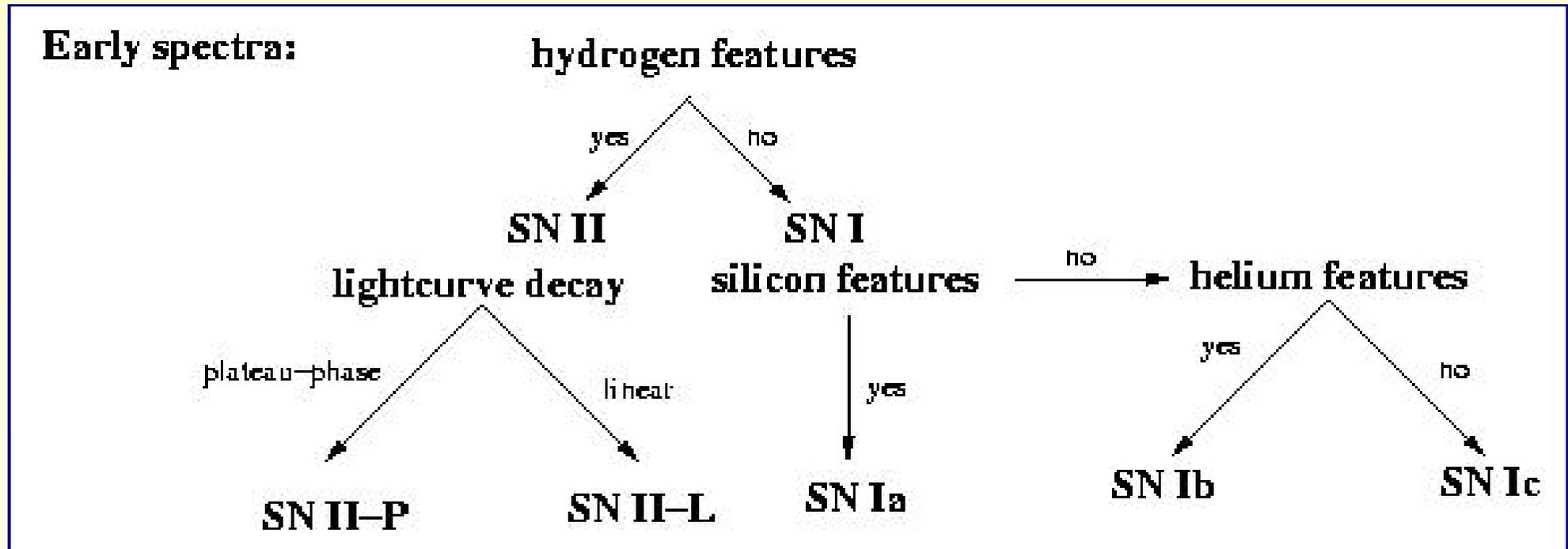
- Durch Jordan et al. erstmals Nachweis magnetischer Felder in Zentralsternen planetarischer Nebel. In diesem Fall Weiße Zwerge, keine ZSPN-WR-Typen
- Autoren sehen darin Bestätigung für die Bedeutung von Magnetfeldern bei der Formgebung der Nebel (astro-ph 0501040).
- N. Soker argumentiert dagegen, dass Magnetfelder einzelner Sterne nicht genug Energie hätten, um beobachtete Strukturen zu bilden.
- Beobachtete Felder in AGB-Sternen seien lokaler Natur, nicht global.
- Hauptbeitrag zur Formgebung planetarischer Nebel durch Begleiter in Doppelsternen (astro-ph 0501647).
- Vorab-Veröffentlichungen erscheinen oft im astro-ph Archiv, erreichbar unter z.B. <http://xxx.uni-augsburg.de/archive/astro-ph>

Anfangs- und Endmassen der Sternevolution



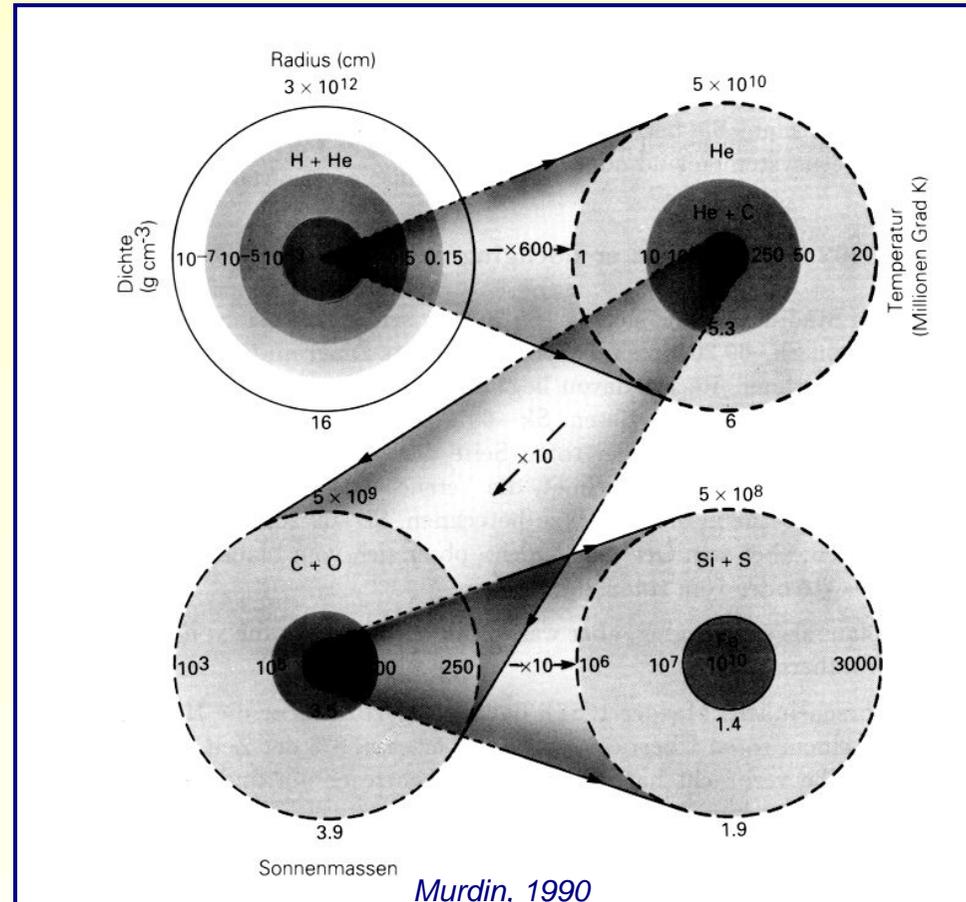
- Einzelsterne oberhalb ca. $8M_{\odot}$ auf der ZAMS enden als Supernovae.
- Massenverlust durch WR-Sterne oberhalb von ca. $M_{ZAMS} = 30 M_{\odot}$ führt zu Supernovatyptyp I.

Klassifikation der Supernovae



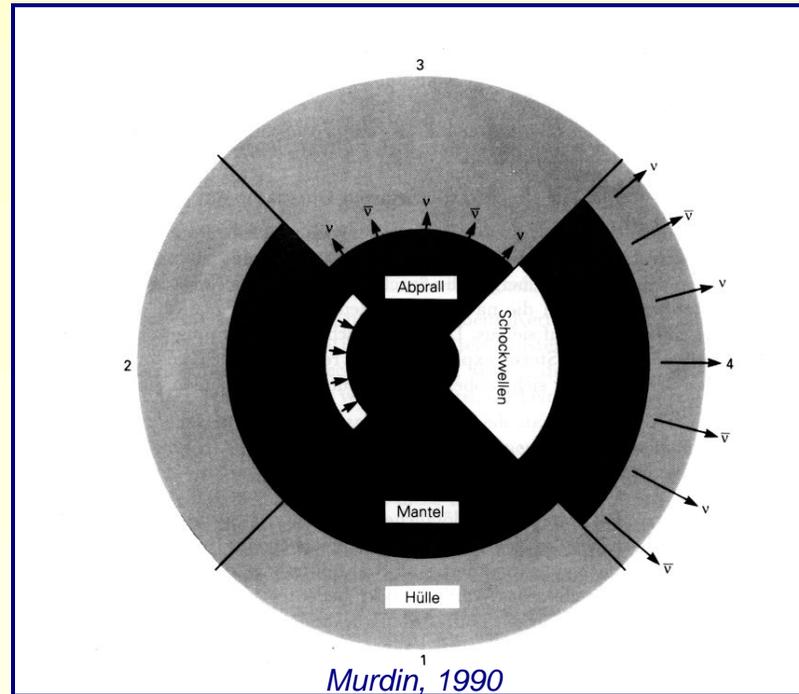
- Typ II: “core collapse supernovae” ohne vorausgegangene Wolf-Rayet-Stadium, d.h. mit mittlerer ZAMS-Masse
- Typ Ia durch explosiven Carbon-Flash in Doppelsternen mit Massenübertrag. Runaway-Sterne sind oft übriggebliebene Begleiter.
- Typen Ib und Ic am Ende eines massiven Einzelsterns $> 30 M_{sun}$, ähnlich Typ II, aber nach Wolf-Rayet-Stadium

Stellarer “Massenverlust” explosiv: Supernovae



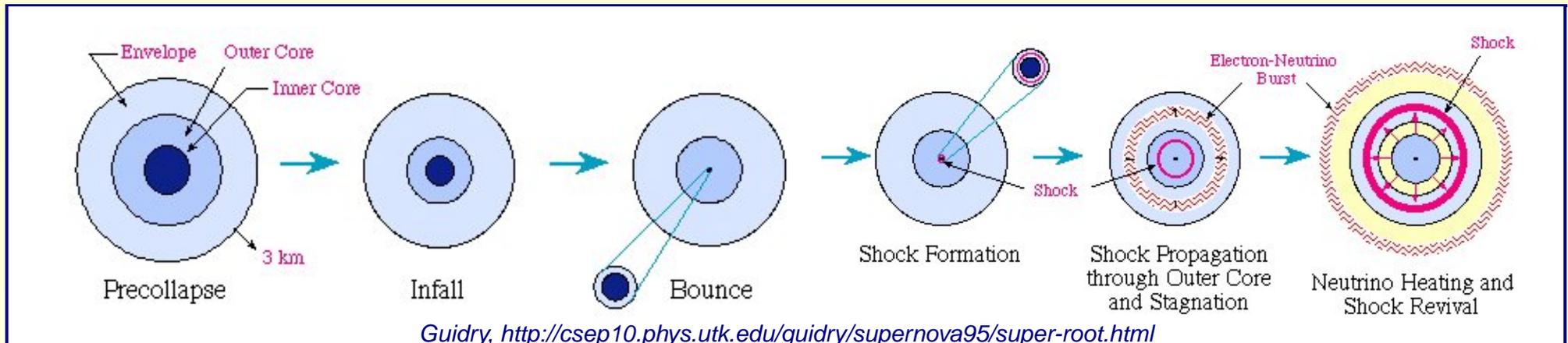
- Innere Struktur eines prä-SN Sterns (SN-Typ II, d.h. Einzelstern mittlerer Masse).
- Radius ca. $50R_{\odot}$, Masse $16M_{\odot}$. Äußerste Schichten enthalten noch immer Wasserstoff und Helium, darunter zunehmend Fusionsprodukte.

Kernkollaps



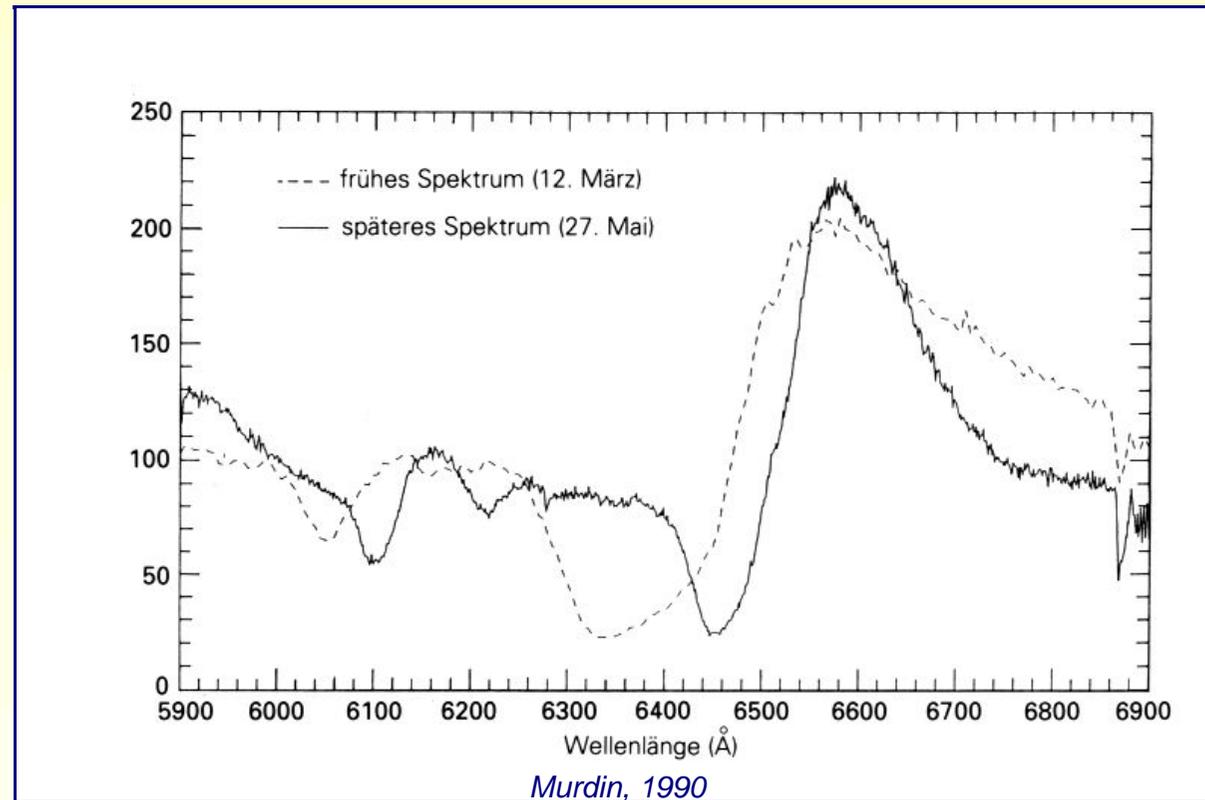
- Die hydrostat. Zeitskala im inneren Kern sehr kurz im Bereich von zehntel Sekunden. Zum Vergleich: Hydrostat. Zeitskala der Sonne etwa 27 Minuten.
- Der Kollaps beginnt, wenn der nichtbrennende Fe-Kern mehr als die Grenzmasse hat.
- Kollaps wird beschleunigt durch Elektroneneinfang bei Nukleosynthese, z.B. durch Ne oder Mg, und wenn Kerne Photo-desintegrieren. In beiden Fällen entkommt Energie aus dem Kern über Neutrinos (ca. 50% der Kollapsenergie).

Entwicklung der Stoßfront



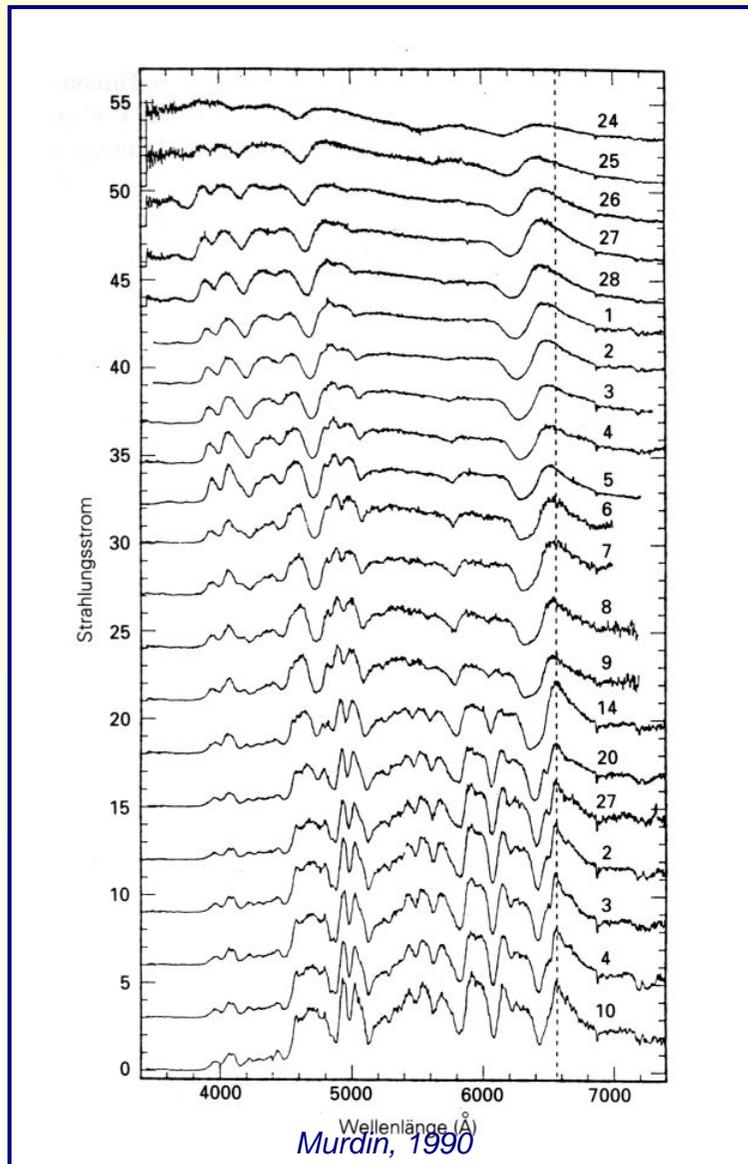
- Die Stoßfront ist von sich aus nicht stark genug, die Hülle auseinanderzutreiben, sie stagniert im äußeren Kern.
- Die Neutrinos aus den Nuklearprozessen heizen die Stoßfront wieder auf, sie expandiert weiter.
- Mehr oder weniger Standardmodell, produziert aber je nach Modellrechnung nicht genug Explosionsenergie, oder Stoßfront bleibt sogar zu schwach, so dass es gar keine Explosion gibt.

P Cygni-Linien einer Supernova (1987A, Typ II)



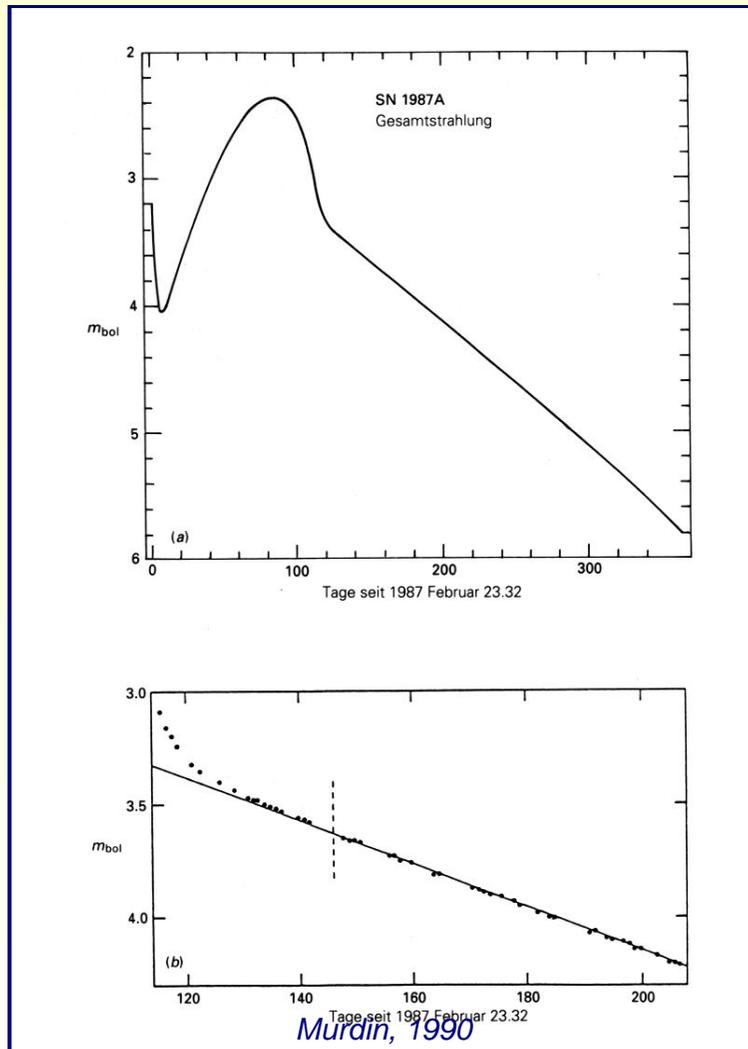
- Die nach dem Kernkollaps zurückprallenden Schichten der Schockwelle erreichen Expansionsgeschwindigkeiten bis zu einigen zehntausend km/s.
- Das im weiteren Verlauf langsamere Absorption zu sehen ist, bedeutet nicht Abbremsung, sondern schnell expandierende Schichten wurden optisch dünn.

Spektroskopische Stadien der Supernova 1987A



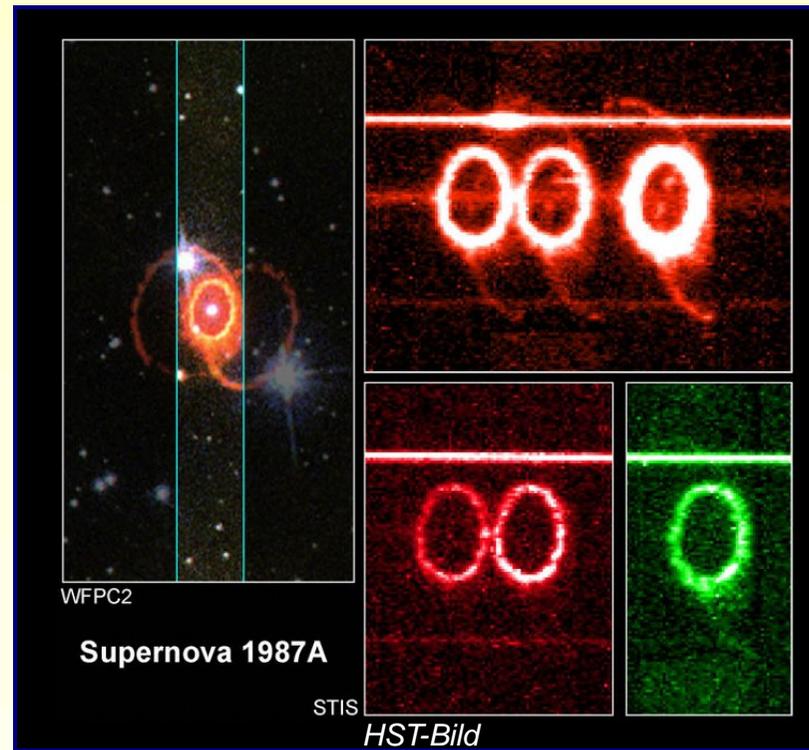
- Anfänglich fast nur Kontinuumsspektrum, Spektrallinien bilden sich erst nach einigen Tagen deutlich aus.
- Typ II-Supernova, d.h. Wasserstofflinien dominant, Wellenlänge von $H\alpha$ markiert. Balmerreihe deutlich sichtbar.
- Im weiteren Verlauf, gezeigt sind die ersten zwei Monate, dann auch Linien anderer Ionen, z.B. NaI.
- Aufgrund hoher Linienbreite fast alle spektralen Profile blends, nicht einem einzelnen Ion zuschreibbar.
- Aus dem Kontinuumsverlauf abgeschätzte Temperatur ca. 11 000 K in den ersten Tagen, sink auf ca. 5000–6000 K nach einigen Tagen und bleibt einige hundert Tage über 4000 K.

Photometrie der Supernova 1987A



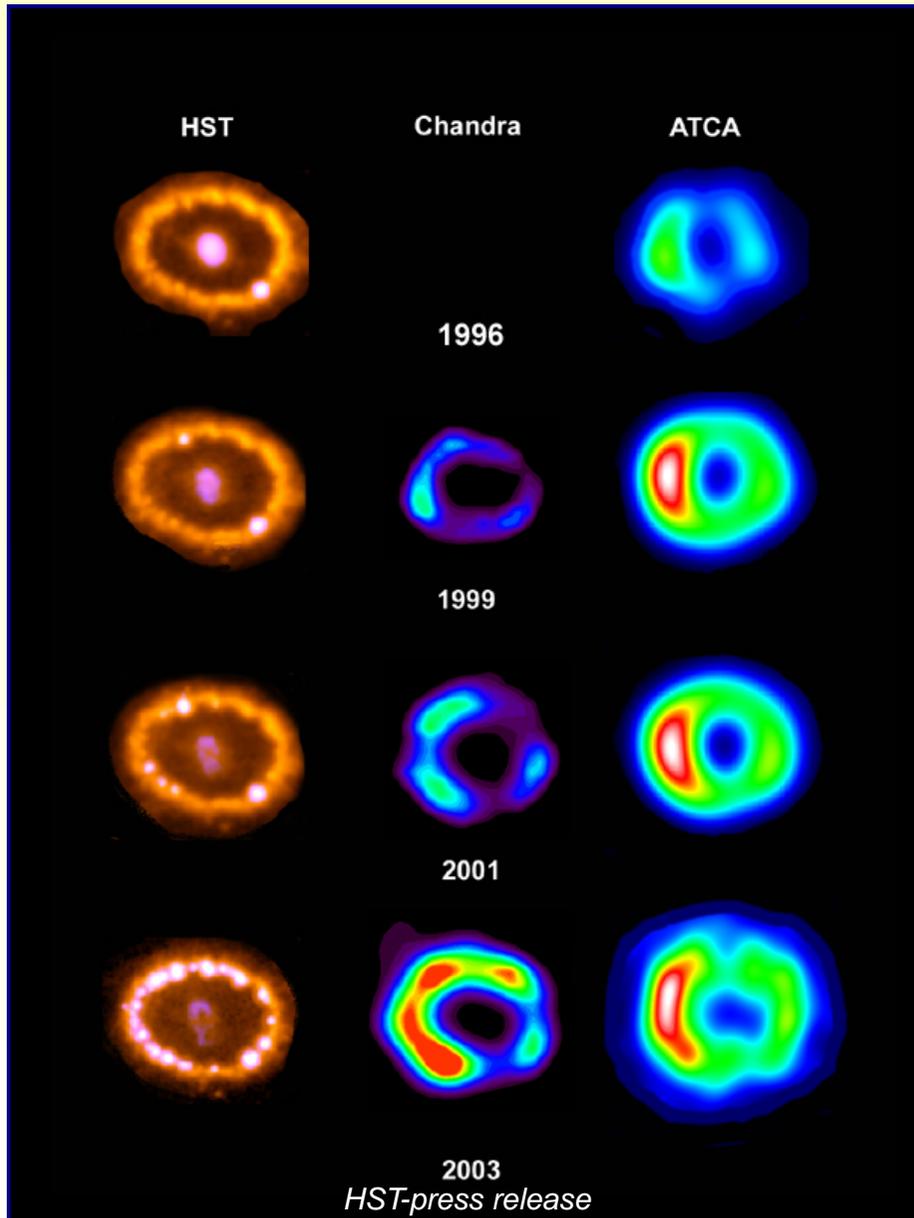
- Lichtkurve sehr ungewöhnlich, Abfall zu Beginn und Wiederanstieg zuvor nicht beobachtet
 - Nach dem Abkühlen stammt Energie für Lichtkurve fast ausschließlich aus dem Zerfall der entstandenen radioaktiven Elemente. (Linearität der Lichtkurve zeitweise besser als 5%)
- Hinweis, dass in SN1987A keine weitere Energiequelle verborgen ist (also kein Pulsar o.ä.).
- Hauptbeitrag liefert Nickel $^{56}\text{Ni}_{28}$ und dessen Zerfallsprodukt Kobalt $^{56}\text{Co}_{27}$ mit Halbwertszeiten von 6.1 und 77 Tagen. Endprodukt ist $^{56}\text{Fe}_{26}$
 - Etwa $0.08M_{\odot}$ radioaktives Nickel erzeugt, hauptsächlich innerhalb der Silizium-Schale.

Wind des Vorgängers



- Bipolare Struktur um SN 1987 durch Wind des Vorgängersterns Sk-69 202 entstanden
- Dynamisches Alter der Ringe ca. 30 000 Jahre
- Aufleuchten der Ringe durch Strahlungsanregung durch SN-Strahlung
- Besondere Art von zirkumstellarer Struktur?

Kollision der Ejecta mit dem vorherigen Wind



- Innerer Ring besteht aus vorherigem Windmaterial, durch Strahlung der SN angeregt
- Mittlerweile, 15 Jahre nach der Explosion, treffen die ersten materiellen Ejecta auf den Ring, leuchtet durch Stoßwellen bei Kollision auf.
- Schon im visuellen sichtbar, aber im Röntgenbereich sehr viel ausgeprägter.

Ein Kandidat?



- Sher 25 in NGC 3603, einer 30 Doradus ähnlichen Region der Milchstraße.
- Vorgänger der SN 1987A, Sk-69 202, war Typ B3I, Sher 25 ist Typ B1.5 Ia.
- Ringe haben ähnliche Dimension und Chemie, d.h. Stickstoff stark überhäufig.
- Einige Astronomen wetten auf Sher 25 als nächste Supernova in der Milchstraße!