

# Stellare Spektralklassifikation

# Literatur

- Die Bibel: „**The Classification of Stars**“, C. Jaschek & M. Jaschek, 1987, Cambridge University Press
- Proceedings: **The MK process at 50 years. A powerful tool for astrophysical insight**  
**Astronomical**, Proceedings of a Workshop of the Vatican Observatory, held in Tucson Arizona, USA, September 1993, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific (ASP), 1994, edited by Chris Corbally, R. O. Gray, and R. F. Garrison
- Linkliste, Kataloge etc:  
<http://www.ucm.es/info/Astrof/invest/actividad/spectra.html>



„Pickering's Harem“ (Harvard, ca. 1870 bis 1920): O-B-A-F-G-K-M



**Antonia Maury (1866 - 1952):**  
hat 1897 zum ersten Mal „peculiar  
stars“ publiziert



**Annie Jump Cannon (1863 - 1941):**  
Definition von Leuchtkraftklassen,  
Temperaturskala und spektralen Linien,  
Henry Draper Katalog



**Cecilia Payne-Gaposchkin (1900 - 1979):** erste Frau, die in Harvard eine Doktorarbeit in Astronomie (quoted as „the most brilliant Ph.D. thesis ever written in Astronomy“) *verfassen durfte* (1925). Im Jahre 1956 die erste Frau, die „Full Professor“ und „Chair(wo)man of the Astronomical Department“ in Harvard wurde.

- Linienstärken versus Spektraltyp
- Metallizitäten in der Sonnenumgebung
- Pulsationstheorie
- Standardfarben für Sterne
- Atomphysik für stellaren Aufbau
- Sternmodelle

# Grundlegende Klassifikation I

- Zu bestimmende Parameter:
  1. Spektraltyp (Temperatur)
  2. Leuchtkraftklasse ( $\log g$ , Alter)
  3.  $v \sin i$  (Rotation)
  4. [Metallizität]
- Wie?
  1. Linienstärken
  2. Linienverhältnisse
  3. Linienbreiten
- Warum?
  1. Sehr effizient
  2. Gut getestet

# Grundlegende Klassifikation II

- Methoden:
  1. Manuell
  2. Numerisch: Neurale Netzwerke, minimale sigma Verfahren, etc., siehe z.B. Diplomarbeit F. Schierscher
- Rüstzeug
  1. Erfahrung
  2. Übung
  3. Guter und ausreichender Satz an Standardspektren
- Statistischer Fehler
  1. Manuell: +-1 Unterklasse
  2. Numerisch: ???

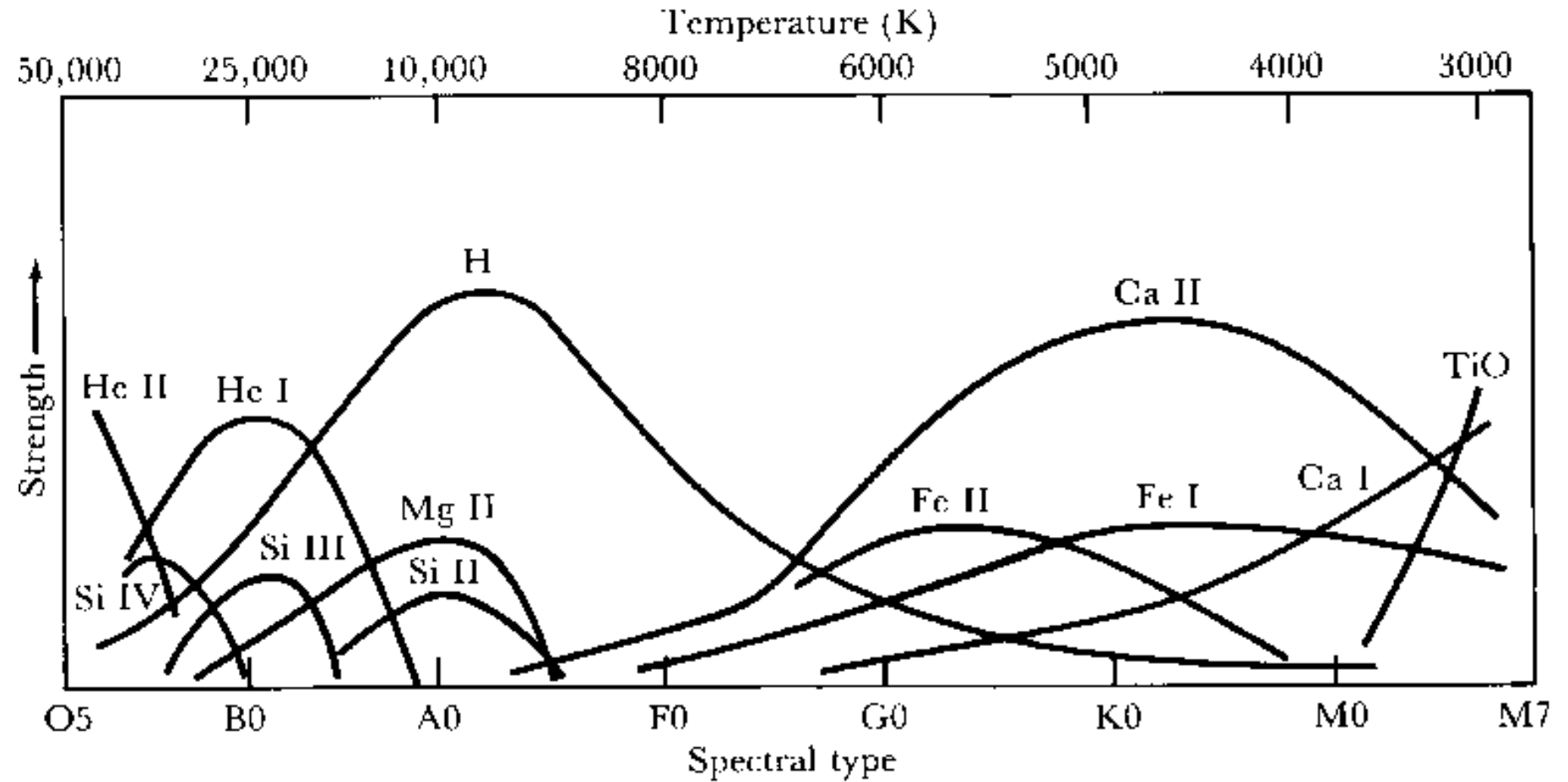
# Übliche Notationen I

- O-B-A-F-G-K-M-(-R-N) [Yerkes = MK Klassifikation]
- „Offizielle Unterklassen“
  - O: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9.5
  - B: 0, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9.5
  - A: 0, 2, 3, 5, 7
  - F: 0, 2, 3, 5, 7, 8, 9
  - G: 0, 2, 5, 8
  - K: 0, 2, 3, 4, 5
  - M: 0, 1, 2, 3, 4, 7, 8
- Leuchtkraftklassen: V, Va, Vb, IV, .....
- Für diese Unterklassen wurden „offizielle“ Standardsterne definiert



# Übliche Notationen II

- Die Unterklassen wurden beliebig erweitert, siehe z.B. Gray, 1989, AJ 89, 1049
- Zusätzliche Attribute: n, nn, e, weak, st...
- Speziell für B/A/F Sterne: z.B. hA0kA5mA3 V bedeutet die Wasserstofflinien (h) haben die Stärke wie in einem A0 Standardstern, CaH&K (k) A5 und die Metalllinien (m) A3
- Achtung: unterschiedliche Arbeitsgruppen verwenden unterschiedliche Standardsterne



Freedman & Kaufmann, 2002, *Universe*, Sixth Edition, Freeman Company

## ● Auflösung: $A = \lambda / \Delta\lambda$

1. Photometrie: U (3600Å, 700Å, 5), B (4350, 1000, 4), V (5550, 900, 6), u (3500, 340, 10), v (4100, 200, 21), b (4700, 160, 29), γ (5500, 240, 23)
2. Klassifikationsspektroskopie:
  - „Very low“: 2000 - 400Å/mm = 30 - 6Å/pixel (140 - 700)
  - „Low“: 400 - 120Å/mm = 6 - 1.8Å/pixel (700 - 2330)
  - „Classification“: 120 - 80Å/mm = 1.8 - 1.2Å/pixel (2330 - 3500)
  - „Intermediate“: 80 - 20 Å/mm = 1.2 - 0.3Å/pixel (3500 - 14000)

Zur Umrechnung: CCDs haben eine „typische“ Pixelgröße von  $15\mu\text{m} = 0.015\text{ mm}$ , d.h.  $1\text{ Å/mm} = 0.015\text{ Å/pixel}$ , für die Berechnung der Auflösung  $A$  wurde eine Wellenlänge von  $4200\text{Å}$  verwendet

# Verbreiterung im Spektrum I

- Instrumentenprofil bestimmt durch die Auflösung:

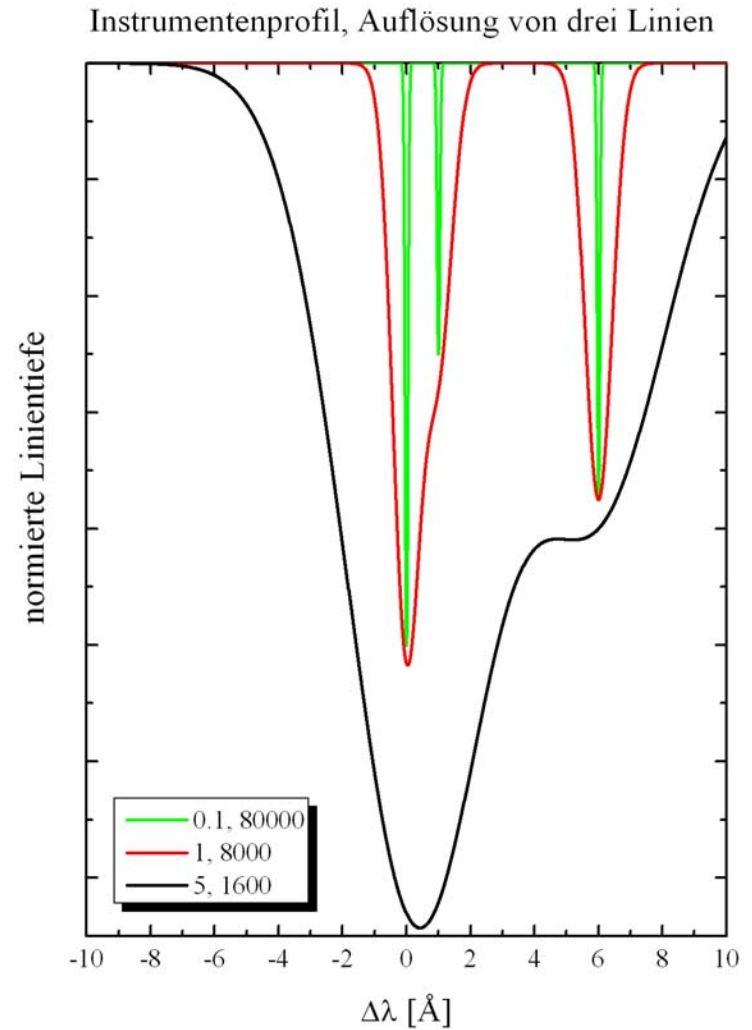
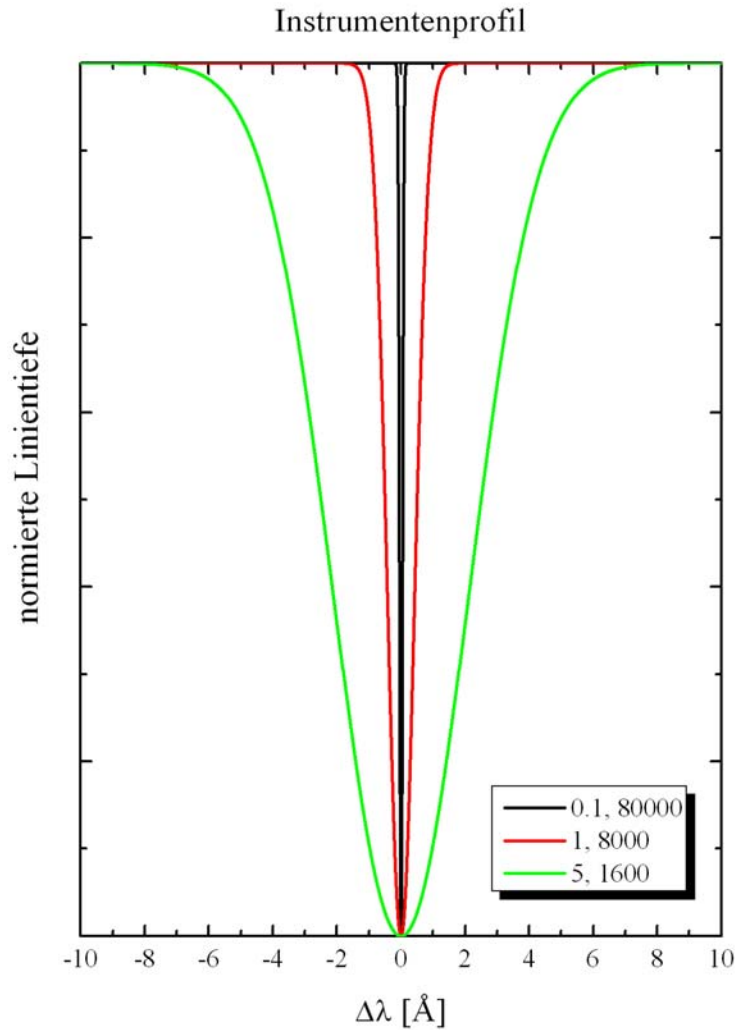
$$IP(\Delta\lambda) = \exp\left[-0.5\left(\frac{(\lambda - \Delta\lambda)}{\sigma}\right)^2\right] \text{ mit } \sigma = \frac{FWHM}{2.355}$$

- Rotationsverbreiterung:

$$RP(\Delta\lambda) = c_1 \sqrt{x} + c_2 x \text{ mit } x = 1 - \left(\frac{\Delta\lambda}{\Delta\lambda_L}\right)^2$$

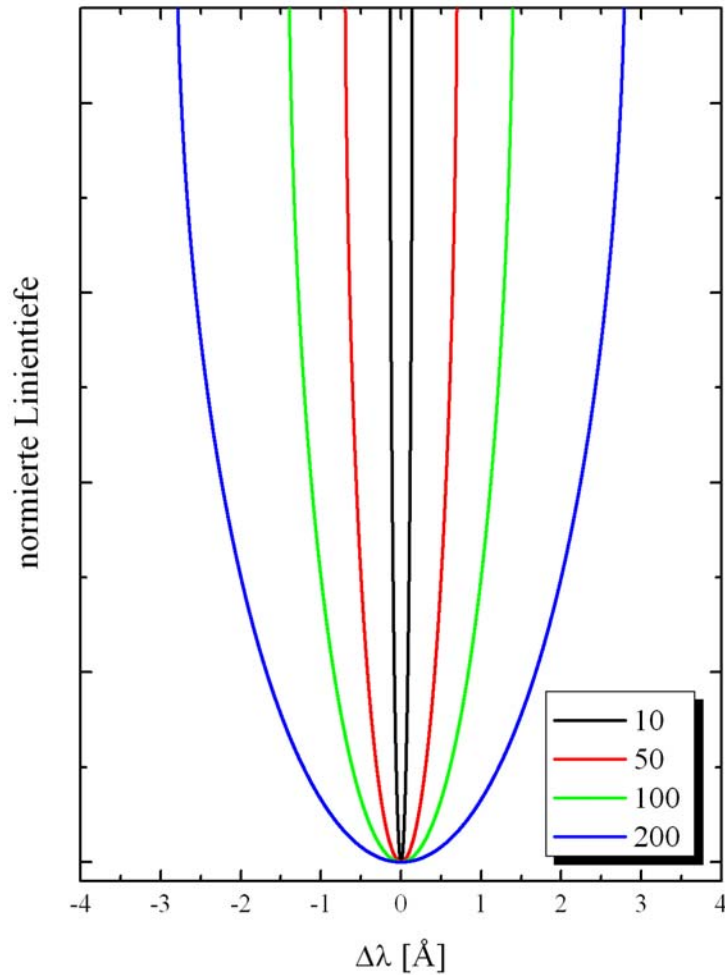
$$\Delta\lambda_L = \lambda \frac{v \sin i}{c}$$

# Verbreiterung im Spektrum II

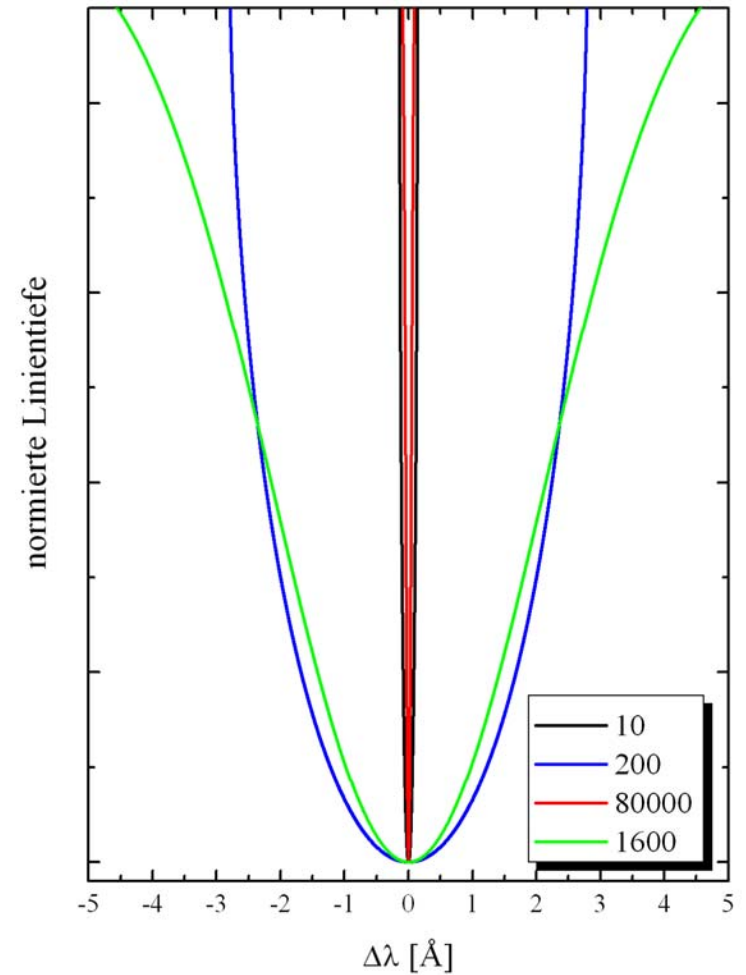


# Verbreiterung im Spektrum III

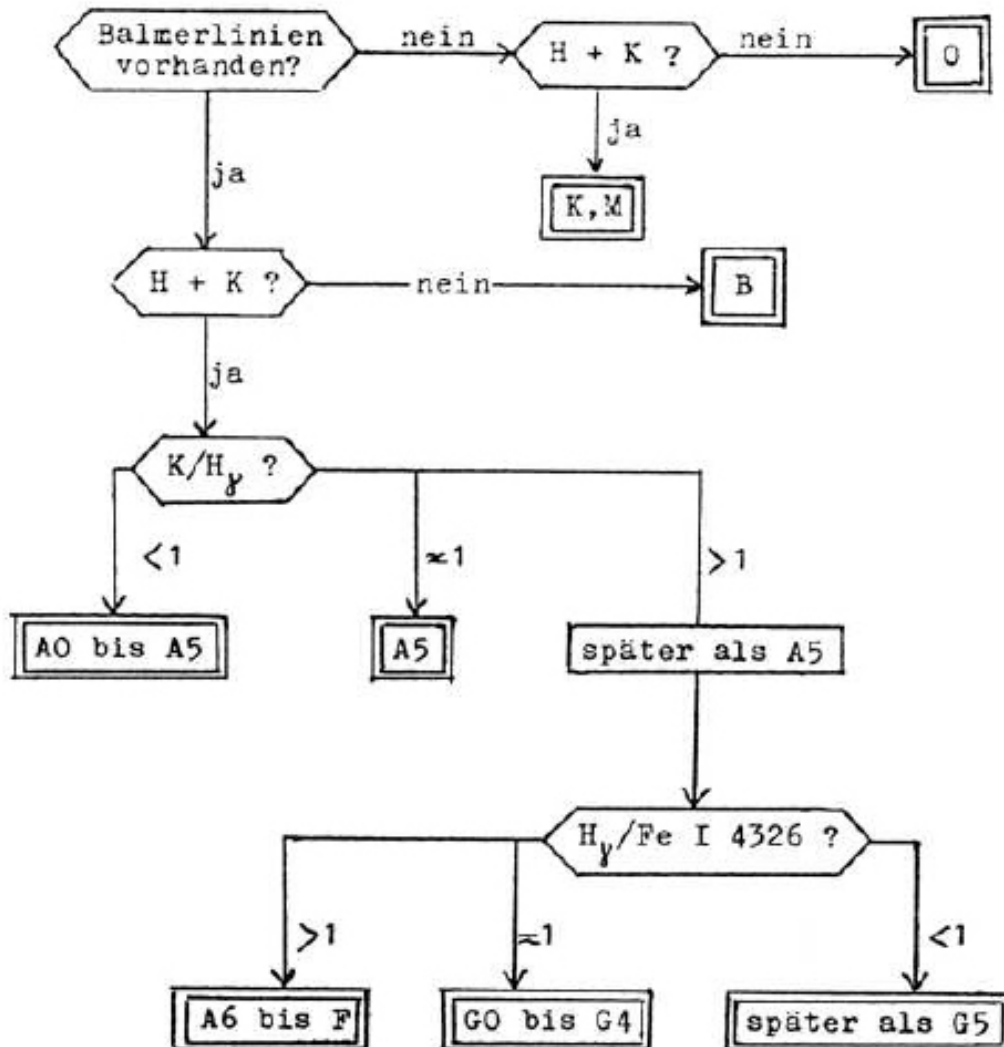
Rotationsprofil



Rotationsprofil und Instrumentenprofil



# Klassifikationsmethode I



Kochrezept aus  
Voigt, Abriss  
der Astronomie

# Klassifikationsmethode II

## B-Sterne

Keine Linien von Hell, Hel hat Maximum bei B2.

Spektraltyp	B0-B2 B3 B5-B8 B8-B9	Verhältnis SiIII $\lambda 4552$ / SiIV $\lambda 4089$ SiIII $\lambda 4128-30$ / Hel $\lambda 4121$ SiIII $\lambda 4128-30$ / Hel $\lambda 4144$ MgII $\lambda 4481$ / Hel $\lambda 4471$
Leuchtkraftklasse	B0 B2  B5 B6-B9	SiIII+Hel $\lambda 4119$ / Hel $\lambda 4144$ NII $\lambda 3995$ / Hel $\lambda 4009$ Hel $\lambda 4121$ / Hel $\lambda 4144$ MgII $\lambda 4481$ / Hel $\lambda 4471$ Profile der Balmerlinien (z.B. H $\gamma$ $\lambda 4340$ )

## A-Sterne

Keine Linien von Hel, Balmerreihe sehr stark (Maximum bei A2), viele Metalllinien (z.B. FeI, FeII, CrI, CrII, TiI, TiII), CaII H+K  $\lambda\lambda 3968, 3934$  nehmen mit abnehmender Temperatur an Stärke zu.

Spektraltyp	A0-A7 A5-A7 A3-F0	Verhältnis MgII $\lambda 4481$ / FeI $\lambda 4385$ MgII $\lambda 4481$ / FeI $\lambda 4416$ CaI $\lambda 4227$ / MgII $\lambda 4481$ FeI $\lambda 4045$ / Hel $\lambda 4471$
Leuchtkraftklasse	A0-A2 A3 A5-A7 A7-F0	Profile der Balmerlinien und von FeII $\lambda\lambda 4173-78, 4233$ FeII $\lambda 4416$ / MgII $\lambda 4481$ FeII $\lambda 3451$ / MgII $\lambda 4481$ SrII $\lambda 4215$ / CaI $\lambda 4226$

## F-Sterne

CaII H+K ( $\lambda\lambda 3968, 3934$ ) werden stärker als die Balmerlinien, Anzahl der Metalllinien weiterhin verstärkt, das "G-Band" bei ca. 4300 Å (CH) taucht auf. Klassifikationskriterien sind sehr von der Auflösung der Spektren abhängig, da oft Linien nicht getrennt sind. Die Typen F1, F4 und F9 sind selten besetzt.

Spektraltyp	Verhältnis FeII $\lambda 4045$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ MnI $\lambda 4030-34$ / SiII $\lambda 4128-32$ CaI $\lambda 4226$ / H $\gamma$ $\lambda 4340$ CaI $\lambda 4226$ / MgII $\lambda 4481$
Leuchtkraftklasse	SrII $\lambda 4077$ / FeI $\lambda 4045$ SrII $\lambda 4077$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ FeII $\lambda 4179$ / FeI $\lambda 4144$ SrII $\lambda 4216$ / CaI $\lambda 4227$ TiII $\lambda 4444$ / MgII $\lambda 4481$ BaII $\lambda 4554$ / MgII $\lambda 4481$

## G-Sterne

Metalllinien weiterhin bezüglich Anzahl und Intensität verstärkt (teilweise so stark wie die schwächer werdenden Balmerlinien). CN-Banden ( $\lambda\lambda 4216, 3883$ ) tauchen auf. Die Typen G1, G3, G4, G6, G7 und G9 sind selten besetzt.

Spektraltyp	G0-G4  ab G5	Verhältnis FeI $\lambda 4045$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ FeI $\lambda 4143$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ FeI $\lambda 4384$ / H $\gamma$ $\lambda 4340$ FeI $\lambda 4921$ / H $\beta$ $\lambda 4861$ CaI $\lambda 4226$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ CrI $\lambda 4254$ / FeI $\lambda 4250$
Leuchtkraftklasse		YII $\lambda 3983$ / FeI $\lambda 4005$ SrII $\lambda 4077$ / FeI $\lambda 4063$ SrII $\lambda 4077$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ SrII $\lambda 4216$ / CaI $\lambda 4226$ SrII $\lambda 4216$ / FeI $\lambda 4250$



# Klassifikationsmethode III

## K-Sterne

CaII H+K sehr stark, Balmerlinien schwach, Metallinien stark und zahlreich, CH sehr stark, CN verschwindet. Banden von TiO ( $\lambda\lambda 4954, 4761, 4626, 4584, 4422$ ) und MgH ( $\lambda 4780$ ) tauchen auf. Die Typen K1 und K8 sind selten bestz.

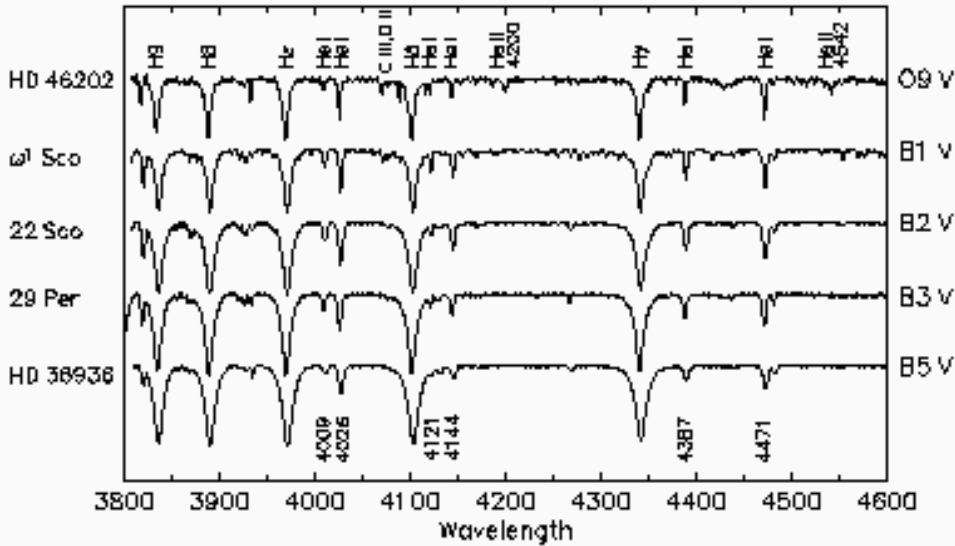
Spektraltyp	Verhältnis CrI $\lambda 4254$ / FeI $\lambda 4260$ TiI $\lambda 3999$ / FeI $\lambda 4005$ FeI $\lambda 4144$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ CaI $\lambda 4226$ / FeI $\lambda 4250$
Leuchtkraftklasse	SrII $\lambda 4077$ / FeI $\lambda 4063$ SrII $\lambda 4077$ / FeI $\lambda 4071$ SrII $\lambda 4216$ / FeI $\lambda 4271$ TiII $\lambda 4400$ / FeI $\lambda 4405$

## M-Sterne

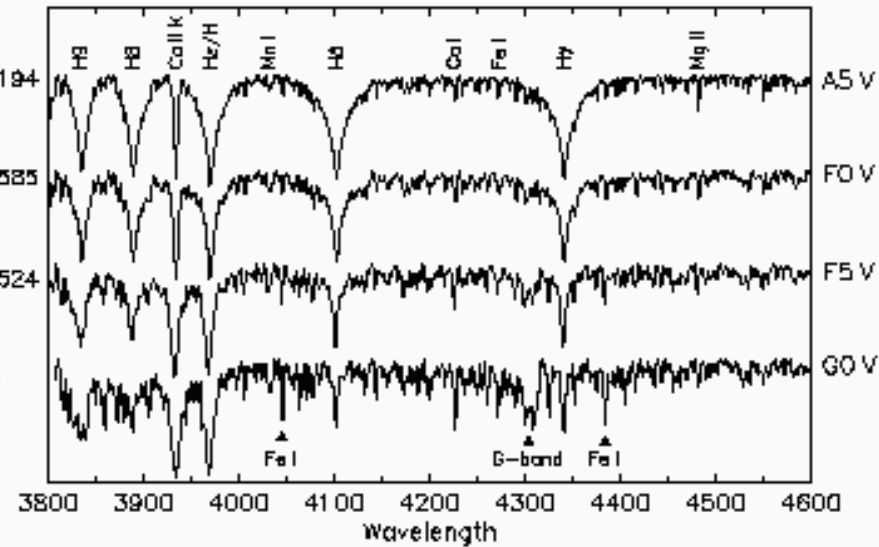
Metallinien stark und zahlreich, starke Absorption von TiO.

Spektraltyp	Intensitäten von TiO Banden bei $\lambda\lambda 4954, 5167, 7054, 7126$ ab M2 TiO Banden bei $\lambda\lambda 4584, 4761, 5448, 6158$ ab M3 TiO Banden bei $\lambda 4761$ saturiert ab M4 CaOH Band bei $\lambda 5500-5560$
Leuchtkraftklasse	Verhältnis SrII $\lambda 4077$ / FeI $\lambda 4263$ YII+FeI $\lambda 4376$ / FeI $\lambda 4383$ YII+FeI $\lambda 4376$ / CaI $\lambda 4226$ YII+FeI $\lambda 4376$ / CrI $\lambda\lambda 4254, 4274, 4290$

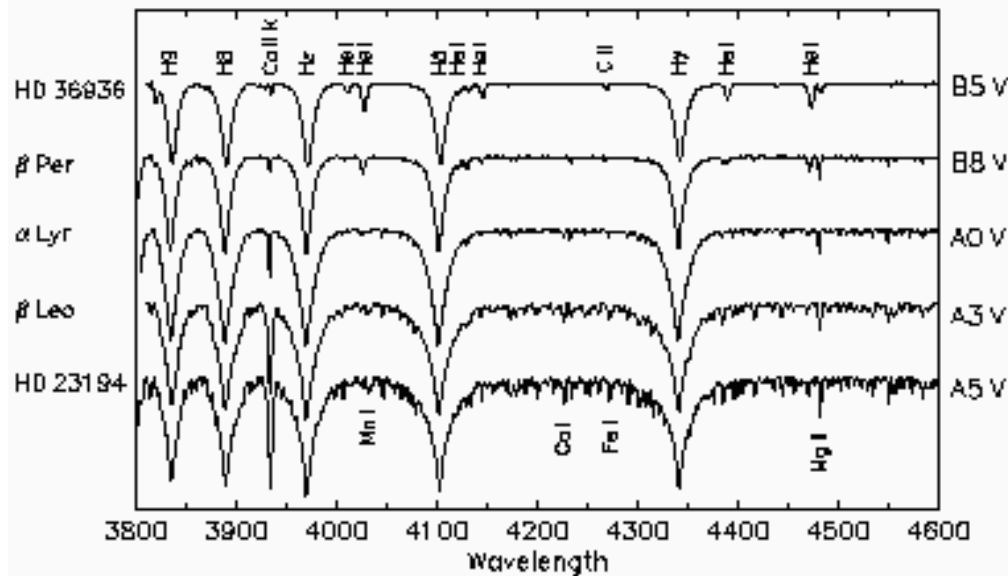
Main Sequence O9 – B5



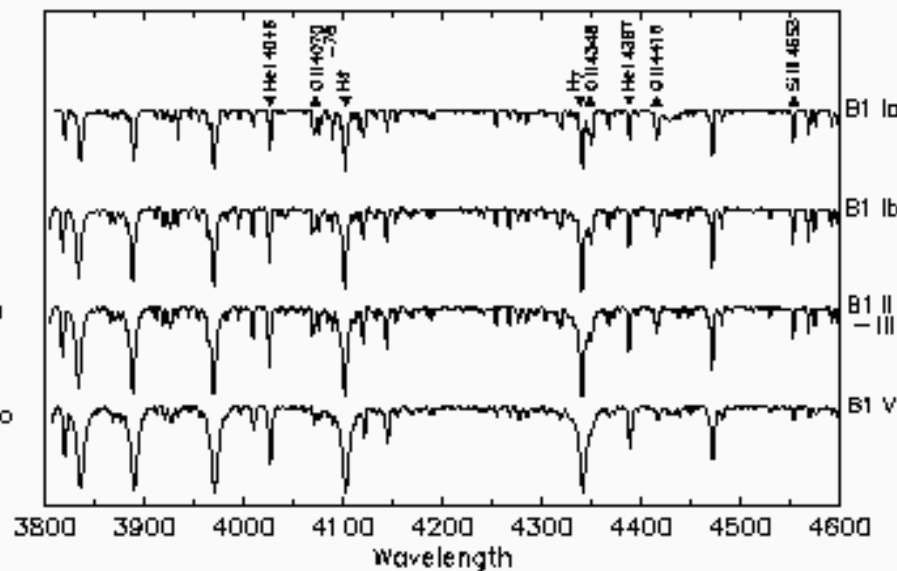
Main Sequence A5 – G0



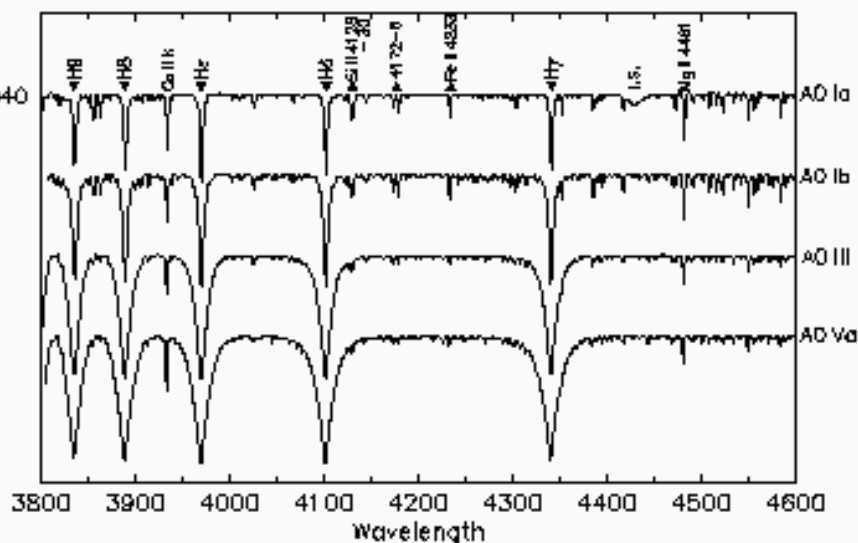
Main Sequence B5 – A5



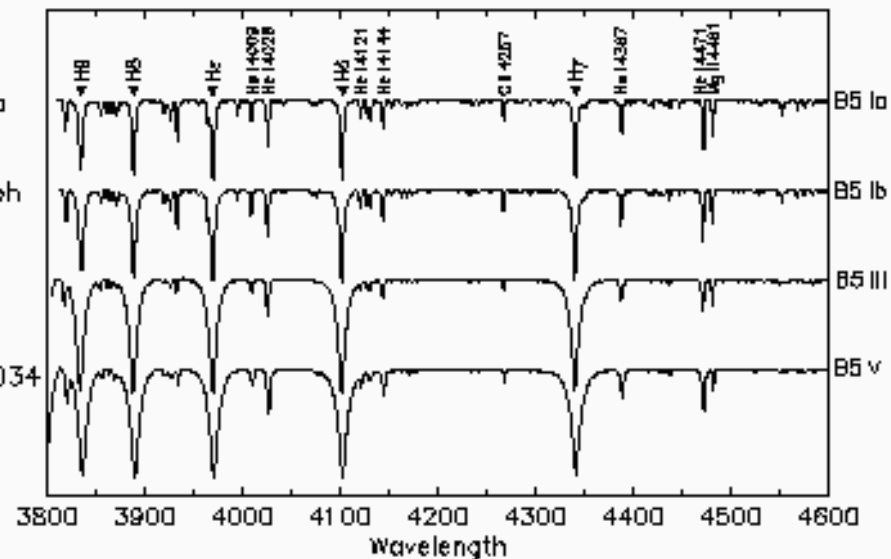
Luminosity Effects at B1



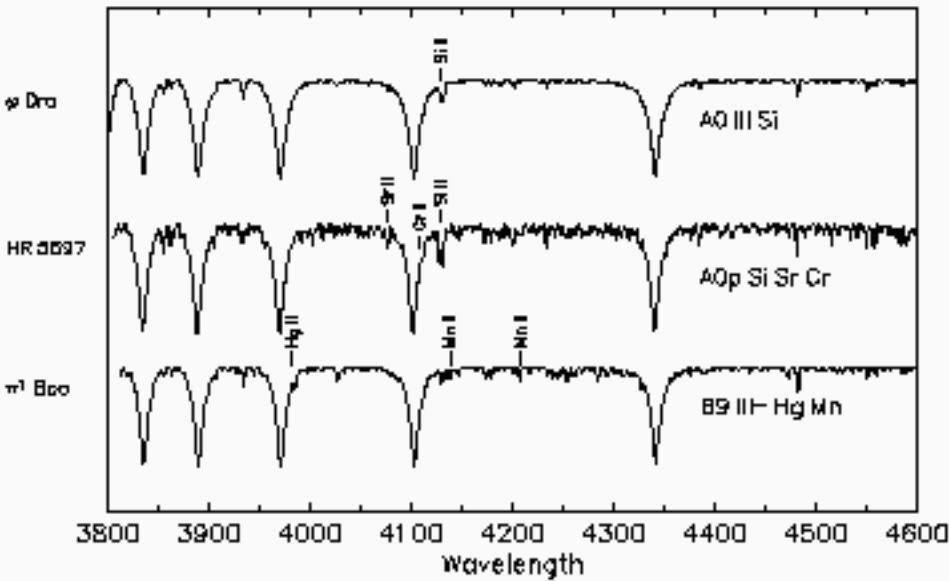
Luminosity Effects at A0



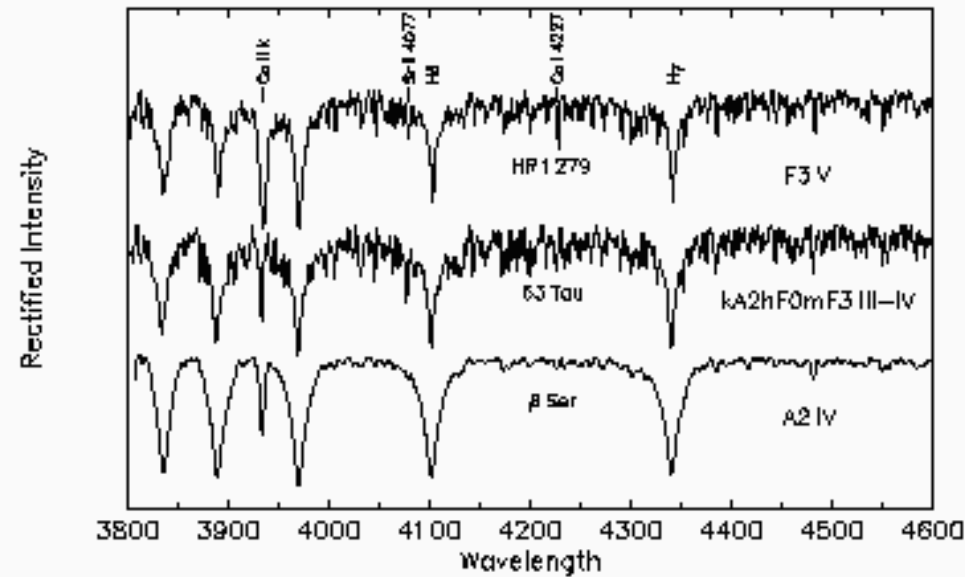
Luminosity Effects at B5



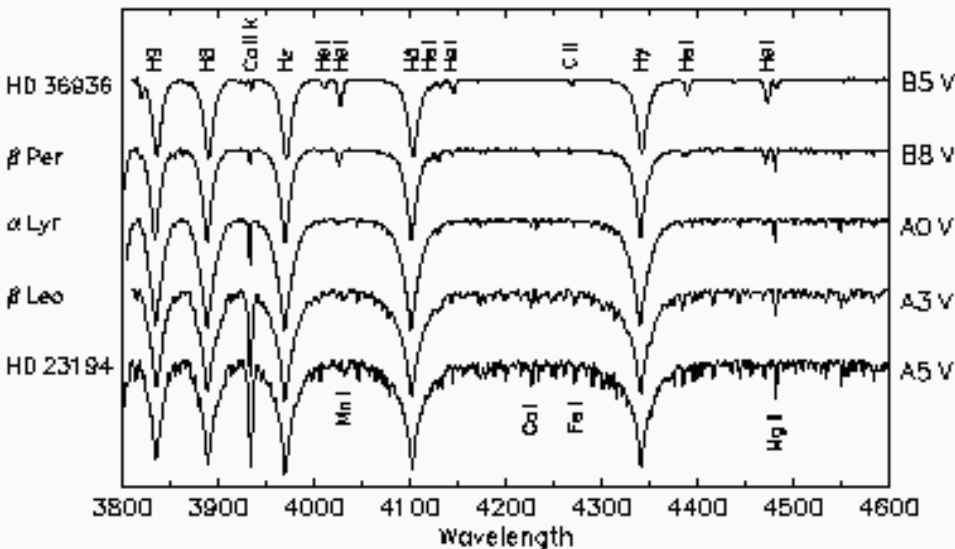
Peculiar Stars near AO



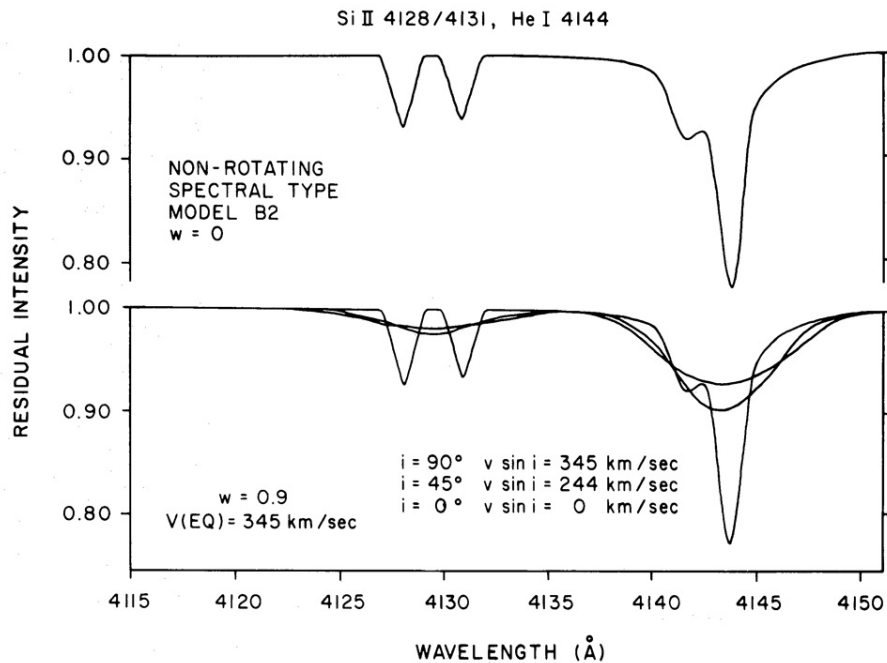
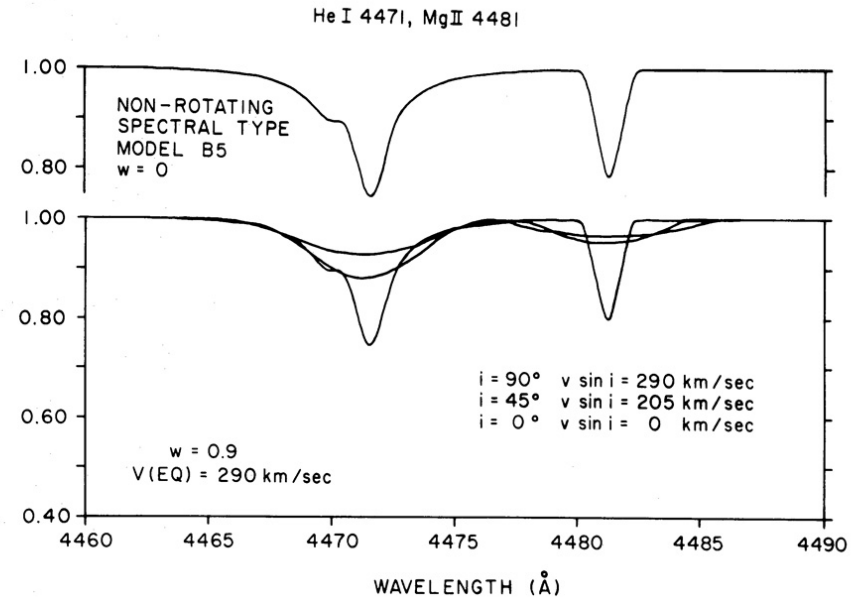
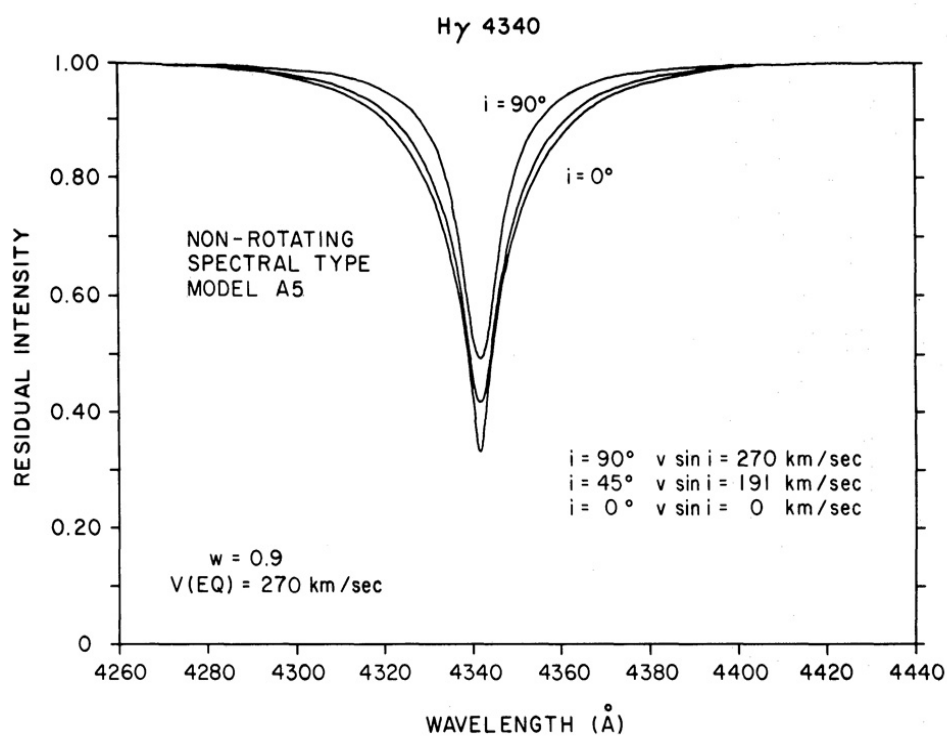
63 Tau: A Classical Am Star



Main Sequence B5 – A5

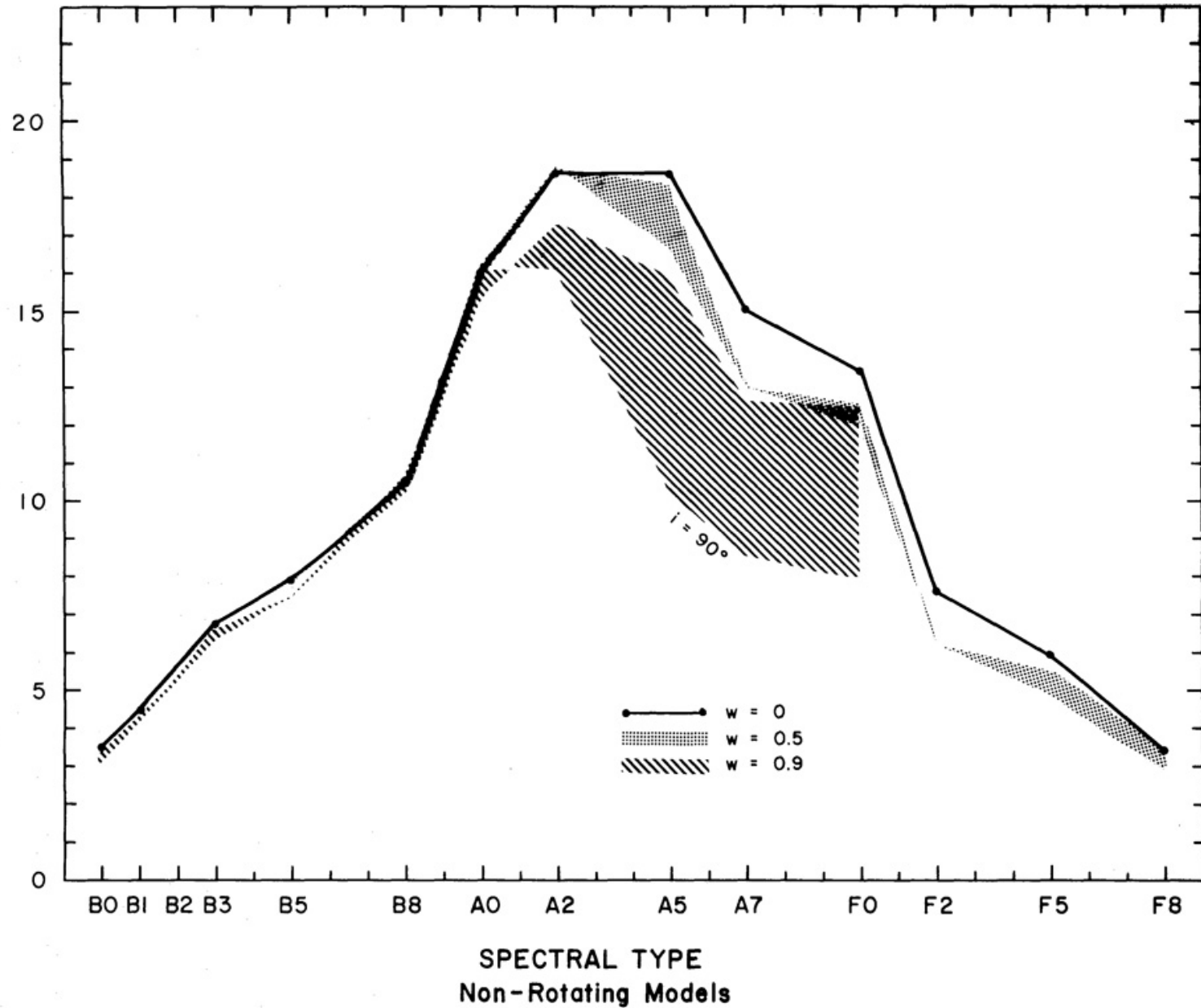


CP1, CP2 und CP3 Sterne

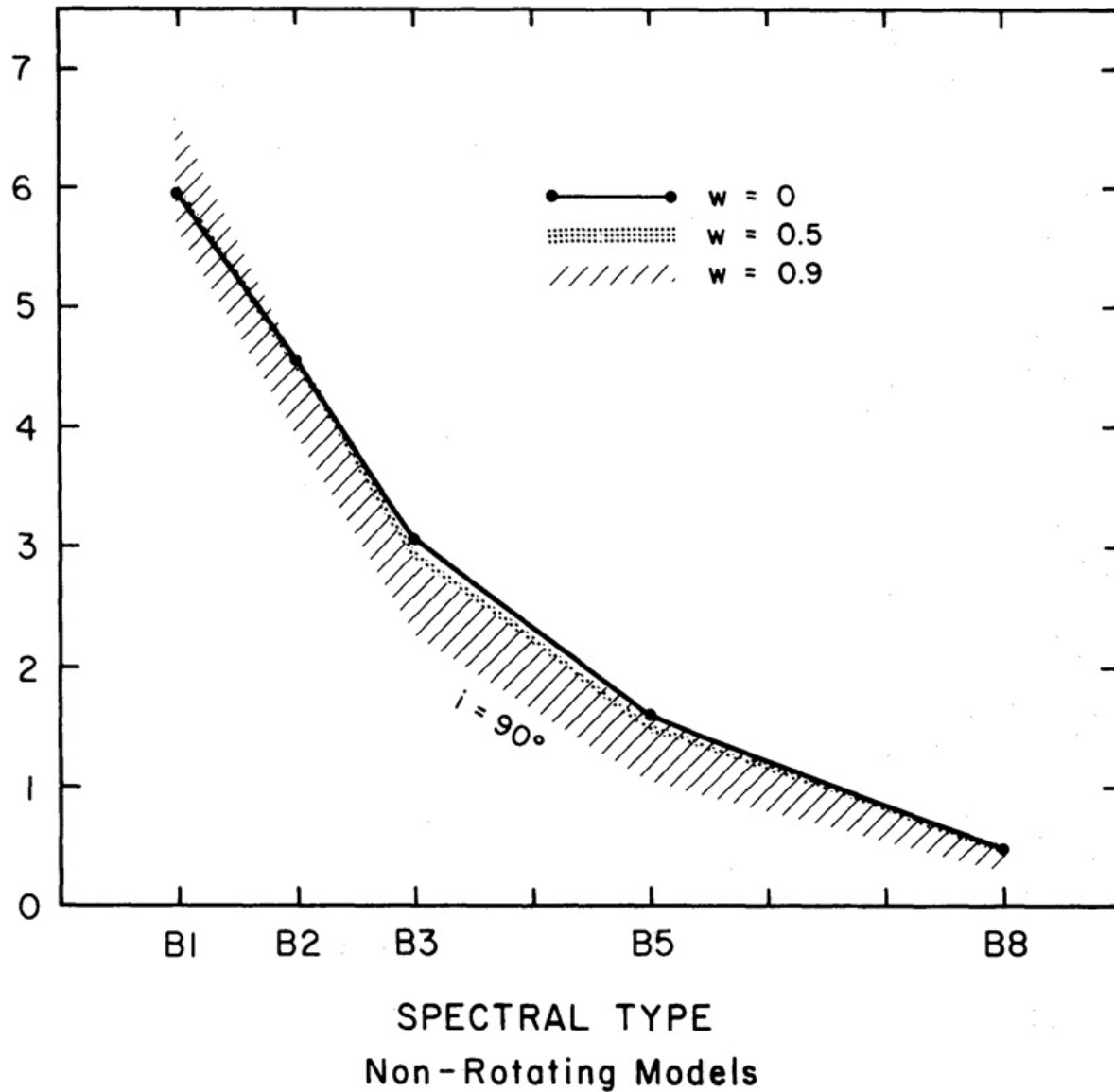


Rotationsprofile für verschiedene Linien  $\Rightarrow$  Änderung der Äquivalentbreiten  $\Rightarrow$  Auswirkung auf die Klassifikation

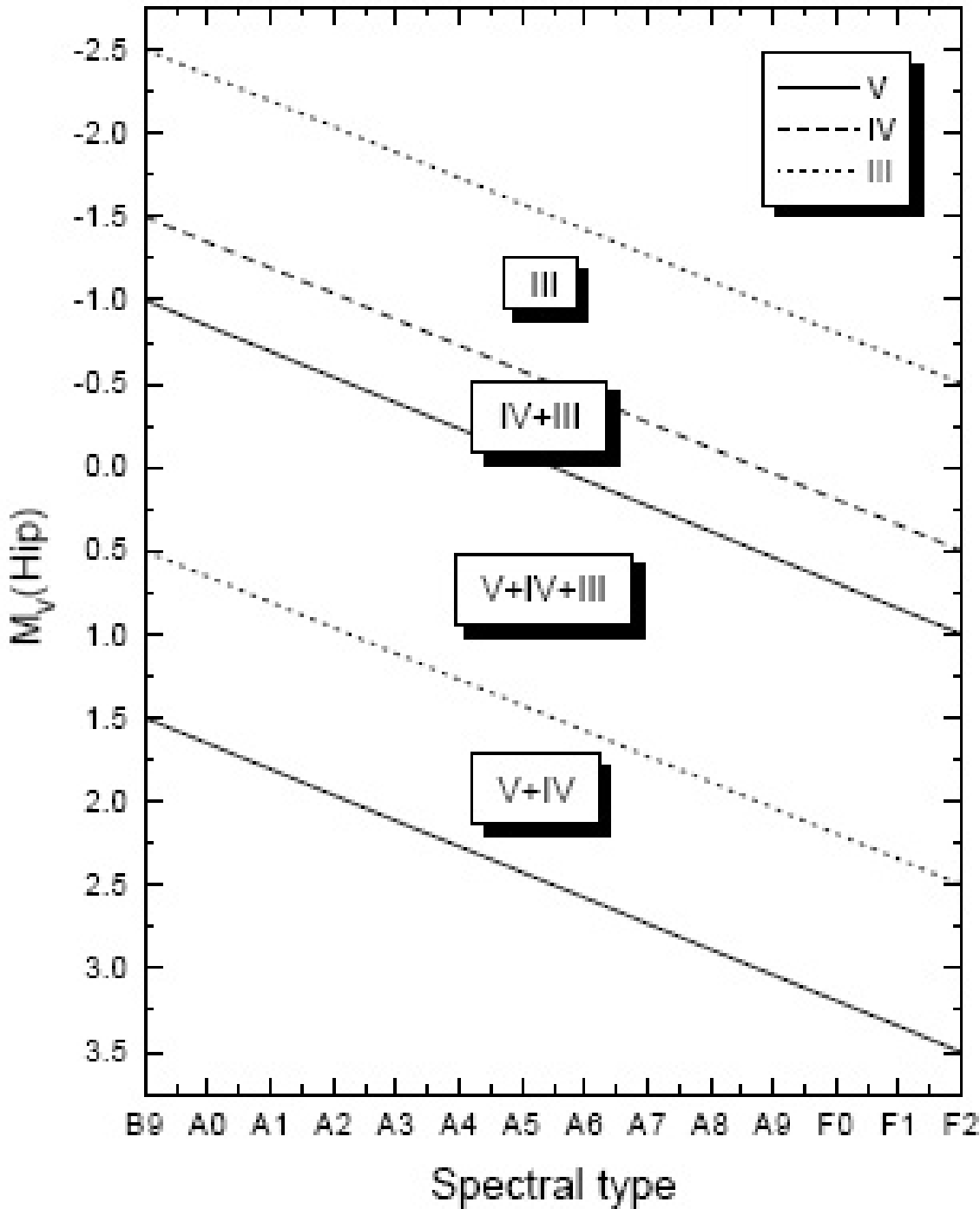
EQUIVALENT WIDTH  
 $H\gamma$  ( $\text{\AA}$ )



$$\frac{W(\text{He I } 4144)}{W(\text{Si II } 4128-31)}$$



Auch Linienverhältnisse betroffen



MK Standardsterne  
 untersucht mit bekannten  
 Hipparcos Parallaxen

Die Unterscheidung der  
 Leuchtkraftklassen  
 V, IV und III ist nicht  
 eindeutig