

# Sterren: helderheden, kleuren en spectra

**Marc van der Sluys**

**Universiteit Utrecht, Nikhef**



**Universiteit  
Utrecht**

<https://www.nikhef.nl/~sluys/>

sluys@nikhef.nl

**Nikhef**

## Afstand, tijd en licht

### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterrspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

M–R–L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen

1 De Zon  
• Referentiester

2 Afstanden

3 Helderheid

4 Spectra

5 Spectraalklassen

6 Groepen van sterren

### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

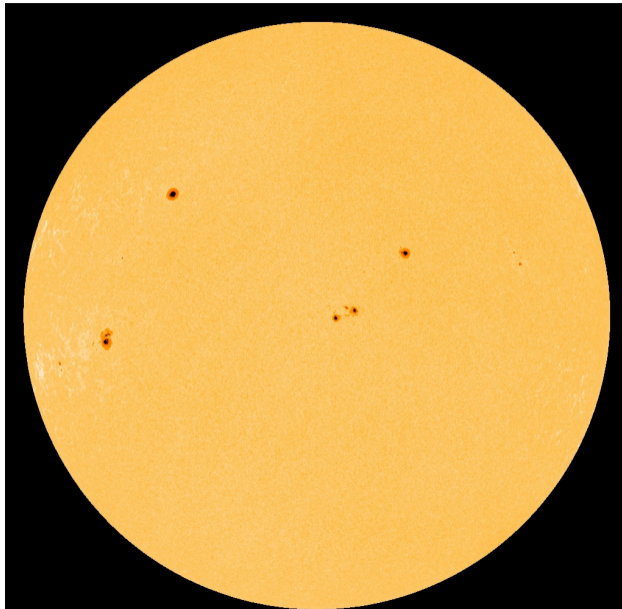
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

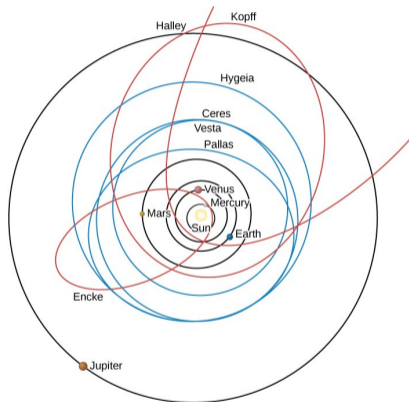
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



Bron: [OpenStax CNX](#)

## Derde wet van Kepler

$$\frac{GM}{a^3} = \left(\frac{2\pi}{P}\right)^2$$

$$\left(\frac{a}{\text{A.U.}}\right)^3 = \left(\frac{P}{\text{jaar}}\right)^2$$

Astronomische eenheid (*astronomical unit*):

**1 A.U.  $\approx$  150 miljoen km**

(uit radar, baanperiodes en Kepler)

- 1 Kepler geeft de **verhoudingen** binnen het Zonnestelsel
- 2 radarmetingen geven de **absolute schaal**

## De Zon

Referentiester

## Afstanden

Parallax

## Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

## Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

## Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van  
sterren

M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen

- 1 A.U.  $\approx$  150 miljoen km ( $\approx$  8.3 lichtminuten)
- Schijnbare straal:  $r_{\odot} \sim 16' = 16/60^{\circ} \rightarrow$   
 $R_{\odot} = 1 \text{ A.U.} \cdot \tan r_{\odot} \approx 696.000 \text{ km} \approx 109 R_{\oplus}$
- Zonneconstante (loodrechte flux aan top van de atmosfeer):  $f_{\odot} \approx 1370 \text{ W/m}^2$ 
  - wat we hier **flux** noemen heette in het optica-deel **intensiteit** (en officieel *irradiantie*)
- $L_{\odot} = 4\pi (1 \text{ A.U.})^2 f_{\odot} \approx 3.85 \times 10^{26} \text{ W}$
- $L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 F_{\odot}$ ;  $F_{\odot} = \sigma T_{\text{eff}}^4 \rightarrow T_{\text{eff}} \approx 5780 \text{ K}$
- $M_{\odot} \approx \left( \frac{2\pi}{1 \text{ jaar}} \right)^2 \frac{(1 \text{ A.U.})^3}{G} \approx 1.99 \times 10^{30} \text{ kg} \approx 333.000 M_{\oplus}$
- Leeftijd:  $\approx 4.5 \text{ Gjr}$  (uit meteorieten! — zie H2.3)
- Energiebron: Chemisch?  $\rightarrow$  Nucleair: H-fusie:  $E \approx 0.0072 \text{ Mc}^2 \rightarrow \sim 7.5 \text{ Gjr}$ 
  - 10% van de Zon dicht genoeg, 70% waterstof  $\rightarrow M \sim 0.7 \cdot 0.1 M_{\odot}$

## Afstand, tijd en licht

### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

M–R–L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen

1 De Zon

2 Afstanden  
● Parallax

3 Helderheid

4 Spectra

5 Spectraalklassen

6 Groepen van sterren

# Trigonometrische parallax: afstanden tot nabije sterren (H3.2)

Afstand, tijd en licht

De Zon

Referentiester

Afstanden

Parallax

Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van sterren

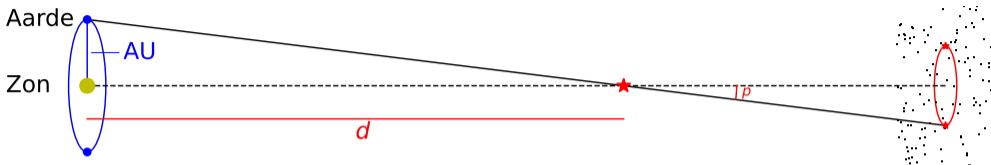
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



- $\tan p = \frac{1 \text{ A.U.}}{d}$
- een **parallax** van  $1''$  komt *per definitie* overeen met een afstand van **1 parsec (pc)**:
  - $\frac{1 \text{ A.U.}}{1 \text{ pc}} \equiv \tan 1'' \sim 1'' \rightarrow$
  - $1 \text{ pc} = \frac{1'' \times 3600''/^{\circ} \times 360^{\circ}}{2\pi} \text{ A.U.} \simeq 3.086 \times 10^{16} \text{ m} \sim 3.26 \text{ lichtjaar}$
- richting pool:  $\sim$  cirkelvormig; lagere breedte: plattere ellips; bij ecliptica: recht lijntje
- Hipparcos (1989–1993):  $\sim 118\text{k}$  sterren:  $0.001''$  +  $2.5\text{M}$  sterren “lagere precisie”
- Gaia (2013–2025):  $\sim 1.8 \times 10^9$  objecten, met  $20 \mu\text{as}$ ,  $\Delta p \lesssim 10\%$  tot  $d \sim 5 \text{ kpc}$

	Ster	$\rho$ ( $''$ )	$d$ (pc)	$\mu$ ( $''/jr$ )	$\log f_V$ ( $W/m^2/nm$ )	$\log L_V$ ( $L_{V\odot}$ )	$\log f_V/f_B$	SpT	straal ( $R_{\odot}$ )
<b>De Zon</b> Referentiester									
<b>Afstanden</b> Parallax	<b>Zon</b>				0.30	$\equiv 0$	0.004	G2V	$\equiv 1$
<b>Helderheid</b> Flux, lichtkracht Fotometrie	<b>Proxima Cen</b>	0.7716	1.296	3.853	-14.81	-4.26	0.46	M5Ve	0.146(11)
	$\alpha^2$ Centauri	0.7424	1.347	3.724	-10.95	-0.36	0.10	K1V	0.865(5)
<b>Spectra</b> Planckspectra Spectraalijnen Sterspectra	$\alpha^1$ Centauri	0.7424	1.347	3.710	-10.40	0.19	0.02	G2V	1.224(3)
	Barnards ster	0.5482	1.824	10.359	-14.22	-3.37	0.36	sdM4	
	CN Leonis	0.4255	2.35	4.696	-15.82	-4.75	0.54	M5.5	
<b>Spectraalklassen</b> Spectraalklassen Helderheidsklassen	Lalande 21185	0.3926	2.547	4.801	-13.40	-2.26	0.34	M2V	
	UV Ceti	0.3817	2.62	3.328	-15.42	-4.25	0.48	M5.5e	
<b>Groepen van sterren</b> M-R-L (MS) HRD nabije sterren Clusters Leeftijden Bolhopen	<b>Sirius</b>	0.3792	2.637	1.339	-9.83	1.34	-0.26	A0m...	1.703(9)
	Ross 154	0.3367	2.970	0.665	-14.56	-3.28	0.34	M3.5Ve	
	HH And	0.3155	3.17	1.588	-15.32	-3.99	0.50	M5	
	$\epsilon$ Eridani	0.3109	3.216	0.975	-11.90	-0.55	0.09	K2V	0.744(11)
	1HD 217987	0.3053	3.276	6.897	-13.35	-1.98	0.33	M2V	
	EZ Aquarii	0.3003	3.33	3.254	-15.28	-3.90	0.52	M5.5	
	FI Virginis	0.2981	3.355	1.361	-14.86	-3.48	0.43	M4.5V	
	161 Cygni A	0.2868	3.487	5.297	-12.49	-1.07	0.16	K5V	
	<b>Procyon</b>	0.2846	3.514	1.259	-10.57	0.85	-0.09	F5IV-V	2.060(20)



## Afstand, tijd en licht

### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterrspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

M–R–L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen

1 De Zon

2 Afstanden

3 Helderheid  
• Flux, lichtkracht

• Fotometrie

4 Spectra

5 Spectraalklassen

6 Groepen van sterren

De Zon

Referentiester

Afstanden

Parallax

Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterrspectra

Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van  
sterren

M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen

**Flux  $f$**  (ook *stralingsflux*): **intensiteit** of **irradiantie**: vermogen (van straling) door een oppervlak:

- $f$ : gemeten op Aarde;  $F$ : aan het steroppervlak;
- $[f] = [F] = \text{W m}^{-2}$ .

**Lichtkracht  $L$** : **vermogen** (van een ster):

- $[L] = \text{W}$  of  $L_{\odot}$ .

**Frequentie  $\nu$** : symbool:  $\nu$  (i.p.v.  $f$ ):

- $[\nu] = \text{Hz}$ .

**monochromatisch**: **bij gegeven golflengte(bandje) of frequentie(bandje)**:

- subscript  $\lambda$  of  $\nu$ :  $f_{\nu}$ ,  $L_{\lambda}$ ;
- $[X_{\lambda}] = [X] \text{ nm}^{-1}$ ;  $[X_{\nu}] = [X] \text{ Hz}^{-1}$ .

**bolometrisch**: geïntegreerd **over het gehele spectrum**:

- geen subscript:  $f$ ,  $F$ ,  $L$ .

**Magnitude**: Griekse empirische “omgekeerde grootten” 1–6 ( $-10 \gtrsim \log f \gtrsim -13$ ):

- helderste ster na de Zon: Sirius:  $m \approx -1.4$  ( $\log f \approx -9.8$ )
- zwakste sterren met blote oog:  $m \sim +6$  ( $\log f \approx -12.8$ )
- het oog blijkt *logaritmisch* te werken:  $m \propto -\log f$  (zie Appendix bk)

# De twaalf helderste en andere bekende sterren (H3.3)

Afstand, tijd en licht

De Zon

Referentiester

Afstanden

Parallax

Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van sterren

M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

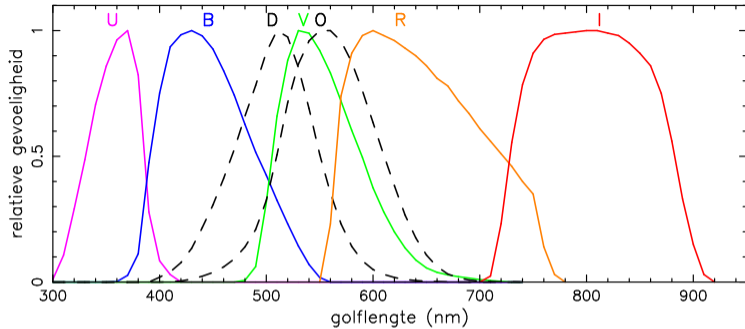
Clusters

Leeftijden

Bolhopen

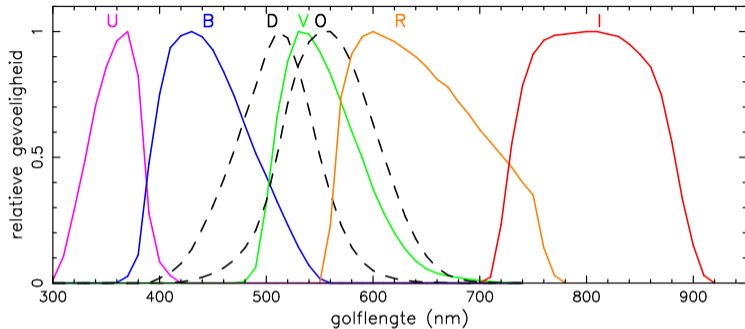
Ster	code	$\log f_V$	$\log L_V$ ( $L_{V\odot}$ )	$\log f_V/f_B$	SpT	$d(\text{pc})$
Sirius	$\alpha$ Canis Majoris	-9.83	1.34	-0.26	A0m...	2.637(11)
Canopus	$\alpha$ Carinae	-10.16	4.14	-0.20	F0Ib	95(5)
Arcturus	$\alpha$ Bootis	-10.39	2.05	0.23	K2IIIp	11.26(7)
	$\alpha^1$ Centauri	-10.40	0.19	0.02	G2V	1.347(3)
Vega	$\alpha$ Lyrae	-10.42	1.69	-0.26	A0Vvar	7.78(2)
Capella	$\alpha$ Aurigae	-10.44	2.12	0.05	G5IIIe	13.12(8)
Rigel	$\beta$ Orionis	-10.48	4.60	-0.28	B8Ia	265(24)
Procyon	$\alpha$ Canis Minoris	-10.57	0.85	-0.09	F5IV-V	3.514(16)
Achernar	$\alpha$ Eridani	-10.59	3.03	-0.33	B3Vp	42.8(10)
Betelgeuze	$\alpha$ Orionis	-10.59	3.98	0.34	M2Ib	153(19)
	$\beta$ Centauri	-10.65	4.09	-0.36	B1III	120(7)
Altair	$\alpha$ Aquilae	-10.71	1.04	-0.18	A7IV-V	5.130(15)
Aldebaran	$\alpha$ Tauri	-10.76	2.18	0.35	K5III	20.43(32)
Antares	$\alpha$ Scorpii	-10.83	4.04	0.48	M1Ib+B2.5V	170(29)
Deneb	$\alpha$ Cygni	-10.91	5.42	-0.23	A2Ia	433( 60)
Mira Ceti <sup>1</sup>	$\omicron$ Ceti	-11.32	1.55	0.30	M5e-M9e	91(10)
Bellatrix	$\gamma$ Orionis	-11.06	3.01	-0.35	B2III	77.4(31)

<sup>1</sup> bij maximale helderheid



- fotometrie: “goedkope spectroscopie”
- flux altijd gemeten bij een **eindige bandbreedte**
- standaardsysteem (Johnson): **UV**, **Blue**, **Visible** (groen;  $\sim 550$  nm), **Red**, **Infrared**
  - $f_B, f_V, (m_V,)$  etc.
- **Kleur**  $\equiv$  ratio van fluxen:
  - $f_V/f_B \equiv$  verhouding **blauw** over **groen**
  - lage  $f_V/f_B$ : veel blauw  $\rightarrow$  blauwer
  - hoge  $f_V/f_B$ : weinig blauw  $\rightarrow$  roder

# Fotometrische filters: UBVRI-systeem (H3.3)



Afstand, tijd en licht

De Zon

Referentiester

Afstanden

Parallax

Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterrspectra

Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van sterren

M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen

	Johnson			SDSS	
	$\lambda_{\text{eff}}$	$\Delta\lambda$		$\lambda_{\text{eff}}$	$\Delta\lambda$
U	365 nm	68 nm	u	354.3 nm	60 nm
B	440 nm	98 nm	g	477.0 nm	130 nm
V	550 nm	89 nm	r	623.1 nm	120 nm
R	658 nm	138 nm	i	762.5 nm	130 nm
I	806 nm	149 nm	z	913.4 nm	100 nm

Oog: **O**verdag en **D**onker

## De Zon

Referentiester

## Afstanden

Parallax

## Helderheid

Flux, lichtkracht

## Fotometrie

## Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

## Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van  
sterren

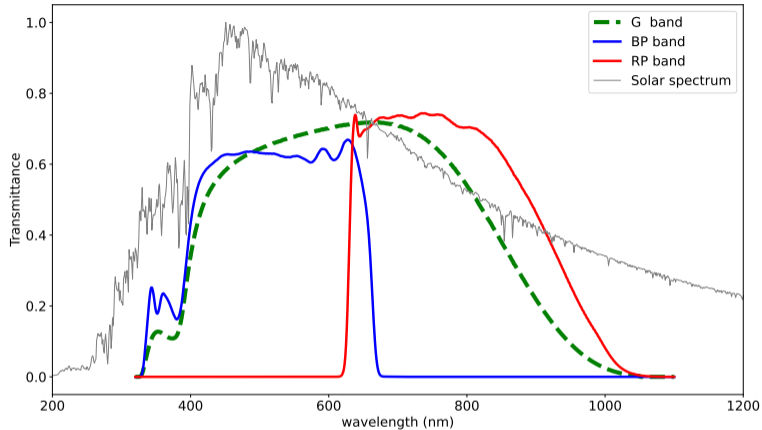
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



## Gaia bands:

- G: “visual”
- BP: blue
- RP: red

## Afstand, tijd en licht

### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

M–R–L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen

1 De Zon

2 Afstanden

3 Helderheid

4 Spectra

- Planckspectra
- Spectraallijnen
- Sterspectra

5 Spectraalklassen

6 Groepen van sterren

## De Zon

Referentiester

## Afstanden

Parallax

## Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

## Spectra

Planckspectra

Spectraalijnen

Sterrspectra

## Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

## Groepen van sterren

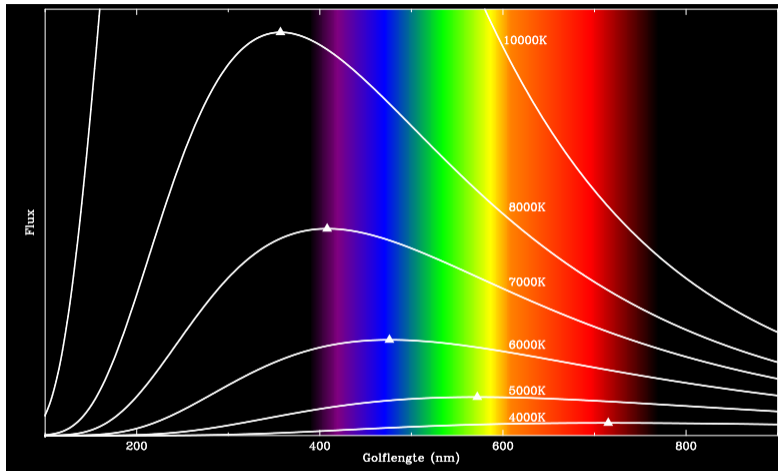
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



- Hogere  $T_{\text{eff}}$ :
  - 1 bolometrische flux neemt toe (wet van Stefan-Boltzmann)
    - flux neemt toe voor *alle* golflengten!
  - 2 maximum verschuift naar *kortere* golflengten (verschuivingswet van Wien)



## De Zon

Referentiester

## Afstanden

Parallax

## Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

## Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

## Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

## Groepen van sterren

M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen

- $B_\nu d\nu = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$  flux tussen  $\nu$  en  $\nu + d\nu$   $[B_\nu] = \text{W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$

- $B_\lambda d\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} d\lambda$  flux tussen  $\lambda$  en  $\lambda + d\lambda$   $[B_\lambda] = \text{W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$

- Wet van Stefan-Boltzmann:  $B \equiv \int_0^\infty B_\lambda d\lambda = \int_0^\infty B_\nu d\nu \equiv \sigma T_{\text{eff}}^4$

$$\boxed{F = \sigma T_{\text{eff}}^4} \rightarrow \boxed{L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4}$$

- Constante van Stefan-Boltzmann:  $\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} \approx 5.67 \times 10^{-8} \text{ kg K}^{-4} \text{ s}^{-3}$

- Verschuivingswet van Wien:  $\lambda_{\text{max}} T_{\text{eff}} = \text{constant} \simeq 0.29 \text{ cm K}$

- Zon:  $T_{\text{eff},\odot} \approx 5780 \text{ K} \rightarrow \lambda_{\text{max}} \approx 502 \text{ nm}$

De Zon

Referentiester

Afstanden

Parallax

Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van sterren

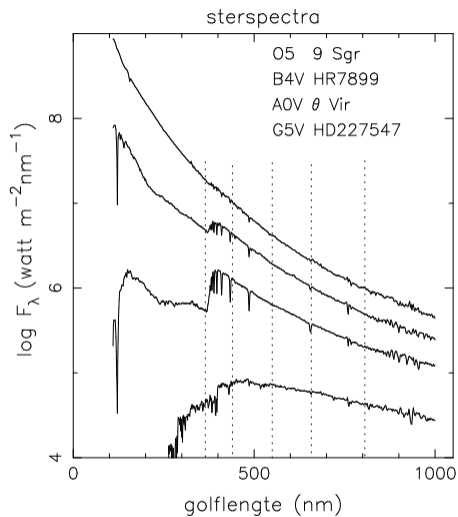
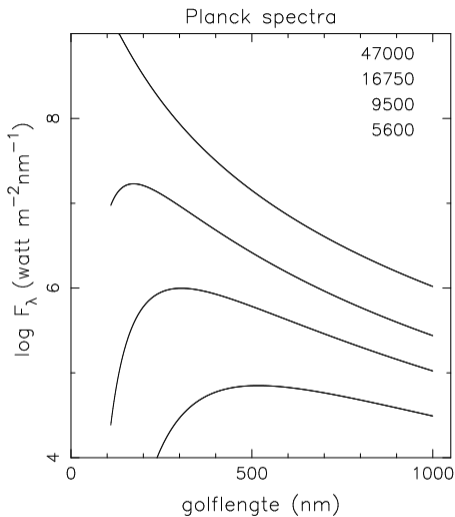
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



Bron: Verbunt: Het leven van sterren

→ Planckspectra met spectraallijnen → werkcollege

## Afstand, tijd en licht

### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterrspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

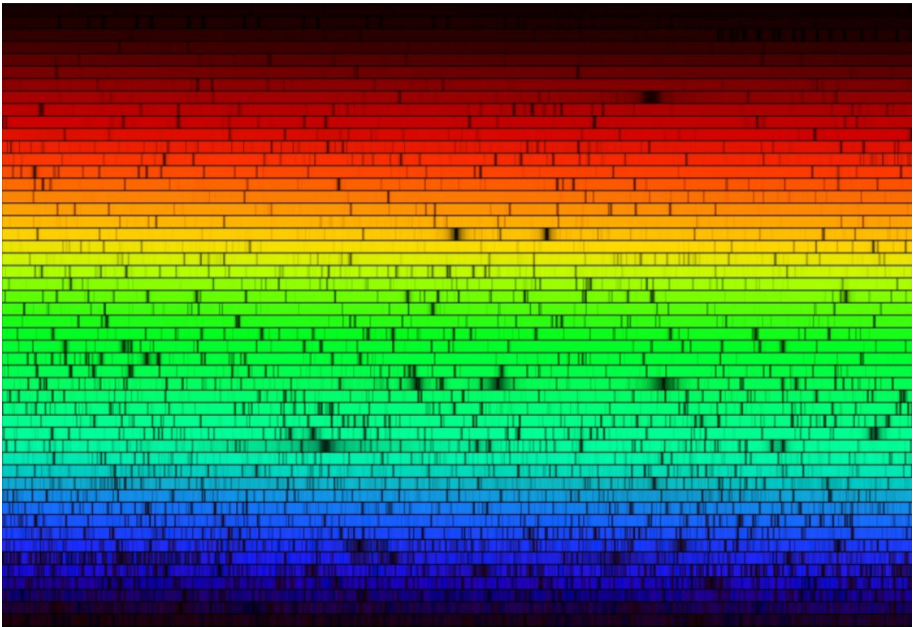
M–R–L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



## Afstand, tijd en licht

### De Zon

Referentiester



**Continu**

### Afstanden

Parallax



**Zon**

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie



**Waterstof**

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra



**Helium**

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen



**Natrium**

### Groepen van sterren

M–R–L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



**Calcium**



**Ijzer**



**Neon**



**Kwik**

## De Zon

Referentiester

## Afstanden

Parallax

## Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

## Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

## Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

## Groepen van sterren

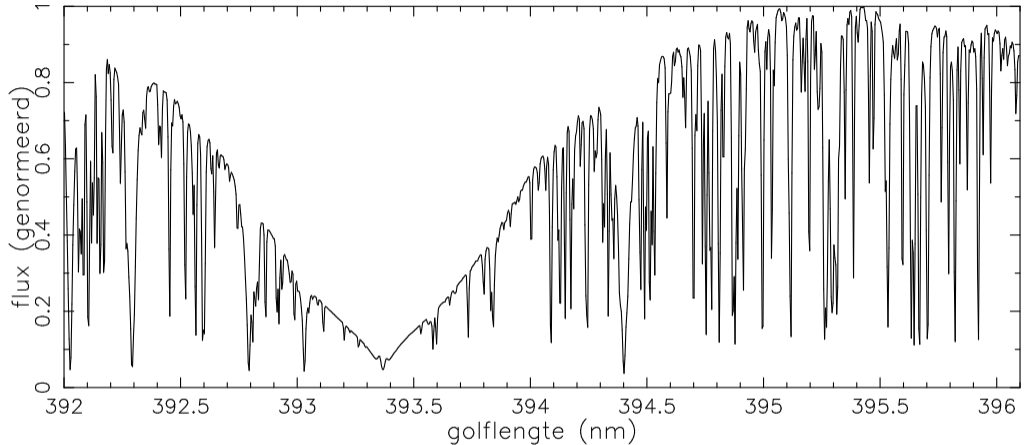
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



Bron: [Verbunt: Het leven van sterren](#)

- Sterkte lijn vooral bepaald door **temperatuur** en **ionisatiegraad**
  - → niet alleen door **abundantie** (hoeveelheid stof)

De Zon

Referentiester

Afstanden

Parallax

Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van sterren

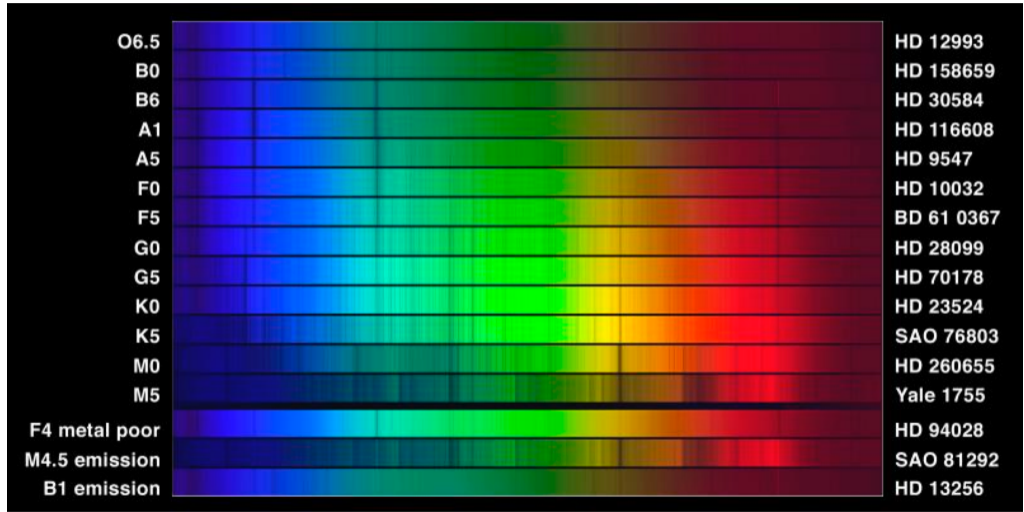
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

### Sterspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

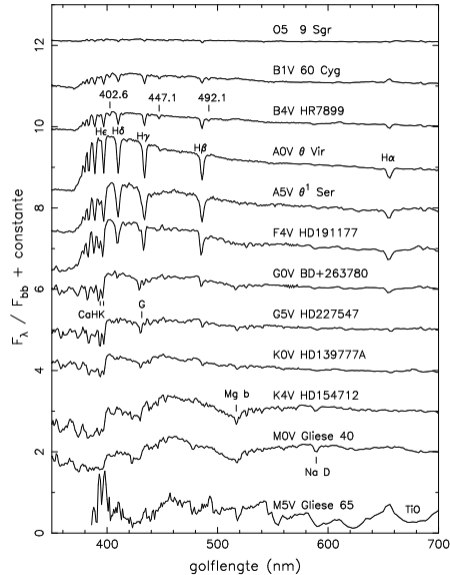
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



## Afstand, tijd en licht

### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterrspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen

1 De Zon

2 Afstanden

3 Helderheid

4 Spectra

5 Spectraalklassen

- Spectraalklassen
- Helderheidsklassen

6 Groepen van sterren



## De Zon

Referentiester

## Afstanden

Parallax

## Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

## Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

## Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van  
sterren

M–R–L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

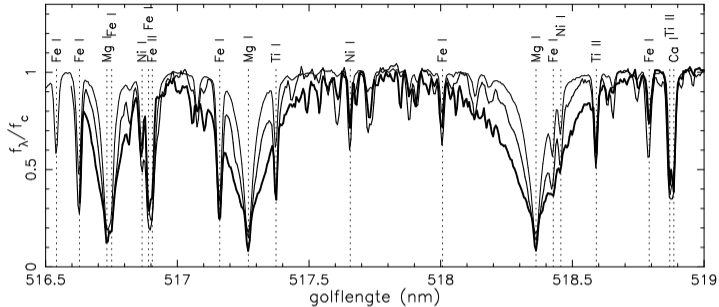
Bolhopen

## Eigenschappen voor hoofdreekssterren:

SpT	$T_{\text{eff}}$ (kK)	Kleur	MS $M$ ( $M_{\odot}$ )	MS $R$ ( $R_{\odot}$ )	MS $L$ ( $L_{\odot}$ )	H-lijnen	Frac. van MS (%)
<b>O</b>	$\gtrsim 33$	blauw	$\gtrsim 16$	$\gtrsim 6.6$	$\gtrsim 30k$	zwak	0.00003
<b>B</b>	10 – 33	blauw-wit	2.1 – 16	1.8 – 6.6	25 – 30k	medium	0.12
<b>A</b>	7.3 – 10	wit	1.4 – 2.1	1.4 – 1.8	5 – 25	sterk	0.61
<b>F</b>	6 – 7.3	geel-wit	1.04 – 1.4	1.15 – 1.4	1.5 – 5	medium	3.0
<b>G</b>	5.3 – 6	geel	0.8 – 1.04	0.96 – 1.15	0.6 – 1.5	zwak	7.6
<b>K</b>	3.9 – 5.3	licht oranje	0.45 – 0.8	0.7 – 0.96	0.08 – 0.6	zeer zwak	12
<b>M</b>	2.3 – 3.9	oranje-rood	0.08 – 0.45	$\lesssim 0.7$	$\lesssim 0.08$	zeer zwak	76

Bron: [Wikipedia: Stellar classification](#)

- Hoofdverdeling: O–M: **Oh Be A Fine Guy/Girl, Kiss Me**
- Onderverdeling: 0–9
- Totaal: O0,O1, ..., O8,O9,B0,B1, ..., ..., M9
- **Zon: G2V**



Bron: [Verbunt: Het leven van sterren](#)

- I:** superreuzen (smalle lijnen)
- II:** heldere reuzen
- III:** reuzen
- IV:** subreuzen
- V:** dwergen/hoofdreekssterren (brede lijnen)

grotere straal → lagere oppervlaktezwaartekracht  
 → lagere druk → smallere spectraallijnen

## De Zon

Referentiester

## Afstanden

Parallax

## Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

## Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

## Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van  
sterren

M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen

SpTp	$M$ ( $M_{\odot}$ )	$R$ ( $R_{\odot}$ )	$\log L$ ( $L_{\odot}$ )	$T_{\text{eff}}$ (K)	$\log L_V$ ( $L_{V\odot}$ )	$\log f_B/f_U$	$\log f_V/f_B$	$\log f_I/f_V$
<b>Hoofdreeks:</b>								
O8V	22.0	7.90	5.10	38 900	3.71	-0.68	-0.38	-0.66
B2V	9.0	4.30	3.63	22 400	2.77	-0.57	-0.35	-0.63
B5V	5.0	2.90	2.66	15 600	2.16	-0.46	-0.33	-0.60
A0V	2.5	1.80	1.51	10 200	1.42	-0.25	-0.27	-0.56
A5V	1.9	1.50	1.06	8 590	1.08	-0.19	-0.22	-0.50
F0V	1.5	1.30	0.67	7 420	0.71	-0.22	-0.15	-0.41
F5V	1.3	1.20	0.43	6 800	0.46	-0.23	-0.10	-0.35
G0V	1.2	1.10	0.30	6 470	0.33	-0.22	-0.07	-0.32
G5V	1.0	1.00	0.00	5 780	0.00	-0.15	0.01	-0.25
K0V	0.9	0.85	-0.33	5 180	-0.39	-0.01	0.08	-0.18
M1V	0.6	0.55	-1.22	3 860	-1.64	0.28	0.29	0.12
M4V	0.4	0.40	-1.87	3 110	-2.80	0.29	0.35	0.56
<b>Subreuzen:</b>								
G0 III	2.5	6.0	1.50	5 600	1.49	-0.09	0.03	-0.24
K0 III	4.0	16.0	1.97	4 500	1.79	0.22	0.21	-0.07
M0 III	6.3	65.0	2.60	3 200	0.99		-0.02	0.99
<b>Superreuzen:</b>								
B7 I	15.0	30.0	4.72	16 000	4.21	-0.52	-0.33	-0.59
A3 I	15.0	75.0	4.70	10 000	4.62	-0.31	-0.29	-0.54
F5 I	15.0	180.0	4.66	6 300	4.71	-0.07	-0.08	-0.34
K1 I	15.0	375.0	4.51	4 000	4.14	0.66	0.38	0.06

Bron: Verbunt: Het leven van sterren

## Afstand, tijd en licht

### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

M–R–L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen

1 De Zon

2 Afstanden

3 Helderheid

4 Spectra

5 Spectraalklassen

6 Groepen van sterren

- M–R–L (MS)
- HRD nabije sterren
- Clusters
- Leeftijden
- Bolhopen

# Kleur-magnitudediagram voor nabije sterren

Afstand, tijd en licht

De Zon

Referentiester

Afstanden

Parallax

Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van sterren

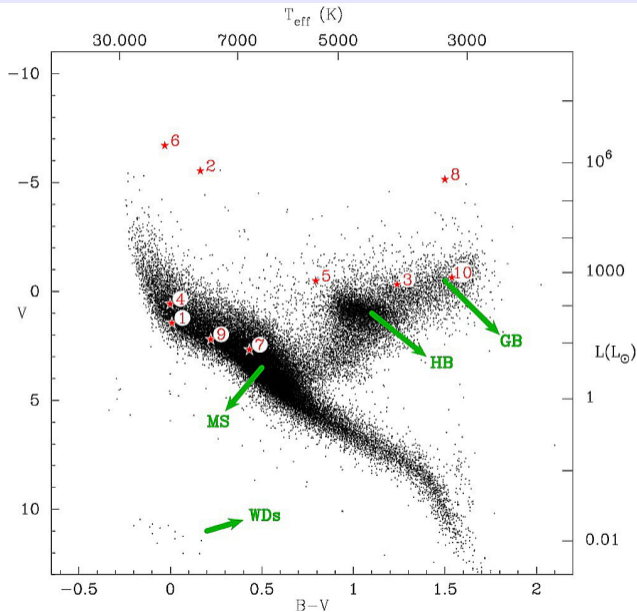
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



- 48 495 nabije sterren uit de Hipparcos-catalogus:

- $\frac{\Delta d}{d} < 20\%$
- $\Delta(B-V) < 0.1$  m

- Rood: heldere sterren:

- 1 Sirius
- 2 Canopus
- 3 Arcturus
- 4 Vega
- 5 Capella
- 6 Rigel
- 7 Procyon
- 8 Betelgeuze
- 9 Altair
- 10 Aldebaran

- $L$ ,  $T_{\text{eff}}$  gelden alleen voor de **hoofdreeks**

# Kleur-magnitudediagram met evolutiesporen

Afstand, tijd en licht

De Zon

Referentiester

Afstanden

Parallax

Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van sterren

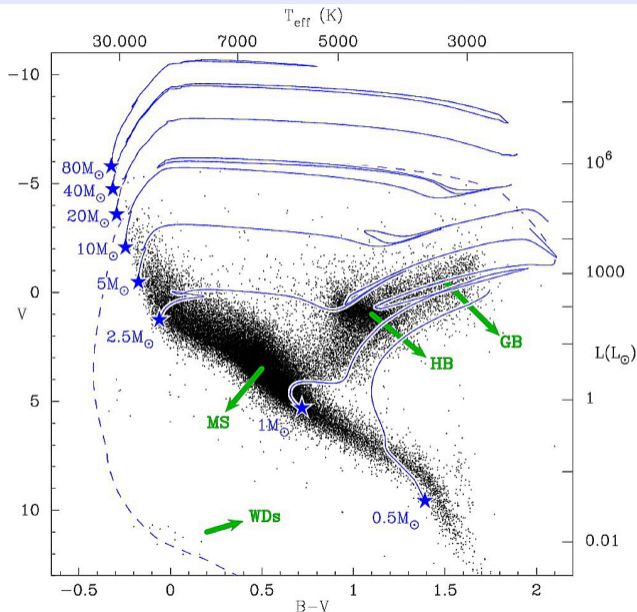
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



- 48 495 nabije sterren uit de Hipparcos-catalogus:

- $\frac{\Delta d}{d} < 20\%$
- $\Delta(B-V) < 0.1$  m

- Blauw: evolutiesporen:  
 $0.5 M_{\odot} - 80 M_{\odot}$

- Groen: evolutiefasen:

MS: Hoofdreeks

GB: Reuzentak  
(+AGB)

HB: Horizontale tak

WDs: Witte dwergen

### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

### Clusters

Leeftijden

Bolhopen



- Fysieke groep → dezelfde **afstand**, dezelfde **leeftijd**

### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

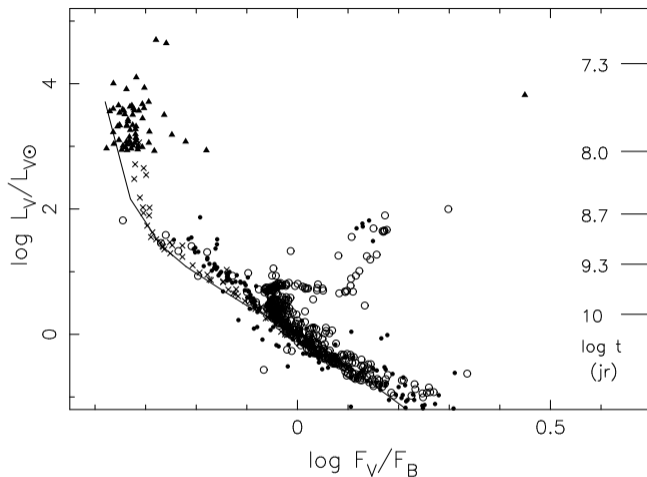
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

### Leeftijden

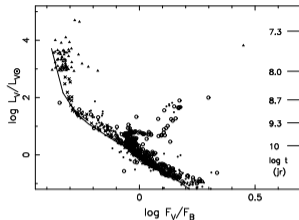
Bolhopen



Bron: [Verbunt: Het leven van sterren](#)

- 1 **Zwaardere** sterren zijn **helderder** en zijn een **kortere tijd** op de hoofdreeks
- 2 De **helderste sterren** op de hoofdreeks tonen dus de **leeftijd** van de cluster





→ werkcollege

- Hoofdreeks stopt bij verschillende kleuren/helderheden → **afhuigpunt**
- Rode reuzen hebben  $\sim L$  van afhuigpunt
  - meer rode reuzen bij lager afhuigpunt
  - gat tussen MS en reuzen: **Hertzsprung gap** (HG)
- Sterren  $\log L_V \sim 0.3$  boven MS: dubbelsterren

Cluster	Afhuigpunt $\log L_V/L_\odot$	Massa (Tabel 4.1) $M_\odot$	Leeftijd (Vgl. 4.7) Myr
h & $\chi$ Per	4	$> 22 M_\odot$	$\sim 2$
Pleiaden	???	$?? M_\odot$	???
Hyaden	1.8	$4 M_\odot$	$\sim 200$
M 67	0.7	$1.5 M_\odot$	$\sim 3.2$ Gyr

# Afstand tot een cluster: hoofdreeksfitting (H 4.1)

Afstand, tijd en licht

De Zon

Referentiester

Afstanden

Parallax

Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

Spectra

Planckspectra

Spectraalijnen

Sterrspectra

Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van sterren

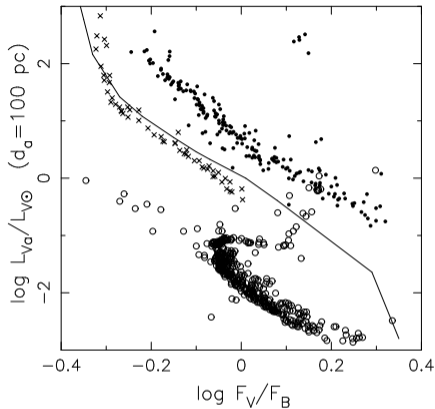
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



Bron: Verbunt: Het leven van sterren

1. Neem een afstand aan:  $d_a$
2. Plot de theoretische hoofdreeks voor  $d_a$  (doorgetrokken lijn)
3. Schuif verticaal ( $\Delta \log L$ ) totdat deze overeenkomt met de waarnemingen
  - interstellair absorptie genegeerd voor dit voorbeeld(!)

### De Zon

Referentiester

### Afstanden

Parallax

### Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

### Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

### Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

### Groepen van sterren

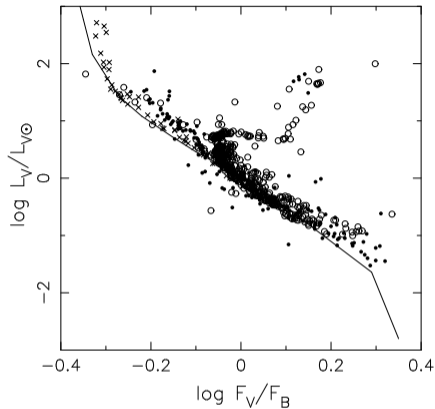
M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



Bron: Verbunt: Het leven van sterren

- $d = d_a \cdot 10^{\Delta \log L/2}$ ;  $d_a$ : aangenomen afstand
- ●: Hyaden:  $\Delta \log L \sim -0.67 \rightarrow d \sim 46 \text{ pc}$
- ×: Pleiaden:  $\Delta \log L \sim +0.23 \rightarrow d \sim 130 \text{ pc}$
- o: M67:  $\Delta \log L \sim +1.86 \rightarrow d \sim 851 \text{ pc}$

Afstand, tijd en licht

De Zon

Referentiester

Afstanden

Parallax

Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van sterren

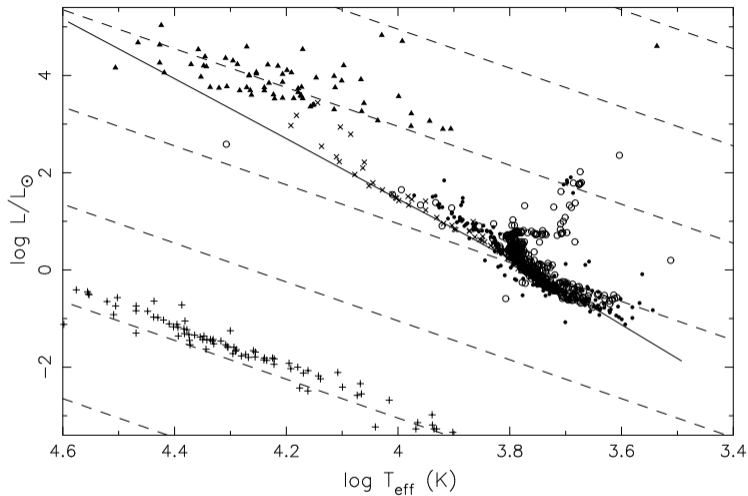
M–R–L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



Bron: [Verbunt: Het leven van sterren](#)

- Lijnen van constante straal

- helling?

- Witte dwergen:  $R \gtrsim 0.01 R_{\odot}$

- Reuzen:  $R \sim 100 - 1000 R_{\odot}$

## De Zon

Referentiester

## Afstanden

Parallax

## Helderheid

Flux, lichtkracht

Fotometrie

## Spectra

Planckspectra

Spectraallijnen

Sterspectra

## Spectraalklassen

Spectraalklassen

Helderheidsklassen

Groepen van  
sterren

M-R-L (MS)

HRD nabije sterren

Clusters

Leeftijden

Bolhopen



<https://hemel.waarnemen.com>

- Actuele, eenvoudig en lastiger waar te nemen hemelverschijnselen
- Zichtbaarheid van Zon, Maan, planeten, meteoren, kometen, deepsky, ISS, ...
- Astrokalenders, hemelkaarten, maanfasen, hemel vannacht, waarneemweer, tabellen
- Bluesky, Mastodon, (Apps (Android/Apple)), (Facebook, Twitter)
- ~ 10 000 pagina's; **Geen reclame**
- ~1–2 miljoen bezoekers per jaar



### hemel.waarnemen.com astrokalender

*Tijdstippen zijn in Midden-Europese  
zomertijd (MEZT)*

#### maandag 19 augustus



03.26: De Maan is in het punt van zijn baan dat het dichtst bij de Aarde ligt: het **perigeum**. De afstand tussen de Aarde en de Maan bedraagt 362264 km. De **schijnbare diameter** van de Maan is groter dan gemiddeld (32'59,1"), door de kleinere afstand. De Maan is op dit moment **wassend**, voor 94% verlicht en hij is vrijwel de gehele nacht zichtbaar; 's avonds in het (zuid)oosten en tegen de ochtend in het westen of

Deze lezing op <https://hemel.waarnemen.com/lezingen>