

# Hipparcos data naar een HR-diagram omzetten

Door Hugo van der Linde, [hfvdlinde@gmail.com](mailto:hfvdlinde@gmail.com)

## 1. Inleiding

Het Hertzsprung–Russell-diagram (kortweg HR-diagram) is een van de belangrijkste grafieken in de sterrenkunde. Het laat de relatie zien tussen de helderheid van sterren en hun temperatuur of kleur.

In dit project gaan we het HR-diagram plotten aan de hand van data van 118 duizend sterren, direct uit de ESA Hipparcos satelliet (1989 – 1993). Het project bestaat uit de Hipparcos data vinden, downloaden én middels Python omzetten naar een HR diagram.

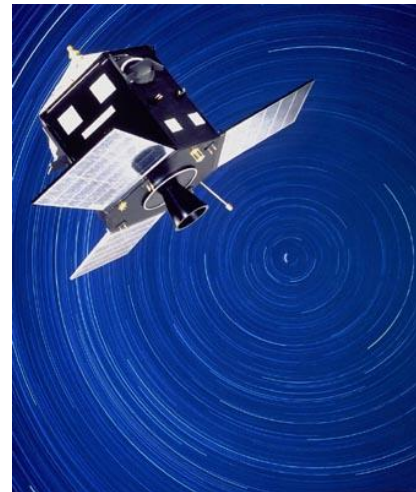
Dit document legt kort iets uit over de Hipparcos satelliet, het HR diagram, de belangrijke natuurkundige gegevens die hier uit af te leiden zijn, waar de data online te vinden is, en een toelichting op het Python programma voor dataconversie. Het Python programma en de Hipparcos data zijn als separate bestanden bijgevoegd.

## 2. De Hipparcos-satelliet

De Hipparcos-satelliet was een baanbrekende ruimtemissie van de European Space Agency (ESA), gelanceerd in 1989. Het was de eerste satelliet ooit die speciaal werd gebouwd voor astrometrie: het uiterst nauwkeurig meten van de positie en beweging van sterren.

Gedurende zijn missie (1989–1993) observeerde Hipparcos continu de sterrenhemel. Hij verzamelde gedetailleerde gegevens van meer dan 118.000 sterren, waaronder:

- Posities: waar een ster zich aan de hemel bevindt
- Parallax: hoe ver een ster van de aarde verwijderd is
- Eigenbeweging: hoe snel een ster zich verplaatst tegen de achtergrond van de hemel
- Helderheid (Vmag) en kleur: essentieel voor het maken van HR-diagrammen



De missie leverde twee hoofdproducten:

- Hipparcos-hoofdcatalogus: met precieze astrometrische gegevens van 118.000 sterren
- Tycho-catalogus: met gegevens van ruim een miljoen sterren, maar iets minder nauwkeurig

Belangrijke toepassingen van deze data zijn:

- Het bepalen van afstanden tot sterren via parallax
- Het opstellen van Hertzsprung–Russell-diagrammen om sterotypes te classificeren
- Het verbeteren van modellen voor de structuur en evolutie van onze Melkweg
- Het nauwkeuriger ijken van kosmologische afstanden, zoals bij supernova's

### 3. Het Hertzsprung-Russell diagram

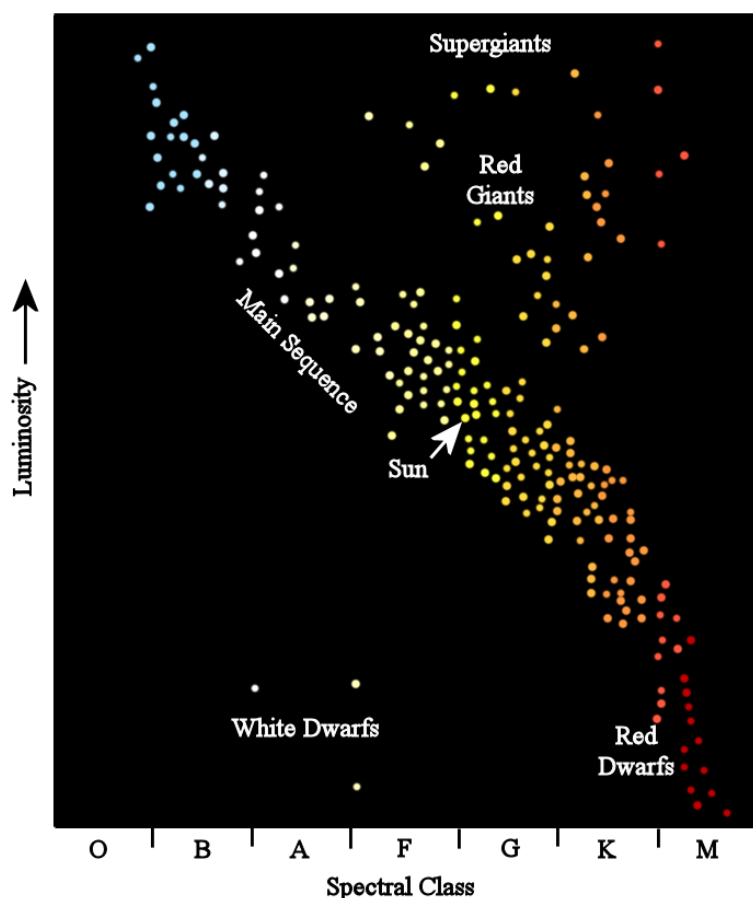
Het Hertzsprung–Russell-diagram (kortweg HR-diagram) is een van de belangrijkste grafieken in de sterrenkunde. Het laat de relatie zien tussen de helderheid van sterren en hun temperatuur of kleur.

Zie het plaatje hiernaast.

Het diagram werd begin 20e eeuw ontwikkeld door twee sterrenkundigen: Ejnar Hertzsprung (Denemarken) en Henry Norris Russell (Verenigde Staten). Het wordt nog steeds dagelijks gebruikt door astronomen om sterren te begrijpen en te classificeren.

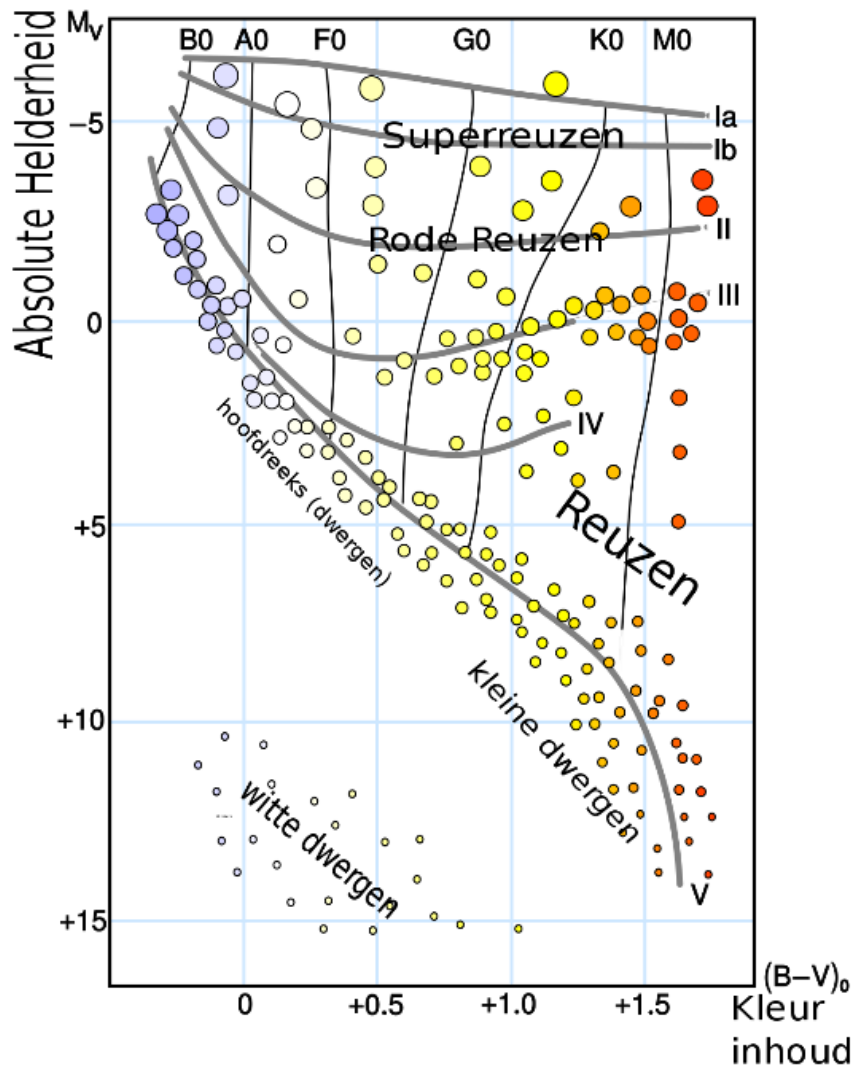
Wat staat er op het HR-diagram?

- X-as (horizontaal): de kleurindex of oppervlaktetemperatuur van een ster → van heet (blauw, links) naar koel (rood, rechts)
- Y-as (verticaal): de absolute magnitude of intrinsieke helderheid → van zwak (onderaan) naar helder (bovenaan) (let op: deze as is omgekeerd omdat heldere sterren een lagere magnitude hebben)



Wat kun je ermee zien? Op het HR-diagram zie je dat sterren zich groeperen in bepaalde gebieden:

- Hoofdreeks: een diagonale band van linksonder naar rechtsboven  
→ hier zitten de meeste sterren (zoals onze zon)  
→ sterren verbranden waterstof in hun kern
- Reuzen en superreuzen: rechtsboven  
→ grote, heldere sterren in latere levensfasen
- Witte dwergen: linksonder  
→ heet maar zwak lichtend; sterren in eindstadium



Waarom is het HR-diagram belangrijk? Het HR-diagram is als een “levenskaart” voor sterren. Astronomen gebruiken het om:

- De leeftijd en evolutiefase van een ster te bepalen
- Verschillende sterpopulaties te vergelijken (bijv. in sterrenhopen)
- Theorieën over stervorming en sterfases te testen

## 4. Overige af te leiden gegevens

Uit het HR diagram zijn dus de visuele helderheid ( $V_{\text{mag}}$ ) en de kleurindex ( $V-I$  of  $B-V$ ) van een ster af te lezen, namelijk op de x- en y-as.

Maar er zijn nog meer belangrijke gegevens uit het HR diagram af te leiden, zoals:

- **De massa van een ster**

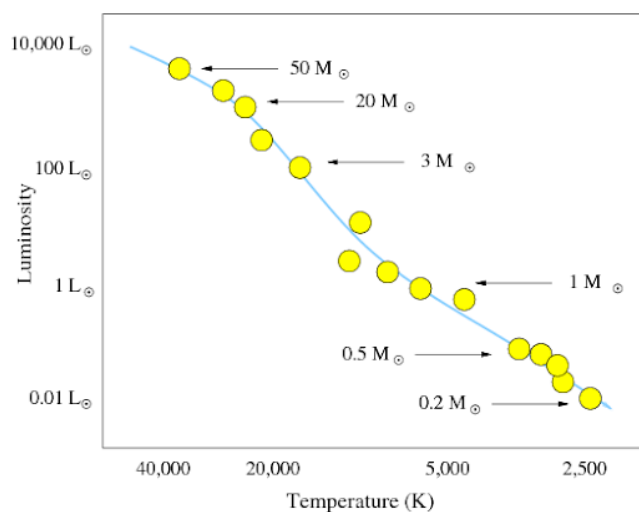
Voor hoofdreekssterren geldt: hoe hoger de temperatuur en helderheid, hoe groter de massa. Zwaardere sterren bevinden zich linksboven op de hoofdreeks; lichtere sterren rechtsonder.

Ter illustratie: de Massa-lichtkracht relatie (voor hoofdreekssterren) is:

$$L \propto M^\alpha$$

waarbij:

- $L$  = lichtkracht van de ster (in eenheden van de zon:  $L_\odot$ )
- $M$  = massa van de ster (in eenheden van de zon:  $M_\odot$ )
- $\alpha$  = exponent die afhangt van de massa van de ster



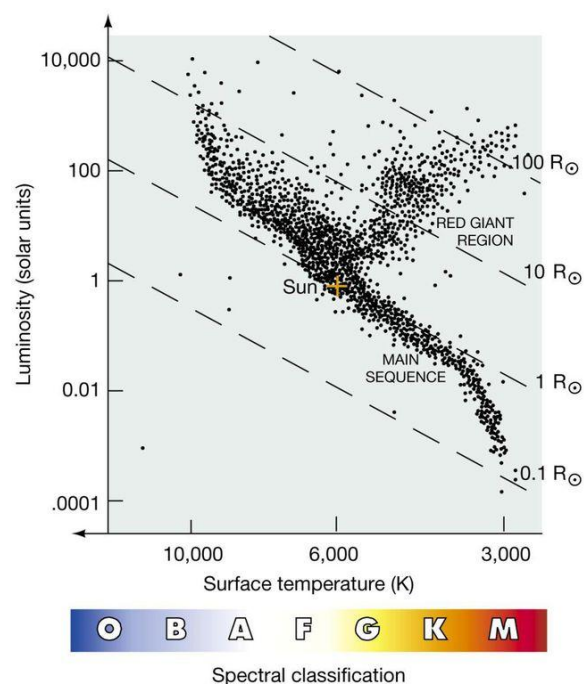
- **De grootte (straal) van de ster**

Voor een gegeven temperatuur en helderheid kun je de straal afleiden via de Stefan-Boltzmann-wet:

$$L = 4 \times \pi \times R^2 \times \sigma \times T^4$$

waarbij:

- $R$  de straal van de ster is (in meter)
- $\sigma$  de constante van Stefan-Boltzmann is  $\approx 5,6704 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
- $T$  de oppervlaktetemperatuur is (in kelvin)



- **Levensverwachting (levensduur op de hoofdreeks)**

Voor de levensduur van een ster (op de hoofdreeks) geldt:

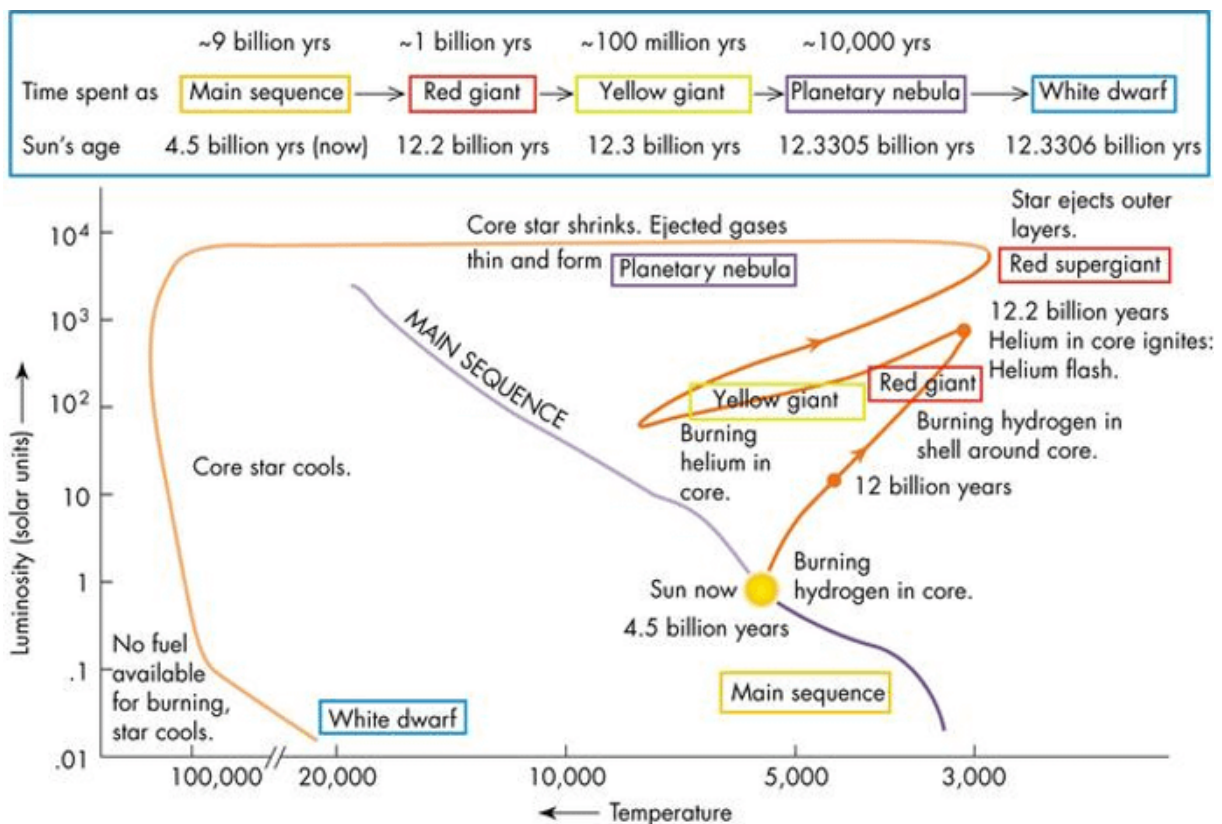
$$\tau \propto M/L$$

Omdat  $L \propto M^{3.5}$  volgt  $\tau \propto M^{-2.5}$ . Zwaardere sterren leven dus veel korter, ondanks hun grotere massa. Dat komt omdat ze veel sneller “opbranden”.

- **Levensloop en evolutiefase van de ster**

We zagen al eerder dat de leeftijd en evolutiefase van een ster hierin te herkennen zijn (de positie van een ster op of buiten de hoofdreeks laat zien in welk stadium van zijn leven hij zit). Bijvoorbeeld onze zon zal gedurende zijn leven het traject over het HR-diagram doorlopen, zoals in de afbeelding hieronder getekend.

- Momenteel zit onze zon in de **hoofdreeks**: daar zal onze zon nog 4,5 miljard jaar op blijven (hij is al halverwege).
- Dan wordt onze zon respectievelijk een **rode reus**, gele reus en zelfs een rode superreus (zo groot dat hij dichtbij zijnde planeten opslokt). Dat speelt zich allemaal af rechtsboven het HR-diagram.
- Vervolgens zal onze zon relatief snel krimpen, en vervolgens afkoelen, tot een **witte dwerg** (eindigend linksonder het HR-diagram)



- **De twee hoofdtypen kernfusie in hoofdrekssterren**

Al eerder zagen we hoe we de massa uit het HR diagram kunnen afleiden. Daarmee kunnen we ook afleiden welk type kernfusie in de ster plaatsvindt. Bij hogere massa (en dus hogere kerntemperatuur) gaat de CNO-cyclus veel sneller toenemen dan de PP-keten.

- a) Proton-Protoncyclus (PP-keten)

- Dominant bij lichte sterren:  $M \lesssim 1,5 M_{\odot}$  (zoals onze zon dus)
- Relatief traag proces, maar voldoende voor koele sterren.
- Temperatuur nodig:  $\sim 10$  miljoen K in de kern.

- b) CNO-cyclus (koolstof-stikstof-zuurstof)

- Dominant bij zwaardere sterren:  $M \gtrsim 1,5 M_{\odot}$
- Koolstof fungeert als katalysator in een reeks reacties waarbij waterstof in helium wordt omgezet.
- Sneller en temperatuurgevoeliger.
- Temperatuur nodig:  $> 15$  miljoen K



## 5. Hipparcos data online vinden

Er zijn diverse online bronnen om de Hipparcos data te downloaden. Ik heb hier gekozen voor de volgende bron:

- a) **Kaggle – Hipparcos Stercatalogus**

<https://www.kaggle.com/datasets/konivat/hipparcos-star-catalog>

Deze site geeft een gebruiksvriendelijke CSV-versie van de Hipparcos-data. Deze dataset is geschikt voor directe verwerking in Python en andere data-analysetools.

Maar ik geef je graag wat suggesties voor alternatieve online bronnen. Let wel dat dit de format van de Hipparcos data per bron kan verschillen en dus een aangepast Python programma vereisen om het HR-diagram te plotten.

### Alternatieve bronnen:

- b) **Bezoek de officiële ESA-website of CDS (Centre de Données astronomiques de Strasbourg):**

Hipparcos catalogus bij CDS: <https://cdsarc.cds.unistra.fr/viz-bin/cat/I/239>

Om bestand te downloaden, zoek naar: hip\_main.dat.gz of een CSV-bestand. Of download de Lite versie in CSV (makkelijker in Python):

<https://cdsarc.cds.unistra.fr/ftp/I/239/hip2.csv.gz>

*Update: Het lijkt erop dat de eerder genoemde downloadlink voor het Hipparcos-bestand hip2.csv.gz niet meer beschikbaar is. Gelukkig zijn er dus alternatieve, betrouwbare bronnen waar je de Hipparcos-data kunt verkrijgen.*



### c) ESA Cosmos – Hipparcos-2 Catalogus

De European Space Agency (ESA) biedt de meest recente herziening van de Hipparcos-data aan, bekend als de Hipparcos-2 Catalogus. Deze versie bevat verbeterde astrometrische gegevens voor bijna alle sterren met een helderheid van  $H_p < 8$ . Je kunt de catalogus en aanvullende informatie vinden op de officiële ESA-website: <https://www.cosmos.esa.int/web/hipparcos/hipparcos-2>

### d) HEASARC (NASA) – Hipparcos Hoofdcatalogus

NASA's High Energy Astrophysics Science Archive Research Center (HEASARC) biedt toegang tot de originele Hipparcos Hoofdcatalogus. Deze bevat hoogwaardige astrometrische en fotometrische gegevens. Je kunt de catalogus doorzoeken en downloaden via:  
<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/w3browse/all/hipparcos.html>

## 6. Toelichting op het Python programma

Het Python programma staat in separaat bestand: `hipparcos.py`. De bijbehorende data in het bestand: `hipparcos.csv`

Het programma volgt de volgende stappen:

- a) CSV-bestand inlezen
- b) Alleen sterren met geldige parallax/B-V selecteren
- c) Absolute magnitude berekenen
- d) HR-diagram tekenen

Hierbij een korte toelichting bij de tweede en derde stap.

### b) Alleen sterren met geldige parallax/B-V selecteren

- `df[['Vmag', 'Plx', '(V-I)red']]`

We selecteren drie kolommen:

- Vmag: De visuele magnitude — hoe helder de ster lijkt vanaf de aarde.
- Plx (parallax): De hoekverplaatsing van een ster aan de hemel door de baan van de aarde — dit gebruiken we om de afstand tot de ster te berekenen.
- (V-I)red: De kleurindex — het verschil in helderheid tussen het V-band (groen) en I-band (nabij-infrarood). Deze index hangt samen met de oppervlaktetemperatuur van de ster.

Dit zijn de basisgegevens om een HR-diagram te maken: temperatuur/kleur (x-as) en absolute helderheid (y-as).

- `.dropna()`

We verwijderen sterren waarvoor één of meer van deze drie waarden ontbreekt. Dit is belangrijk, want als een waarde NaN (Not a Number) is, kunnen we:

- Geen afstand berekenen (zonder Plx)
- Geen absolute magnitude bepalen (zonder Vmag)
- Geen temperatuur/kleur schatten (zonder (V-I)red)

- `filtered[filtered['Plx'] > 0]`  
De parallax moet positief zijn. Een negatieve of nul-waarde betekent dat er geen betrouwbare afstandsmeting mogelijk is. Fysisch is een negatieve parallax onzinnig — het zou betekenen dat de ster dichterbij komt als je verder kijkt.

### c) Absolute magnitude berekenen

- `filtered['Distance_pc']`  
Afstand van de ster in parsec. De parallax is de schijnbare verplaatsing van een ster aan de hemel als gevolg van de baan van de aarde om de zon. Ze wordt gemeten in milliarcseconden (mas). Omdat Hipparcos de parallax  $p$  geeft in milliarcseconden, moeten we corrigeren:

$$d = 1000 / p \quad (\text{met } p \text{ in mas})$$

1 parsec  $\approx$  3,26 lichtjaar, en is de afstand waarbij 1 AU een hoek van 1 arcseconde maakt.

- Bereken absolute magnitude  
We zetten de visuele magnitude ( $V_{\text{mag}}$ ) om naar absolute magnitude ( $AbsMag$ ).  
Toelichting:
  - Visuele magnitude ( $V_{\text{mag}}$ ) is hoe helder een ster lijkt vanaf de aarde.
  - Absolute magnitude ( $M$ ) is hoe helder diezelfde ster zou lijken op een standaardafstand van 10 parsec.

De absolute magnitude ` $M$ ` bereken je uit de visuele magnitude ` $m$ ` als volgt:

$$M = m - 5 \times \log_{10}(d / 10)$$

We maken hiermee de gegevens **vergelijkbaar**: de absolute magnitude is onafhankelijk van afstand. Hiermee krijgen we de juiste waarden voor de **y-as** in het HR-diagram.



## 7. Resultaat en aanbevelingen

Nadat je dit hebt gedaan kan ik je de volgende ideeën voor een vervolg aanbevelen:

- Kijk ook eens naar de veel recentere data van de Gaia-missie. Waar Hipparcos al een baanbrekende catalogus van posities, parallaxen en eigenbewegingen van sterren leverde, biedt Gaia een nog meer nauwkeurigheid en diepgang.

De Gaia-missie, gelanceerd door de ESA in 2013, observeert meer dan 1,8 miljard sterren en meet met veel hogere precisie dan Hipparcos. Dit resulteert in:

- Betere afstandsbepalingen, zelfs voor verre sterren,
- Nauwkeurige snelheidsmetingen in 3D (inclusief radiële snelheid),
- Fotometrische en spectroscopische data, waarmee onder andere temperatuur, massa en chemische samenstelling beter kunnen worden bepaald.

- Als je HR-diagram project wil loskoppelen van het programmeren in Python, kan je het ook op basis van een beperkter aantal sterren. Neem bijvoorbeeld de sterren uit [https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst\\_van\\_helderste\\_sterren](https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_helderste_sterren). Als je de voor ons helderste sterren neemt (zeg die met schijnbare visuele magnitude tot magnitude +2, sterren die met het blote oog te zien zijn) dan krijg je een lijstje van ca. 50 sterren. Je kan de gegevens dan gewoon in Excel zetten en van daaruit een grafiek halen. Ik heb hier al een format voor: mail me als je ik je daarbij kan helpen.
- Je kan de plot ook nog uitbreiden. Denk bijvoorbeeld aan het filteren en alleen de hoofdreekssterren plotten. Of filter op magnitude en kleur, of extra classificaties. Of gebruik matplotlib of plotly voor interactieve plots.