

# STERREN EN MELKWEGSTELSELS

## 6. Melkwegstelsels

Piet van der Kruit  
Kapteyn Astronomical Institute  
University of Groningen  
the Netherlands

Voorjaar 2007

## Outline

### Afstandsschaal

### Classificatie

### Structuur en evolutie

- Populaties

- Spiraalstructuur

- Omgeving en interacties

- Evolutie

- Actieve stelsels en quasars

# Afstandsschaal

Afstanden worden in eerste instantie gemeten met **Cepheïden**.

Met de **Hubble Space Telescope** kan dit nu tot afstanden van **20 – 30 Mpc**.

Op ongeveer **20 Mpc** ligt de **Virgo Cluster**, een grote verzameling van melkwegstelsels.

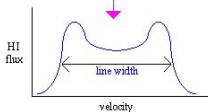
Voor grotere afstanden kan het dan met de **Tully-Fisher relatie** tussen de absolute magnitude en de rotatiesnelheid.

Deze relatie zegt, dat als er meer sterren zijn het stelsel ook meer massa bevat.

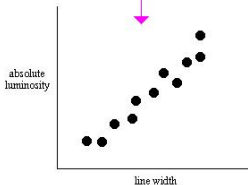
### Tully-Fisher relation



spiral galaxies rotate, and the rotation speed is proportional to the mass of the galaxy



measurements of neutral hydrogen (HI) display a “double-horned” profile, where the width of the line indicates the mass



a plot of line width versus absolute luminosity of a galaxy is called the Tully-Fisher relation. When calibrated using galaxies with Cepheid distances, the TF relation is used to determine Hubble's constant.

Het is observationeel geverifieerd en gecalibreerd in de **Virgo Cluster**.

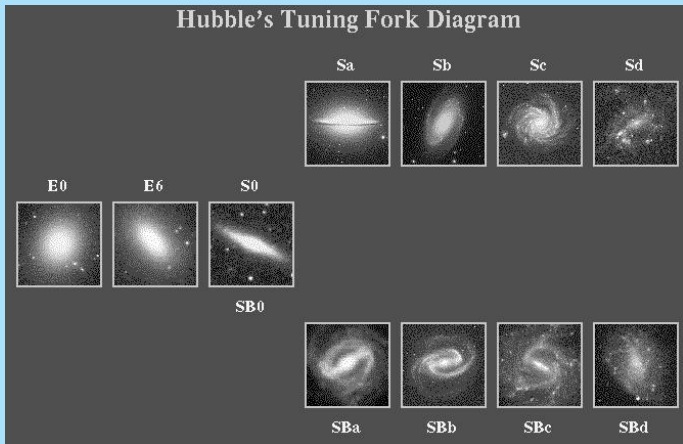
Men vindt de **expansie-wet van Hubble**:

$$V_{\text{rad}} = H \times D$$

De **Hubble constante  $H$**  is  $70 \pm 5 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ .

# Classificatie

Hubble heeft het meest gebruikte **classificatie schema** voorgesteld in de jaren 1920 (de “Stemvork” van Hubble).





Er zijn twee fundamentele typen:

- **Elliptische stelsels E.**

Deze bevatten geen stof, gas of emissie-nevels (HII-gebieden).

Naar de **afplatting** geeft men nog een getal van 0 (rond) tot 7 (zeer afgeplat), gebaseerd op de schijnbare grote as **a** en kleine as **b** volgens  $10(a - b)/a$ .

- **Spiraalnevels.**

Deze bevatten stof, gas, jonge sterren en hebben een schijf met **spiraalstructuur**.

Men onderscheidt nog **normale** spiralen (**S**) en **balk**-spiralen (**SB**).

Er is nog een onderverdeling  $Sa/SBa$ ,  $Sb/SBb$ ,  $S/SBc$ ,  $S/SBd$  volgens de criteria:

1. Verhouding bulge en schijf (groot voor  $Sa$ ).
2. Opwinding van de spiraalarmen (sterk voor  $Sa$ ).
3. Details in de spiraalarmen (kleine HII-gebieden voor  $Sa$ ).

- $S0$ -stelsels.

Deze zijn door Hubble later ingevoerd (ook wel "**lenticulars**" genoemd).

Deze hebben wel een schijf, maar geen gas, stof en emissie-niveaus  
Het is een overgangstype tussen elliptische en spiraalstelsels.

- Onregelmatige nevels.

Hierin komen de nevels, die niet in het schema passen (slechts een paar procent).

Omdat men vroeger dacht, dat het een evolutie-reeks was, noemt men E, S0, etc. **vroeg**e typen.

## Diverse spiraalstelsels



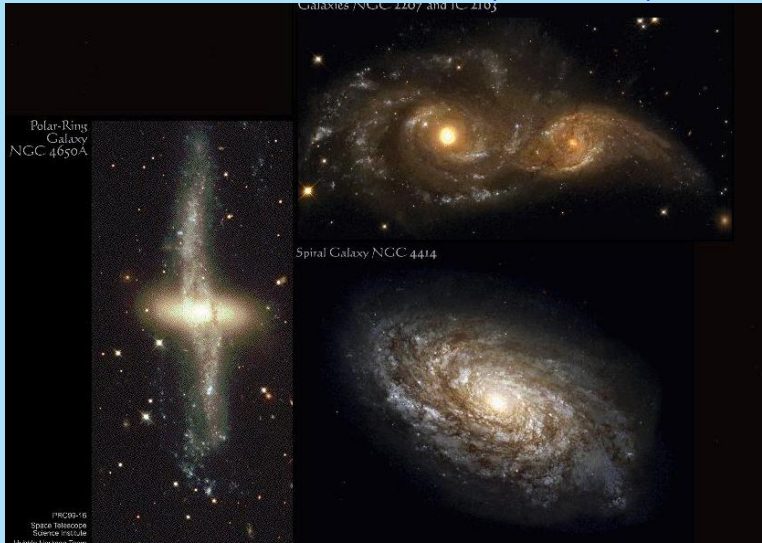
In niet alle gevallen is de spiraalstructuur even duidelijk gedefinieerd.



## Diverse stelsels op de kant gezien



## Diverse stelsels met de Hubble Space Telescope



## Balkspiraal met de Hubble Space Telescope





## Diverse stelsels met de Very Large Telescope



Spiral Galaxy NGC 1332 (VLT UT1 + FORS1)

© H. Povel/ESO (24 September 1995)

© European Southern Observatory



The Sombrero Galaxy (VLT ANTU + FORS1)

© ESO,ESO/Foto (22 October 2005)

© European Southern Observatory



Spiral Galaxy Messier 83 (VLT ANTU + FORS1)

© ESO

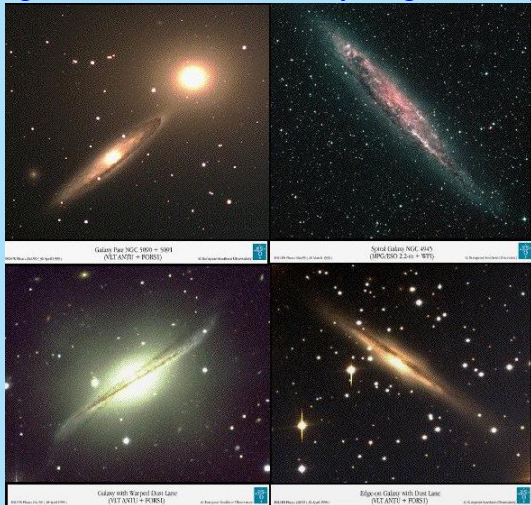


Spiral Galaxy NGC 2097 (VLT UT1 + FORS1)

## Meer stelsels met de Very Large Telescope



## Nog meer stelsels met de Very Large Telescope



# Structuur en evolutie

## Populaties

De Hubble-classificaties (van **E** naar **Irr** blijken een reeks te zijn van toenemende verhouding van de **Populatie I** t.o.v. **II**.

D.w.z. van **puur halo** voor de elliptische stelsels tot **puur schijf** voor de late spiralen en onregelmatige nevels.

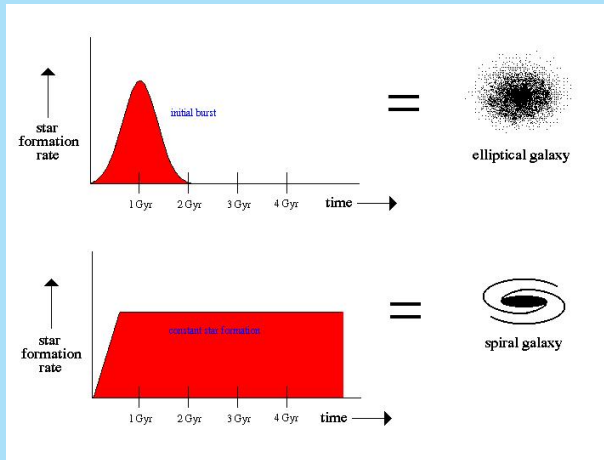
Naast het ontbreken van gas, stof, jonge sterren en de ruimtelijke verdeling volgt dit ook uit de **geïntegreerde kleuren**.

Het licht van **Elliptische stelsels** wordt gedomineerd door rode reuzen; van **Spiraalstelsels** wordt het gedomineerd door hete hoofdreekssterren.

Men kan dit modelleren in een **geschiedenis van stervorming**.

Dan blijkt, dat er een groot verschil is in de **mate van stervorming** met de tijd van effectied alles heel vroeg voor elliptische stelsels tot uniform verdeeld in de tijd voor de late types..

Uit zulke modellen blijkt ook, dat de kleuren niet verklaard kunnen worden met verschillende leeftijden. Alle stelsels zijn  **$10^{10}$  jaar** oud.



## Spiraalstructuur

Men beschouwt nu de spiraalstructuur als een **Verdichtingsgolf**, die door de schijf loopt.

Dat spiraalvormige golfpatroon draait als een vast wiel (dus zonder differentiële rotatie) en gaat langzamer dan sterren en gas.

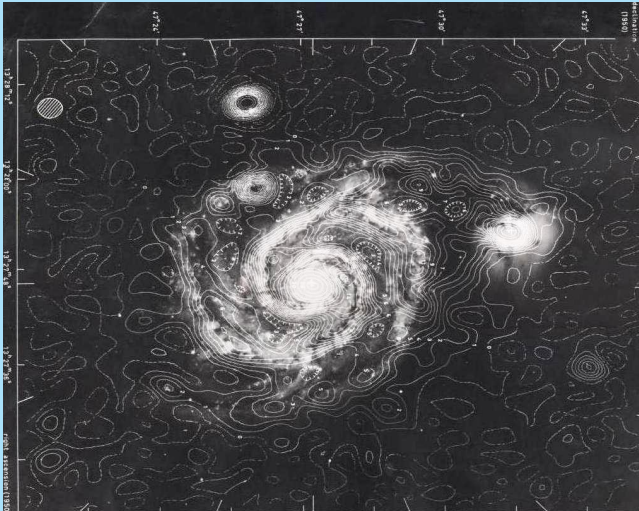
Als sterren de golftop (de spiraalarmen, waar de dichtheid iets groter is) naderen worden ze iets versneld en als ze erdoorheen zijn vertraagd.

Dus ze hopen zich bij de golftop op en zo **houdt** de golf zich tot op zekere hoogte **in stand**.

Voor het gas gebeurt dit ook, maar daarin ontstaan dan **schokgolven**. Die zien we als de **stofbanen** aan de binnenkant van de spiraal armen.

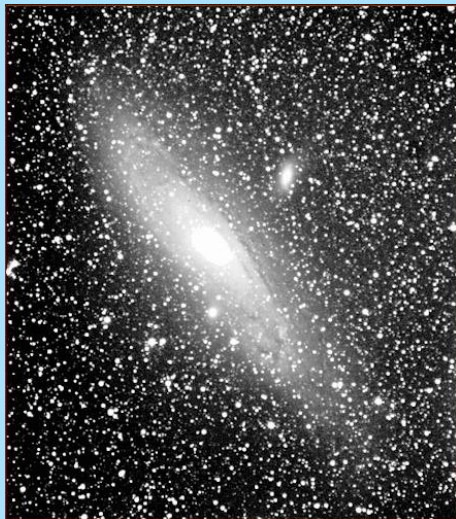


Het geeft ook aanleiding tot **stervorming**; daarom zijn de HII-gebieden en jonge sterren geconcentreerd naar de spiraalarmen.

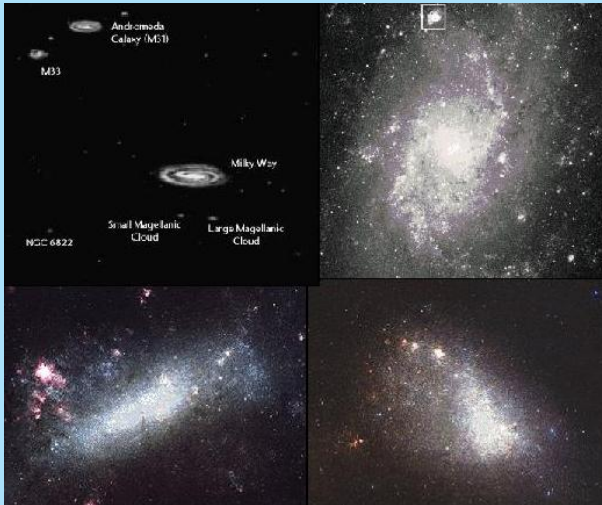


## Omgeving en interacties

Stelsels komen in soms kleine groepen voor (zoals de **Lokal Groep**, waartoe ons **Melkwegstelsel** en de **Andromeda nevel** behoren).



Daarnaast bevat de Lokale Groep nog een aantal kleinere stelsels, zoals de **Magelhaense Wolken** en **M33**.



En er is een flink aantal **dwergstelsels**.



De meeste stelsels komen voor in grote clusters, zoals de Coma Cluster.



**NGC 4881**  
**Coma Cluster**  
**HST · WFPC2**



PF95-07 · ST ScI OPO · January 1995 · W. Baum (U.WA), NASA

1/27/95 zgl



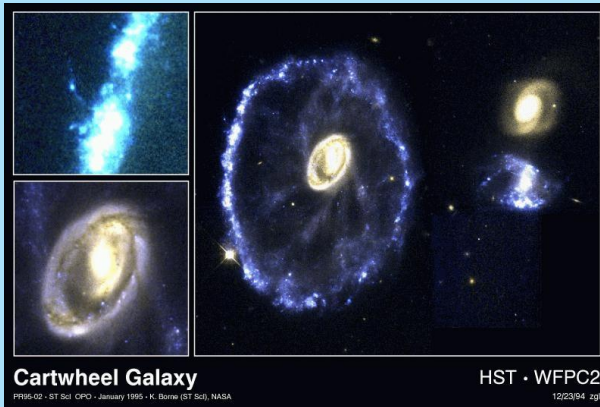
Stelsels kunnen ook zo dicht elkaar passeren, dat ze **interactie** vertonen.

In de “**Antenne's**” (denk aan een insect) worden staarten van sterren en gas uitgetrokken.

Dit gaat gepaard met veel stervorming.



In het “Wagenwiel” is een kleiner stelsel bijna loodrecht door het midden van de schijf gegaan.



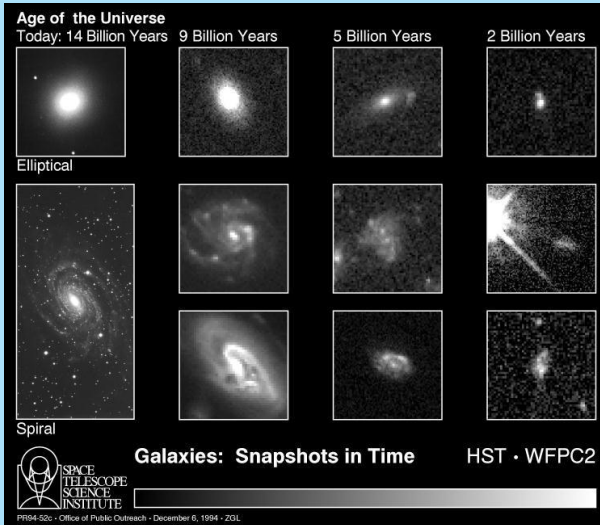


## Evolutie

Met nieuwe telescopen als de **Hubble Space Telescope** kan men stelsels tot op grote **roodverschuiving** (dus ver terug in de tijd) bestuderen.

We zien dan, dat stelsels vroeger veel onregelmatiger waren.

Er zijn ook veel meer interacties en samenklontering  
(**"merging"**).



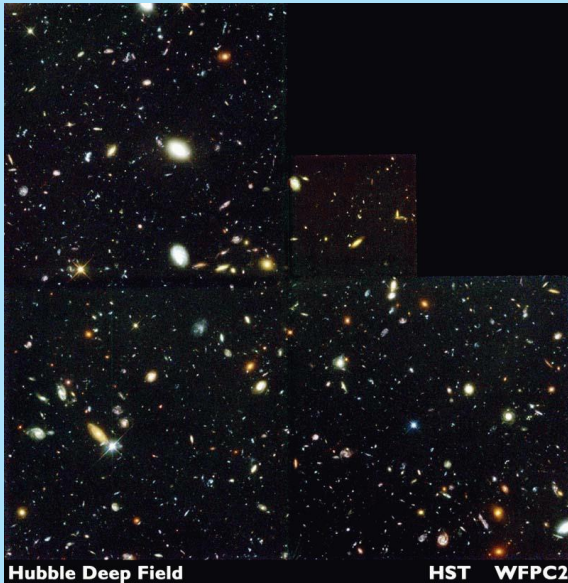
Veel informatie is gekomen uit de **Hubble Deep Field**.

Hiervoor heeft de **Hubble Space Telescope** twee weken waarneemtijd gebruikt in een gebied met praktisch geen sterren (in de buurt van de Grote Beer).

Er zijn steels op te zien met een roodverschuiving groter dan 1.0.

Er is nu ook zo'n veld in het zuiden.

Hieronder de **HDF-North**.



**Hubble Deep Field**

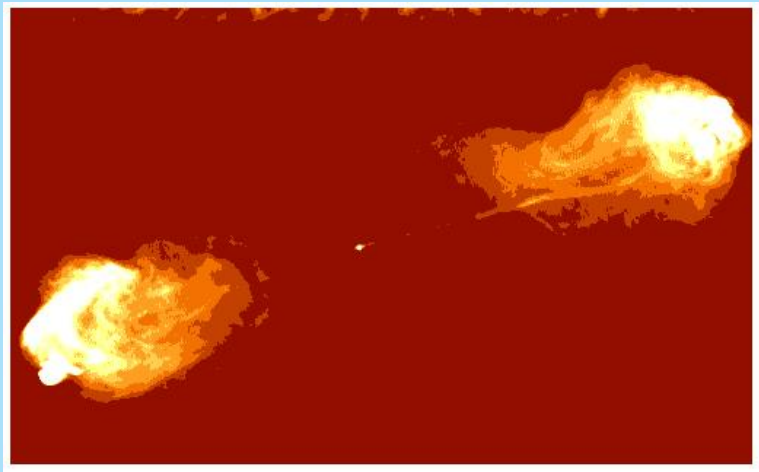
**HST WFPC2**

## Actieve stelsels en quasars

Melkwegstelsels tonen vaak activiteit in hun kernen. Men vat dit samen onder de term **Active Galactic Nuclei (AGN)**.

De meest dramatische vorm is die van de **radiostelsels**, die vooral geassocieerd zijn met grote **elliptische stelsels**, zoals die voorkomen in grote **clusters**.

Een bekend voorbeeld is **Cygnus A**, geassocieerd met een stelsel op een afstand van zo'n 200 Mpc. Karakteristiek is de **"double lobe"** structuur.



De totale afmeting van de radiobron is meer dan **100 Mpc**.

De energieproductie in radiostraling alleen al is van de orde  $10^{38}$  Watt.

Oorspronkelijk dacht men aan een botsing als de oorzaak.

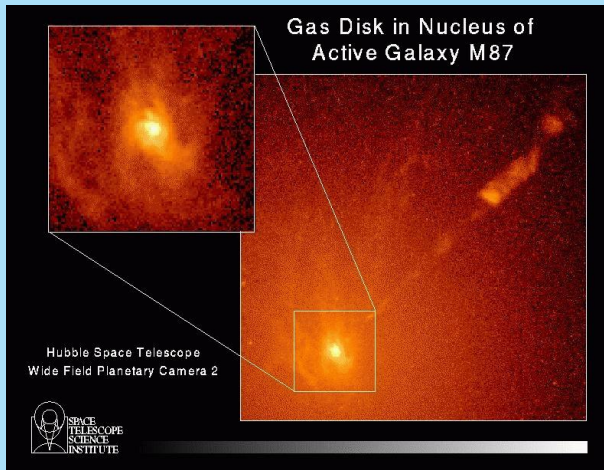
Het stelsel zelf heeft een veel zwakkere radiobron en er komen "radio-jets" uit, die kennelijk de lobben van energie voorzien. Een

ander voorbeeld is het reuzen-elliptische stelsels M87 in het centrum van de Virgo Cluster op ongeveer 20 Mpc.



Het stelsel is een sterke radiobron (Virgo A) en heeft een optische (en radio) “jet”, die uit de kern komt.





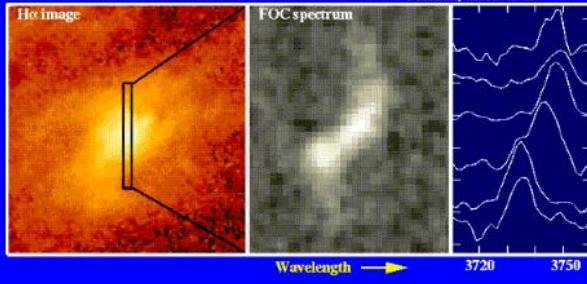
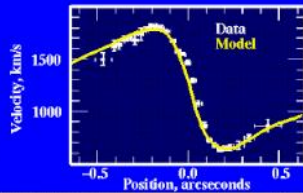
Het licht heeft een sterke **piek** bij het centrum, waarschijnlijk omdat een compact object er de sterren naartoe trekt.

Ze draaien er met **grote snelheden** omheen.

Metingen van de snelheden van gas en sterren vlak bij het centrum geven aanwijzingen voor de aanwezigheid van een **compact object** (waarschijnlijk zwart gat) van enige malen  $10^9 M_{\odot}$ .

## Velocity Profiles in the M87 Core

Model: central mass  $3.2 \times 10^9$  solar masses



Nog energierijker zijn de **quasars** (*afkorting van quasi-stellar radio source*). Ze heten zo, omdat ze oorspronkelijk gezien zijn als sterachtige objecten waar veel radiostraling vandaan komt.

Ze hebben een grote **roodverschuiving** en staan dus ver weg.

De **roodverschuiving** is de verplaatsing van de spectraallijnen naar het rood door de **expansie van het heelal**.

Roodverschuiving  $z$  is aangeduid als

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

Voor kleine  $z$  kun je dit opvatten als een **Doppler-verschuiving**.

$$z = \frac{V_{\text{rad}}}{c}$$

Maar  $z$  kan groter dan 1 worden. Dan geldt de relativistische formule

$$z = \sqrt{\frac{1 + V_{\text{rad}}/c}{1 - V_{\text{rad}}/c}} - 1$$

De eerste **quasar** was de radiobron **3C273**, die geïdentificeerd was met een “ster” van magnitude 13. **Maarten Schmidt** vond een **roodverschuiving** van 0.158.

Men vindt nu **quasars** tot  $z$  groter dan 4.

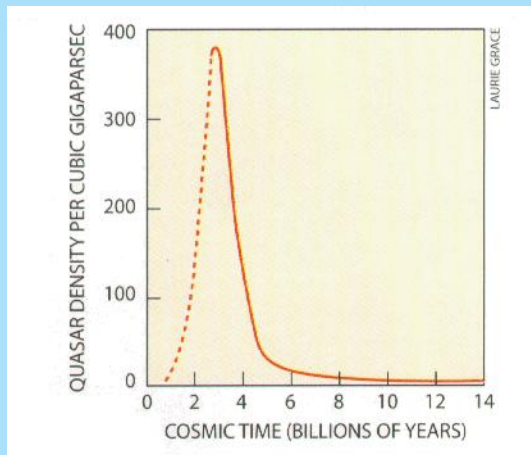
We kunnen nu zien, dat ze geassocieerd zijn met melkwegstelsels.



Voorbij  $z$  ongeveer 4 neemt het aantal quasars sterk af.

Hun voorkomen heeft een sterke piek bij het moment, dat het heelal een leeftijd van ongeveer 10% van de huidige had.

Men associeert het met het moment van de geboorte van de melkwegstelsels.



Dit komt overeen met wat we zien aan melkwegstelsels.

Bedenk, dat er vroeg in de geschiedenis van het heelal veel sterren ontstaan en op den duur minder.

Men kan dan met behulp van b.v. het **Hubble Deep Field** en nabije stelsels een **kosmische geschiedenis van de stervorming** in het heelal construeren.

Ook dit piekt bij een vergelijkbare tijd.



