

Unterlagen zum Kurs

# Die Milchstraße – unsere kosmische Umgebung

an der Kuffner Sternwarte im Sommersemester 2005

## Teil 2

Tag 2 Millionen von Sonnen - Sterne als Bestandteile von Galaxien	11 Seiten
Tag 3 Sterne sind nicht Alles - weitere Bestandteile der Milchstraße	18 Seiten
Tag 4 Auch nur eine Galaxie - die Milchstraße als eine Galaxie unter Vielen	16 Seiten
Tag 5 Sind wir allein? - extrasolare Planetensysteme	15 Seiten
Tag 7 relativ schwarz - von der Relativitätstheorie zu den schwarzen Löchern	26 Seiten

# Millionen von Sonnen - Sterne als Bestandteile von Galaxien

etwas Werbung ...

- Bestellung von Büchern über den Shop der Kuffner Sternwarte:  
<http://www.kuffner.ac.at/> Shop
- meist nur geringer Lagerstand
- Fr. Claudia Schlögl: [cschloegl@kuffner.ac.at](mailto:cschloegl@kuffner.ac.at) , Tel.: 7295494 / 12

## Galaxie

Zitiert aus Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Galaxie>

*Als Galaxie wird in der Astronomie allgemein eine gravitativ gebundene große Ansammlung von Materie wie Sternen und Sternsystemen, Gasnebeln, Staubwolken und sonstigen Objekten bezeichnet.*

- Trennung durch große Zwischenräume relativer Leere
- etwa 50 Milliarden Galaxien existieren
- mittlere Sternanzahl pro Galaxie: 100 Milliarden Sterne
- etymologisch: Galaxie griech. galaktos Milch Milchstraße

# Scheiben

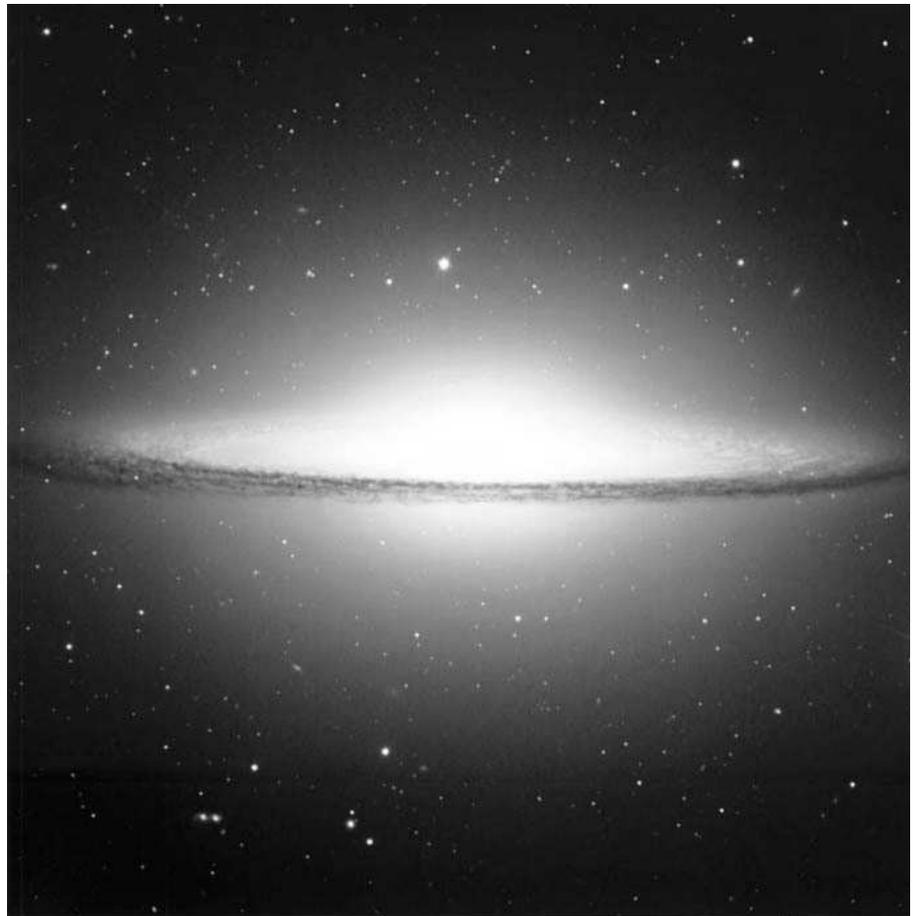
- zumeist Scheibe als wesentliches Element - warum?
- Wir greifen nur den Aspekt der Scheibenbildung heraus:
- Schuld ist Drehimpuls
- Ansammlung von Objekten
- Bestimmung des Massenmittelpunktes
- Bestimmung des Gesamtdrehimpulses
- Kontraktion entlang der Drehimpulsachse ohne Weiteres möglich
- Gesamtdrehimpuls ist eine Erhaltungsgröße
- andere Erhaltungsgrößen: Energie, Impuls



Andromeda - Galaxie:

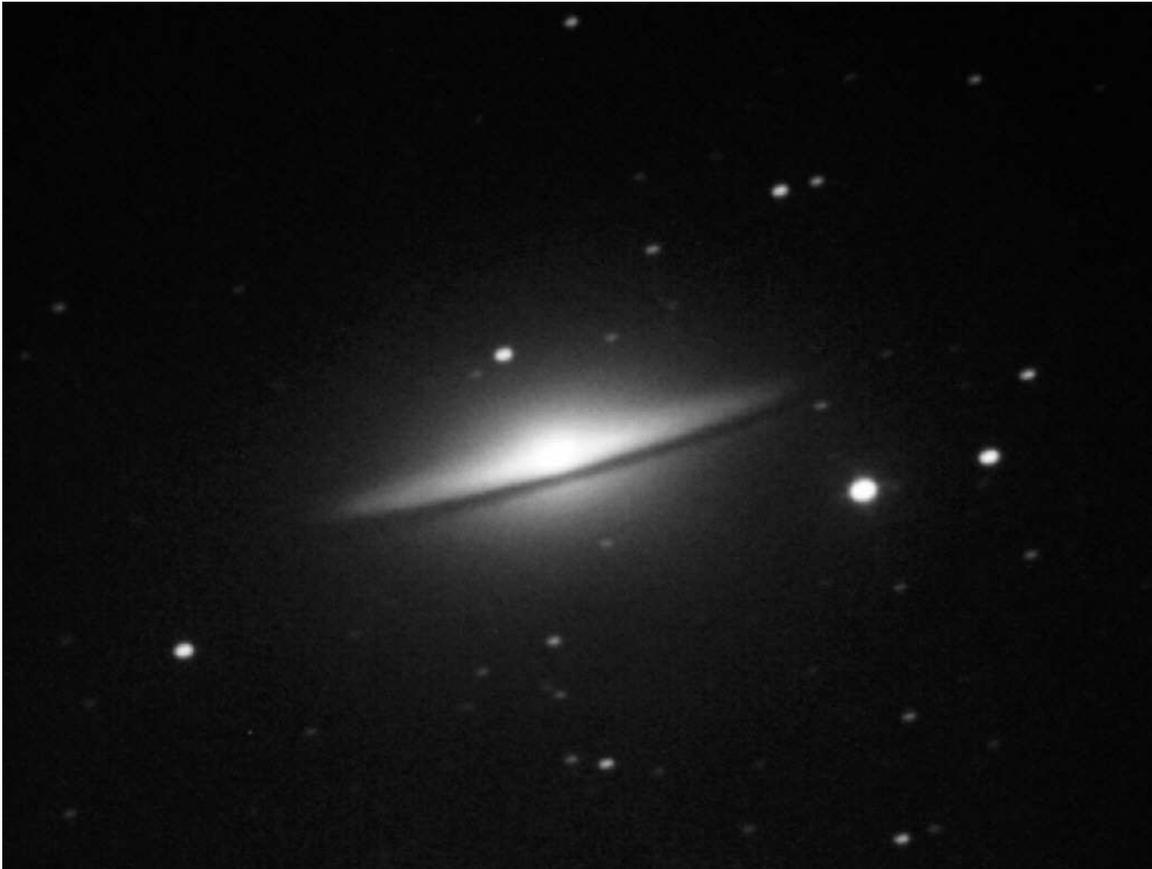
Quelle: [http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Andromeda\\_Galaxy.jpg](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Andromeda_Galaxy.jpg)

# Rätzel



Sombrero Galaxie:

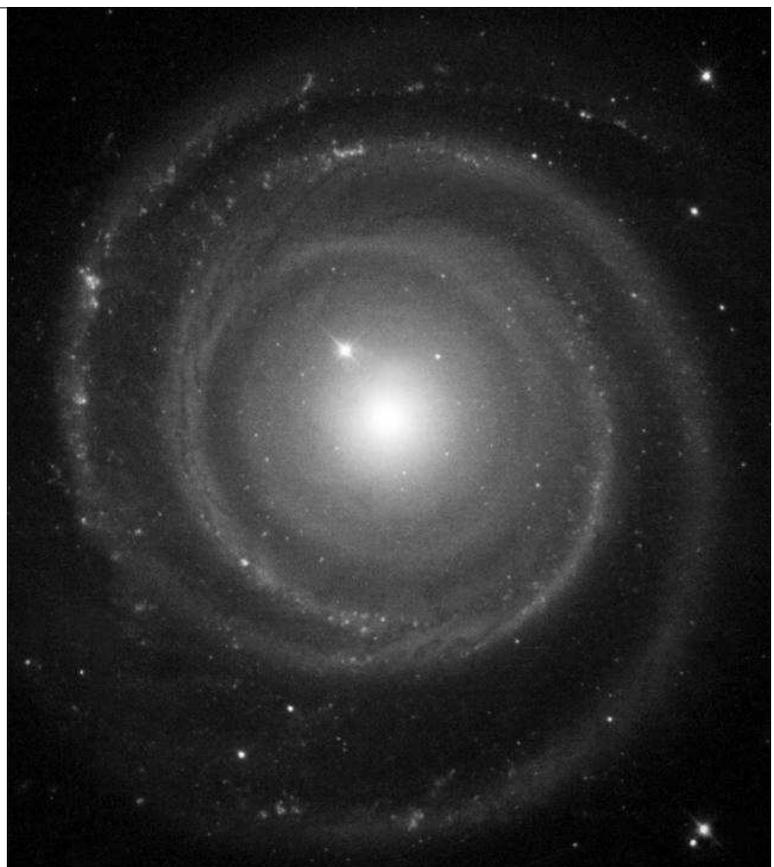
Quelle:[http://www.usm.uni-muenchen.de/people/gehren/vorlesung/1.1\\_Einleitung/hierarchy/sombrero.html](http://www.usm.uni-muenchen.de/people/gehren/vorlesung/1.1_Einleitung/hierarchy/sombrero.html)



Sombrero Galaxie:

Quelle:[http://cail.free.fr/images/grd\\_format/puim0296](http://cail.free.fr/images/grd_format/puim0296)

Kann auch dieses Bild  
ein Bild der Sombrero  
Galaxie sein?



Quelle:<http://home.t-online.de/home/boehm-regenstauf/prod03.htm>

# Populationen

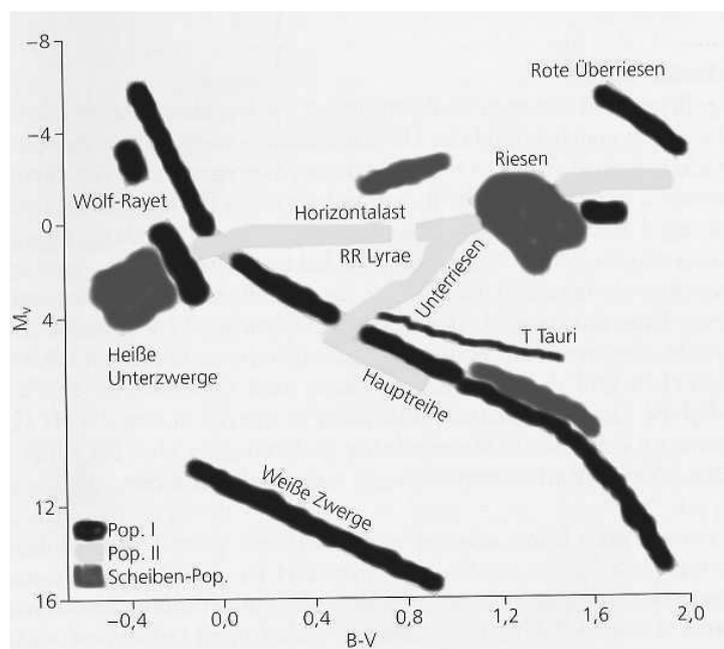
- unterschiedliche Arten von Sternen
- ausschlaggebend: Alter = Entwicklungsstufe, Ausgangsmasse
  
- Klassifikation der Sterne in Populationen
  - Population I <sup>1)</sup>
  - Scheibensterne
  - Population II

Einteilung nach Walter Baade, Untersuchungen der Andromeda – Galaxie durch Untersuchungen der Hertzsprung Russeldiagramme

1) Eine genauere Unterteilung liefert die Serie IIa? - IIb? - S - IB - Ia nach der Ausprägung der Eigenschaften. Für unsere Zwecke aber nicht erforderlich.

# H-R Diagramm

- H-R Diagramm ist *das* Diagramm
- Hatten so ein Diagramm schon beim Thema Farbindex.
- Auf den Achsen ist der Farbindex gegen die absolute Helligkeit aufgetragen.



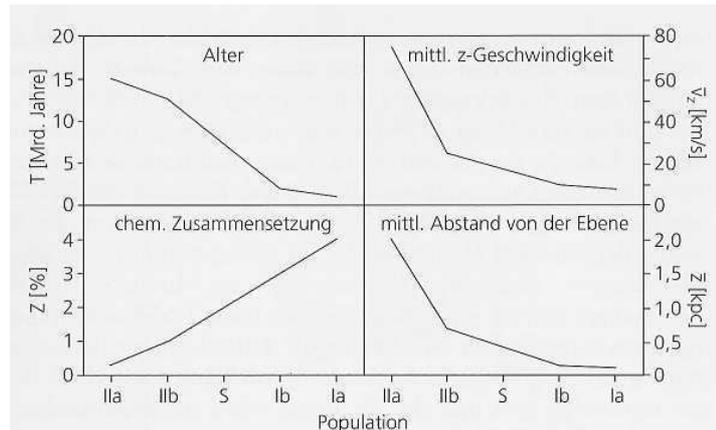
Quelle: Kühn/Das Milchstraßensystem, eingefärbt

# Vorstellung der Populationen

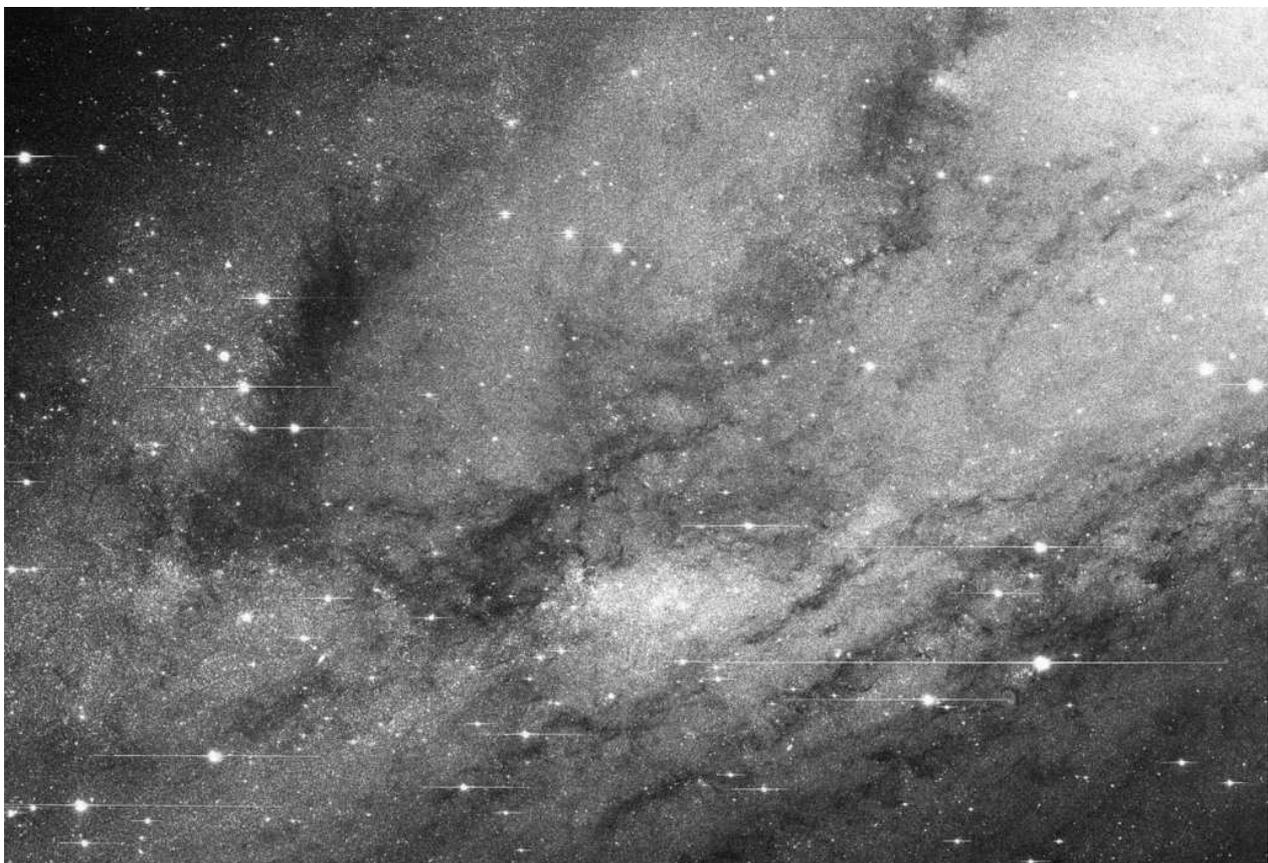
Population I: junge Sterne, geringe Geschwindigkeit in z-Richtung, hohe Metallizität, nahe an der Ebene, v.a. in offenen Sternhaufen

Scheibensternpopulation: zwischen den beiden anderen Populationen gelegen

Population II: alte Sterne, hohe z-Geschwindigkeit, geringe Metallizität, größerer Abstand von der Ebene, v.a. in Kugelsternhaufen



Quelle: Kühn/Das Milchstraßensystem



Quelle: <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap010917.html>

zunächst nur genießen...

## Alles auf einmal

- alte Sterne (gelblich, rechts oben)
- junge Sterne (bläulich, unterer linker Bildrand)
- rote Emissionsnebel
- schwarzer Staub
- bläuliche offene Sternhaufen



Tip für Hobbyastronomen:

Astronomy Picture of the day: seit Juni 1995!

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

## Ansammlungen von Sternen

1. Sternwolken
2. offene Sternhaufen
3. Kugelsternhaufen

Sternwolken

- Ansammlungen von Sternen = Assoziationen = Sternwolken
- Fluktuationen der Sterndichte
- statistische, aber keine physikalischen Himmelsobjekte
- d.h. bilden kein eigenes gravitatives System

Beispiel: Scutum Wolke  
Quelle: [http://www.astrobri.com/sagittarius\\_star\\_cloud.htm](http://www.astrobri.com/sagittarius_star_cloud.htm)

Spur durch das Bild ist eine Satellitenspür.



# Offene Sternhaufen

- Sterndichte 10 bis 1000 fach höher gegenüber Sonnenumgebung
- bis 80 Sterne/pc<sup>3</sup>
- im HR-Diagramm Hauptreihe erkennbar
- Abbruch auf der Hauptreihe am linken Ende kennzeichnet Spektraltypus
- einige Sterne meist schon nach rechts gewandert (Riesensterne)
- einige Millionen Jahre bis zu einer Milliarde Jahre alt
- Sterne dürften relativ gleichzeitig entstanden sein
- in Scheibennähe



Beispiel: Praesaepe (= Krippe)

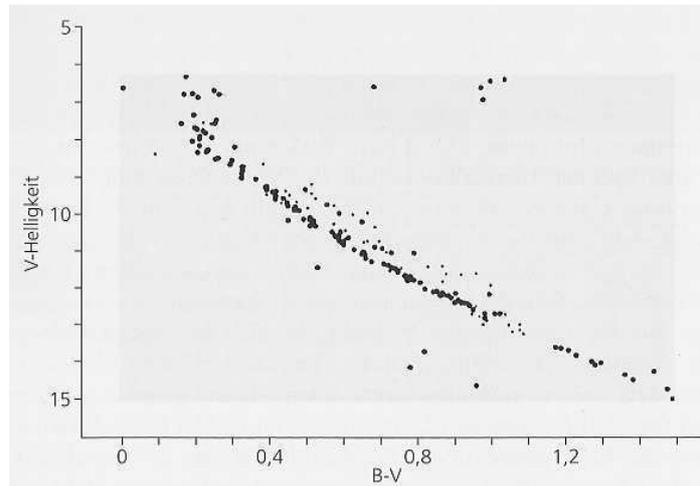
Quelle:[http://www.astronomie.net/en\\_image\\_22826.html](http://www.astronomie.net/en_image_22826.html)



# HR - Praesepe

Die Hauptreihe ist klar zu erkennen. Ebenso das linke Ende der Sterne auf der Hauptreihe.

Einige Sterne sind bereits ausgewandert.



Quelle:Kühn/Das Milchstraßensystem

# Selbstaflösung

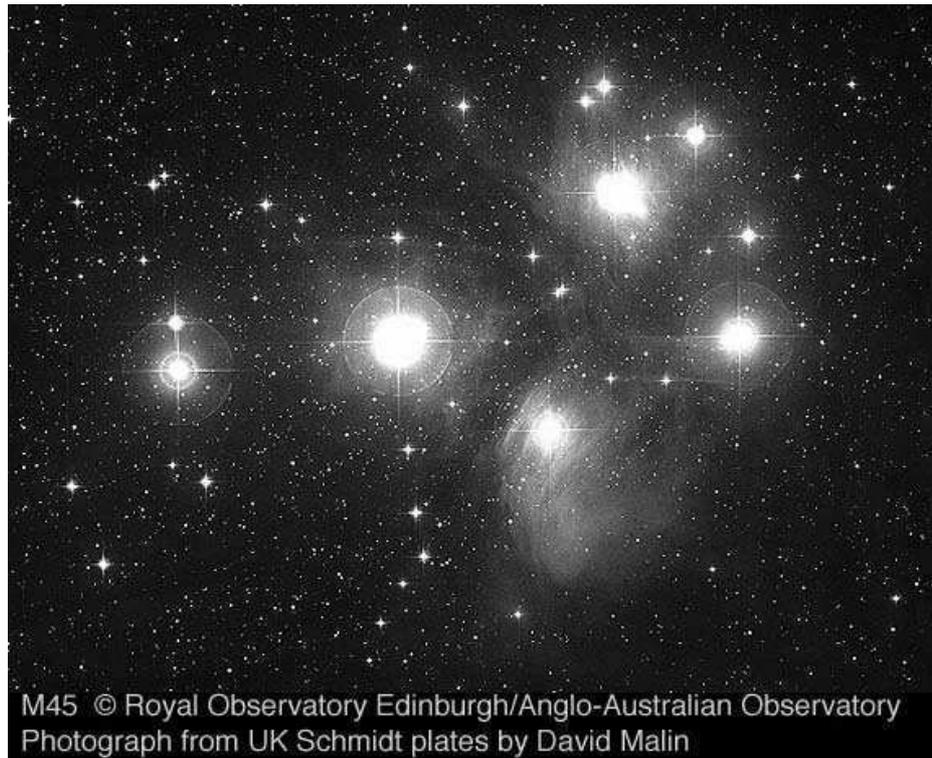
durch 3 Phänomene bedingt:

1. interstellare Wolken stören das relativ schwache Schwerfeld
2. Verdampfen von Sternen durch Wechselwirkungen zwischen den Sternen des Sternhaufens. Der Ausdruck Verdampfen kommt aus dem Vergleich zu Oberfläche einer Flüssigkeit.
3. differentielle Rotation: nach 1/10 Umlauf 50% Größenzuwachs

- nach 2–3 Umläufen nicht mehr erkennbar
- 400 Haufen bekannt, 1500 Haufen vermutet
- oft in Wolken neutralen Wasserstoffs einbettet

Simulation mittels des Computerprogrammes Galaxy

# Plejaden



Beispiel: Die Plejaden = M45  
= Siebengestirn

Quelle: <http://www.maa.agleia.de/Messier/D/m045.html>

## Kugelsternhaufen

- Sterndichte 1 000 bis 10 000 fach höher gegenüber Sonnenumgebung
- bis 1 000 Sterne/pc<sup>3</sup>
- auch hier im HR-Diagramm Hauptreihe erkennbar
- recht stetiger Übergang von der Hauptreihe zu den roten Riesen und weiter zu den weißen Zwergen
- 8–12 Milliarden Jahre alt
- lange stabil
- im Halo
- metallarme Sterne (bei Entstehung noch wenig Metall vorhanden)
- kaum interstellare Materie in einem Kugelsternhaufen

# Eine Vision

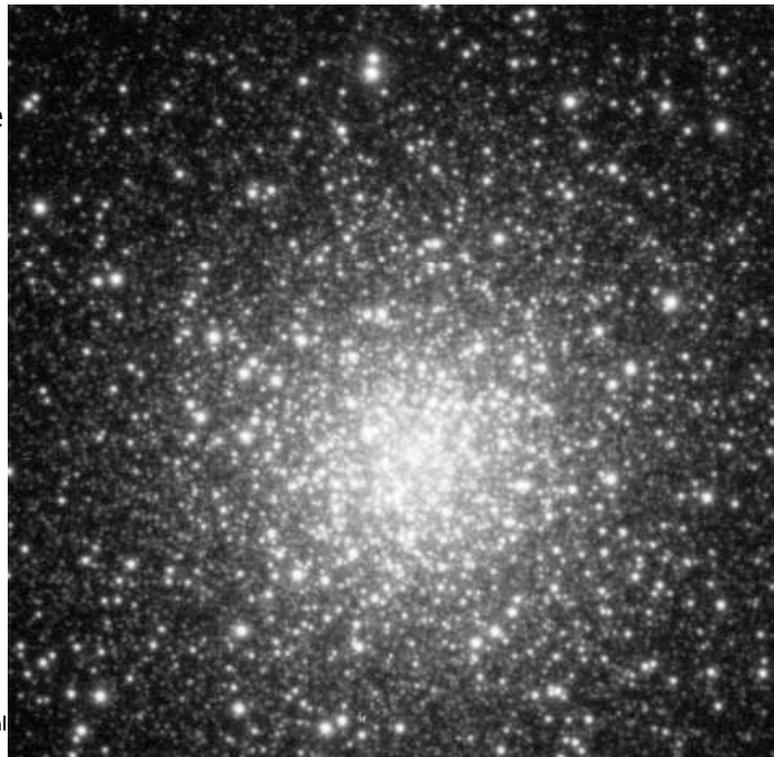
Wäre die Sonne im Zentrum eines großen Kugelsternhaufens ...

- würde man 250 000 Sterne in der Nacht mit freiem Auge sehen können (bis Größenordnung 4m)
- 1000 davon wären heller als Sirius
- Auf der Fläche des Vollmondes sähe man schon 4 Sterne
- der nächste Stern wäre etwa 10 000 Astronomische Einheiten entfernt
- die gesamte Helligkeit der Sterne entspräche jener des Halbmondes
- Sternbilder würden sich wesentlich schneller verändern

## M3

Beispiel:  $m^3$

- 13,8 kpc von der Erde entfernt
- 35 pc Durchmesser
- 500 000 Sterne



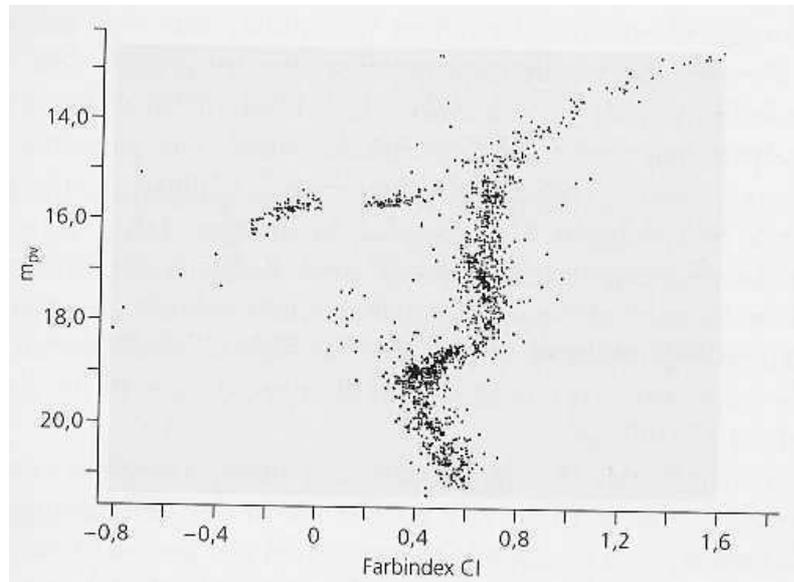
Quelle:[http://www.seds.org/messier/more/m003\\_more.html](http://www.seds.org/messier/more/m003_more.html)

Weitere Informationen:

<http://www.maa.agleia.de/Messier/D/m003.html>

# HR - M3

Im Unterschied zum HR-Diagramm eines offenen Haufen zeigt sich ein kontinuierlicher Übergang von der Hauptreihe zu den roten Riesen.

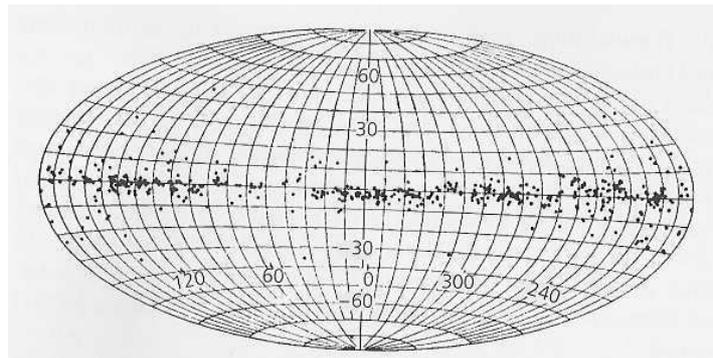


Quelle:Kühn/Das Milchstraßensystem

## Verteilung der Haufen

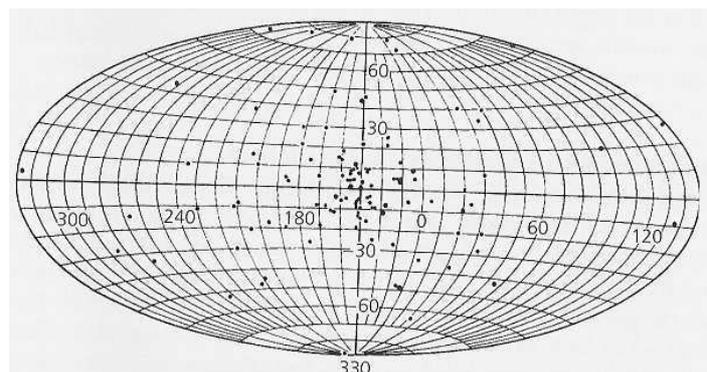
Verteilung der offenen Sternhaufen:

Quelle:Kühn/Das Milchstraßensystem



Verteilung der Kugelsternhaufen:

Quelle:Kühn/Das Milchstraßensystem



# Kataloge astronomischer Objekte und Strukturen

- IC 405, Index Katalog:
  - [Wikipedia:Index-Katalog](http://de.wikipedia.com/wiki/Index-Katalog) (<http://de.wikipedia.com/wiki/Index-Katalog>)
- M 100, Messier Katalog
  - [Wikipedia: Messier-Katalog](http://de.wikipedia.com/wiki/Messier-Katalog) (<http://de.wikipedia.com/wiki/Messier-Katalog>)
  - [Originalkatalog](http://www.seds.org/messier/xtra/history/m-cat.html) (<http://www.seds.org/messier/xtra/history/m-cat.html>)
  - [kompletter Katalog bebildet](http://www.maa.agleia.de/Messier/D/) (<http://www.maa.agleia.de/Messier/D/>)
  - [deutsche Fassung bebildet](http://www.astronomie.de/galerie/projekte/messier/) (<http://www.astronomie.de/galerie/projekte/messier/>)
- NGC 104, New General Catalogue,
  - [Wikipedia: NGC New General Catalogue](http://www.seds.org/~spider/ngc/ngc.html?M+100) (<http://www.seds.org/~spider/ngc/ngc.html?M+100>)
- Gem, Bayer-Bezeichnungen
  - [Wikipedia:Bayer-Bezeichnung](http://de.wikipedia.com/wiki/Bayer-Bezeichnung) (<http://de.wikipedia.com/wiki/Bayer-Bezeichnung>)

## Weitere Kataloge

- R Lyrae, Bezeichnung veränderlicher Sterne:
  - [Wikipedia:Benennung\\_veränderlicher\\_Sterne](http://de.wikipedia.com/wiki/Benennung_ver%EAnderlicher_Sterne) ([http://de.wikipedia.com/wiki/Benennung\\_ver%EAnderlicher\\_Sterne](http://de.wikipedia.com/wiki/Benennung_ver%EAnderlicher_Sterne))
  -
- weitere Kataloge wie SAO, Hipparchos, Tycho
  - [Wikipedia:Sternkatalog](http://de.wikipedia.com/wiki/Sternkatalog) (<http://de.wikipedia.com/wiki/Sternkatalog>)

## Leere

- wir wissen bereits: Raum zwischen unseren Planeten ist ziemlich leer
- noch wesentlich größere sind Abstände zwischen den Sternen, dennoch:
- Olbersches Paradoxon: Warum ist der Nachthimmel schwarz?
- Raum nimmt mit  $r^3$  zu, Helligkeit eines Objektes nur mit  $r^2$  ab
- bei manchen Sternspektren fehlen Linien
- seltsame dunkle Regionen am Himmel
- bunt leuchtende Flecken am Himmel

## Wolken

Nachdem es die letzten beiden Male, vielleicht etwas zu physikalisch wurde, wollen wir heute etwas mehr genießen.

Vielleicht forschen Sie selbst weiter, was die berühmte 21cm-Linie des Wasserstoffes ist und lernen Merkwürdigkeiten wie den Spin oder die Quantelung von physikalischen Größen selbst kennen!

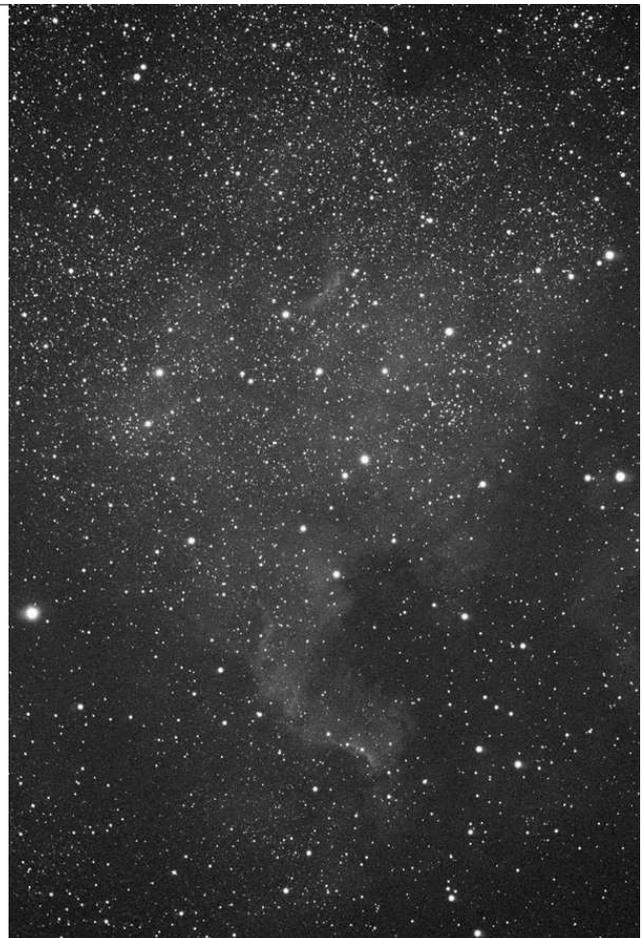
Der Raum zwischen den Sternen ist nicht leer

- Wasserstoffwolken
- Molekülwolken
- Staubwolken

# Wasserstoffwolken

- im Raum zwischen den Sternen befindet sich eine beträchtliche Menge an Wasserstoff in verschiedenen Formen
1. HII Wolken: ionisierte Wasserstoffatome, heiß (10<sup>3</sup> - 10<sup>6</sup>°C), etwa 22% Masse in der Galaxis
  2. HI Wolken: neutraler Wasserstoff, kühler (bis etwas 8000°C), etwa 60% Masse
  3. H<sub>2</sub>-Wolken: Wasserstoffmolekülwolken, im 10°Kelvin Bereich, etwa 18% Masse

## Der Nordamerika-Nebel



Quelle:<http://www.diesiegls.de/ngc7000.htm>

# Grund für das Leuchten

Elektronen werden von ionisierten Wasserstoffatomen wieder eingefangen, dabei wird über mehrere Zwischenstufen elektromagnetische Strahlung abgegeben, u.a. das rote Leuchten im Bild zuvor.

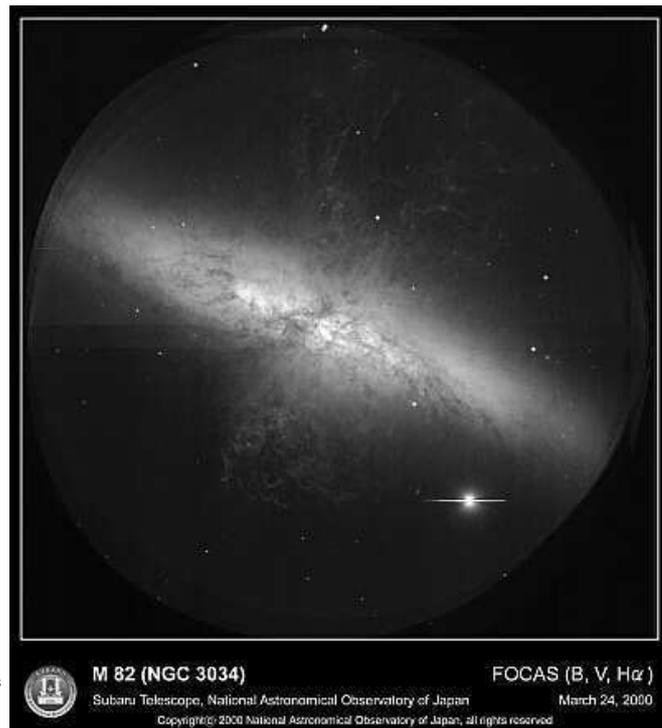
Ionisierung erfolgt durch UV-Licht von Sternen. Auf diese Weise wird UV-Licht auch in sichtbares Licht umgewandelt.

Prinzip der Leuchtstoffröhre:

- UV-Licht durch Entladung
- Umwandlung in Farbschicht an der Glaswand

## M82

Die irreguläre Galaxie M82 zeigt rote Wasserstoffwolken



Quelle:<http://www.weltderphysik.de/themen/universum/astroteilchen/gravitation/nachweis/>



# Nebel

- Teilchen können entweder selbst leuchten (wie gerade gesehen) oder (wie in diesem Beispiel) beleuchtet werden.
- Exkurs: Warum ist der Himmel blau?
- Reflexion, Streuung, Absorption
- Teilchen nun nicht mehr nur Wasserstoff, auch Moleküle oder gar Staubteilchen sind vertreten

## Trifidnebel

Blauer Anteil des  
Trifidnebels



Quelle: <http://home.foni.net/~m-burmeister/bernd/Trifidnebel.htm>

# Nebelarten

- Diffuse Nebel
- Planetarische Nebel
- Dunkelnebel
- Bipolare Nebel
- Extragalaktische Nebel

## Diffuse Nebel

- Emissionsnebel senden Licht nach dem beschriebenen Verfahren aus (UV- Umwandlung), auch Stoßprozesse
- Reflexionsnebel: Staubteilchen werden beleuchtet

Beispiel:  
Der emittierende  
Lagunennebel



Quelle:[http://www.astrocorner.de/service/service\\_astrofotos\\_deepsky.php](http://www.astrocorner.de/service/service_astrofotos_deepsky.php)

(c) Elmar Rixen  
Astro Corner AstroFoto-Galerie: HP/65  
[www.astrocorner.de](http://www.astrocorner.de)

# Planetarische Nebel

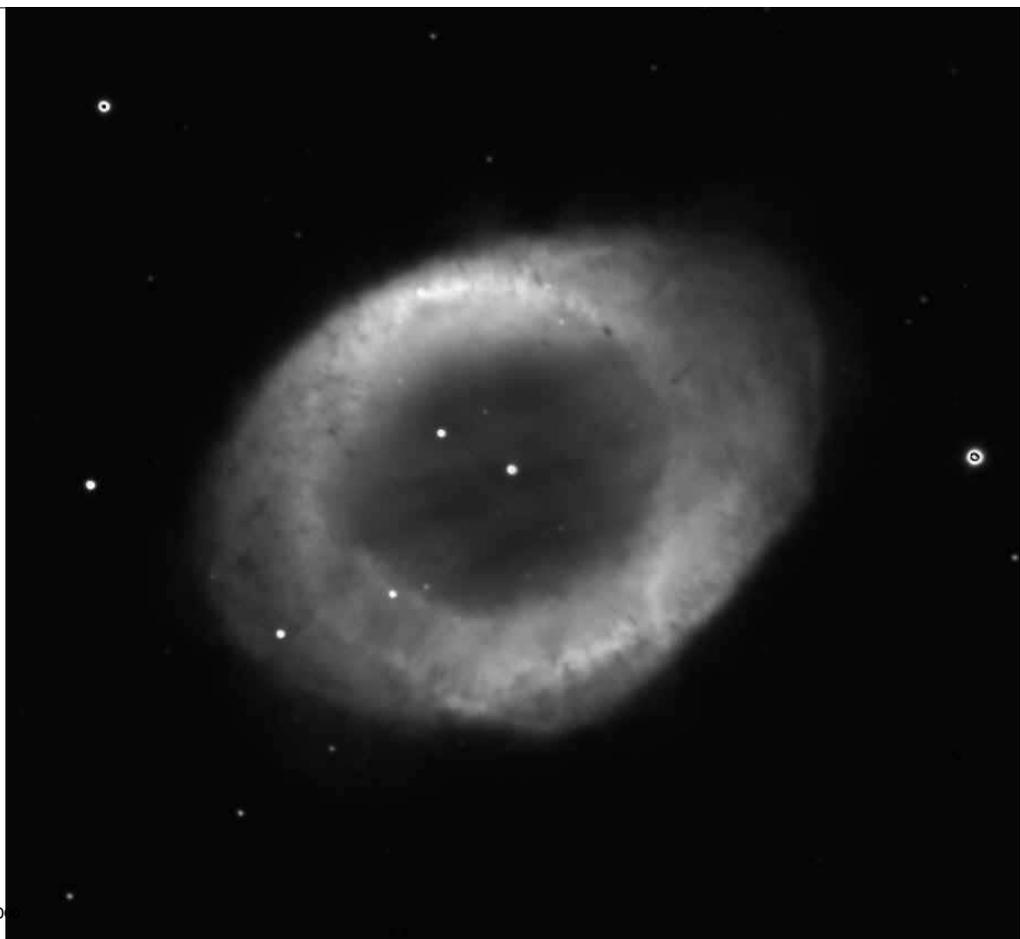
- sehen wie kleine Planetenscheiben aus, haben aber nichts mit Planeten zu tun
- Gashüllen um einen Zentralstern

Beispiel M57

# Dunkelnebel

- Gas und Staub, die dahinter liegende Sterne verdunkeln
- täuschen Sternleere vor (Olbers'sches Paradoxon?!)

Beispiel: Kohlensack



Quelle: <http://www.tng.iac.es/news/0404/m57.html>



Quelle:<http://www.allthesky.com/nebulae/coals.html>

## Bipolare Nebel

- Akkretionsscheibe
- auf jeder Seite eine Wolke aufgesetzt
- im Zentrum ein junger windiger Stern
- Emission und Reflexion möglich

Quelle:[http://de.wikipedia.org/wiki/Planetarischer\\_Nebel](http://de.wikipedia.org/wiki/Planetarischer_Nebel)

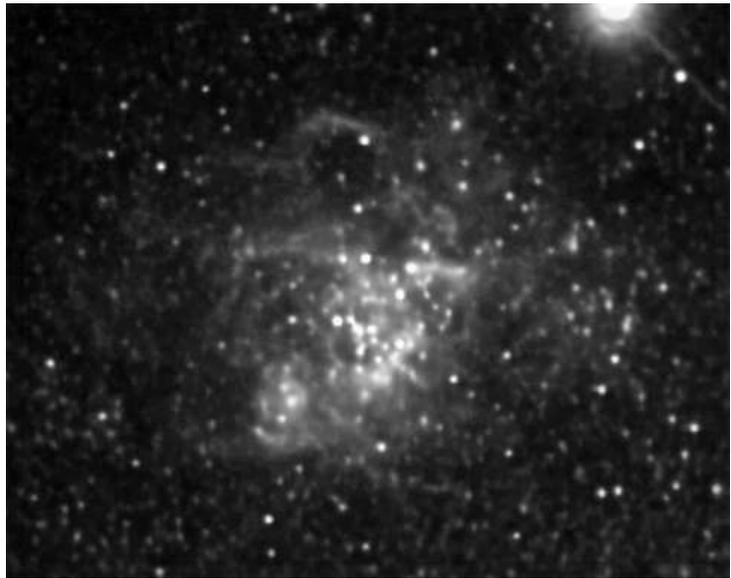
Beispiel: M2-9



# Extragalaktische Nebel

Beispiel:  
Nebel NGC 604 in M33

Quelle: <http://www.rcopticalsystems.com/gallery/ngc604.html>



- außerhalb unserer Galaxis
- können eigene Sternsysteme sein

## Die Milchstraße im Spektrum



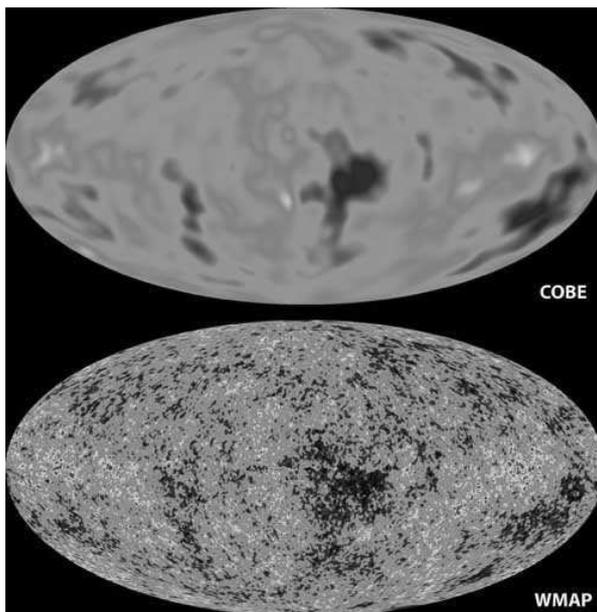
Quelle: Spektrum d. Wissenschaft, Dossier die Milchstraße, ISBN:3936278288



## Quelle

- wir blicken in die Vergangenheit zurück
- Universum breitet sich aus    Strahlung ist stark rotverschoben
- sehen die undurchsichtige Vergangenheit wie einen Nebelvorhang
  - Bild: Echo des Urknalls - eher unangebracht
  - besser: Nachglühen des Urknalls, aber: entspricht einer Strahlung eines Körpers von 2,7 K ( $-270^{\circ}\text{C}$ )
- hat eigentlich keine Relevanz für unserer Milchstraße, aber...
- ist ein starkes Indiz für die Urknalltheorie
- beschränkt den zeitlichen Horizont unserer Rückschau
- beschränkt die Größe des beobachtbaren Universums

## Grafische Darstellung

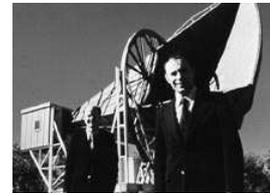


- Technischer Fortschritt zwischen 1992 und 2004
- Strahlung ist in erster Näherung isotrop, nicht aber in höheren Näherungen

Quelle:[http://map.gsfc.nasa.gov/m\\_mm.html](http://map.gsfc.nasa.gov/m_mm.html)

# Entdeckung der Hintergrundstrahlung

- 1940 vorhergesagt, u.a. von George Gamov
- 1968 von Penzias und Wilson gemessen
- wollten eigentlich einen neuen Antennentyp testen
- störendes Hintergrundsignal, das scheinbar aus allen Richtungen kam
- 1978 Nobelpreis für Physik
- Neu: Existenz eines ausgezeichneten kosmischen Bezugssystems (<http://arxiv.org/pdf/physics/0211054>)



Penzias und Wilson

Quelle:

[http://www.100cia.com/divulgacion/40\\_anos\\_de\\_la\\_serendipia\\_penzias\\_wilson\\_443.html](http://www.100cia.com/divulgacion/40_anos_de_la_serendipia_penzias_wilson_443.html)

# Das schwarze Loch im Zentrum

ausgezeichnete populärwissenschaftliche Quelle:  
Wikipedia:Schwarzes\_Loch ([http://de.wikipedia.com/wiki/Schwarzes\\_Loch](http://de.wikipedia.com/wiki/Schwarzes_Loch))

## Entstehung

1. stellare Schwarze Löcher: (nach Modell!) bei der Explosion massereicher Sterne (mehr als 10 Sonnenmassen)
2. mittelschwere schwarze Löcher: entstehen möglicherweise durch Kollision von Sternen
3. supermassive Schwarze Löcher: im Zentrum von Galaxien könnten ursprünglich stellare Schwarze Löcher gewesen sein werden im Zuge der Galaxienentwicklung erforscht
4. primordiale Schwarze Löcher: beim Urknall entstanden



# Das Wesen eines schwarzen Loches

- die Dichte der Materie ist so groß, dass die Fluchtgeschwindigkeit größer als die Lichtgeschwindigkeit wäre
- Schwarzschildradius: Point of No Return
  - bei nicht rotierenden schwarzen Löchern ist er der Radius der Kugel des Ereignishorizonts
  - keine Singularität (keine Unendlichkeitsstelle)
- Schwarzschildradius ist proportional zur Masse
- Schwarzes Loch kann Hawking-Strahlung abgeben
- mathematisch - physikalisch sind Schwarze Löcher mögliche Lösungen der Feldgleichungen der allg. Relativitätstheorie
- besteht dort nur aus leerem Raum, der stark gekrümmt ist (Vergleiche: Erdoberfläche, Sprungtuch)
- im Zentrum eine Singularität = Unendlichkeitsstelle
- diese durch hohe (unendliche) Massendichte hervorgerufen

## Wechselwirkungen

- die Gravitationskraft wird dadurch so groß, dass keine andere Wechselwirkung die Bewegung eines Teilchens auf das Zentrum hin stoppen kann

es wären in Frage gekommen:

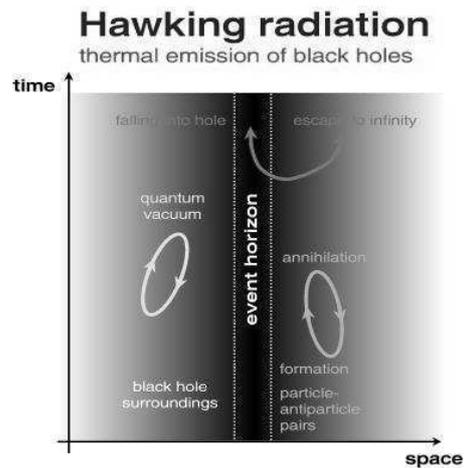
1. elektromagnetische Wechselwirkung: normale Materie, Elektronenhüllen stoßen ab
2. starke Wechselwirkung: sorgt beim Neutronenstern noch für Stabilität, wesentlich im Atomkern

nicht mehr in Frage kommen:

3. Gravitation: nur anziehend
4. schwache Wechselwirkung: beim  $\beta$ -Zerfall von Bedeutung

# Hawking - Strahlung

- Schwarze Löcher strahlen Energie ab
- (für einen Kursteilnehmer: ist eine Schwarzkörper-Strahlung)
- Temperatur sinkt mit Masse
- d.h. je kleiner, desto mehr wird abgestrahlt
- Quelle der Strahlung ist Elektron-Positron-Paarbildung



Quelle: <http://www.lsw.uni-heidelberg.de/users/amueller/images/intermed/HawkRad.jpg>

## Elektron $e^-$ - Positron $e^+$ - Paarbildung

- Positron ist das Antiteilchen zum Elektron (Antimaterie)
- normale Paarbildung: aus einem Photon (Lichtteilchen) wird ein Elektron + ein Positron
- Photon muss dafür ausreichend Energie besitzen (Energieerhaltung gilt übrigens sogar in schwarzen Löchern)
- Trifft Positron später ein Elektron, zerstrahlen die beiden wieder zu einem Photon (= Vernichtungsstrahlung)
- bei Strahlentherapie mit ultraharter Röntgenstrahlung tritt Paarbildung auf
- dieser Prozess kann auch spontan auftreten

# Heisenberg'sche Unschärferelation

vorausschickend: jetzt sind wir in der Quantenphysik, Ihr Vortragender wandelt am Glätteis der nichtzulässigen Vereinfachungen; Modelle; Theorien ... ;-)

$$E * t \leq \text{konst.}$$

- kurzzeitiges Ausborgen von Energie ist möglich
- Beleg durch eine Messung des Casimir-Effektes (zwischen eng liegenden Platten können gewisse virtuelle Paare nicht entstehen Druck von außen auf die Platten)
- eines der Teilchen stürzt in das Loch, das andere kann entkommen
- eines der virtuellen Teilchen wird damit real
- die potentielle Energie des hineinfliegenden Teilchen dem schwarzen Loch entzogen, es wird leichter

## Heisenbergsche Unschärferelation II

- andere Formulierung: ein Teilchen, das an potentieller Energie verliert, wird leichter
- eine vollständige Erklärung dieses Effektes benötigt Quantenmechanik und allgemeine Relativitätstheorie (u. damit Gravitation)
- so eine vereinheitlichte Theorie (Theory of Everything, Grand Unified Theorie, GUT) existiert noch nicht



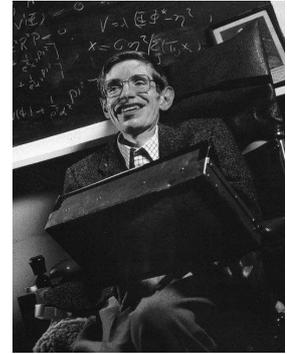
Werner Heisenberg

Quelle:

<http://www.fourmilab.ch/documents/figures/heisenberg.gif>

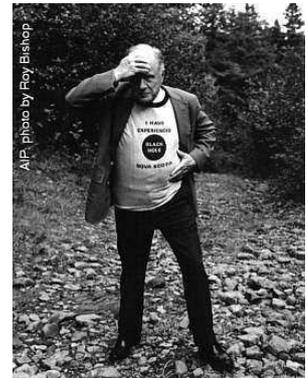
# „Glatze“

- Schwarze Löcher haben laut Wheeler keine Haare
- d.h. schwarzes Loch ist durch Masse, elektrischer Ladung und Drehmoment charakterisiert
- Disput, ob weitere Information prinzipiell nach außen gelangen kann
- der Vortragende schlägt sich auf die Seite Wheelers und entzieht sich damit weiteren Erläuterungen ;-)
- aktuelle Diskussion: Hawking hat auf einer Konferenz Ende Juli 2004 in Dublin sich dieser Meinung nicht mehr angeschlossen ...



Stephen Hawking

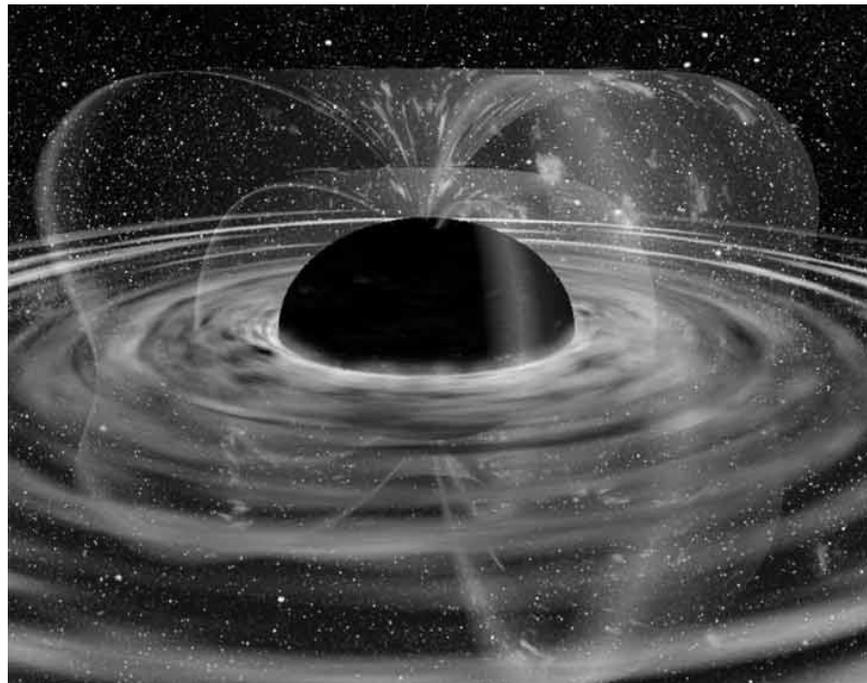
Quelle: <http://www-uxsup.csx.cam.ac.uk/~fanf2/hermes/doc/talks/2004-05-techlinks/hawking.jpg>



John Wheeler - I have Experienced Black Hole, Nova Scotia

Quelle: <http://www.aip.org/history/newsletter/fall1977/john.htm>

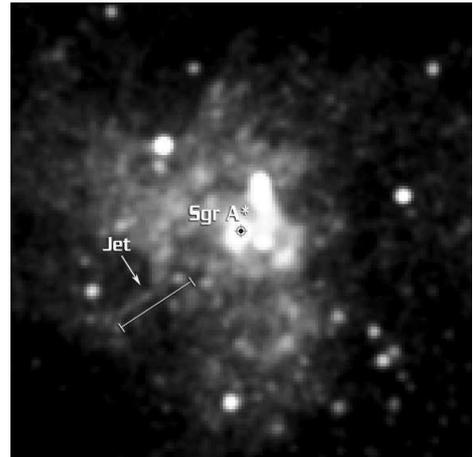
## Ein Bild ... wie es nicht aussieht!



Quelle: [http://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes\\_Loch](http://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch)

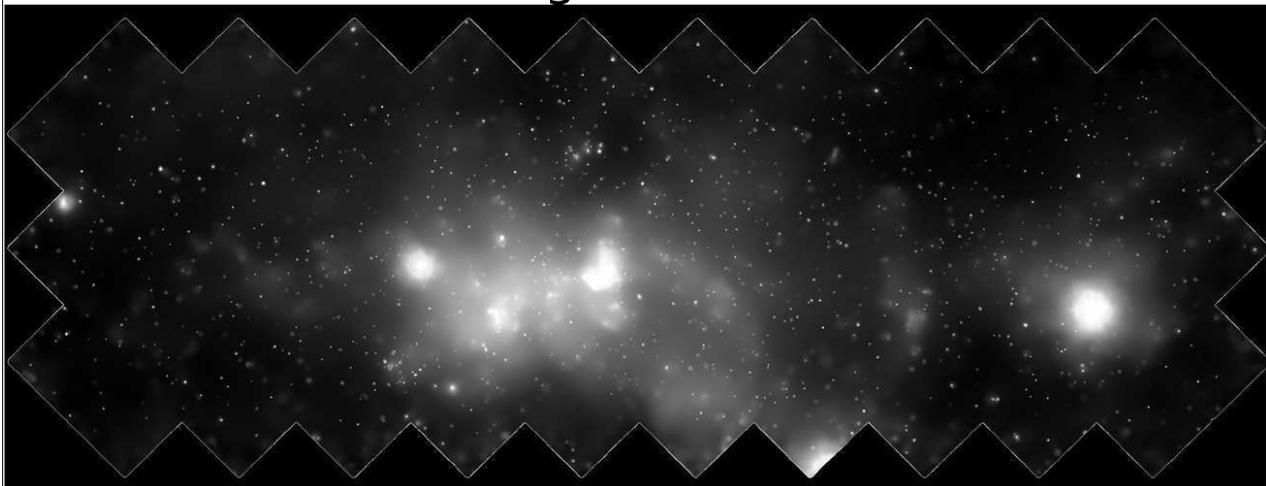
# Sag A\*

- im Zentrum unserer Milchstraße vermutlich auch ein supermassives schwarzes Loch
- nämlich die Radioquelle Sagittarius A\*
- Ereignishorizont von einigen Sonnendurchmessern
- Masse von 2–3 Millionen Sonnenmassen



Quelle:<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/objects/galaxies/galaxies.html>

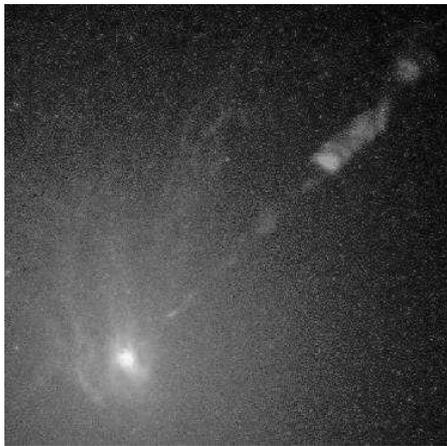
## Die Zentralregion der Milchstraße



Aufnahme des Röntgensatelliten Chandra, Mosaik der Zentralregion der Galaxis

Quelle:<http://chandra.harvard.edu/photo/2002/gcenter/index.html>

# Quasare



Jet von M87

Quelle:[http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ast24nov99\\_1.htm](http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ast24nov99_1.htm)

- Abkürzung für Quasi-Stellare-Radioquelle
- in weit entfernten Galaxien zu finden (frühe Galaxien)
- extrem helle Erscheinung, Zentralobjekt so hell wie sonst eine ganze Galaxie
- Theorie: stark erhitzte leuchtende Akkretionsscheibe um ein supermassives schwarzes Loch
- Jets können normal auf die Scheibe austreten

Weiterführender Link: Der Tag, als die Erde ein schwarzes Loch wurde:

<http://www.photon.at/~werner/black-earth/>

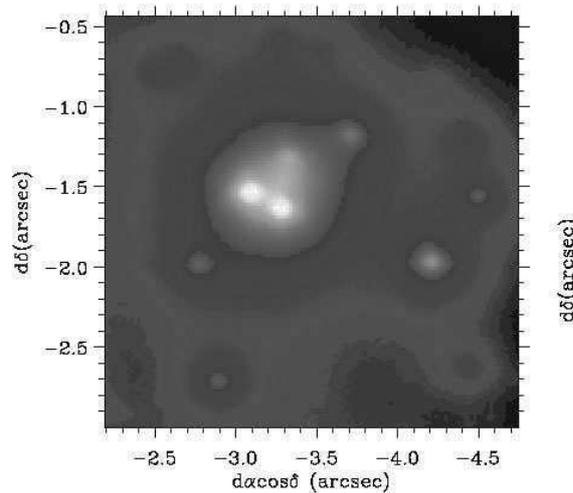
## Eine kleine Sensation

- War im letzten Jahr die Entdeckung eines zweiten schwarzen Loches im Zentrum der Galaxie veröffentlicht

(<http://www.astronews.com/news/artikel/2004/11/0411-007.shtml>)

- Die originale Ankündigung findet sich hier

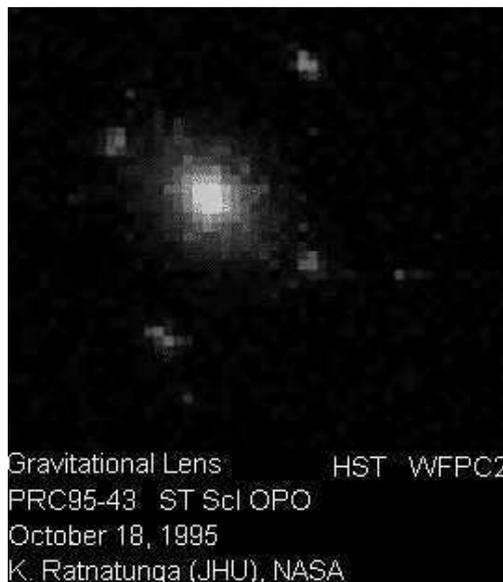
(<http://www.gemini.edu/index.php?option=content&task=view&id=108>)



Quelle:<http://www.gemini.edu/index.php?option=content&task=view&id=108>

## Gravitationslinse

Masse „verbiegt“ Licht



Quelle:[http://observe.arc.nasa.gov/nasa/ootw/1996/ootw\\_960110/ob960110.html](http://observe.arc.nasa.gov/nasa/ootw/1996/ootw_960110/ob960110.html)

# Typisierung der Galaxien nach Hubble

Galaxien unterscheiden sich in Form, Helligkeit und Struktur voneinander. Als Erster führte Edwin Hubble eine Klassifikation von Galaxien 1925 ein, die zum Teil bis heute Verwendung findet.

Galaxien wurden von Hubble noch allgemein als Nebel bezeichnet.

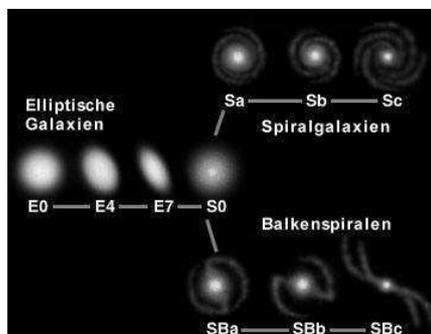
Links zur Person:

- **Wikipedia:Edwin\_Hubble:** [http://de.wikipedia.com/wiki/Edwin\\_Hubble](http://de.wikipedia.com/wiki/Edwin_Hubble)
- <http://www.edwinhubble.com/>



Edwin Hubble

Quelle:  
[http://www.edwinhubble.com/hubble\\_bio\\_001.htm](http://www.edwinhubble.com/hubble_bio_001.htm)



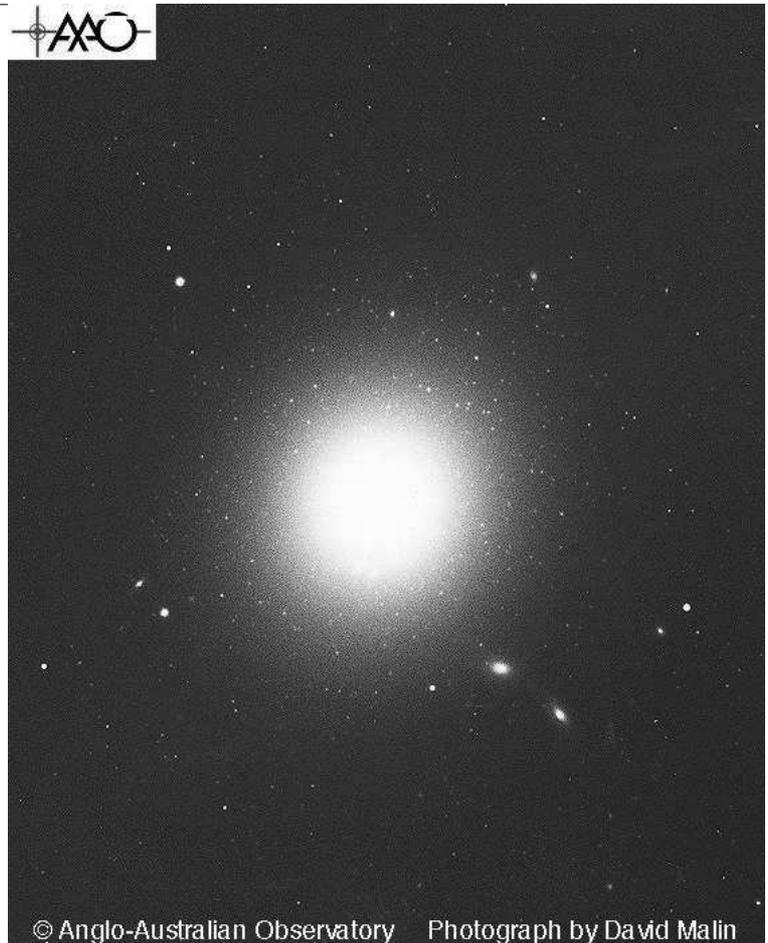
## Klassifikation

Elliptische Galaxien werden mit dem Buchstaben E bezeichnet, je nach Blickwinkel von einer Zahl zwischen 0 (Kreis) und 7 (sehr langgestreckt) erweitert.

- Spiralformen werden S gekennzeichnet, geschlossene Spiralformen (Balkenspiralen) mit SB.
- Spindelgalaxien werden mit S0\_1 bis S0\_3 bezeichnet, sie haben weder Spirale noch Balken. Kern, Linse und Hülle lassen sich aber unterscheiden.
- Bei Spiralgalaxien fügt man je nach Enge der Windung einen Buchstaben a (eng) bis c (offen) hinzu.
- Irreguläre Galaxien werden mit einem Irr versehen, Irr I können noch in Sterne und HII-Regionen zerlegt werden, Irr II nicht mehr.



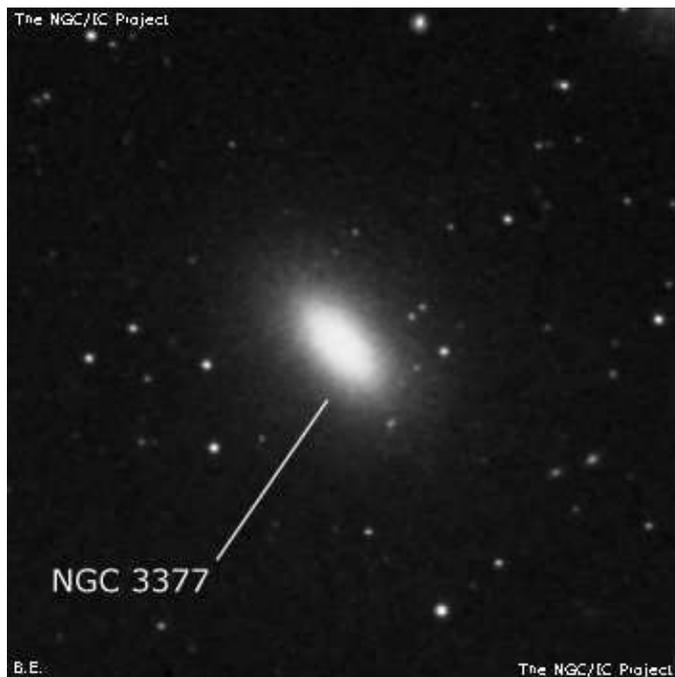
# E0: M87



Quelle:  
<http://aeon.physics.weber.edu/jca/PHSX1030/LectureNotes/>  
weitere Informationen:  
<http://www.maa.agleia.de/Messier/D/m087.html>

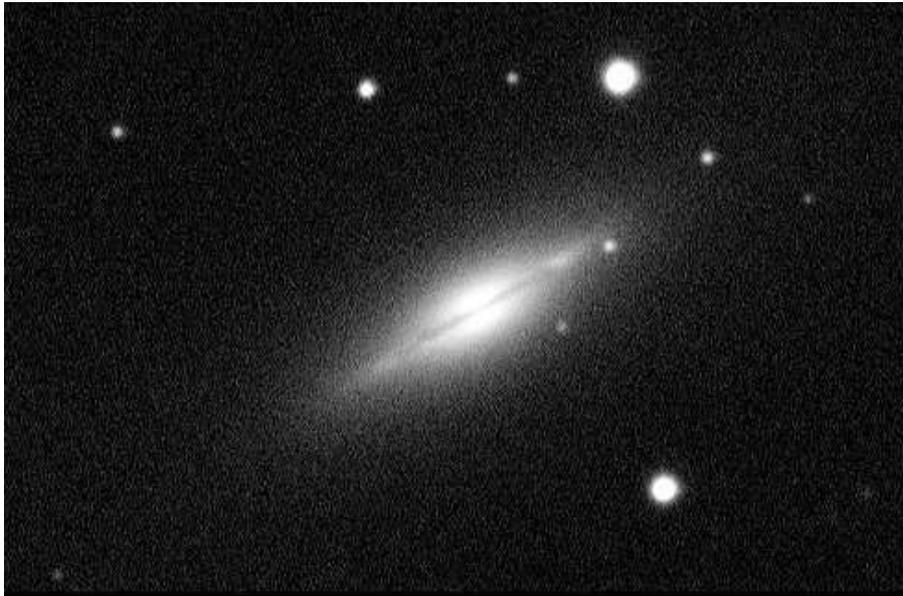
© Anglo-Australian Observatory Photograph by David Malin

# E6: NGC3377



Quelle: [http://www.ngcic.org/dss/dss\\_n3300.htm](http://www.ngcic.org/dss/dss_n3300.htm)

## S0: NGC 5866, vielleicht M102



Quelle: <http://www.maa.agleia.de/Messier/E/ngc5866.html>

Weitere Informationen: <http://www.maa.agleia.de/Messier/E/ngc5866.html>

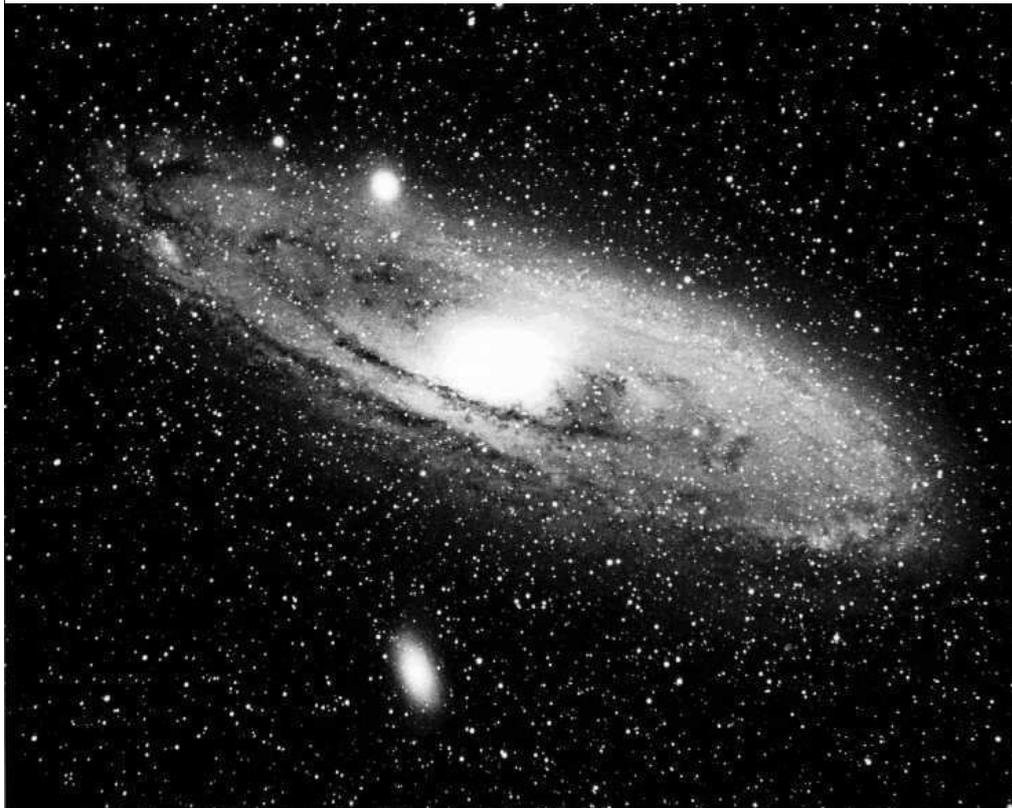
## Sa: M104, Sombrero-Galaxie



Quelle: <http://www.maa.agleia.de/Messier/D/m104.html>

Weitere Informationen: <http://www.maa.agleia.de/Messier/D/m0104.html>

## Sb: M31, Andromeda Galaxie



Quelle:  
<http://www.maa.agleia.de/Messier/D/m>  
Weitere Informationen:  
<http://www.maa.agleia.de/Messier/D/m>



M33 © IAC/RGO/Malin  
Photo from Isaac Newton Telescope plates by David Malin

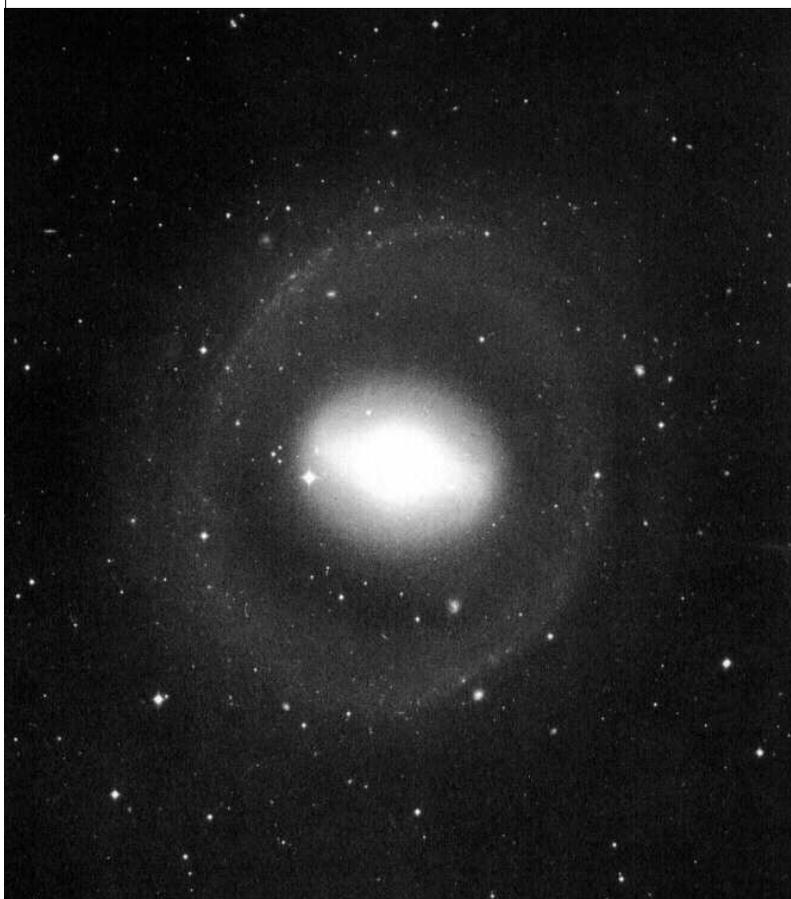
## Sc: M33, Triangulum Galaxie

Quelle: <http://www.maa.agleia.de/Messier/D/m033.html>  
Weitere Informationen: <http://www.maa.agleia.de/Messier/D/m033.html>



Sd:  
NGC300

Quelle:  
<http://www.uni-sw.gwdg.de/~afritz/gall>  
Weitere Informationen:  
<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap020>



S Ba:  
NGC 1291

Quelle:  
<http://astroph.chungbuk.ac.kr/~cheongho/NGC/dir.ngc/NI001-3.HTM>  
Weitere Informationen: <http://de.wikipedia.org/wiki/NGC1291>

## S Bb: NGC 3351, M95



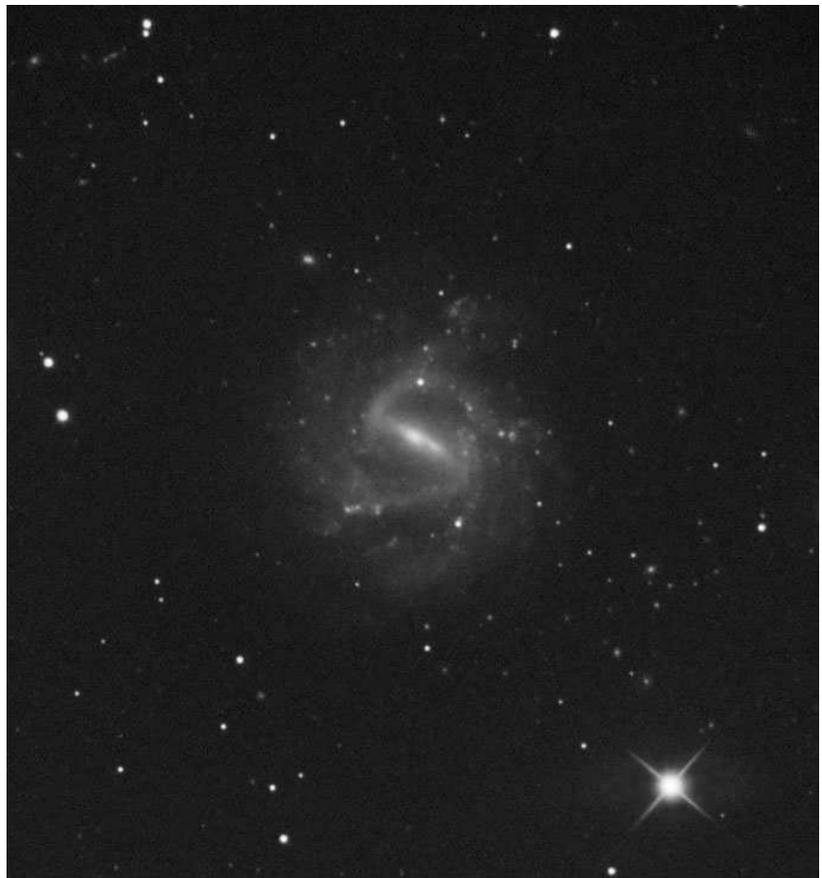
Quelle:

[http://www-astronomy.mps.ohio-state.edu/~ryden/ast162\\_8/galgalie](http://www-astronomy.mps.ohio-state.edu/~ryden/ast162_8/galgalie)

Weitere Informationen:

<http://www.maa.agleia.de/Messier/D/m095.html>

## S Bc: NGC 1073



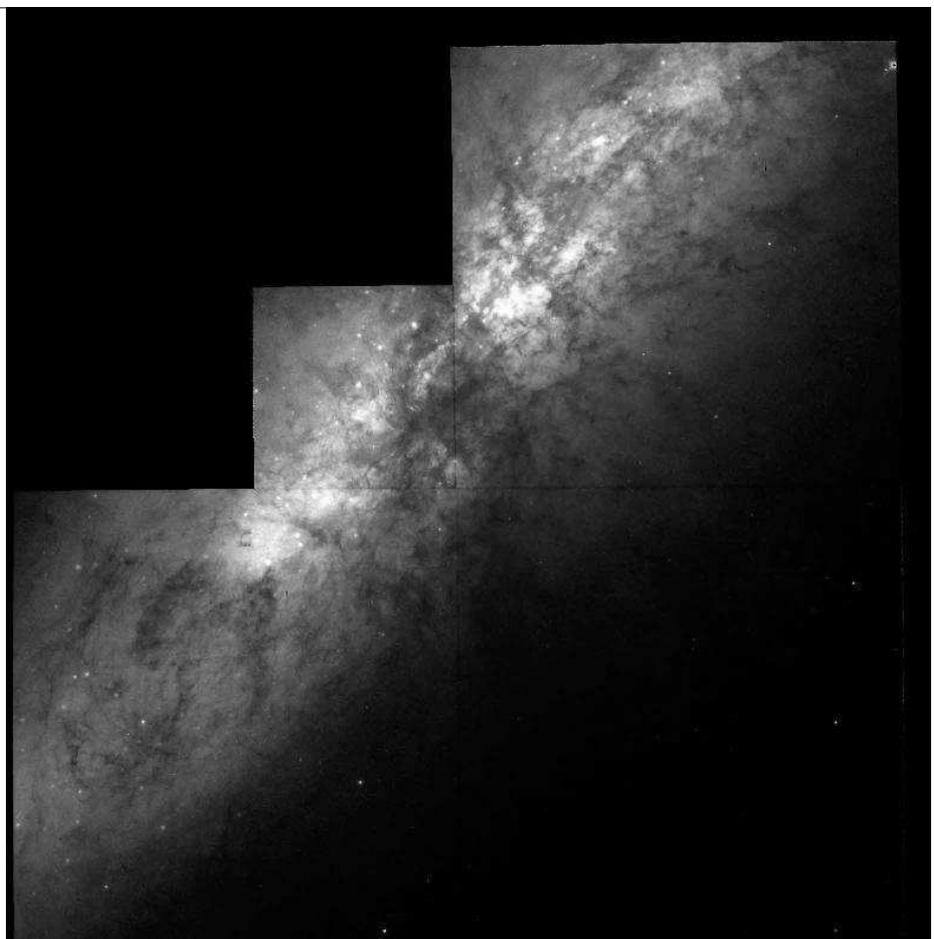
Quelle:<http://www.niji.or.jp/home/taku-t/CCD/index2.html>



S Bd: NGC  
1313

Quelle: <http://www.astroworks.com/gallery/ST2000GAL/n1313.html>  
Weitere Informationen: <http://wise-iue.tau.ac.il/~lili/Fnet/node58.html>

Irr:  
M82



Quelle:  
<http://www.seds.org/messier/more/>  
Weitere Informationen:  
<http://www.seds.org/messier/m/m0>

# Entstehung und Entwicklung

- Erforschung auch mit dem Hubble Space Teleskop
- kleine Galaxien: Sternentstehungsgebiete
- bei elliptischen Galaxien sind alle Sterne zur gleichen Zeit entstanden
- elliptische Galaxien entstanden durch Kollision von kleinen Galaxien, Vergleich mit einem Bienenschwarm
- bewirkt hohe Temperatur, damit hohen Druck, keine Sternentstehung mehr möglich
- Scheibengalaxien: moderat, geringe Sternentstehung
- nur kleine Bereiche ähneln mit chaotischer Bewegung den elliptischen Galaxien

## Links:

- Film bei Alpha Centauri: (<http://www.br-online.de/cgi-bin/ravi?v=alpha/centauri/v/&f=990606.rm>)
- Links zu Animationen: (<http://www.spaceref.com/tools/imgcathp.html?cid=4>)

# Gravitation

- Entstehung von Galaxien entgegen der allgemeinen Expansion (Rotverschiebung)
- Gaswolken durch Abkühlung nach Urknall überhaupt erst möglich
- Gravitation zwischen den Gasteilchen bewirkt Erhöhung der Dichte
- kritische Masse etwa 1 Mio. Sonnenmassen ist für Bildung von Galaxien nötig
- dunkle Materie (nicht leuchtend, aber auch unbekannt) half mit gravitativer Wirkung
- aber nicht mehr beobachtbar (Hintergrundstrahlungs-Vorhang)
- lawinenartiger Effekt
- weitere Kontraktion in kleinen Bereichen zu Sternen, in größeren Strukturen zu Galaxien und weiter Galaxienhaufen

## Entstehung top->down

- Älteres Modell
- schneller Kollaps aus protogalaktischer Wolke
- zunächst Halo-Sterne
- später rotierende Scheibe
- daraus entstehen Sterne

### *Probleme*

- Halo rotiert nicht
- Verteilung der Metallizität stimmt nicht
- Instabilität des Modelles stimmt nicht

## Entstehung bottom->up

- aktuelleres Modell
- Dichtefluktuationen in der Gaswolke    protogalaktische Fragmente
- Protogalaktische (Riesen)Sterne
- Bulge und Halo von innen nach außen gebildet
- Gaswolken kontrahieren zu Scheibe
- zusätzlich Einfall von Wolken von außen und evtl. Kollision mit kleineren Galaxien



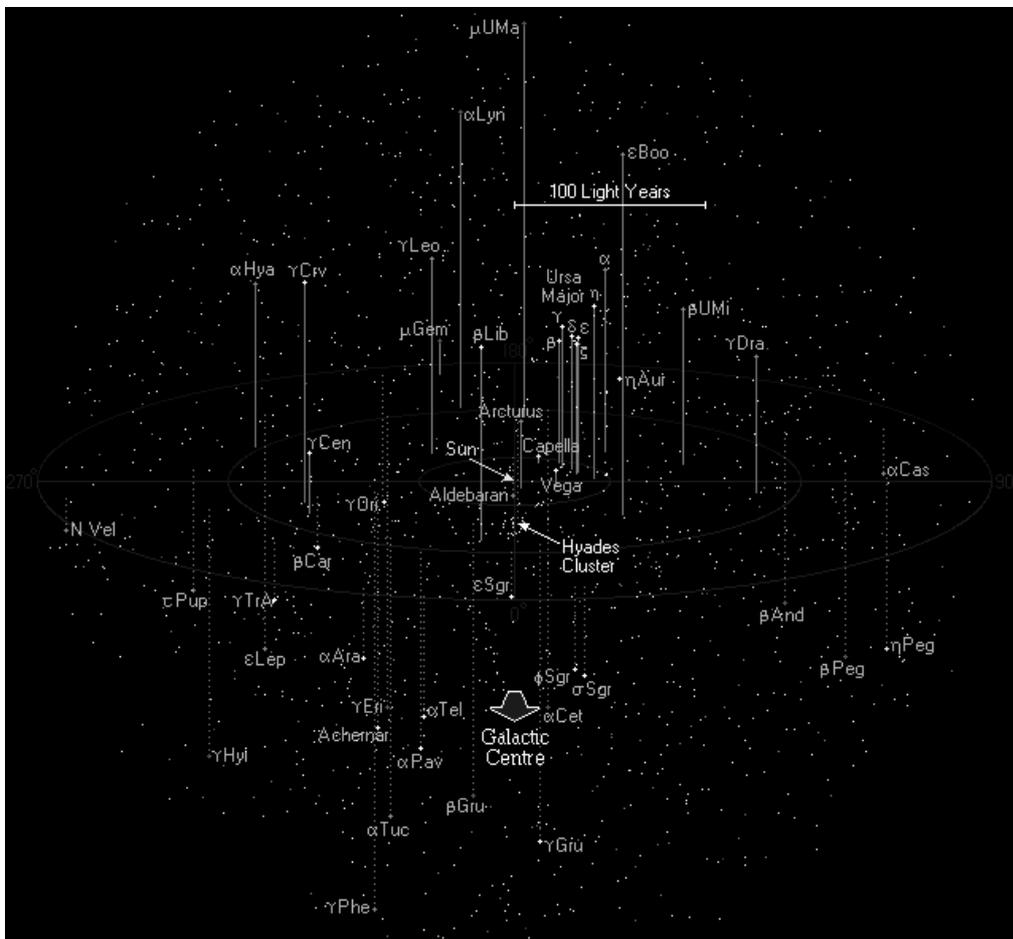
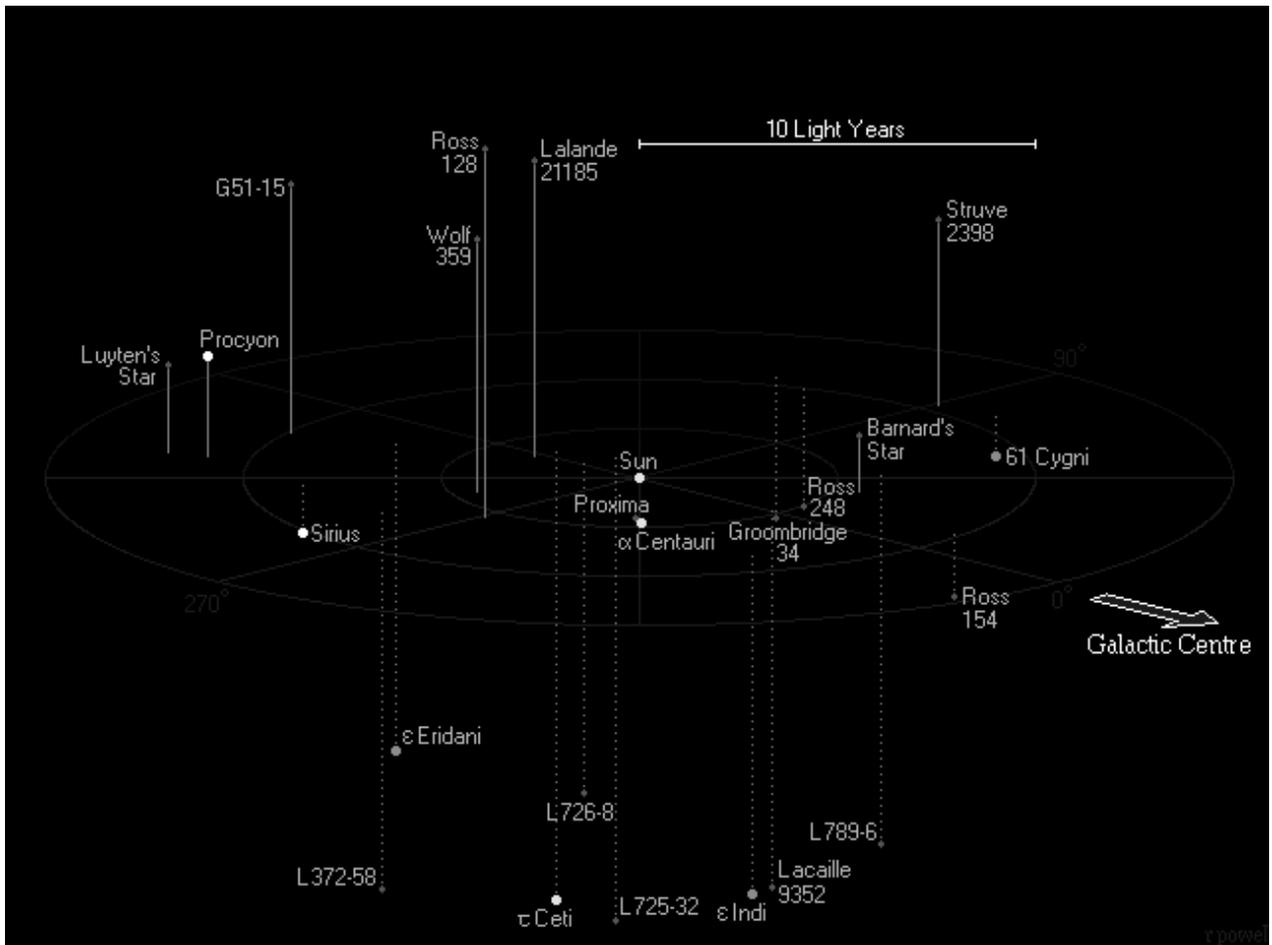
# Dynamik

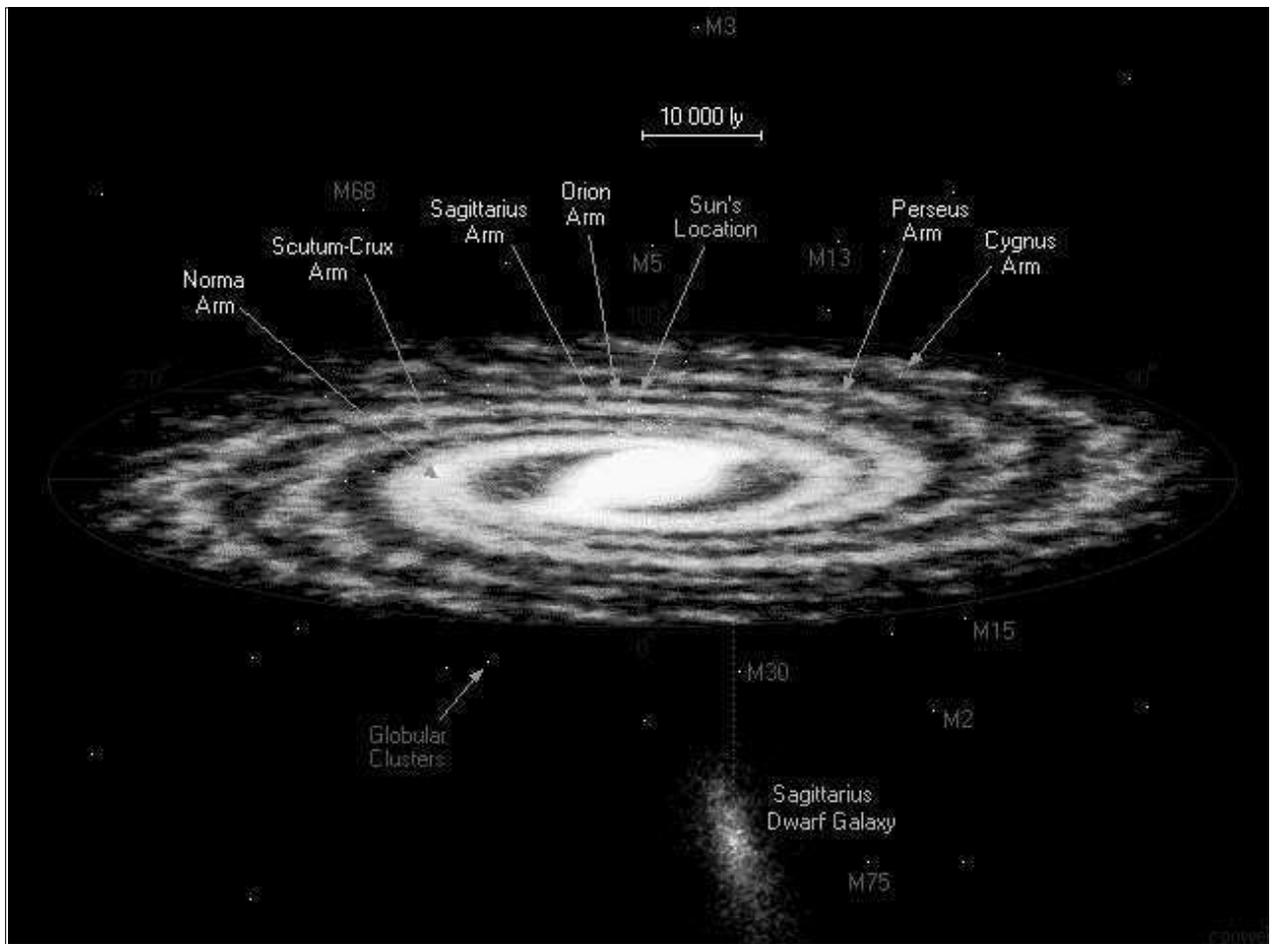
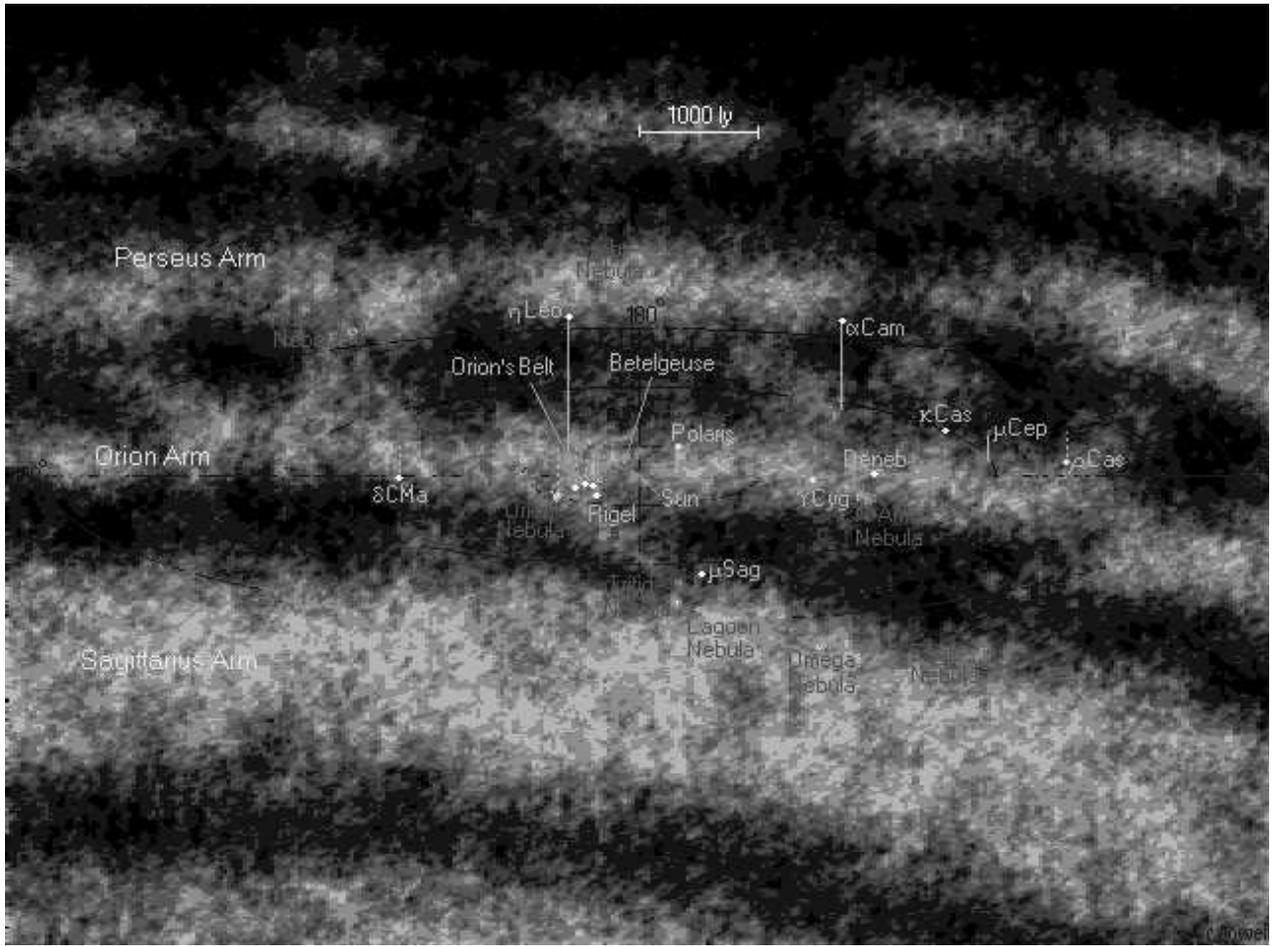
- bereits kurz angesprochen am ersten Tag bei Spiralstruktur
- Rotation
- Schleppende Arme und schiebende Arme möglich
- Relativbewegung zwischen Galaxien führt zu Kollisionen von Galaxien    Simulation mit Colliding Galaxies
- relativ wenige Informationen
- Google-Suche verwies an 5.Stelle bei der Suche nach „Dynamik Milchstraße“ auf die Webseite zu dieser Präsentation, die Ankündigung des Kurses ist gerade Treffer Nummer 11 ...

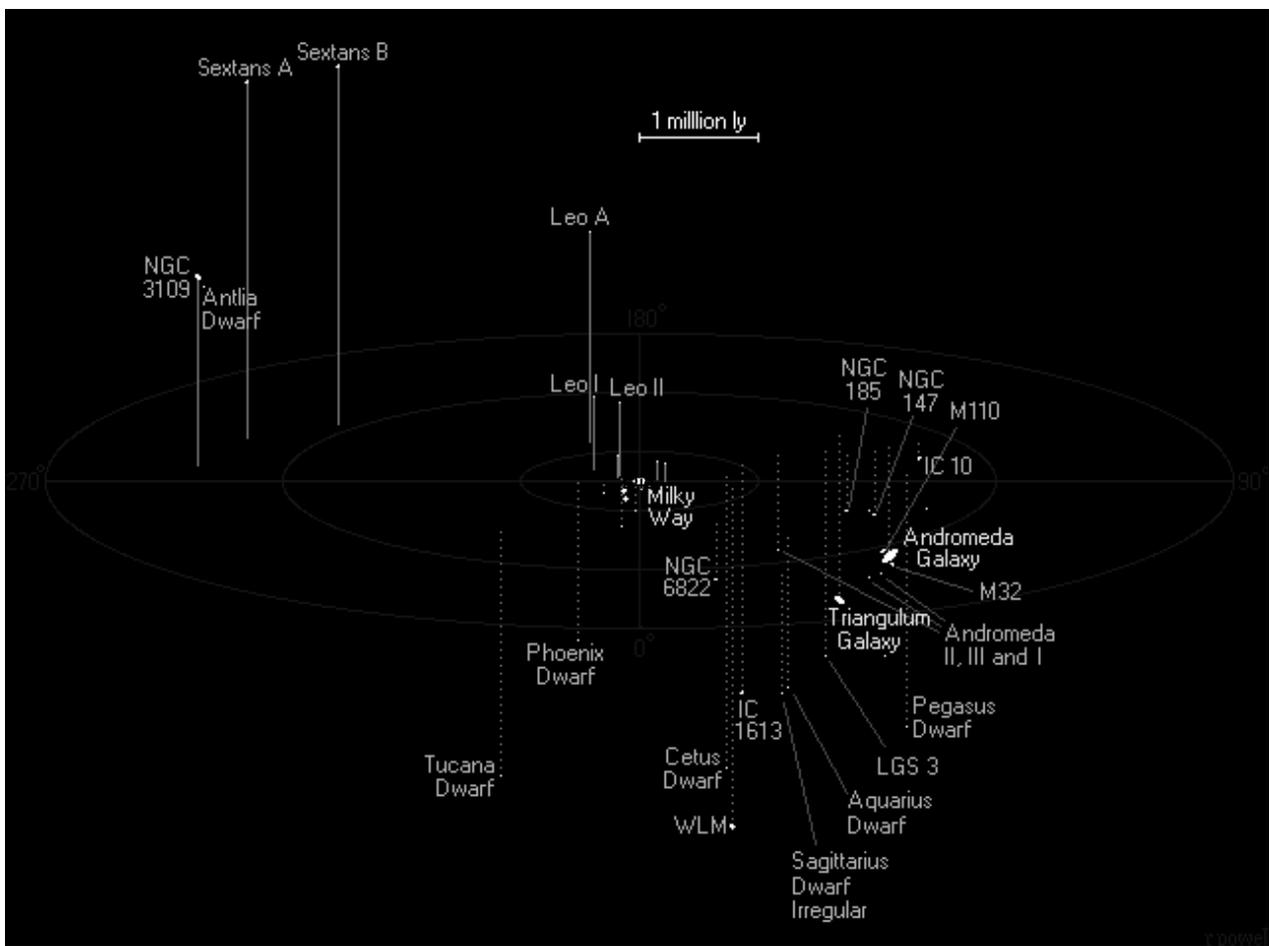
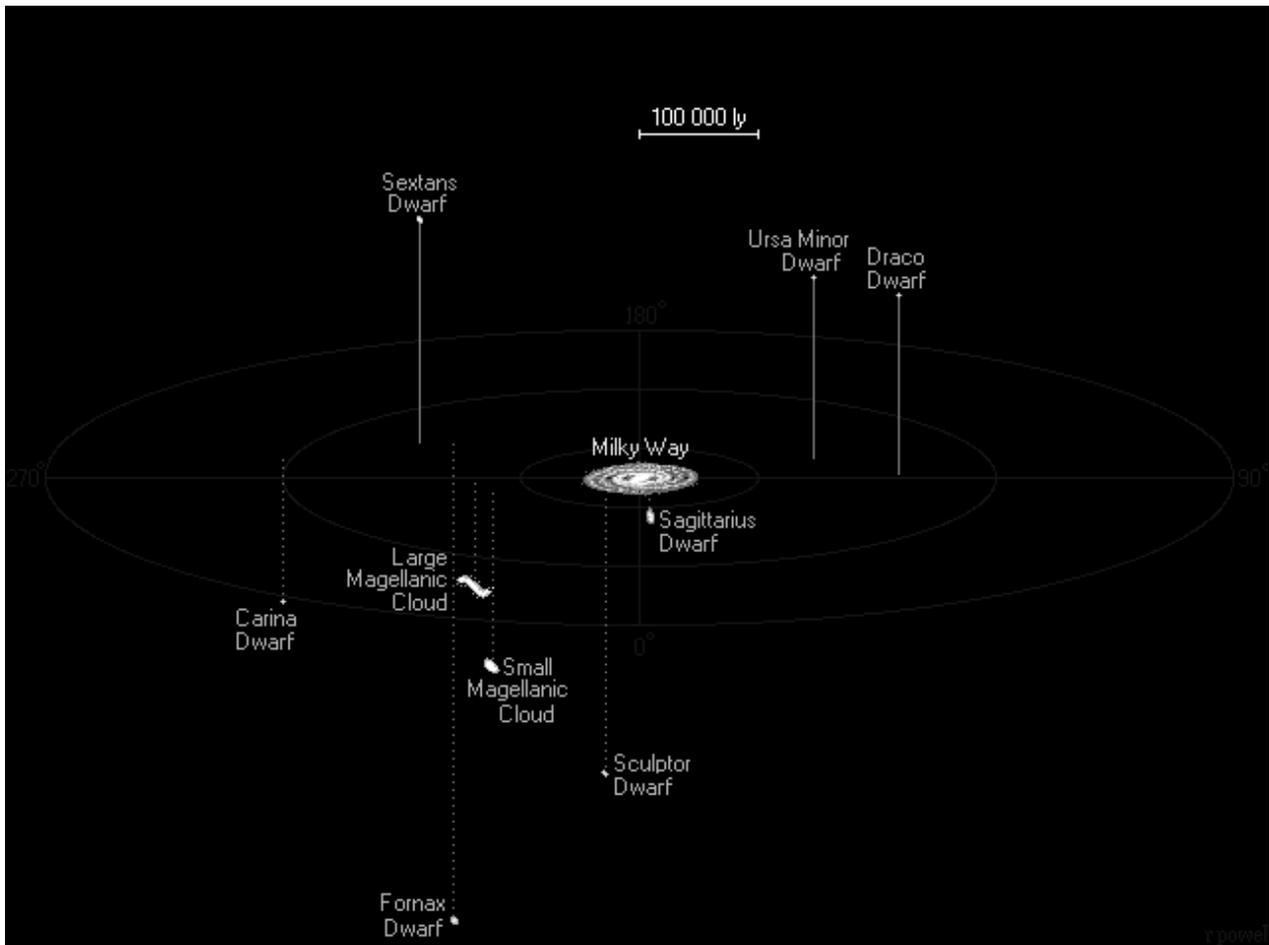
# Unsere Umgebung

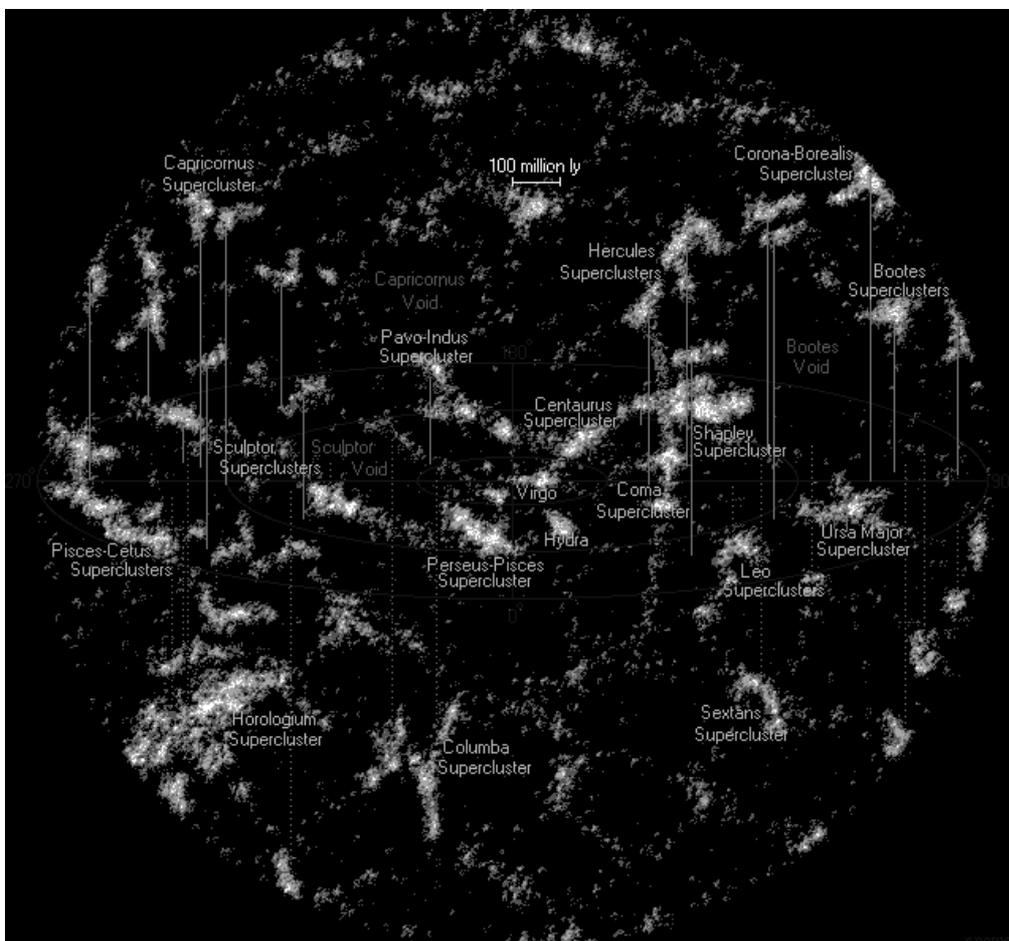
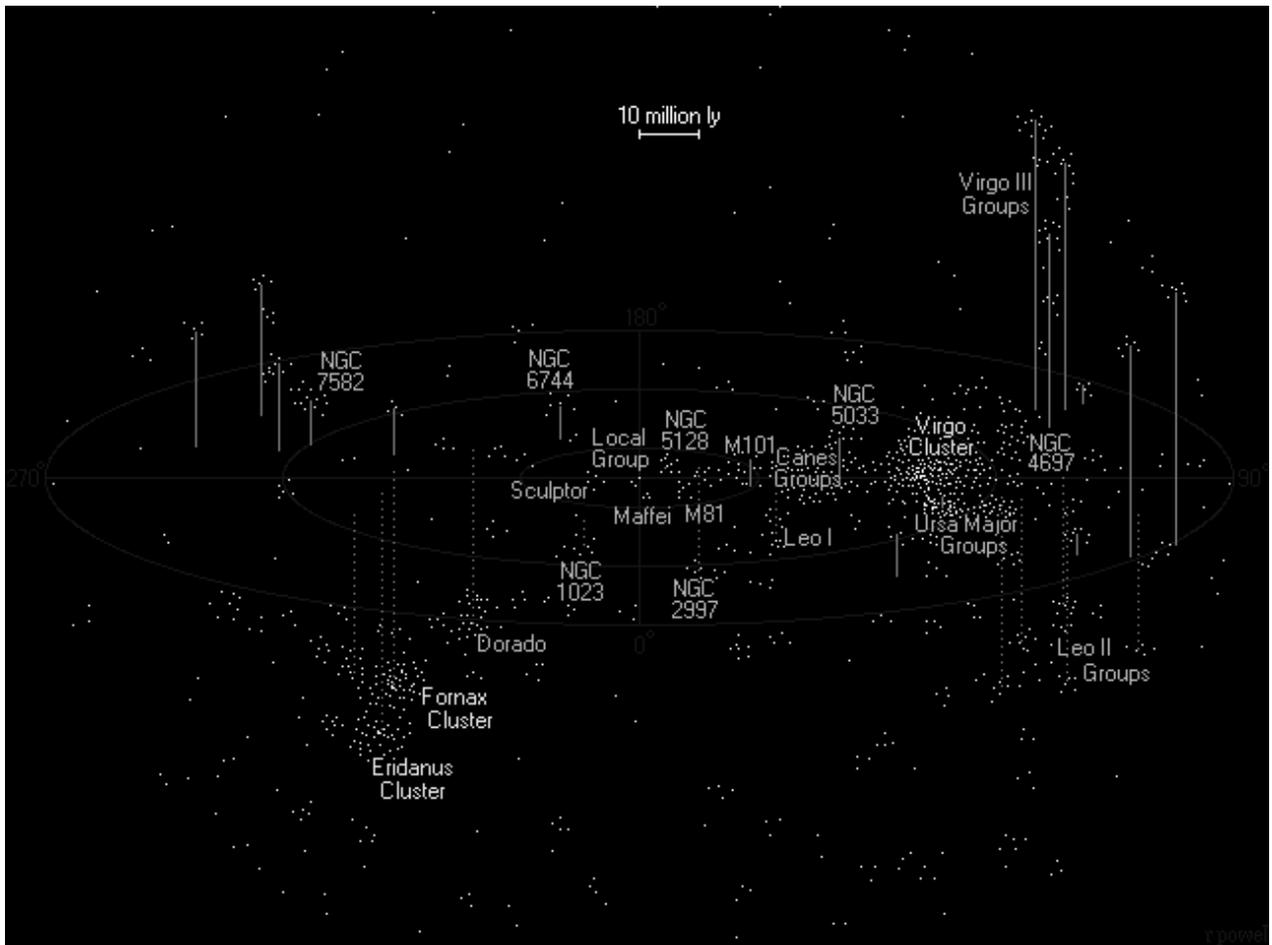
Auf den folgenden Seiten erhalten Sie eine Übersicht über die Umgebung um unsere Sonne in verschiedenen Dimensionen.

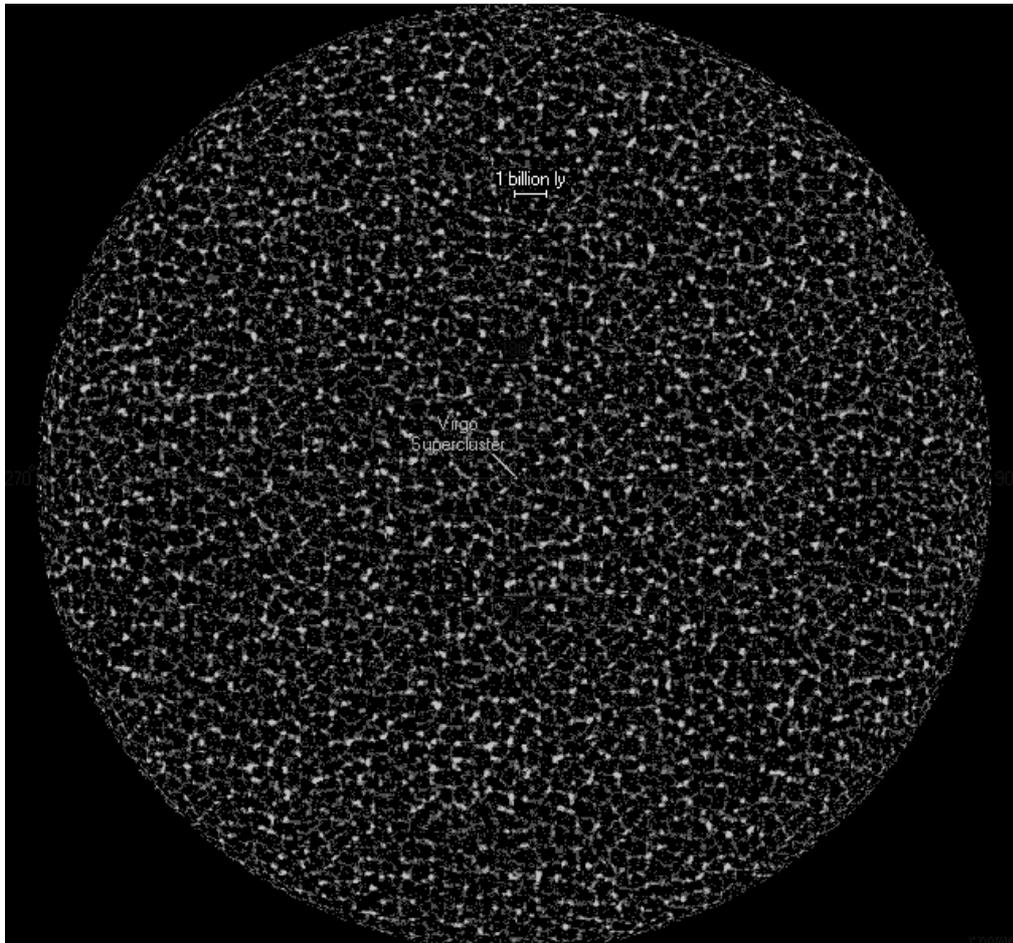
Alle Abbildungen stammen von der englischsprachigen Seite The Atlas of the Universe: <http://www.anzwers.org/free/universe/index.html> , die auch weitreichende Textinformationen bietet.









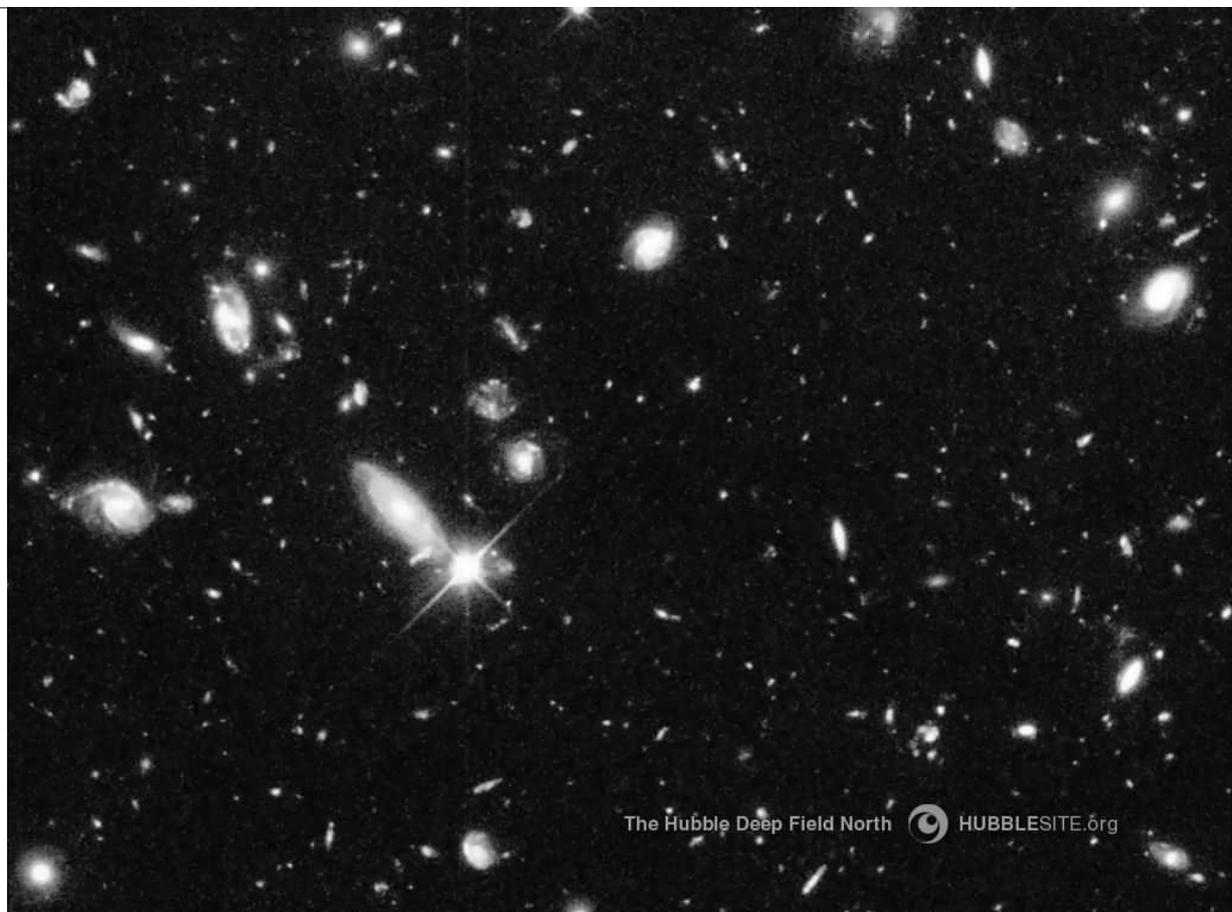


# Hubble Deep Field

Das Hubble Deep Field (mit eigener Homepage) ist ein Projekt, das einen 'typischen' Teil des Himmels möglichst weit in die Vergangenheit abbilden will,

- Querschnittsfläche: 1/30 des Vollmondes
- Galaxien bis zu einer Helligkeit 30m abgebildet
- „We are clearly seeing some of the galaxies as they were more than ten billion years ago, in the process of formation“
- „Wir sehen deutlich Galaxien, die mehr als 10 Milliarden Lichtjahre entfernt sind, bei ihrem Formationsprozess“

Quelle: <http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/1996/01/text/>



Quelle: <http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/1996/01/image/a>

## Offene Fragen

- ist unser Planet innerhalb unseres Planetensystems typisch?
- gibt es überhaupt andere Planeten (außerhalb unseres Planetensystems)?

in weiterer Folge:

- kann auf diesen Planeten Leben existieren?
- was wissen wir über die Existenz von außerirdischem Leben?

## Extrasolare Planetensysteme

- extrasolar ist missverständlich aber gebräuchlich
- auch Bezeichnung Exoplaneten manchmal verwendet
- 1994: drei einen Pulsar (Neutronenstern) umkreisende Planeten
- Der erste entdeckte Planet rotiert im 4,2-Tagestakt um den ca. 40 Lichtjahre entfernten Stern Pegasus 51 und hat 0,46 Jupitermassen.
- 1995: Planeten um sonnenähnliche Sterne nachgewiesen
- derzeit sind 134 extrasolare Planeten in 118 Systemen bekannt
- meist Gasriesen, die ihren Zentralstern in einer sehr engen Umlaufbahn umkreisen: hot Jupiters
- wie Jupiter, in relativ großem Abstand von ihrem Zentralstern in der Akkretionsscheibe entstanden, dann aber nach innen gewandert
- oder: wie Sterne aus einer Gaswolke kondensiert

Link: Liste der bekannten Planeten (<http://www.obspm.fr/encycl/cat1.html>)



# Detektion

Bislang indirekte Methoden:

1. Helligkeitsschwankung durch Bedeckung des Sterns durch den Planeten
2. mittels Dopplereffekt Nachweis der periodischen Bewegung des Sterns, abwechselnd Rot- und Blauverschiebung
  - nur Untergrenze der Masse so feststellbar
3. periodische Bewegung quer zur Sichtrichtung
  - Obergrenze der Masse feststellbar
4. Microlensing: Gravitationslinseneffekt durch Planeten
  - Daten über die Atmosphäre der Planeten erhält man aus dem Spektrum während eines Sterndurchganges

## Gibt es eine zweite Erde?

- derzeit liegt die Untergrenze der Entdeckbarkeit bei einer Radialgeschwindigkeit von rund 1 m/s
- Planet, der in 1 AU Entfernung um seinen Stern kreist, muss dann eine Masse von ca. 11,2 Erdmassen haben
- d.h. derart kleine Planeten um normale Sterne sind noch nicht bekannt
- HD 160691 d ist der kleinste Exoplanet, 14 Erdmassen
- möglicherweise auch schon direkte Aufnahme eines Planeten bei einem Braunen Zwerg gelungen

## Beispiel 1: Gliese 876

- 2 Planeten
- umkreisen Gliese 876 in 60 bzw. 30 Tagen synchronisiert

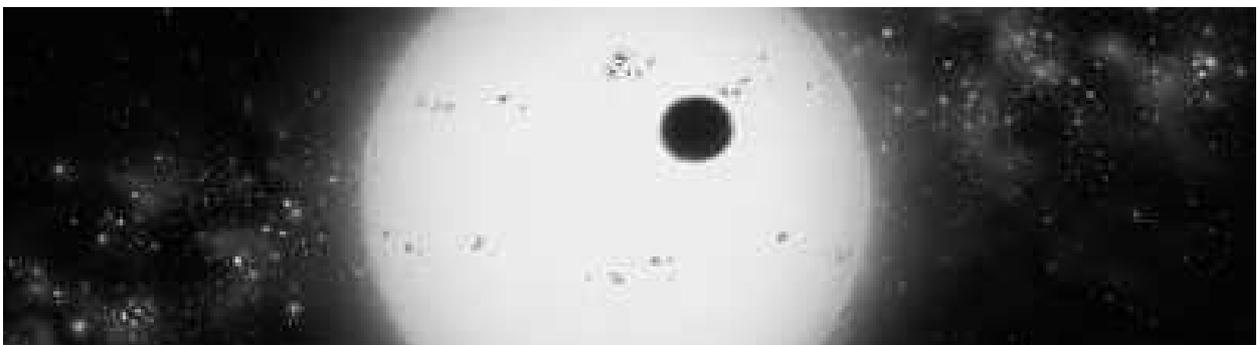


Quelle: <http://extrasolar.spaceart.org>

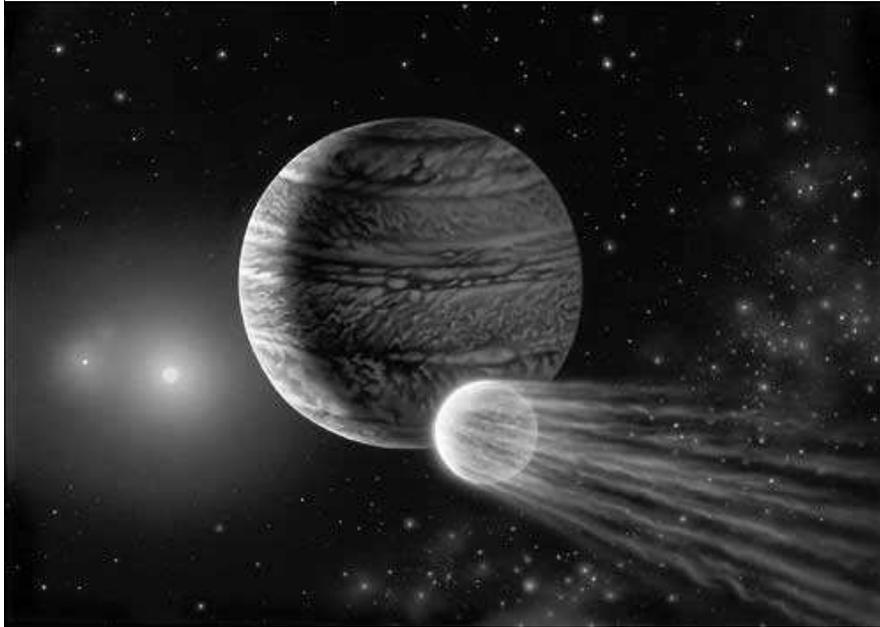
## Beispiel 2: Transit von Hd209458

Hier wurde erstmals ein Transit eines Planeten beobachtet und die Messung des Dopplereffektes bestätigt.

Quelle: <http://extrasolar.spaceart.org/extraso2.htm>



## Beispiel 3: 16 Cygni B Planet und hypothetischer Mond



In diesem System gibt es drei Sterne: zwei sonnenähnliche und einen roten Zwerg. Der Planet hat einen sehr exzentrischen Orbit, der in unserem System von der Venus bis zur Marsbahn reichen würde. Ein hypothetischer Mond hätte, hätte er Wasser gehabt, einen Schweif wie ein Komet bei der Annäherung an die Zentralsterne gehabt.

Quelle:<http://extrasolar.spaceart.org/extraso2.html>

## Beispiel 4: Pulsar Planeten

PSR 1257+12 haben drei Planeten. Der Pulsar könnte regelmäßig mit seiner Radiostrahlung den Planeten überstreichen, die Atmosphäre anregen und leuchtend grüne Auroras erzeugen.



Quelle:<http://extrasolar.spaceart.org/extraso3.html>

## Beispiel 5: Rote-Zwergen- Doppelsternsystem

... mit ganz viel Phantasie ...

So könnte ein Planet in der bewohnbaren Zone um ein Doppelsternsystem von zwei roten Zwergen aussehen. Es gibt eine Gezeitensperre wie zwischen Mond und Erde. Wolken wandern von der Zwergenseite auf die gegenüberliegende, Flares der Sterne sind im Wasser sichtbar. Die abgewandte Polkappe wird von einem weißen Zwerg beleuchtet.

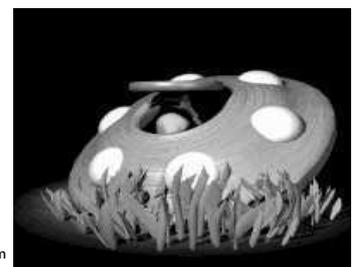
CM Draconis wäre ein Kandidat für so ein System.

Quelle:<http://extrasolar.spaceart.org/extraso3.html>



## Die Suche nach außerirdischem Leben

- Neben der Frage: Gibt es intelligentes Leben auf der Erde? :)
- stellt sich die Frage: Gibt es intelligentes Leben außerhalb der Erde?
- Heftig kontrovers diskutiert
- UFO-logen / Sichtungen / Roswell
- gehe von der Annahme aus, dass es bislang keine Außerirdischen auf der Erde gibt oder gab
- mein Argument: wer so neugierig und hergereist ist, hätte auch Kontakt aufgenommen



Quelle:[http://digilander.libero.it/ufo\\_zone/gif-eng.htm](http://digilander.libero.it/ufo_zone/gif-eng.htm)

# Was ist Leben?

Bereits diese Frage ist schwer zu beantworten, denn die Bedingungen:

- hat einen (Kohlenstoff-)Stoffwechsel
  - kann sich bewegen
  - zeugt Nachkommen von ähnlicher Art
  - hat die Fähigkeit zu wachsen
  - reagiert auf äußere Einflüsse
- ... erfüllt auch Feuer.

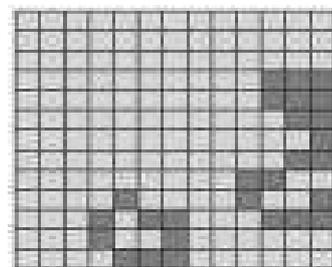
Viren erfüllen diese Bedingungen bei strenger Auslegung nicht.

# Was ist Intelligenz?

Noch schwieriger die Frage nach Intelligenz:

- Turing Test
- Programm Eliza (<http://www-ai.ijs.si/eliza/eliza.html>)
- Conway's Game of Life  
(<http://www.ibiblio.org/lifepatterns/>)

Hier müssen Sie sich wohl wieder selbst ein Bild machen ...



Quelle: <http://node99.org/denature/pub/life/img/conway.png>

# SETI

- Wir müssen daher selbst suchen
- SETI = search for extraterrestrial intelligence
- Suche auf der Erde wohl sinnlos (Argument oben)
- Suche im Weltall
- bei der bekannten Größe alleine der Milchstraße wäre eine Suche nach der sprichwörtlichen Nadel im Heuhaufen ein Leichtes
- Einschränkung des Suchgebietes

## Einschränkung der Suche

- möglicherweise ist für Leben Kohlenstoff nötig (jegliches Leben auf der Erde beruht auf Kohlenstoff ... oder Stickstoff)
  - komplexe Verbindungen möglich (Ketten, Ringe)
  - viele verschiedene Moleküle durch Verbindungen mit anderen Elementen
- vermutlich ist auch Wasser notwendig
  - gasförmig, flüssig und fest in relativ engem Bereich
  - Anomalie des Wassers
  - Wasserstoffbrückenbindung
  - relativ hohe Schmelz- und Verdunstungswärme
- bislang Suche durch Sonden im Planetensystem relativ erfolglos
- am Mars gefundene Strukturen könnten versteinerte Bakterien sein
- daher ein anderer Weg: Suche am Radio-Wege

# Sollen wir überhaupt selbst suchen?

- Angst vor Zerstörung
- Hoffnung auf Erkenntnisse / Neugier
- Sinnlosigkeit



Quelle: <http://www.astrosurf.com/lombry/Documents/film-independence-day.jpg>

## Aktive Suche

- Gehen vom Grundsatz der Ähnlichkeit aus
  - Planeten um Sterne als Lebensbasis
- sonnenähnliche Sterne (etwa 10%)
  - Stern zu groß    Zeit für Bildung reicht nicht aus
  - Stern zu klein    Zu wenig Energie    nahe Bahn nötig, aber viel Zeit vorhanden
- gebundene Rotation ist ungünstig
  - bis 100 Lichtjahre Entfernung ergeben sich 1000 Suchkandidaten
- welche Frequenz?
  - Einschränkung auf enges Frequenzband braucht weniger Energie beim Senden
  - ET's müssen ihren Stern überstrahlen

# Das Signal

- Spezifizierung des Signals
  - z.B.: 21cm Wasserstofflinie
  - komplexes Muster
  - völlig regelmäßiges Muster kann natürlichen Ursprungs sein (Pulsare)
- Problem der Entschlüsselung
  - Das Rätsel vom vorletzten Mal
- Energiesparen beim Senden
  - Pulsieren (Laser)
  - nur enger Raumbereich
  - für letzteres nötig, dass wir hier wenigstens erwartet werden, wenn nicht schon bekannt sind
- Störungen, Störungen, Störungen,...
  - selbstgenerierte
  - kosmische

## Wasserstoff - Linie

- günstiger Kandidat: die 21cm Linie des Wasserstoff (Frequenz: 1,42 Gigahertz)
- unter 1 Gigahertz Synchrotronstrahlung von Elektronen in Magnetfeldern
- über 10 Gigahertz stört Atmosphäre
- so auch Dopplereffekt nicht so störend (frequenzabhängig)
- Signal sollte schmalbandiger sein als natürliches Signal



# Die Geschichte von SETI

1919 Marconi empfängt Signale, die er nicht erklären kann, Erfindung der Telegraphie

1960, Frank Drake untersucht mittels eines 25 Meter - Radioteleskop's die beiden Sterne Tau Ceti und Epsilon Eridani. Keine Auffälligkeiten

1961 fand die erste Konferenz zum Thema SETI in Green Bank statt

1971 finanzierte die NASA eine Studie über ein Radio-SETI-Projekt

1974 wurde vom Arecibo Observatorium eine einmalige Radiobotschaft von 1679 Bits Länge ins All in Richtung des Kugelsternhaufens M13 (Entfernung ca. 25000 Lichtjahre) gesendet  
Link zur Entschlüsselung (<http://www.signale.de/arecibo/botschaft.html>)

Quelle:<http://www.signale.de/arecibo/botschaft.html>



## Geschichte II

1979 startete die University of California, Berkeley das SETI-Projekt SERENDIP (Search for Extraterrestrial Radio Emissions from Nearby Developed Intelligent Populations)

Carl Sagan et al. gründeten  
1980 die Planetary Society

1985 Projekt META  
(Megachannel Extra-Terrestrial Array)



Carl Sagan

Quelle:

[http://images.google.at/images?q=tbn:lvMKINqLUKMj:www.the-scientist.com/yr1997/july/jul\\_art/sagan.jpg](http://images.google.at/images?q=tbn:lvMKINqLUKMj:www.the-scientist.com/yr1997/july/jul_art/sagan.jpg)

# SETI @ Home – forschen Sie selbst!

... ist vielleicht etwas übertrieben,

- jedenfalls: helfen Sie mit!
- Sie brauchen einen PC mit Internetanbindung für das

## Projekt SETI@Home

SETI-Projekt an der Universität Berkeley kam auf die Idee, PC's von Weltrauminteressierten zu nutzen. Daten die am Arrecibo-Teleskop gesammelt werden, werden verteilt analysiert.



Quelle:<http://www.astronomie.de/bibliothek/initiativen/seti/seti-classic.htm>

## Seti @ Home - Details

- 1,42 Gigahertz - Linie wird relativ schmalbandig untersucht
- Signal darf räumlich nicht von der Erde kommen

Parkes-Teleskop in Australien - Film: The Dish

wurde bereits zur Übertragung der Mondlandung von Apollo 11 verwendet



Quelle:<http://www.astronomie.de/bibliothek/initiativen/seti/seti-classic.htm>

# Die Drake - Gleichung

- Jede Gleichung halbiert die Anzahl der Leser (Hawking im Vorwort zur kurzen Geschichte der Zeit)
- Daher habe ich mir die Gleichung für den Schluss aufgehoben: die Drake-Gleichung
- Soll die Frage nach der Anzahl der intelligenten Lebensformen in der Galaxie beantworten
- $N = R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$
- Voraussetzung: Eiweiß + Kohlenstoff

## R.

- Sternentstehungsrate
- beträgt etwa 1
- Stern wird als Energiequelle benötigt
- Masse ähnlich der Sonnenmasse
- kein Doppelsternsystem (instabile Bahn)
- bleiben etwa 5% der Sterne als Kandidaten

## $f_p$

- Anteil der Sterne mit Planetensystem
- Optimisten meinen 1, da um die meisten entstandenen Sterne rotierende Gas- und Staubscheibe
- immerhin: Planeten wurde bereits entdeckt
- Anzahl nimmt laufend zu

$n_e$

- Anteil der Planeten in der Ökosphäre, manchmal auch Biozone genannt
- schränkt Radius der Planetenbahn ein
  - zu nah: gebundene Rotation
  - zu weit: zu kühl
- etwa 0,8 - 1,2 AE als Radius ist günstig
- sind nun bei etwa 1–2% aller Sterne angelangt

$f_l$

- Anteil der Planeten mit Leben
- auch schnelle Rotation wäre günstig
- ebenso scheint die Neigung der Rotationsachse günstig
- Treibhauseffekt in günstigem Rahmen
- vielleicht auch ein großer Mond günstig
- langgestreckte Bahnen anderer Planeten können stören
- schützende Atmosphäre
- vielleicht noch etwa 0,5% der Sterne erfüllen die Bedingungen
- unberücksichtigt: ob sich überhaupt Leben gebildet hat...

$f_i$

- Anteil der Planeten mit intelligentem Leben
- da wir intelligentes Leben nur auf unserem Planeten kennen, ist keinerlei Statistik oder Abschätzung möglich

f<sub>c</sub>

- Anteil der Planeten mit interstellarer Kommunikation
- man könnte hoffen, das intelligenz Neugier bedingt ...
- ... und Neugier den Wunsch nach Kommunikation
- Auf unserem Planeten ging der Sprung von der Intelligenz zum Versuch der insterstellaren Kommunikation ja recht rasch

L

- Lebensdauer einer technischen Zivilisation
- Frage nach der Selbstzerstörungstendenz
- Frage nach der Möglichkeit einer Zerstörung durch Umwelteinflüsse des Planeten (Vulkan, Erdbeben, Krankheiten)
- Frage nach der Zerstörung durch galaktische Einflüsse (Bahnstabilität, Meteoriten, Explosionen)
  
- Hat es Sinn zu suchen?

## Kommen Sie wieder!

Sollten Ihr Interesse an SETI geweckt worden sein, so kommen Sie doch zu meinem Vortrag ...

- am 2.Juni 2005
- an der Kuffner Sternwarte

... der sich mit den aktuellen Ergebnissen der SETI-Projekte beschäftigt!

Auf Wiedersehen nächste Woche (trotz Formel am Schluss)!

## *relativ schwarz*

ein Versuch ein Annäherung an schwarze Löcher  
durch Verständnis von Relativitätstheorie und Gravitation

- i. Spezielle Relativitätstheorie
- ii. Allgemeine Relativitätstheorie
- iii. Schwarze Löcher

## *Teil 1*

# Spezielle Relativitätstheorie

## *Leseempfehlung*

- x Albert Einstein: *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*
- x es handelt sich um ein kommentiertes Wikibook
- x erste Veröffentlichung Einsteins zur speziellen Relativitätstheorie
- x mathematisch relativ wenig anspruchsvoll, sprachlich nicht immer exakt, aufgrund zu heutiger beinahe genormter wissenschaftlicher Sprache nicht leicht zu verstehen
- x unsere ersten Schritte anhand den Themen dieser Veröffentlichung

## *Motivation*

- x Motivation der Relativitätstheorie aus Problemen im Verständnis der Mechanik und der Elektrodynamik
- x Maxwellsche Feldgleichungen waren bereits *relativistisch invariant* formuliert (in korrekter relativistischer Form)
- x diese beschreiben die elektrische und die magnetische Feldstärke (und damit die Kräfte) die sich aus dem skalaren und dem vektoriellen Potential (den Quellen d.h. den elektrischen und magnetischen Ladungen) und ihren Veränderungen (d.h. ihren Bewegungen) ergeben
- x Anm.: es gibt keine einzelnen magnetischen Ladungen (magnetische Monopole) sondern nur magnetische Dipole über das ist eine andere Geschichte ...

## Maxwellsche Gleichungen

Integrale Form	Differentielle Form	Bedeutung auf <i>physikalisch</i> :-)
$\oint_o \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$	$\text{div } \vec{B} = 0$	Das magnetische Feld ist quellenfrei.
$\oint_o \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q$	$\text{div } \vec{D} = \rho$	Der Fluß durch eine bestimmte Oberfläche ist gleich der eingeschlossenen Ladung.
$\oint_s \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{\partial}{\partial t} \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$	$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	Zeitlich sich ändernde Magnetfelder erzeugen ein elektrisches Feld. (Faradaysches Induktionsgesetz)
$\oint_s \vec{H} \cdot d\vec{s} = \frac{\partial}{\partial t} \int \vec{D} \cdot d\vec{A} + I$	$\text{rot } \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}$	Zeitlich sich ändernde elektrische Felder erzeugen ein Magnetfeld. (Amperesches Gesetz mit Maxwellscher Ergänzung)

Zusammenhang zwischen elektrischer und magnetischer Feldstärke und den entsprechenden Quellen (d.h. Strömen und Ladungen) oder den entsprechenden Potentialen

## Der Äther

- X Frage der Existenz des Äthers
- X ist das postulierte Ausbreitungsmedium der elektromagnetischen Wellen
- X großer Disput
- X viele teils skurrile postulierte Eigenschaften in sich widersprüchlich
- X seine Existenz wurde als unnötig erkannt und ihm damit abgesprochen



## *spezielle Relativitätstheorie*

- X Raum und Zeit
- X keine beschleunigten Bewegungen
- X damit: keine beschleunigten Massen
- X Äquivalenz von Masse und Energie (auch gültig für chemische und biologische Vorgänge □ dort aber nur geringe Massendifferenzen)
- X keine Gravitation

## *Relativitätsprinzip und Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit*

- X Prinzip der Relativität: Gleichartigkeit der physikalischen Gesetze und Vorgänge in ausgezeichneten Systemen (Intertialsysteme) □ klassisch auch gültig
- X Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit □ unabhängig von der Geschwindigkeit des Senders als auch der des Empfängers (nicht mit klassischer Physik vereinbar)
- X sorgt u.a. für die Erhaltung der Kausalität
- X Definition der Gleichzeitigkeit...
- X ... über die Synchronität von Uhren. Keineswegs trivial!
- X Darstellung mittels Zeit- Ortsdiagrammen □ sog. Minkowskidiagrammen

## *Inertialsysteme*

- X Existenz von ausgezeichneten Inertialsystemen
- X in ihnen gelten die gleichen physikalischen Gesetze
- X relativ gegeneinander nicht beschleunigt
- X gleichförmige Bewegung relativ möglich
  
- X in anderen (beschleunigten) Systemen wirken (messbare  $\square$  spürbare) Kräfte
- X Unbehagen bei Mach: Mach'sches Prinzip
- X Beispiel: rotierender Wassereimer

## *Folgerung*

- X keine absoluten Geschwindigkeiten feststellbar
- X Michelson-Morley-Experiment
- X zur Feststellung der Relativgeschwindigkeit der Erde im Äther
- X keine Geschwindigkeit feststellbar
- X Äther bedeutungslos
- X elektromagnetische Wellen haben kein Ausbreitungsmedium
- X (Schall benötigt Ausbreitungsmedium  $\square$  dies muss *nicht* Luft sein)

## *Gleichzeitigkeit*

- X Gleichzeitigkeit von Ereignissen hängt vom Bezugssystem ab
- X Beispiel: Bahnsteig + Zug + Blitz  der an beiden Enden des Zuges einschlägt

## *Lorentzkontraktion*

- X Länge eines bewegten Stabes erscheint verkürzt
- X -> Lorentzkontraktion
- X Scheinen – Sein – Beobachten
- X es wirken dennoch keine Kräfte auf den Stab
- X im System des Stabes ist keine Kontraktion festzustellen

## *Zeitdilatation*

- X als weitere Folge ist auch die Gleichzeitigkeit von Ereignissen systemabhängig
- X Uhren laufen nicht in allen Systemen synchron
- X bewegte Uhren gehen langsamer
- X -> Zeitdilatation (-dehnung)
  
- X daraus ergibt sich das Zwillingsparadoxon
- X kein Paradoxon im eigentlichen Sinne
- X Berücksichtigung der Beschleunigungen und Verzögerungen ergibt korrekte Vorhersagen

## *Minkowski Metrik*

- X Zeit als Dimension  $\square$ ähnlich einer räumlichen Dimension
- X Komponente der Metrik hat anderes Vorzeichen
- X Beispiel:
- X Abstand im Raum:  $\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 = r^2$
- X Abstand zweier Ereignisse in der Raumzeit:  $\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 - c \cdot \Delta t^2 = -s^2$
- X Koordinatentransformation ähnlich eine Drehung im vierdimensionalen Raum. Einzig die Zeit wird in Folge der Metrik 'falsch' gedreht

## *4er - Vektoren*

- X  $x/y/z$  und  $t$  bilden ein nützliches mathematisches Objekt ( $x/y/z/ct$ )
- X Minkowski Metrik
- X Ebenso können elektrische und magnetische Feldstärke zu einem Objekt zusammengefasst werden  $\square$  dem Feldstärketensor
- X Tensor ist ein math. Objekt  $\square$  das sich unter Drehungen im (nunmehr vierdimensionalen) Raum auf eine bestimmte Art verhält
- X Vektor ist ein spezieller Tensor
- X Transformationen für den Übergang zwischen Intertailsystemen bekommen so die einfachst mögliche Form

## *Lorentztransformationen*

- X Transformationsgleichungen für den Übergang zwischen den Koordinatensystemen
- gebräuchlich für:
- X räumliche Koordinaten
  - X Zeit
  - X Geschwindigkeiten
  - X Feldstärken  $\rightarrow$  Kräfte
  - X skalares und vektoriell Potential  $\rightarrow$
  - X Quellen (Ladungen und Ströme)  $\rightarrow$  Ladungen und Magnete

## Folgen

- X relativistischer Dopplereffekt
- X Abberation (Vergleich: geneigtes Halten eines Regenschirmes)
- X beschleunigte elektrische Ladungen strahlen elektromagnetische Wellen ab (Prinzip des Sendens und Empfangens – in Verwendung für Radio – Fernsehen – Handy – Funk –.)
- X 'dynamische' Masse: Masse nimmt für ruhenden Beobachter zu
- X Energie wird somit bei Bewegung größer – 'dynamische' Energie

## Kritik

- X einige Begriffe und Vorstellungen haben sich geändert

Beispiel:

- X transversale und longitudinale Masse
- X heute: dynamische Masse
- X Trägheit einer Masse nimmt mit ihrer Geschwindigkeit zu
- X Aufrechterhaltung der Äquivalenz von träger und schwerer Masse

Dies ist weniger eine inhaltliche Kritik – sondern mehr eine Frage der Interpretation der Schlussfolgerungen.

## *Teil 2*

# Allgemeine Relativitätstheorie

## *Merkmale*

- x* nun werden auch beschleunigte Körper betrachtet
- x* Masse
- x* Krümmung der Raumzeit
- x* Körper bewegen sich entlang von Geodäten

## *Gravitation*

- X Geschwindigkeit von Uhren hängt von ihrer Lage ab
- X Geschwindigkeit der Zeit hängt von der Lage ab (physikalische  chemische  biologische Vorgänge)
- X muss bei GPS berücksichtigt werden

Anmerkung:

- X für Genauigkeit der Bahn beim Mondflug keine Relativitätstheorie nötig
- X Bahnen der Elektronen im Fernseher müssen relativistisch gerechnet werden

## *Geometrie*

- X Verabschiedung vom Euklidischen Raum
- X gekrümmter Raum
- X mathematisch: Differentialgeometrie

Vergleich: Kugelgeometrie

- X dort aber: konstante Krümmung
- X hier: Krümmung in jedem Raumpunkt prinzipiell unabhängig von anderen möglich



## *Materie*

- X Materie bewirkt Krümmung des Raumes
- X Körper bewegen sich entlang der Geodäten (Gravitationskraft löst sich in Krümmung des Raumes auf)
- X alle Energieformen krümmen den Raum (etwa auch Wellen)
- X Äquivalenzprinzip: jedes Schwerefeld lässt sich durch geeignete Raumkrümmung ersetzen
- X Äquivalenz von träger und schwerer Masse

## *Schwerefeld*

- X Eine Bewegung im Schwerefeld ist in einem geschlossenen System nicht feststellbar □ solange das Feld ausreichend homogen ist und somit keine Gezeitenkräfte auftreten
- X Rotverschiebung von Licht im Schwerefeld
- X schiefer Wurf auch nur eine Bewegung entlang Geodäten

## *Berücksichtigung*

- X bei kosmologischen Berechnungen (große Massen  $\square$  große Geschwindigkeiten)
- X schwarze Löcher
- X Gravitationswellen (analog elektromagnetischen Wellen)
- X Bestätigung durch Myonen in der Höhenstrahlung

## *Struktur des Weltraumes*

- X Raum benötigt Masse
- X Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen (Beschreibung der zeitlichen Entwicklung des Raumes)
- X Expansion (und Kontraktion) des Raumes als Lösung der Feldgleichungen
- X konstanter Raum keine stabile Lösung

## Riemannsche Geometrie

- ✗ löst Euklidische Geometrie ab
- ✗ Einsteinsche Feldgleichungen beschreiben Zusammenhang zwischen dem Krümmungstensor  $\square$  dem Metriktensor und dem Energie-Impulstensor
- ✗ d.h. Zusammenhang zwischen Masse (Energie)  $\square$  Raumkrümmung und Maß des Raumes

$$R_{ij} - \frac{g_{ik} R}{2} + \Lambda g_{ik} = 8 \Pi \frac{G}{c^4} T_{ik}$$

- ✗  $R_{ij}$  ... Krümmungstensor  $\rightarrow$   $R$  ... Krümmungsskalar
- $g_{ij}$  ... metrischer Tensor  $\square$   $T_{ij}$  ... Energie - Impuls - Tensor
- $\Lambda$  ... kosmologische Konstante  $\square$   $\Pi$  ... Kreiskonstante  $\square$   $c$  ... Lichtgeschwindigkeit
- $G$  ... Gravitationskonstante

## Metrik

- ✗ Metriktensor bezeichnet Metrik
- ✗ Metrik gibt das Maß des Raumes an
- ✗ Beispiel:  $F = \text{Länge} * \text{Breite}$  in rechtwinkligen Koordinaten beim Rechteck  
aber  $F \neq \text{Radius} * \text{Winkel}$  in Polarkoordinaten beim Kreis  
sondern ...
- ✗ noch schlimmer: Kreis auf gekrümmter Fläche:  $F = M * r^2 * \Pi$   
mit  $M$  ... Metrik

## *Koordinatensysteme*

- X das Äquivalenzprinzip wird auf beliebige Koordinatensysteme ausgeweitet
- X z.B. bewirkt die rasche Drehung eines Beobachters die vielfache Lichtgeschwindigkeit eines Sterns
- X die Formulierung der Lichtgeschwindigkeit als Grenzgeschwindigkeit muss daher genau durchgeführt werden

## *Höherdimensionale Räume*

- X auch höherdimensionale Räume denkbar
- X 6  $\square$  0 oder 23 Dimensionen als Kandidaten
- X nicht beobachtete Dimensionen eingerollt auf Plancklänge ( $10^{-43}$  Meter)
- X Stringtheorie

## *Bestätigungen*

- X Periheldrehung des Merkur
- X Rotverschiebung des Lichts im Gravitationsfeld (Nachweis 1919 bei Sonnenfinsternis □ genauere Messung beim Licht von Quasaren □ Mössbauer-Effekt - Emission und anschließende Absorption von Licht)
- X Shapiro - Test (Radarecho der Venus □ das nahe an der Sonne vorüber geht)
- X Gangunterschied von Atomuhren in Flugzeugen 1971
- X Äquivalenzprinzip (träge - schwere Masse) Shapiro □ Laserreflexion bei Apollomission 1976 vom Mond
- X Gravitationswellen von Pulsaren
- X Existenz von schwarzen Löchern

## *gesellschaftliche Auswirkungen*

- X Teilweises Verbot der Relativitätstheorie im 3.Reich
- X für Entwicklung von Waffen Verwendung der Relativitätstheorie zugelassen
  
- X weitreichende Auswirkungen auf Philosophie -> Kant

## *Wünsche*

- X Vereinheitlichung von Quantenelektrodynamik und Relativitätstheorie
- X Quantenelektrodynamik = Vereinheitlichung von Elektrodynamik und Quantenmechanik
- X Relativitätstheorie = Vereinheitlichung von Kinetik und Gravitation
  
- X Quantenelektrodynamik vereinheitlicht starke  $\square$  schwache und elektromagnetische Wechselwirkung
- X Relativitätstheorie beinhaltet Gravitation

## *Alternativtheorien*

- X viele Alternativtheorien
- X große experimentelle Bestätigung
- X Argument des 'gesunden Menschenverstandes'
- X Probleme  $\square$  etwa bei Bahnen der Voyager-Sonden  $\square$  können aber auch andere Ursachen haben
- X vielleicht eine Adaption der Theorie zur Vereinheitlichung mit der Quantenelektrodynamik
- X wird aber zumindest ein weiteres Korrespondenzprinzip gültig sein

## *Folgerungen*

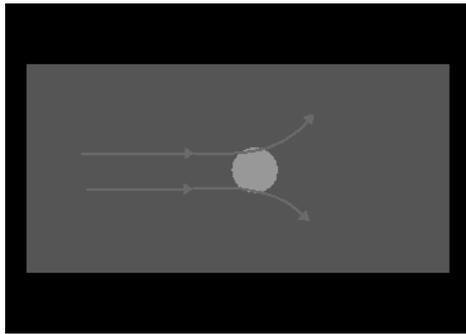
- X Existenz von schwarzen Löchern als Lösungen der Feldgleichungen bei Verwendung der Schwarzschildmetrik
- X Vergleich: Fluchtgeschwindigkeit eines Satelliten
- X es treten keinerlei mysteriöse Kräfte oder Phänomene auf
  
- X zwei Arten von Singularitäten:
  - 'unecht' beim Schwarzschildradius
  - 'echt' im Zentrum  die eigentlich Singularität

## *Teil 3*

# Schwarze Löcher

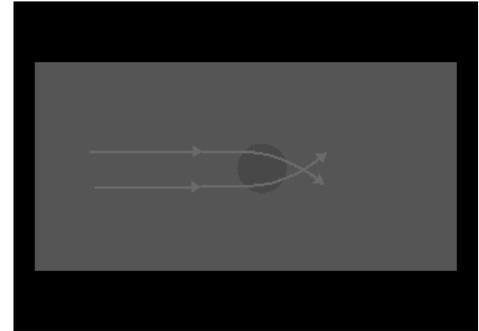
- X bislang vorgetragene Inhalte über schwarze Löcher werden in dieser Präsentation nicht wiederholt  siehe hierzu: Skriptum zum 4.Tag

## Krümmung

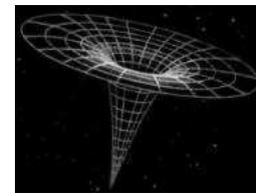
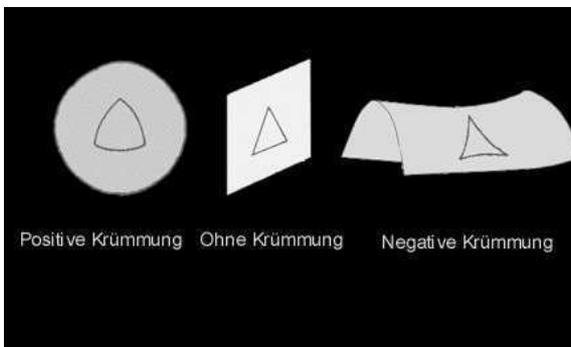


Billardtisch mit Hügel

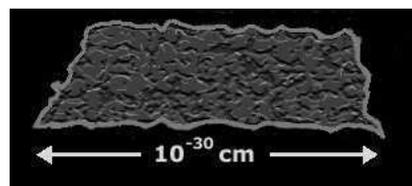
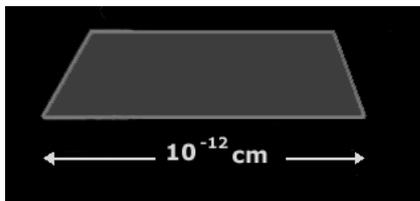
alle Bilder: Quelle: Abenteuer Universum – Die Macht der Gravitation  
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/index.html>



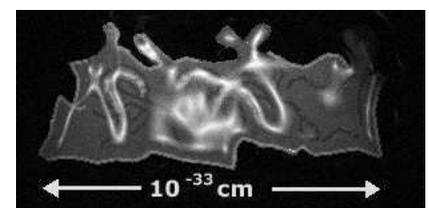
Billardtisch mit Grube



## Kräuselung der Raumzeit

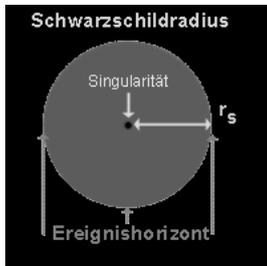


alle Bilder: Quelle: Abenteuer Universum – Die Macht der Gravitation  
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/index.html>

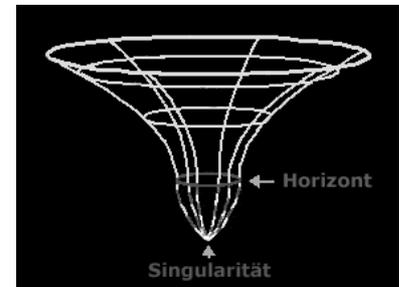
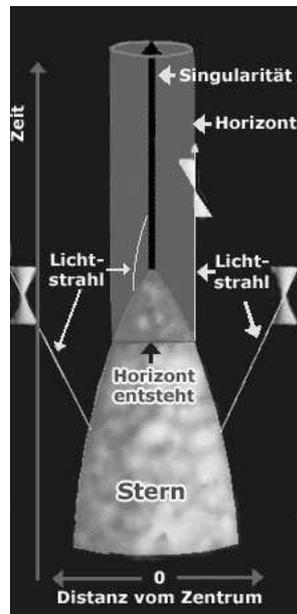




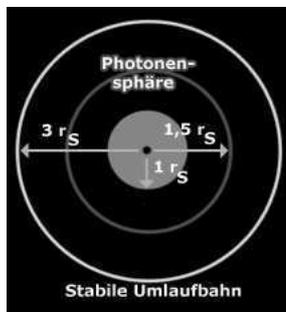
# Ereignishorizont



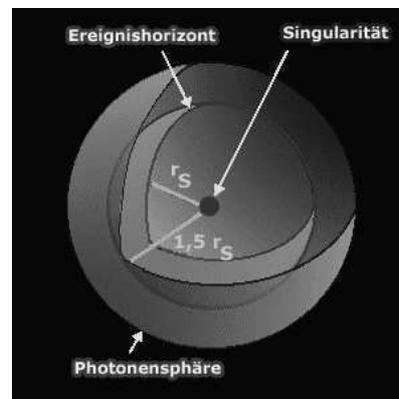
alle Bilder: Quelle: Abenteuer Universum  Die Macht der Gravitation   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/index.html>



# Photosphäre

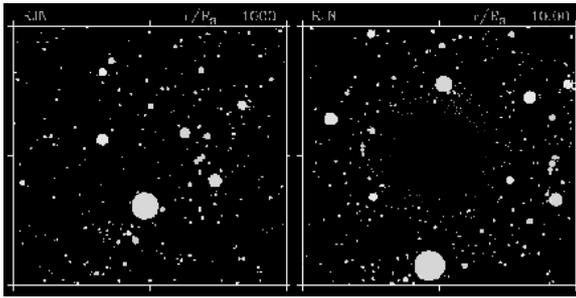


Quelle: Abenteuer Universum  Die Macht der Gravitation   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/index.html>



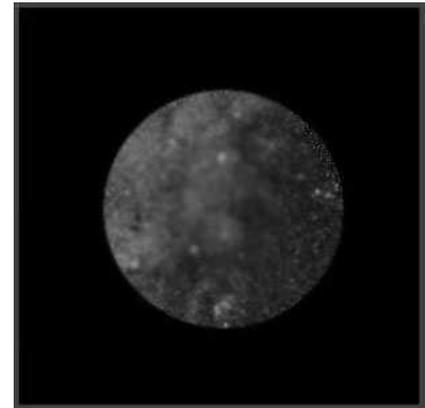
Quelle: Abenteuer Universum  Die Macht der Gravitation   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/index.html>

## Blick beim Flug in ein schwarzes Loch



Quelle: Abenteuer Universum  Die Macht der Gravitation   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/lindex.html>

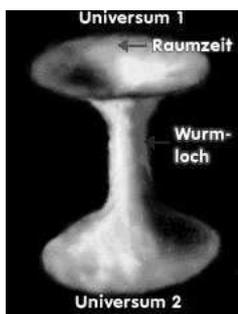
große Entfernung      kleine Entfernung



Quelle: Abenteuer Universum  Die Macht der Gravitation   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/lindex.html>

auch das Licht von hinten  
 kommt nun bereits von vorne

## Wormloch



Reise in eine anderes  
 Universum durch ein  
 Wurmloch

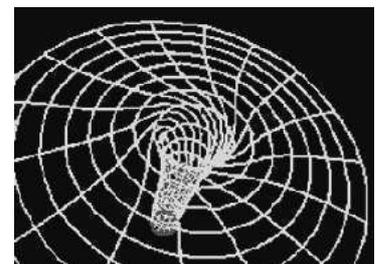
Quelle: Abenteuer Universum  Die Macht  
 der Gravitation   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/lindex.html>

## Arten

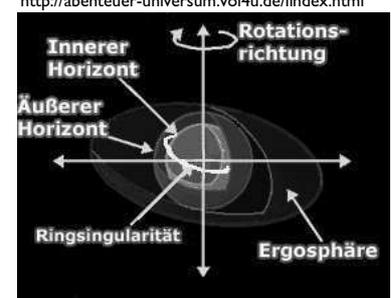
- X sie sind durch Masse  $\square$  Ladung und Drehimpuls eindeutig gekennzeichnet (Wheeler)
- X auch physikalisch mehrere Arten von schwarzen Löchern:
- X 'normale' Schwarzschild - Löcher; ungeladen  $\square$  kugelsymmetrisch
- X schwarzes Loch nach Reissner-Nordström: elektrisch geladen  $\square$  kugelsymmetrisch
- X Kerrsches Loch: rotiert
- X Kerr-Newman-Loch: rotiert und geladen

## Kerrsche Löcher

- X Loch krümmt Raumzeit rund um sich mit (machen im Prinzip auch kleine Massen)
- X Maximal Kerr: Materie kann nicht mehr in das Loch fallen und wird weggeschleudert
- X Zentrifugalkraft hebt Schwerkraft auf  $\square$  dennoch:
- X Kosmische Zensur: nackte Singularität kann nicht beobachtet werden
- X Ergosphäre: abgeplatteter ellipsoid  $\square$  keine statisch ruhige Lage mehr möglich.  
Äußere Grenze = statische Grenze
- X innerer Horizont = 2. Singularität  $\square$  Bedeutung unklar

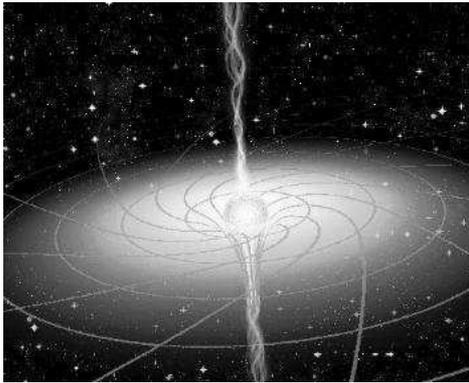


Quelle: Abenteuer Universum  $\square$  Die Macht der Gravitation  $\square$   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/index.html>



Quelle: Abenteuer Universum  $\square$  Die Macht der Gravitation  $\square$   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/index.html>

## Raumzeitkrümmung



Quelle: Abenteuer Universum  Die Macht der Gravitation   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/index.html>

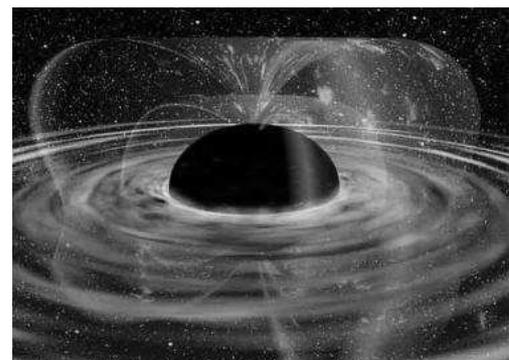
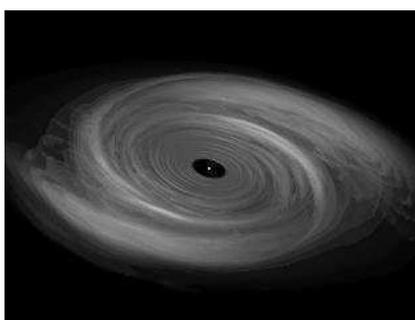
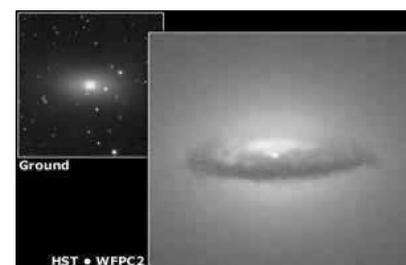
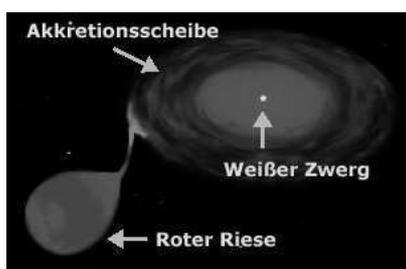
Durchflug theoretisch denkbar (kein physikalischer Ereignishorizont)

Teilchen werden vielleicht Tachonen (fliegen mit Überlichtgeschwindigkeit  rückwärts in der Zeit)



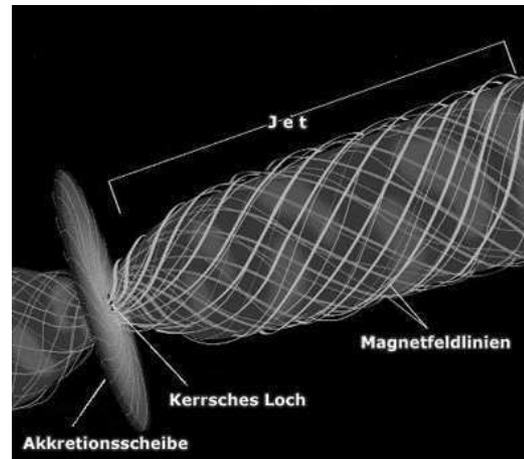
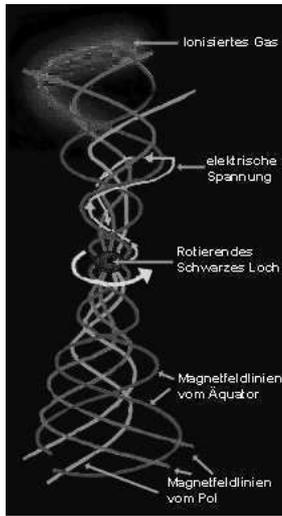
Verzerrung des Loches durch Rotation

## Akkretionsscheiben



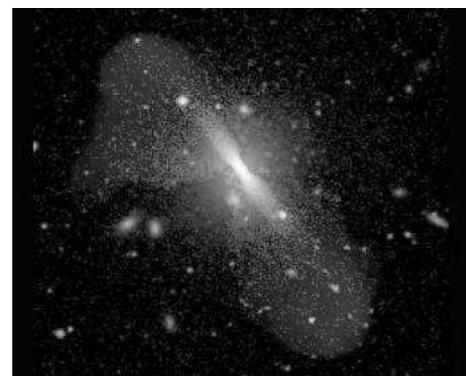
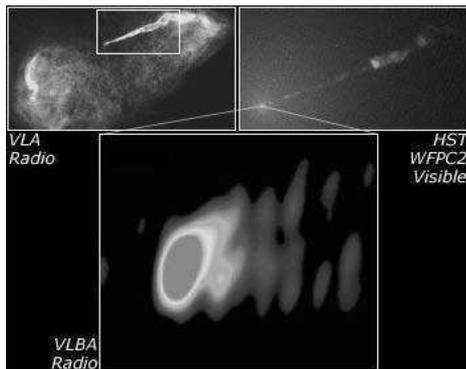
alle Bilder: Quelle: Abenteuer Universum  Die Macht der Gravitation   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/index.html>

# Jets



alle Bilder: Quelle: Abenteuer Universum  die Macht der Gravitation   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/index.html>

# reale Jets 1/2



alle Bilder: Quelle: Abenteuer Universum  die Macht der Gravitation   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/index.html>

## reale Jets 2/2



alle Bilder: Quelle: Abenteuer Universum  Die Macht der Gravitation   
<http://abenteuer-universum.vol4u.de/index.html>

## eine Steigerung

- X verspricht die Smolin - Theorie  nach der das ganze Universum vielleicht ein schwarzes Loch darstellt ...
- X die Existenz von 'weißen Löchern' als zweites Ende von
- X Wurmlöchern
  
- X Wir werden sehen  was die Zukunft uns an Erkenntnissen bringt.
- X Wer weiter forschen will  dem empfehle ich ->

## Quellenverzeichnis 1/2

Wikipedia: <http://www.wikipedia.de>

Albert Einstein  Allgemeine Relativitätstheorie  Kosmologie  Relativitätstheorie   
Schwarzes Loch  Spezielle Relativitätstheorie

Wikibooks: <http://de.wikibooks.org>

Die vierdimensionale Welt  Einsteins Welt  Spezielle Relativitätstheorie I-V   
Über das Wesen der Zeit; A. Einstein  Zur Elektrodynamik bewegter Körper

Telepolis: Das Monster wohnt in der Mitte der Milchstraße

<http://www.heise.de/tp/r4/artikel/9/9469/1.html>

Andreas Müller: Schwarze Löcher

[http://www.lsw.uni-heidelberg.de/users/amueller/astro\\_sl.html](http://www.lsw.uni-heidelberg.de/users/amueller/astro_sl.html)

## Quellenverzeichnis 2/2

Werner Kasper: Die bunte Welt der schwarzen Löcher

<http://abenteuer-universum.vol4u.de/l.html>

Heribert Genreith: Was Du schon immer über Relativitätstheorie wissen wolltest

<http://home.t-online.de/home/heribert.genreith/rt.pdf>

Albert Einstein: Fundamental ideas and problems of the theory of relativity

<http://nobelprize.org/physics/laureates/1921/einstein-lecture.pdf>

Peter Schneider: Überblick Kosmologie

[http://www.astro.uni-bonn.de/~peter/cosmo\\_short.html](http://www.astro.uni-bonn.de/~peter/cosmo_short.html)