

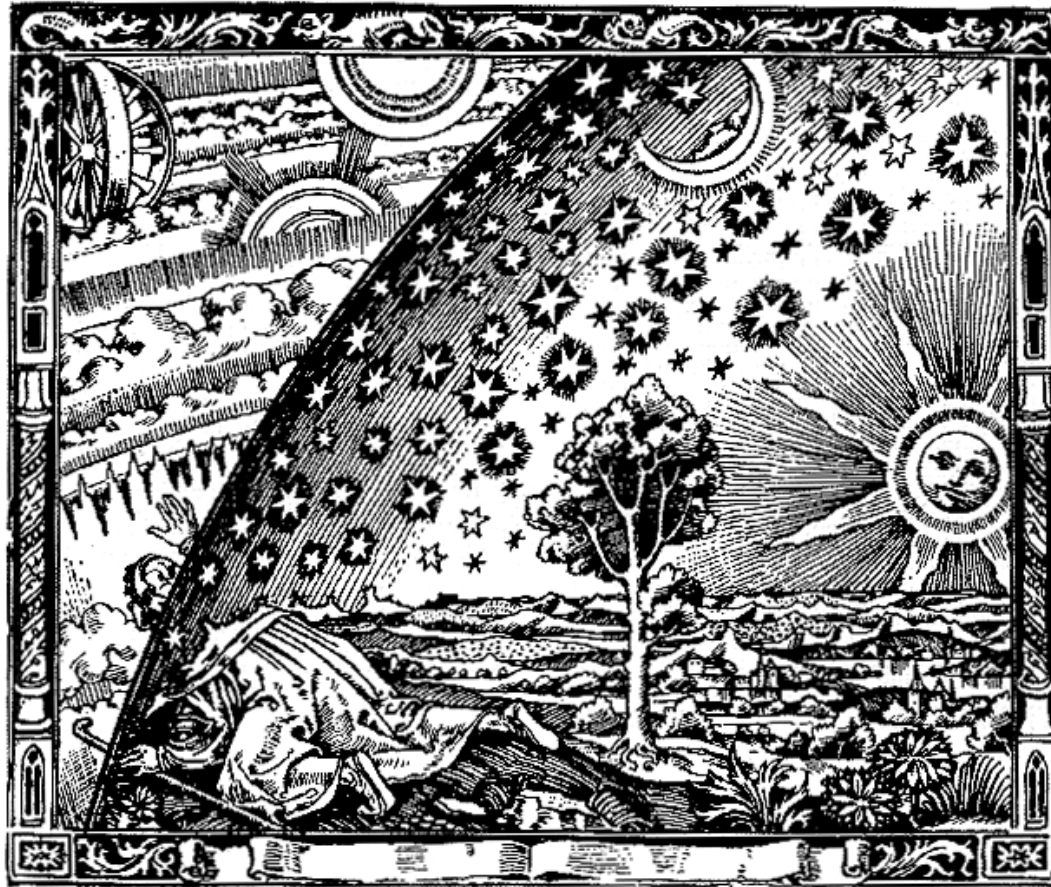
# Raum, Zeit und Kosmologie

Hartmann Römer

Physikalisches Institut der Universität Freiburg

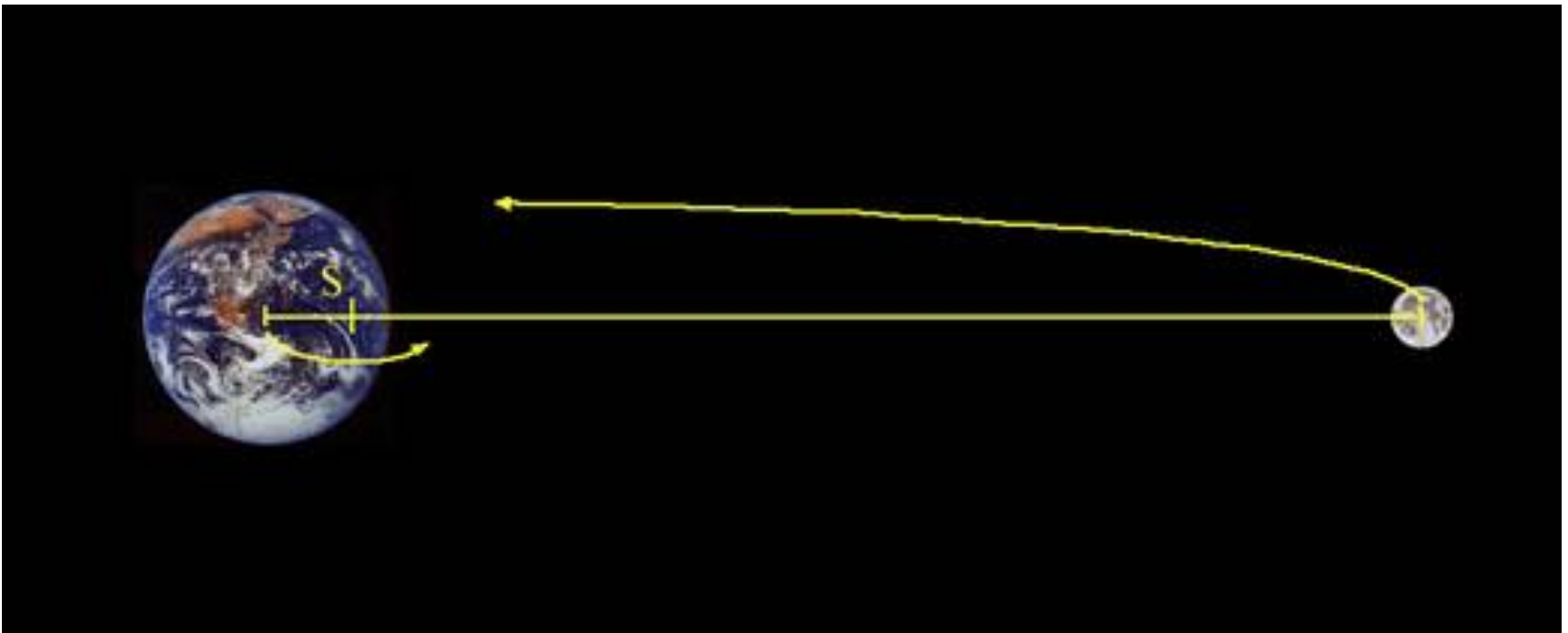
Pfaffenweiler, 9.10.2014

# Bild des Kosmos (Holzschnitt um 1530)



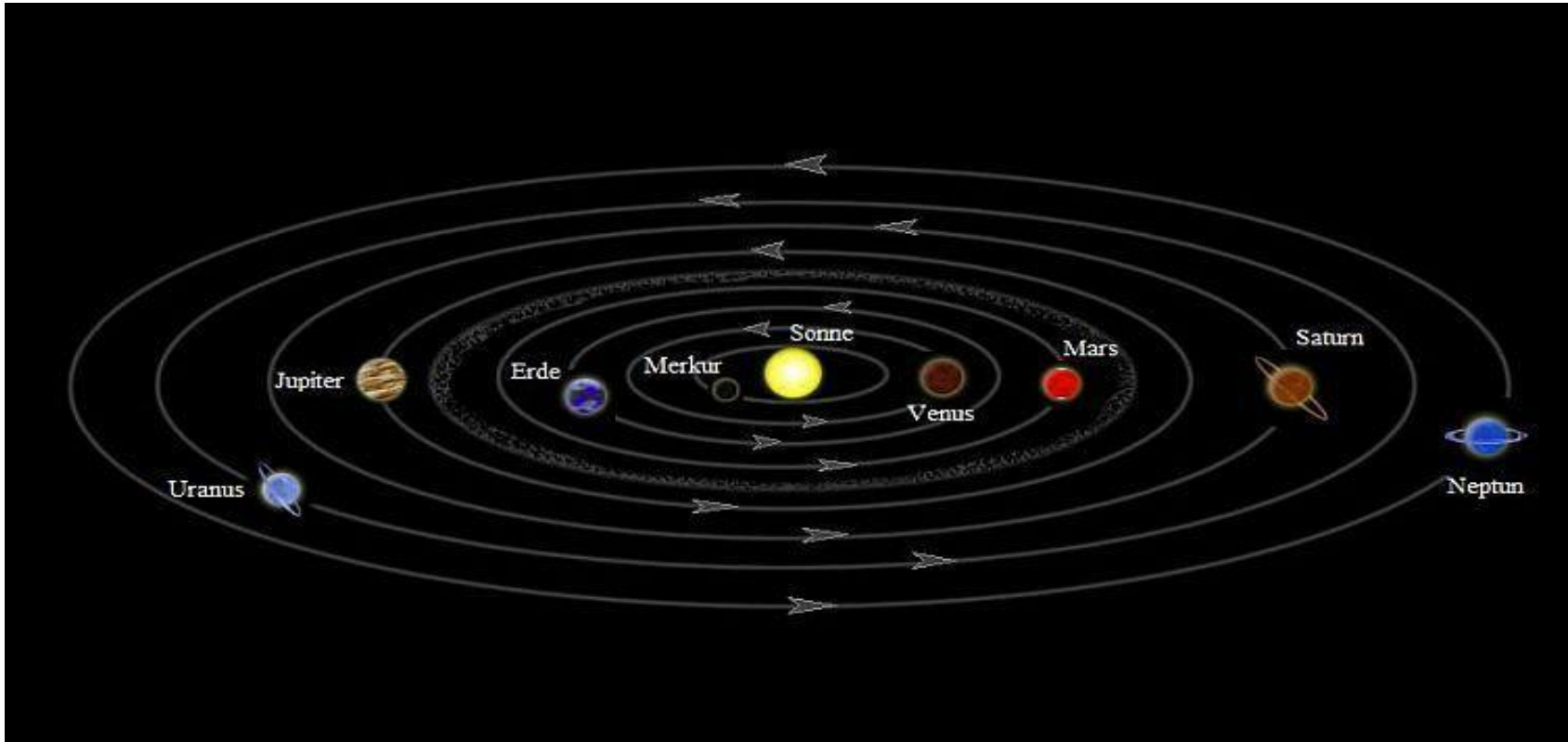
Größe: Einige 10 000 km, Alter: c.a 6000 Jahre

# Erde und Mond



Entfernung Erde – Mond ungefähr 380 000 km, d.h. etwa 30 Erddurchmesser oder 1,25 Lichtsekunden

# Das Sonnensystem



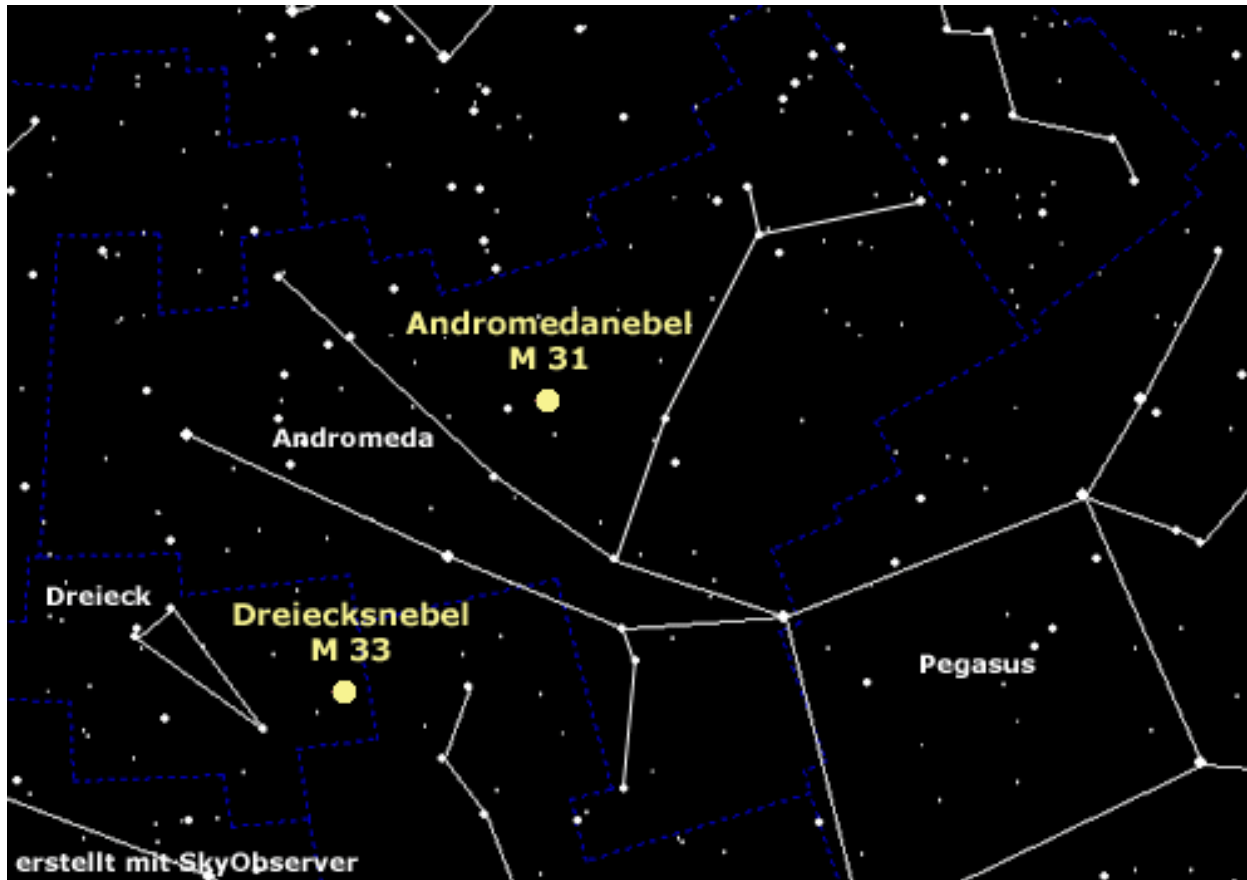
Entfernung Erde-Sonne c.a. 150 000 000 km, d.h. etwa 8 Lichtminuten  
Entfernung des nächsten Fixsterns etwa 4,3 Lichtjahre

# Unsere Milchstraße



Durchmesser der Milchstraße etwa 110 000 Lichtjahre  
Die Milchstraße enthält ~100 Mrd Sterne

# Nachbarmilchstraße Andromedanebel



Im Sternbild Andromeda mit bloßem Auge sichtbar

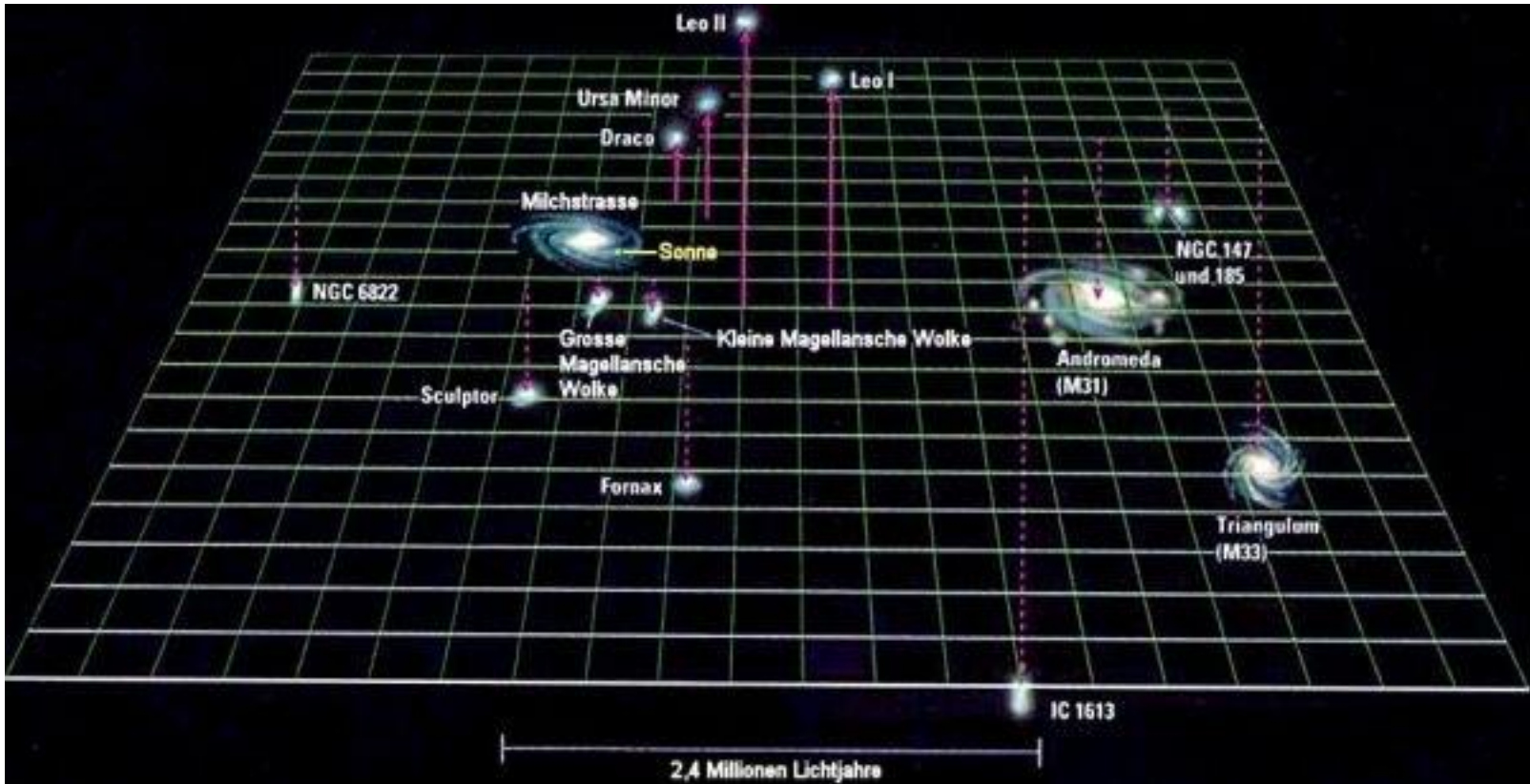
# Andromedanebel



Andromedanebel M31

Entfernung etwa 2,6 Mio Lichtjahre,  
Durchmesser c.a 50% größer als unsere Milchstraße

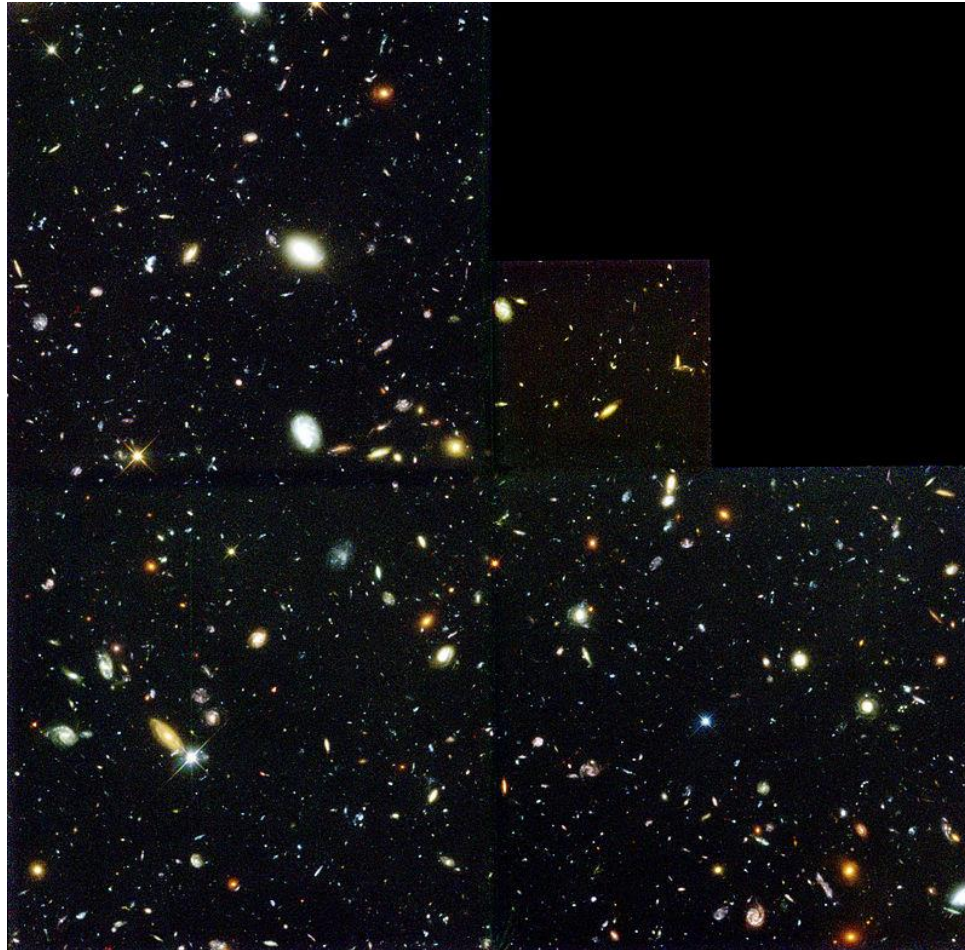
# Die „lokale Gruppe“



Haufen von Galaxien (Milchstraßen), seinerseits Teil eines „Superhaufens“ mit über 1000 Galaxien

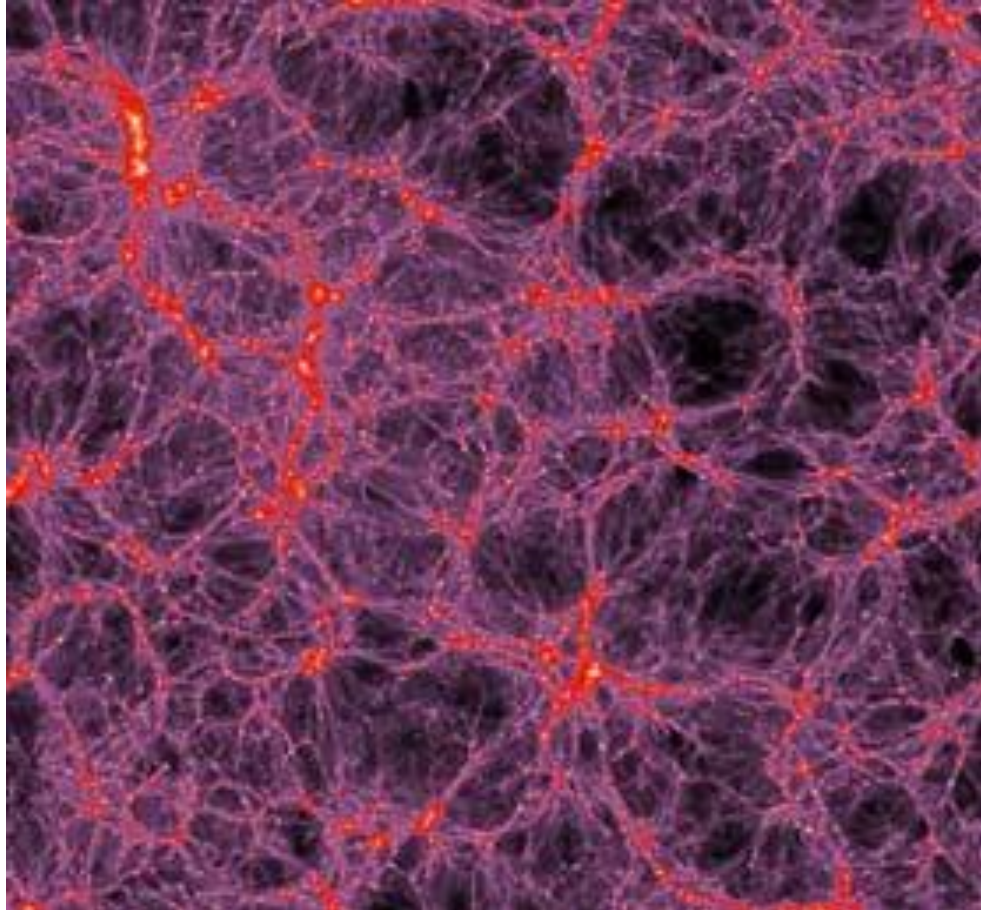


# In den Tiefen des Weltraums



Aufnahme des Hubble-Weltraumteleskops: Galaxien (Milchstraßen)  
in einer Entfernung von 10 Mrd Lichtjahren, etwa 100 Mrd sichtbare Galaxien

# Verteilung der Galaxien im All

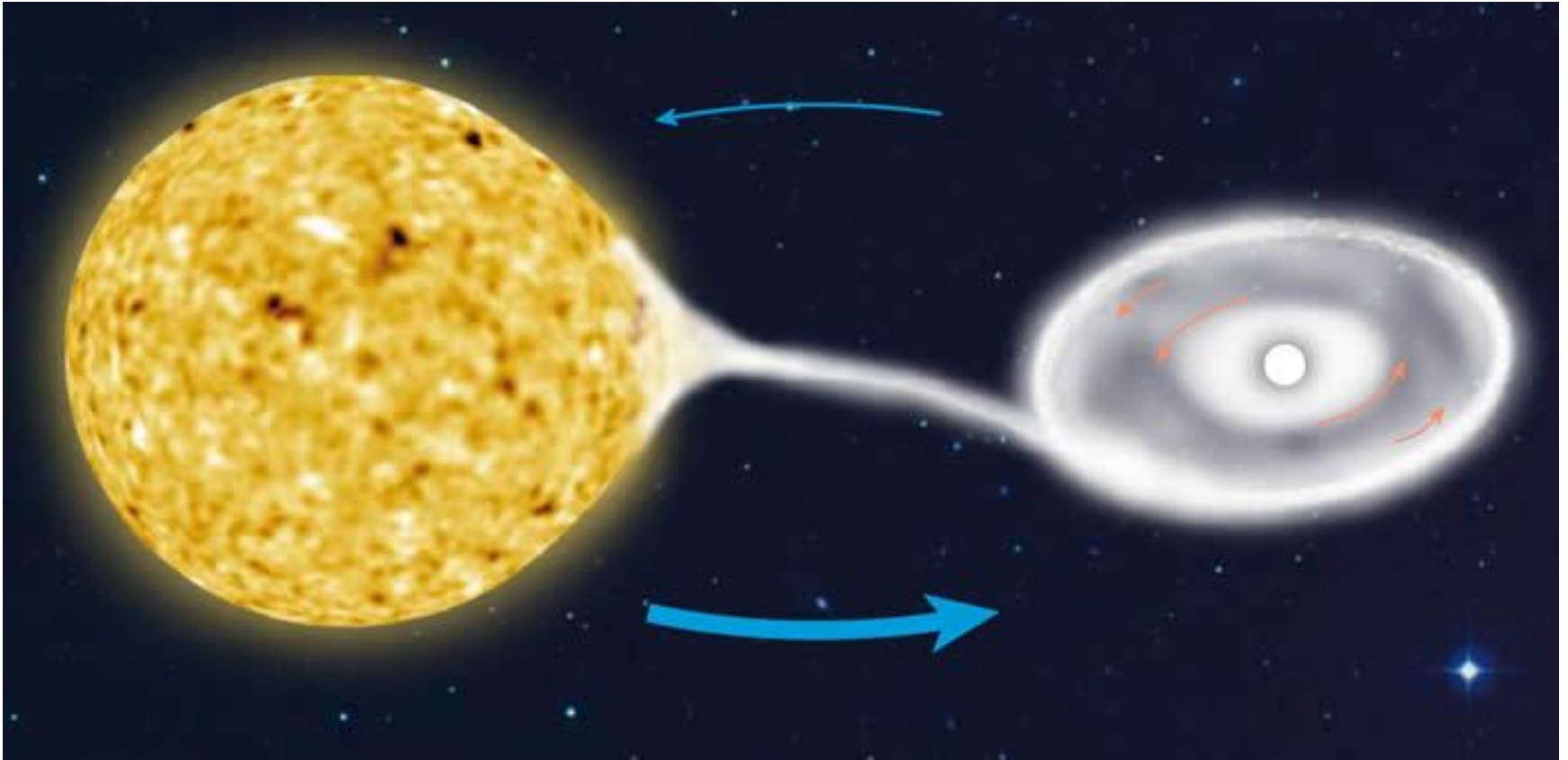


- Verteilung im Großen gleichförmig aber „fädig“ mit Lücken über Entfernungen von c.a. 100 Mio Lichtjahren
- Das Weltall enthält nicht nur Sterne und Planeten, sondern außerdem:

# 1. Viel Staub und Gas



## 2. Weiße Zwerge



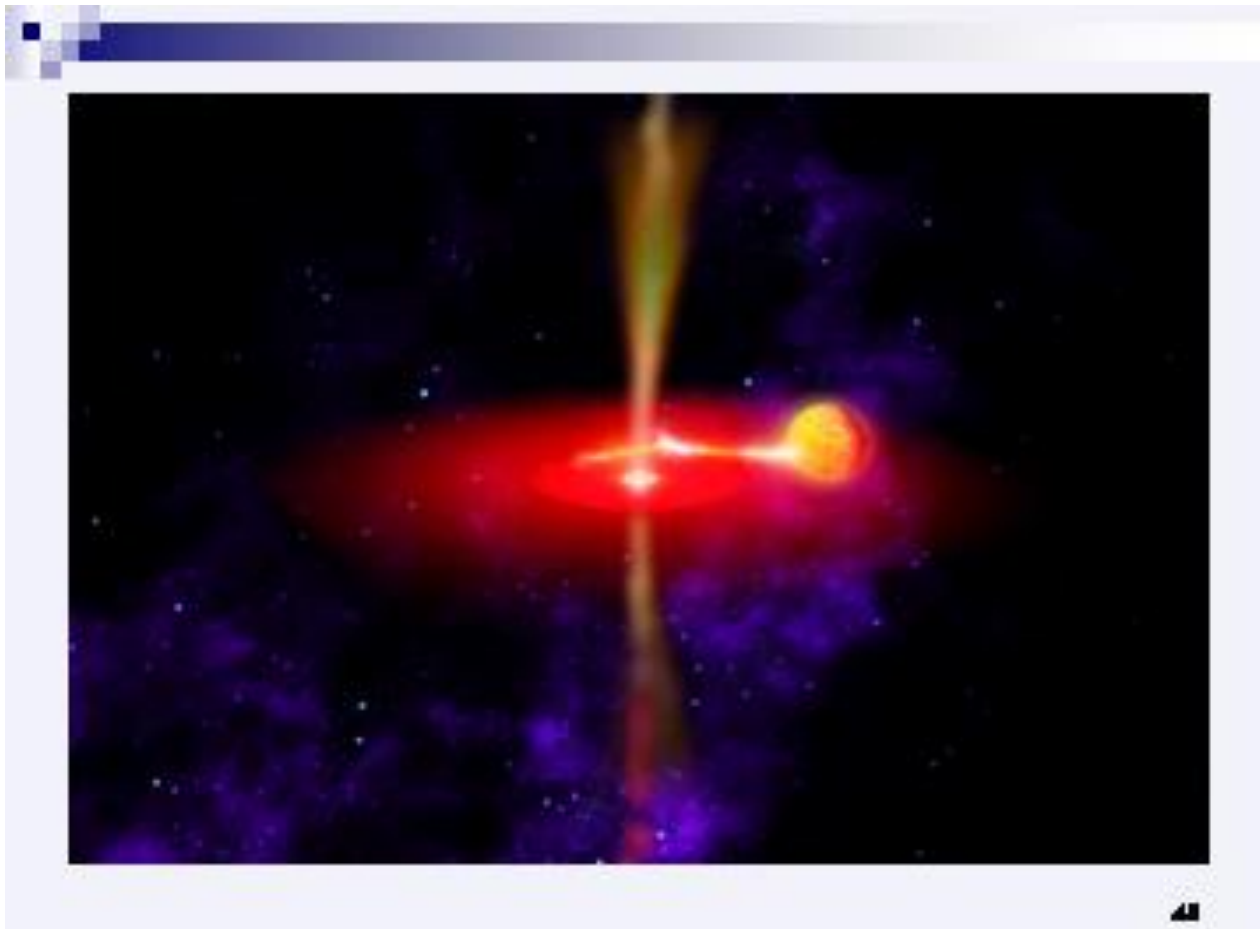
Größe: Etwa wie die Erde, Masse: weniger als 1,44 Sonnenmassen  
Dichte: Etwa 1 Tonne pro  $\text{cm}^3$

# 3. Neutronensterne



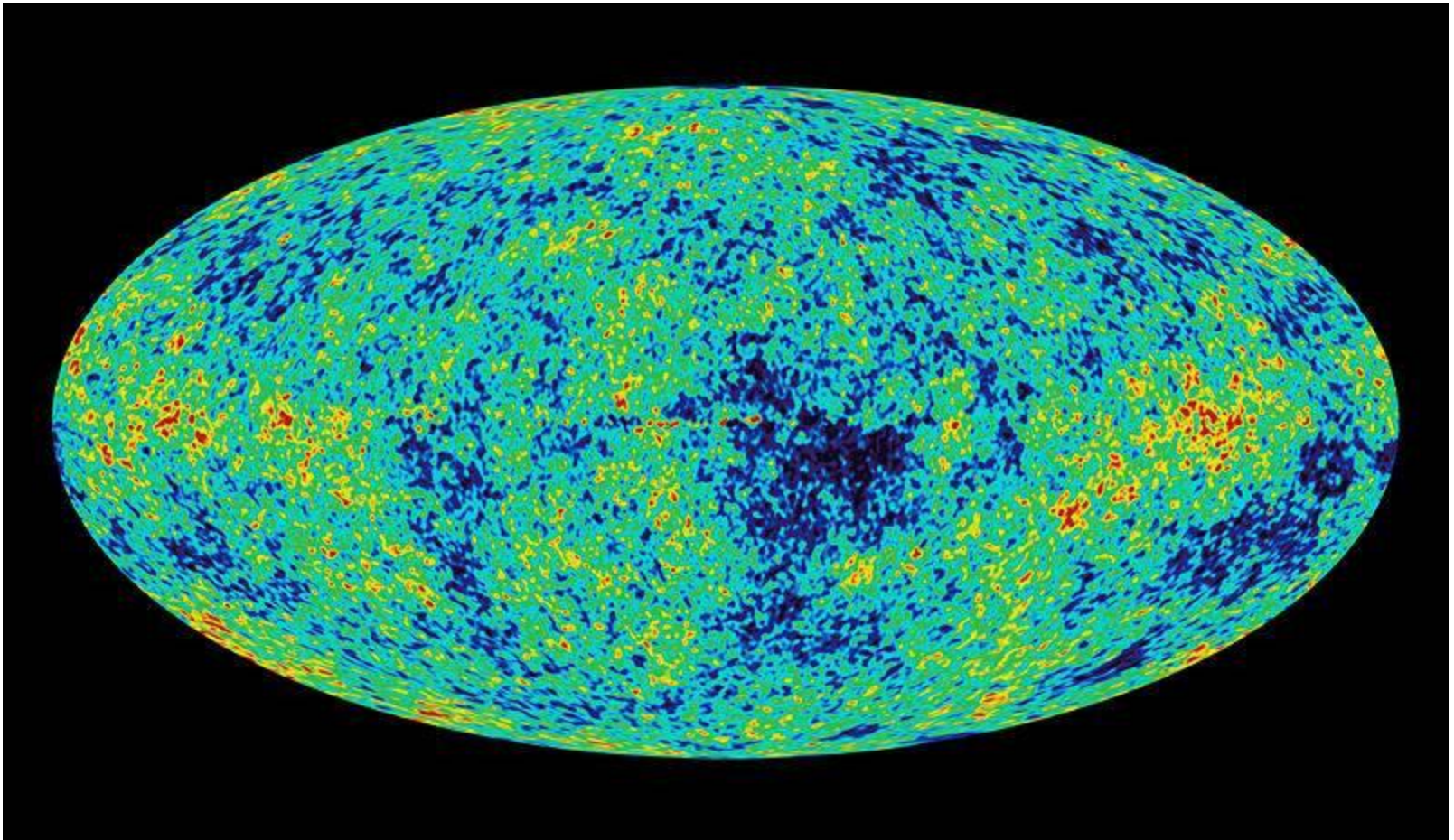
Größe: Etwa 20 km, Masse: 1,33 – 3 Sonnenmassen,  
Dichte: c.a. 1 Mrd Tonnen pro  $\text{cm}^3$

# 4. Schwarzes Löcher (hier mit Begleiter)



Masse: Über 3 Sonnenmassen, riesiges schwarzes Loch im Zentrum der Milchstraße

# 5. Kosmische Hintergrundstrahlung



Nahezu homogene infrarote Wärmestrahlung zur Temperatur von c.a.  $-270$  Grad  
Viele neue Erkenntnisse aus der Analyse kleiner Unregelmäßigkeiten

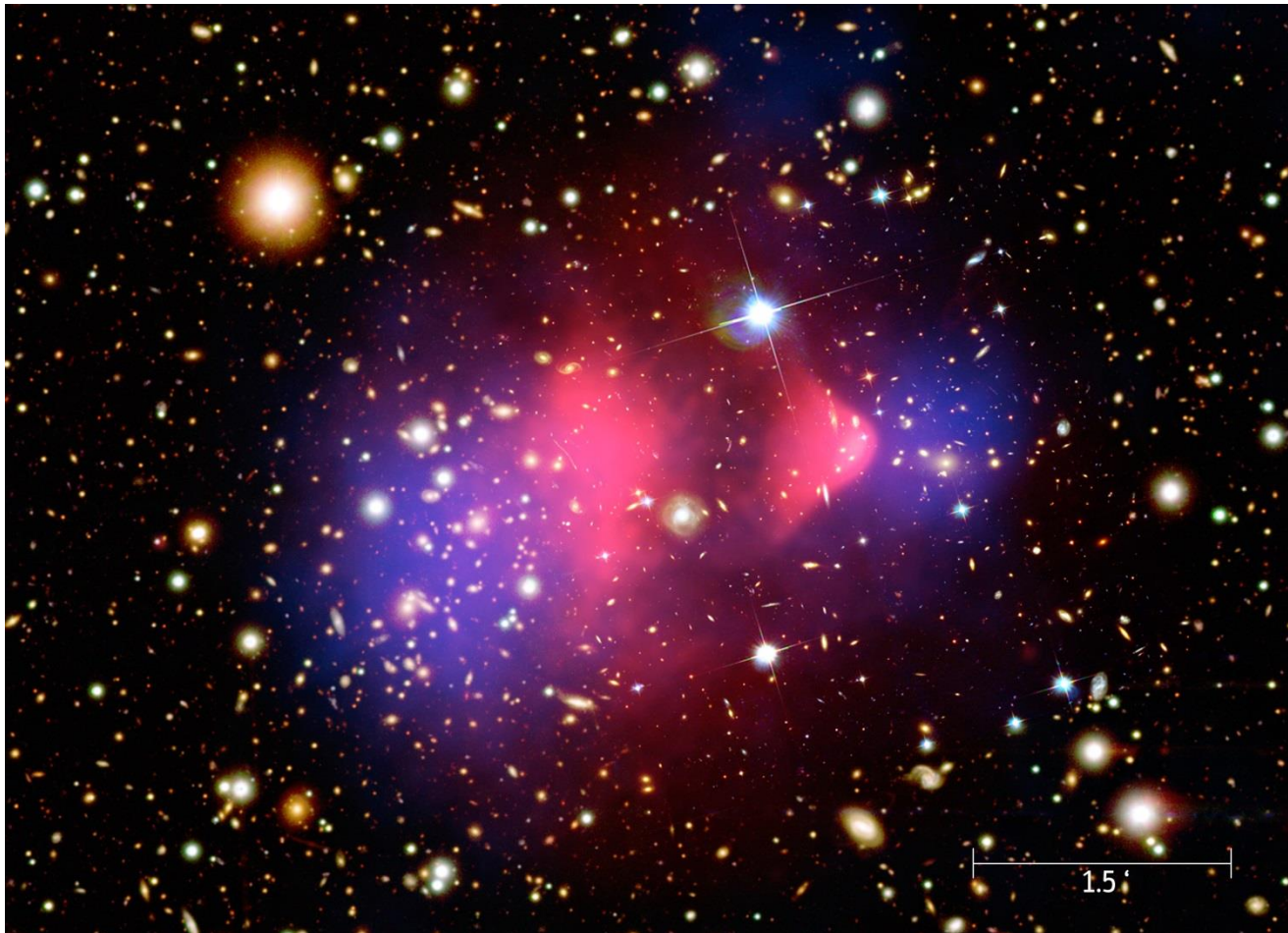
# 6. „Dunkle Materie“



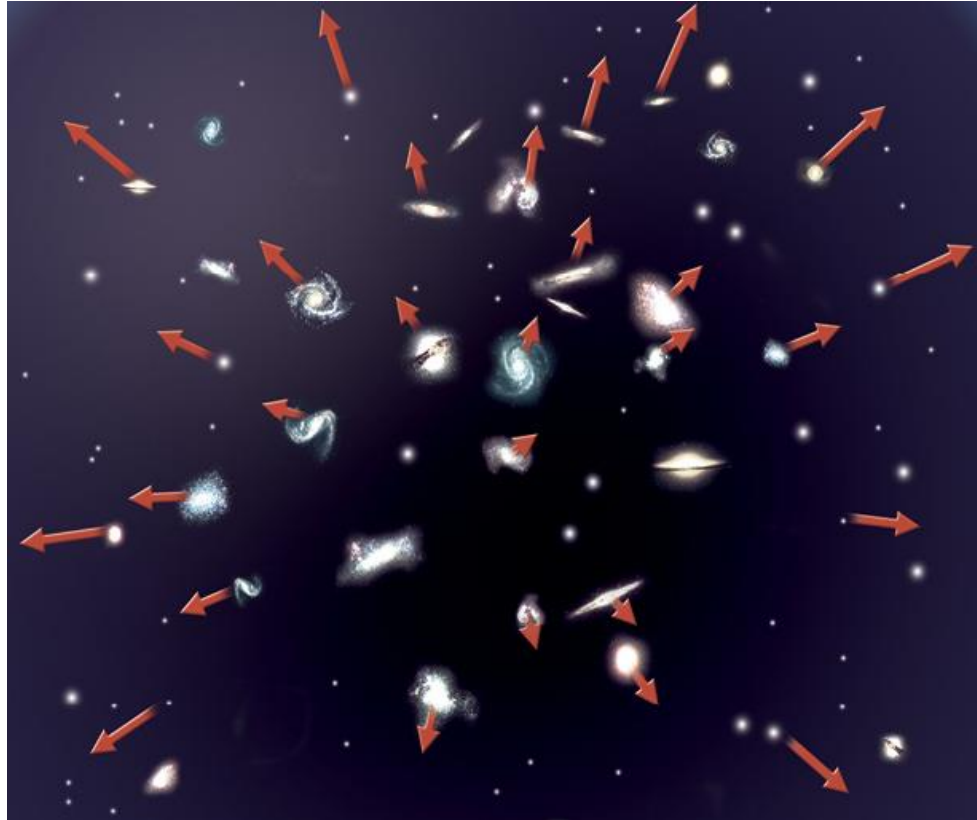
- Masse mindestens 5x so groß wie alle bisher genannte Materie und Strahlung zusammen
- Macht sich durch Schwerkraftwirkung bemerkbar
- Unsichtbar und schwer aufspürbar, da außer durch Schwerkraft keine merkliche Wechselwirkung mit Licht oder anderer Materie
- Natur noch unbekannt



# Dunkle Materie: „Bullet Cluster“



# Expansion des Raumes



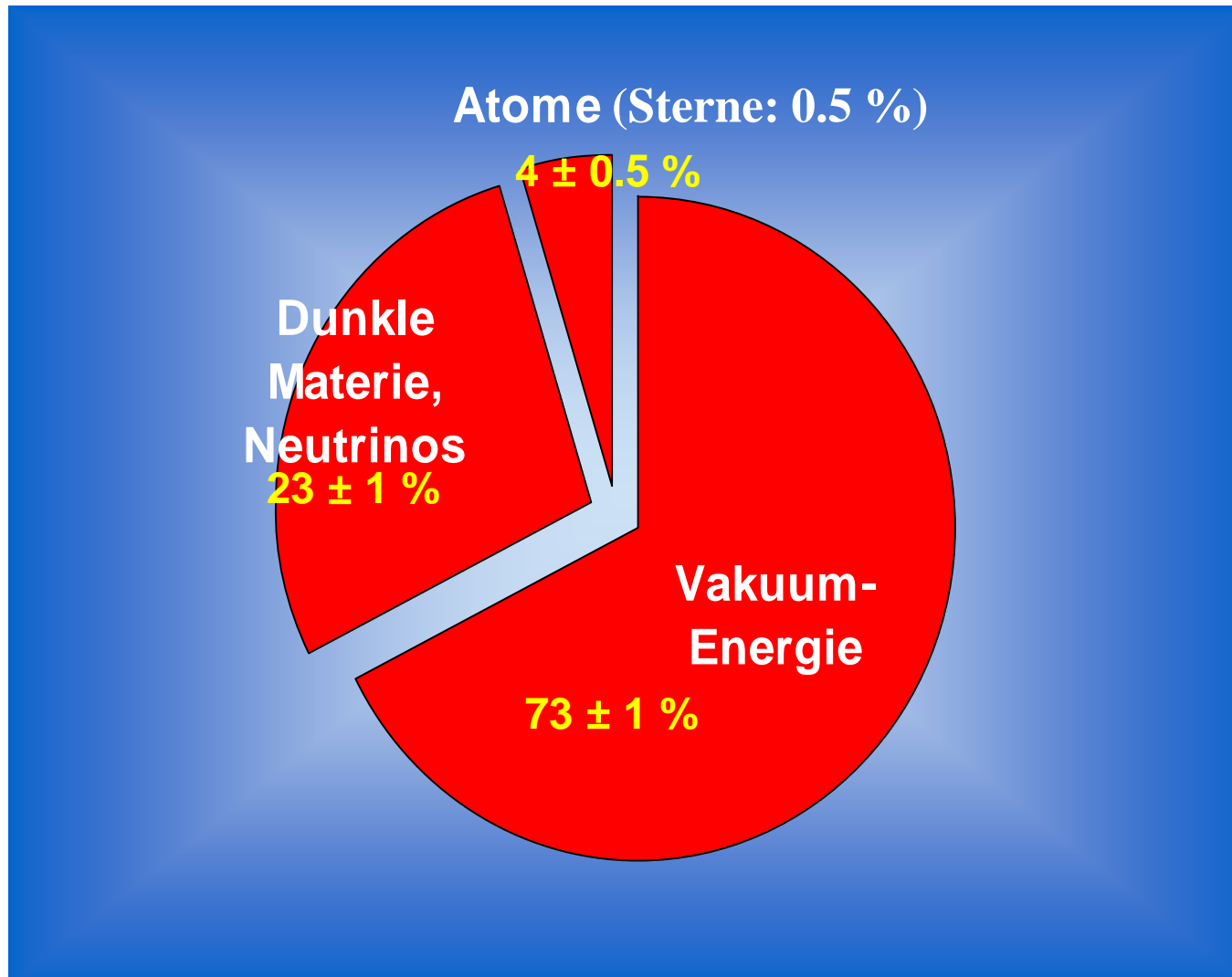
- Der Raum dehnt sich fortwährend aus, und zwar nicht in den Raum, sondern in sich (wie ein unendlicher aufgehender Hefeteig). Verstanden im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie
- Galaxien entfernen sich um so schneller voneinander, je größer ihr Abstand ist (wie Rosinen im aufgehenden Hefeteig).
- Die Ausdehnung ist sogar beschleunigt statt verzögert:

# 7. „Dunkle Energie“



- Rätselhafte Form von Energie/Materie. Um die beschleunigte Ausdehnung des Weltalls zu erklären, muss - anders als für jede bekannte Form von Energie/Materie- die Schwerkraft auf die „Dunkle Energie“ abstoßend wirken
- Überraschender Weise macht die „Dunkle Energie“ ungefähr drei Viertel der Gesamtenergie des Weltalls aus

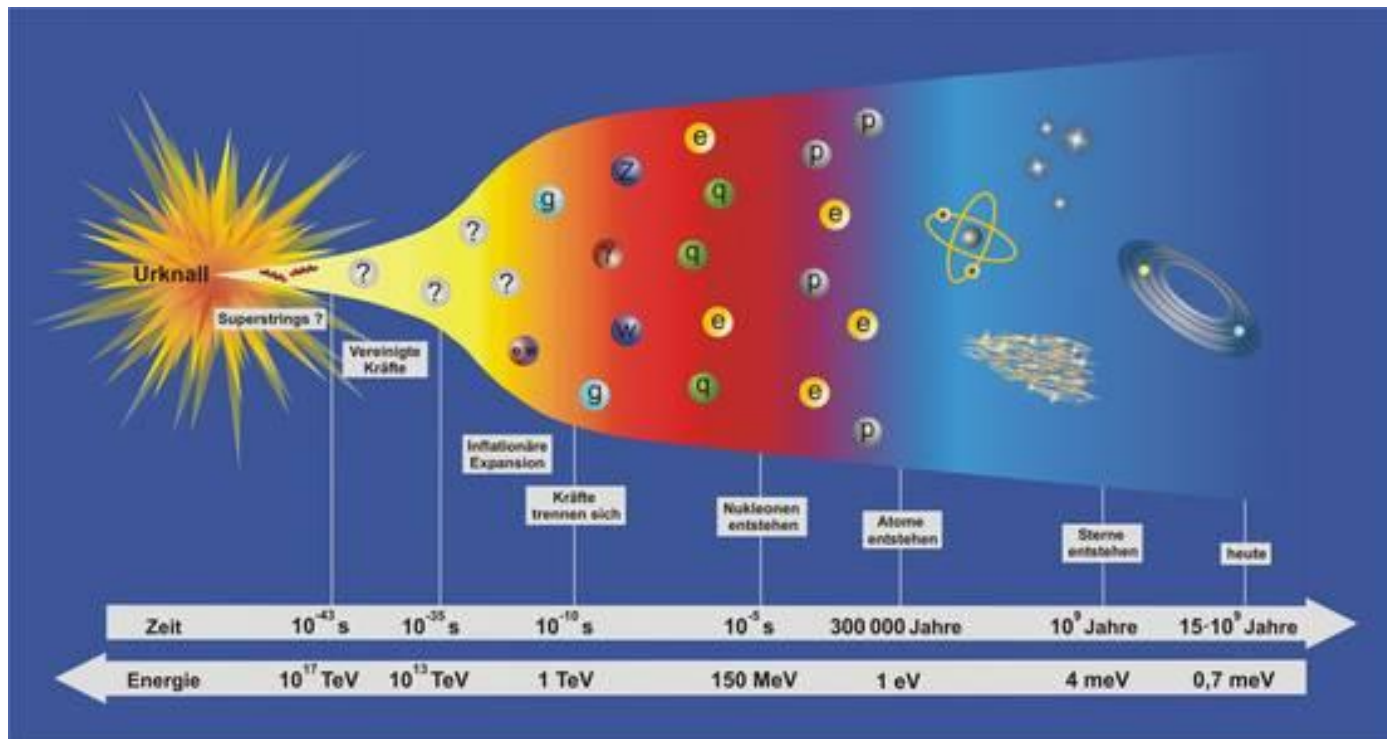
# Zusammensetzung des Universums



# Zum Urknall

- Wenn man die Ausdehnung des Universums zurückverfolgt, dann ergibt sich zwangsläufig, dass es sich einmal in einem Zustand unvorstellbarer hoher Dichte und Temperatur befunden haben muss (viele Mrd Tonnen pro  $\text{cm}^3$ ). Materie der uns vertrauten Form (Moleküle, Atome, Atomkerne etc) kann es in diesem Zustand nicht gegeben haben.
- Man befindet sich hierbei auf gesichertem physikalischem Boden. Vergleichbar sicher wie reale Existenz von Sauriern aus Fossilien

# Geschichte des physikalischen Universums



Anfang des Universums und der Zeit in „Urknall“, („Bigbang“) vor c.a. 13,7 Mrd Jahren. (Alter der Erde c.a. 4.5 Mrd Jahre)

# Lehren aus der Allgemeinen Relativitätstheorie

- Raum und Zeit rücken zu einer einheitlichen Raum-Zeit zusammen, die eher unserem Vorverständnis von Raum als von Zeit entspricht
- Physikalische Raum -Zeit nicht nur passive Bühne des physikalischen Geschehens, sondern im dynamischen Austausch mit Materie (Krümmung durch Materie beeinflusst) Bühne wird zum Mitspieler
- Nach der ART Urknall als Ursprungssingularität, es ergibt in diesem Rahmen keinen physikalischen Sinn, nach Zeiten vor der Singularität zu fragen

# Raum-Zeit und Quantentheorie

- Bei Zeiten kleiner als  $\sim 10^{-44}$  sec und Abständen kleiner als  $\sim 10^{-35}$  m **verliert die klassische Raumzeit der ART ihren Sinn**, da Quanteneffekte entscheidend bedeutsam werden. Eine vollständige Quantentheorie der Raum-Zeit existiert noch nicht. (Auch nicht Stringtheorie)
- Trotz dieser Begrenzung unseres Wissens, kann man aber sagen, dass man bei Rückverfolgung der Ausdehnung des Weltalls zum Urknall zu einem exotischen Zustand gelangt, in der die **Konzepte von Raum und Zeit ihre Bedeutung verlieren**.
- **Auch in dieser Lage ist es nicht möglich, einfach nach Zeiten „vor dem Urknall“ zu fragen**



# Unvollständigkeit der Physik 1

- Mit der physikalischen Geschichte des Weltalls und der Diskussion um die physikalische Zeit ist keineswegs „alles“ über das All gesagt
- Stärke und Sicherheit der Physik beruhen auf ihrer methodischen Selbstbeschränkung auf reproduzierbar Messbares und mathematisch Modellierbares
- Schon die erlebte innere Zeit, die unsere Existenz als bewusste Wesen sowohl kennzeichnet als auch begrenzt, hat Eigenschaften, die der physikalischen Zeit fremd sind, etwa Existenz eines ausgezeichneten „Jetzt“-Fensters, das sich in die Zukunft schiebt.

# Unvollständigkeit der Physik 2

- Erfolgreiche methodologische Bescheidenheit der Physik: Beschränkung der Erfahrung auf wiederholbar Messbares, mathematische Modellierung, experimentelle Prüfung, wenn nötig Verbesserung
- Damit ist ein Teil der Welt verlässlich fassbar, aber keineswegs der größere oder gar alles: Wert, Sinn, Zwecke, Absichten, Hoffnungen, Ethik, Schönheit,...
- Wer alles auf Physik zurückführen will und allem, bei dem dies nicht gelingen will, die volle Wirklichkeit abspricht, gibt die erkenntnisträchtige Bescheidenheit der Physik auf und verwechselt ein Weltmodell mit der Welt.