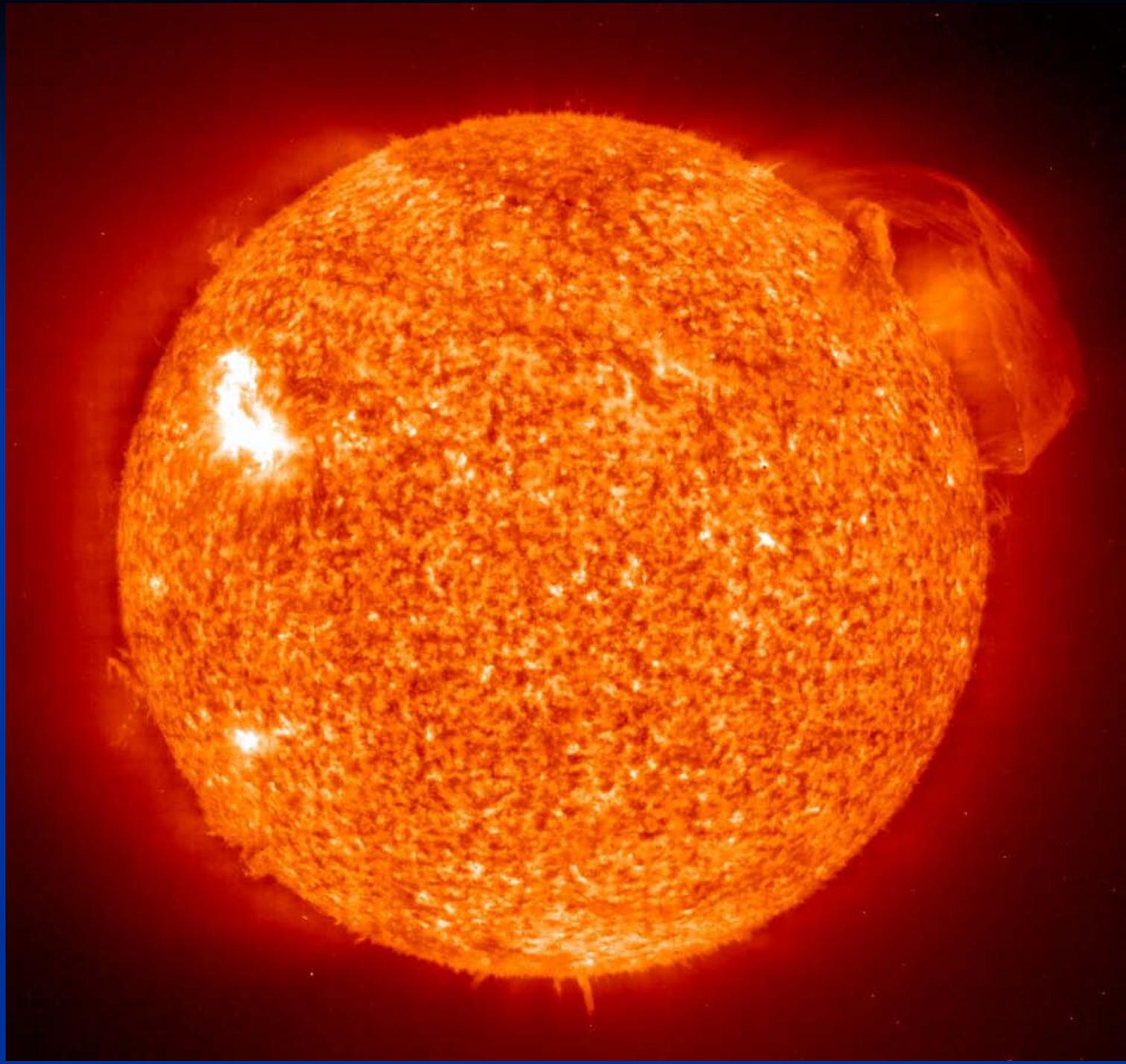


Raum , Zeit , Universum Die Rätsel des “Beginns”





vor 8 Minuten



vor vielen Tausenden von Jahren





vor vielen Millionen von Jahren

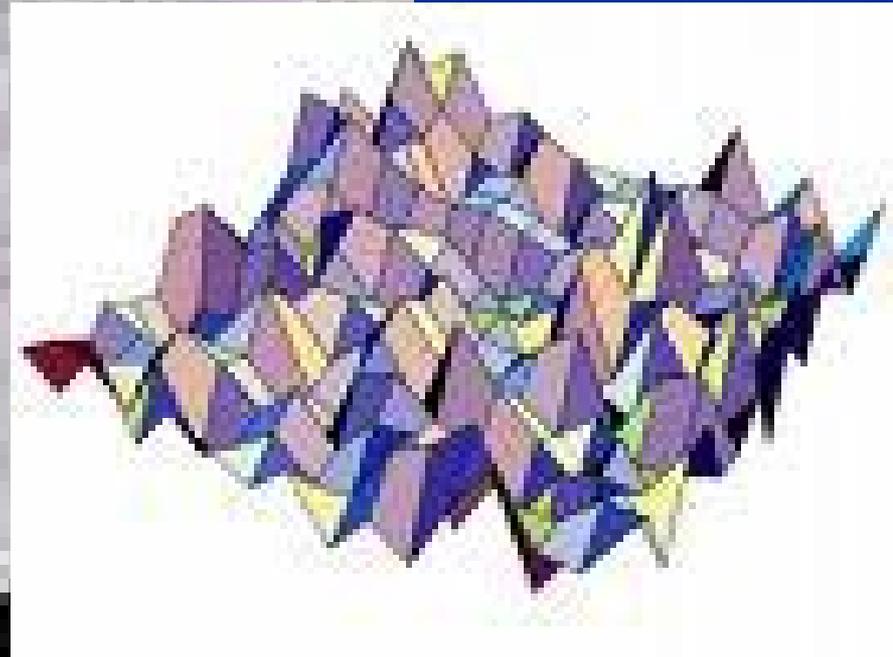
vor Milliarden Jahren



Wo kommt das Alles her ?

Der Urknall

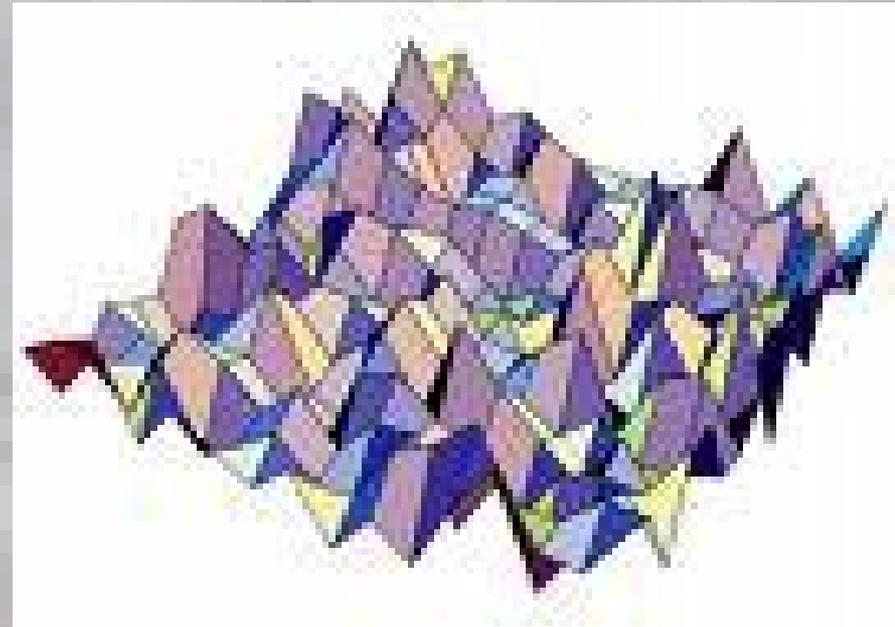
Wie unser Universum aus fast
Nichts entstand



Inflationäres Universum

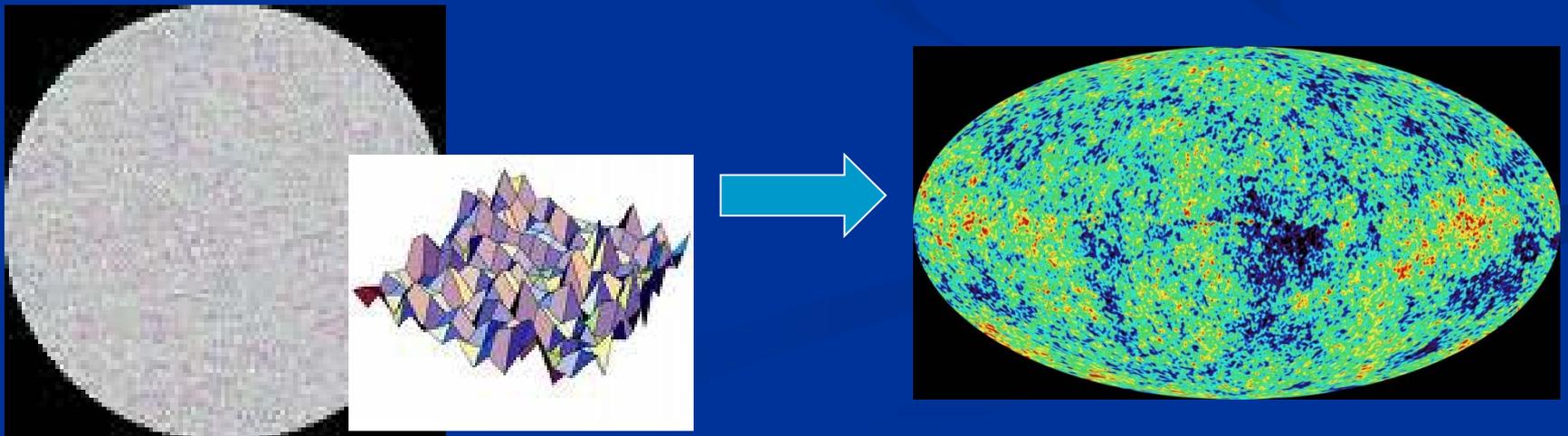
Überall fast Nichts
nur Fluktuationen

Explosionsartige
Expansion des Raums



Inflationäres Universum

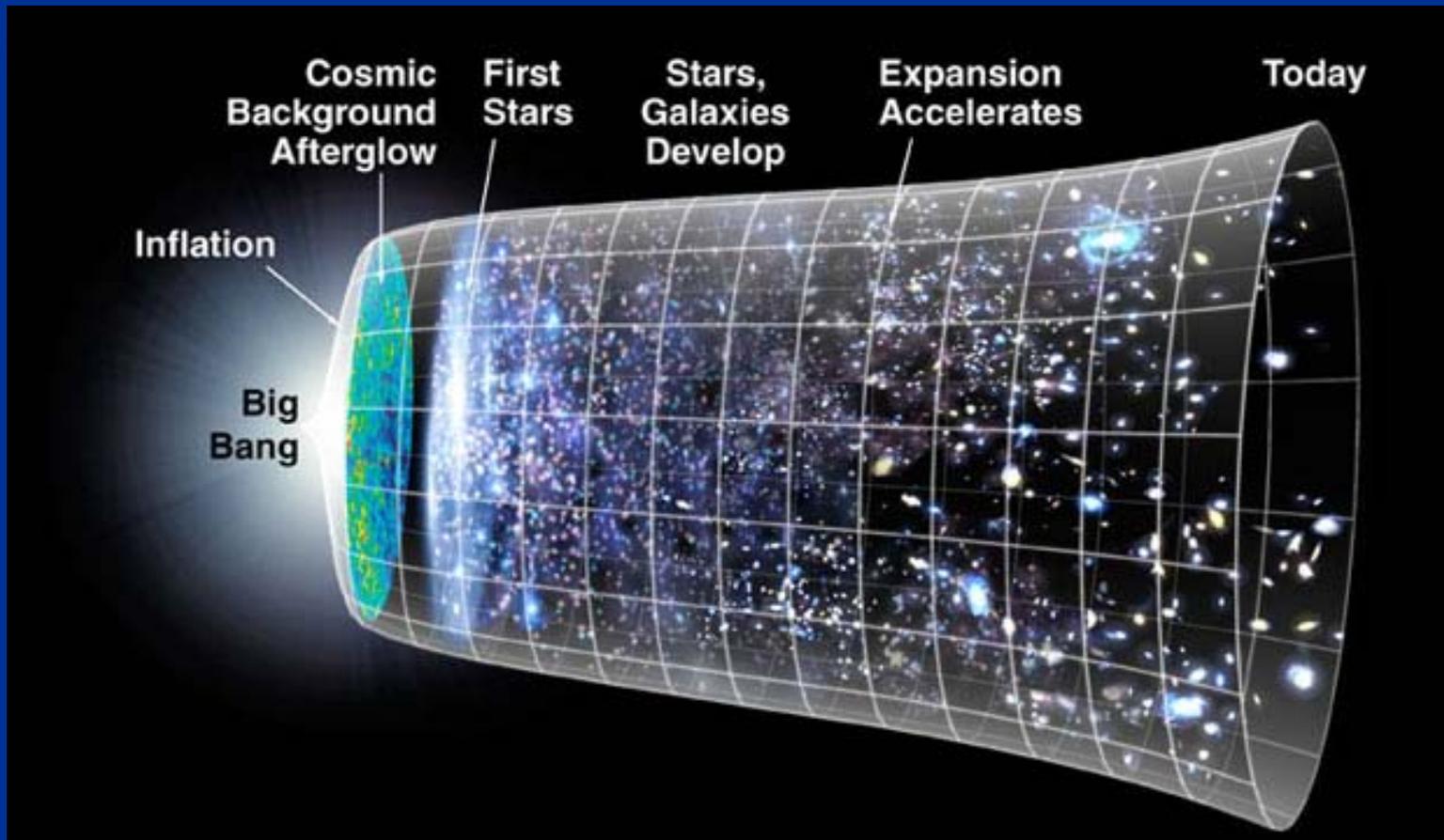
- Explosionsartige Expansion
ca 10^{-30} - 10^{-40} Sekunden ab
- Beobachtung möglich : aus primordialen Fluktuationen werden Fluktuationen der kosmischen Hintergrundstrahlung



Nach Inflation :
Erzeugung der Elementarteilchen
Aufheizen des Universums
Plasma

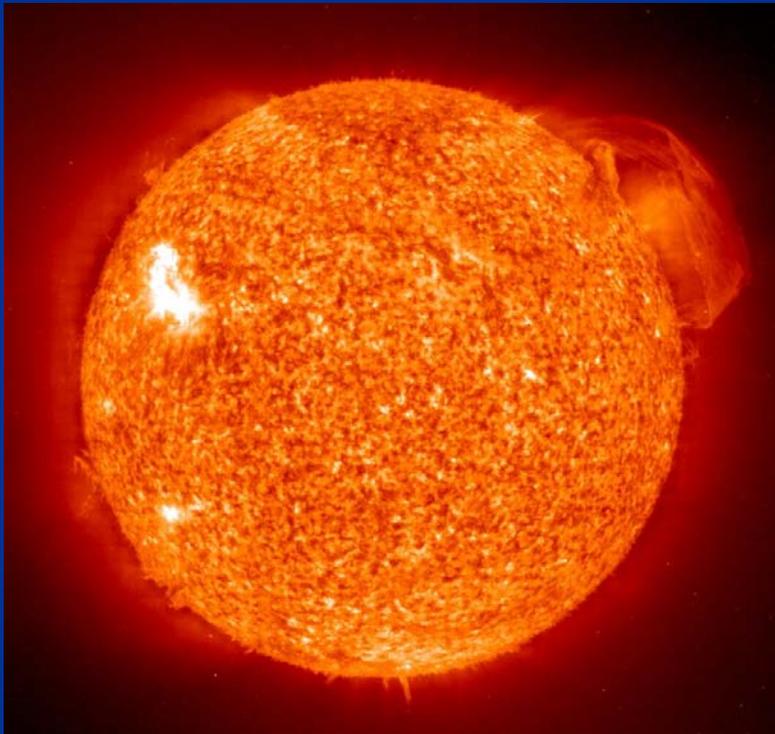
später:
Ausdehnung und Abkühlung

Universum wird durchsichtig,
sobald es genug abgekühlt ist,
so dass sich Atome bilden



Plasma

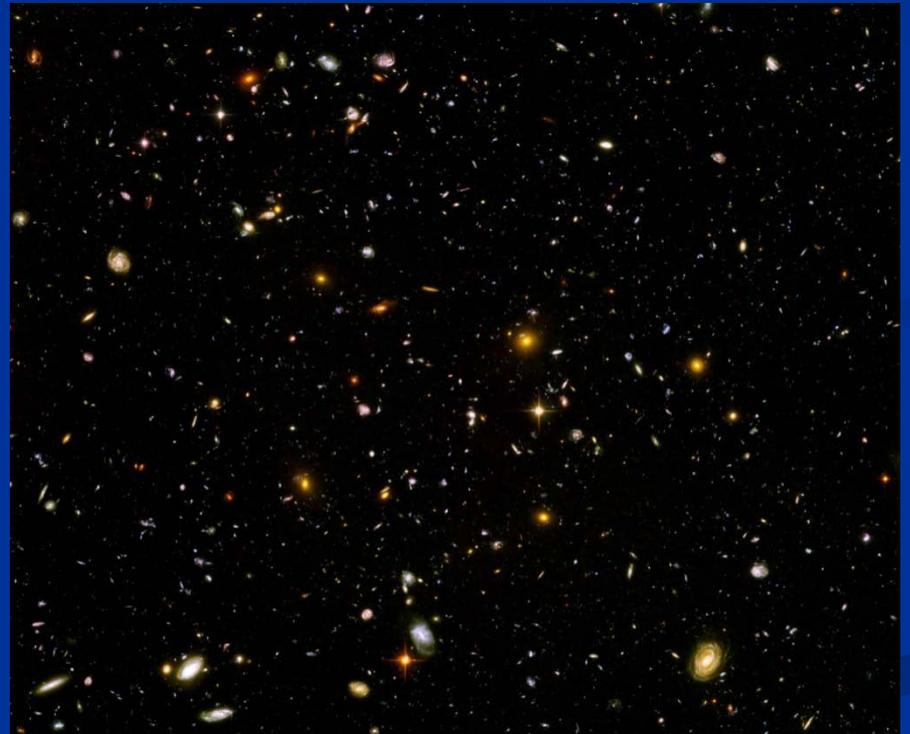
undurchsichtig



wie im Innern der Sonne

Atome

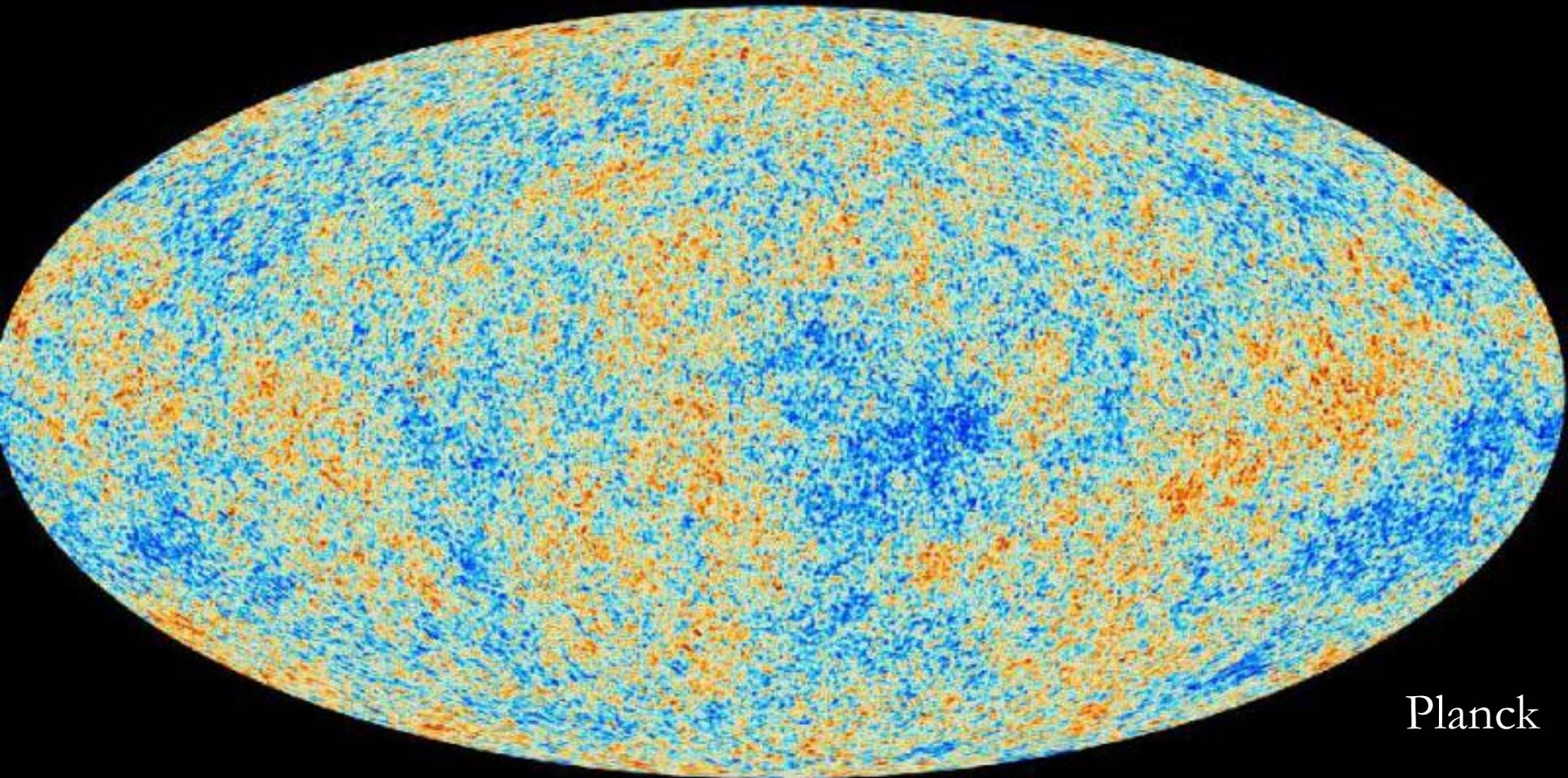
durchsichtig



Weltall heute

Und es werde Licht

Die kosmische Hintergrundstrahlung



Planck

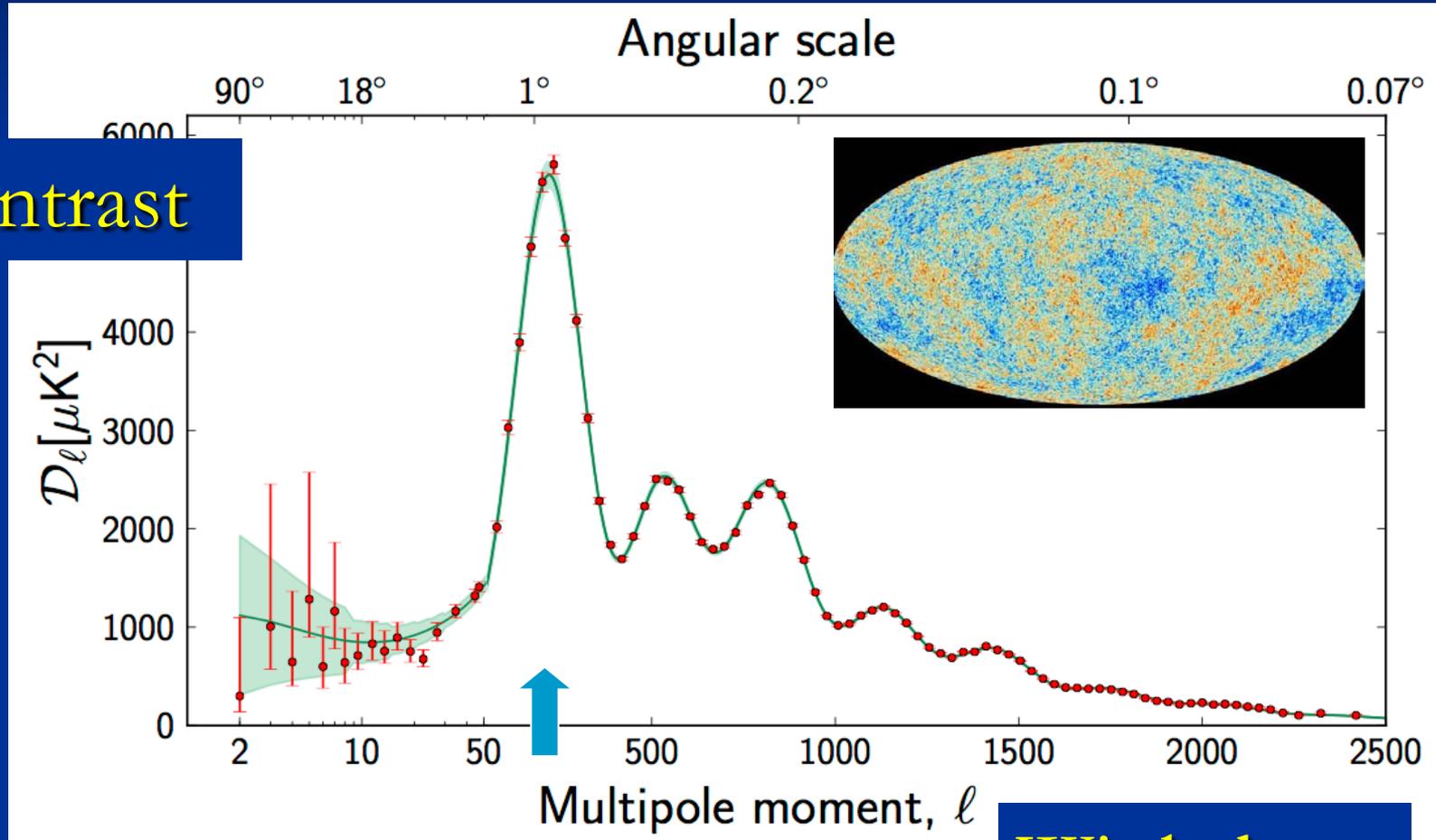
Schallwellen im frühen Universum



führen zu winzigen Temperaturschwankungen

Stärke der Temperaturschwankung in Abhängigkeit von Fleckengröße (im Winkel)

Kontrast

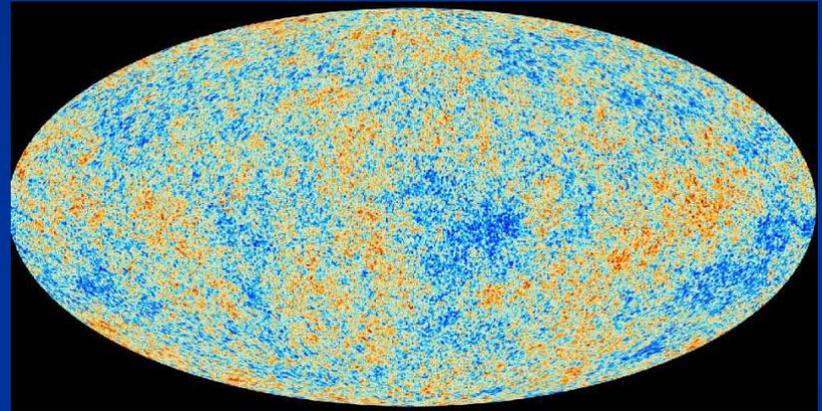
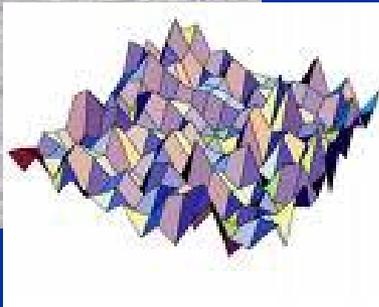
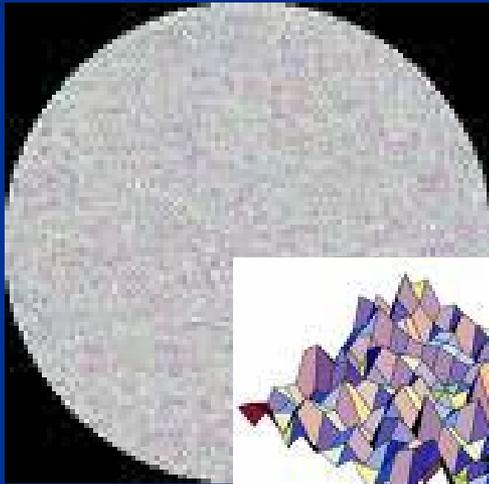


ca 10 Grad

ca 1 Grad

Winkel

Die Strukturen im Universum sind aus Quantenfluktuationen während des Urknalls entstanden



Erfolgsstory !

rückwärts gesehen :

- Gegebenes Volumen halbiert sich in immer kürzerer Zeitspanne !

Singularität

War vor 13.7 Milliarden unser ganzes beobachtbares Universum nur ein Punkt ?

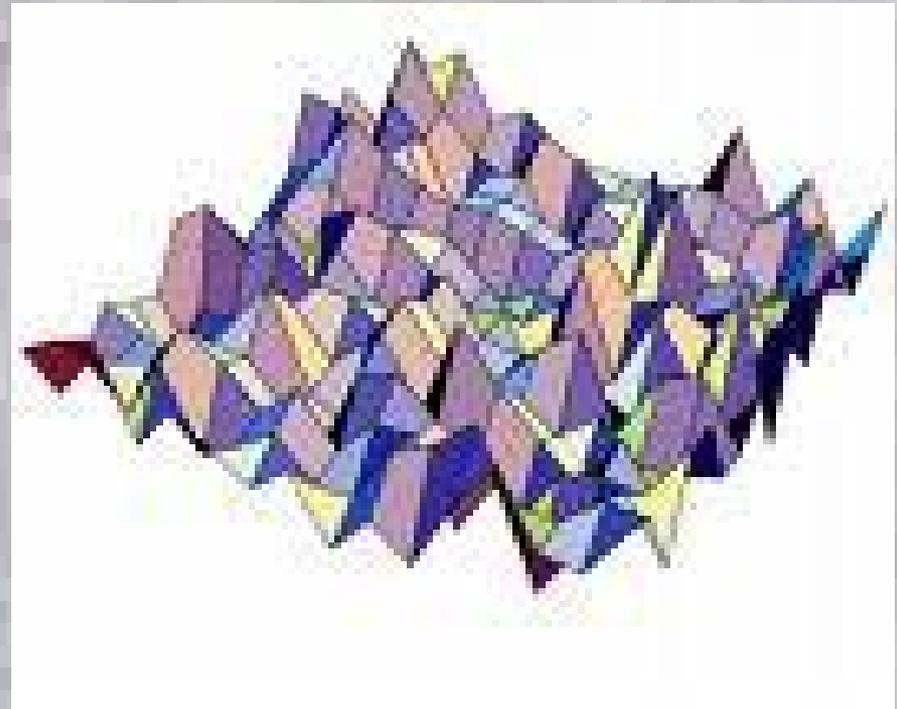
Ein anderes Bild

Ewiges Licht-Vakuum

Überall fast Nichts
nur Fluktuationen

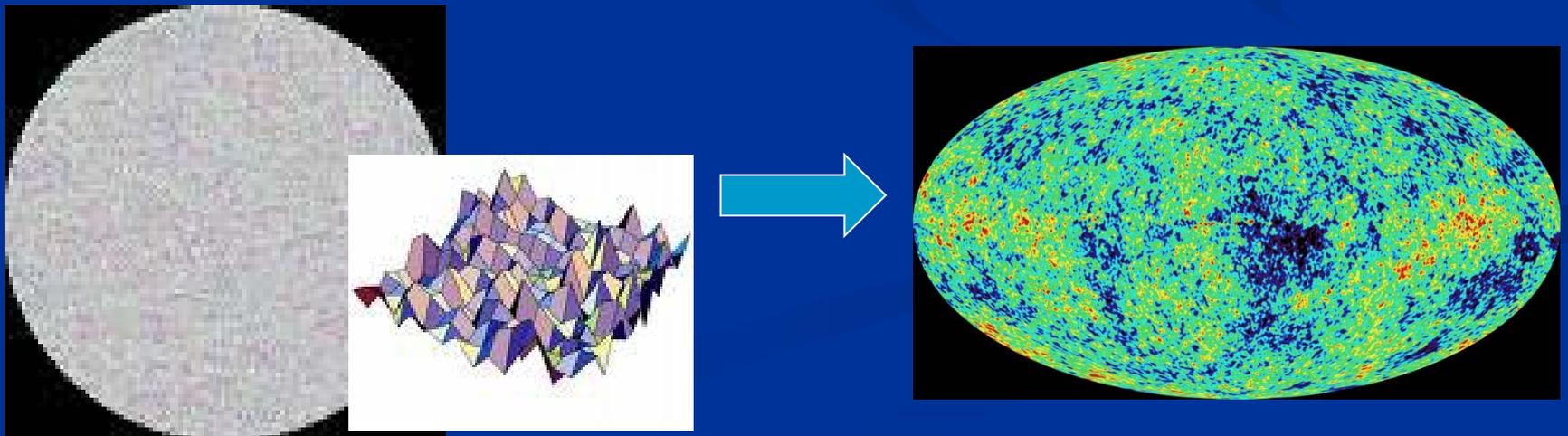
Alle Teilchen bewegen
sich mit Lichtgeschwindigkeit,
wie Lichtteilchen

Gravitations"konstante"
viel schwächer als heute



Ewiges Licht-Vakuum

- Langsames Anwachsen der Masse der Teilchen und Abschwächung der Gravitationskonstanten
- Nur langsame Änderung des Raums
- Beobachtung möglich : aus primordialen Fluktuationen werden Fluktuationen der kosmischen Hintergrundstrahlung
- Wir sehen Fluktuationen vor 5000 Milliarden Jahren



**Beschleunigte Änderung von
Massen und Stärke der Gravitation :
Erzeugung der Elementarteilchen
Aufheizen des Universums**

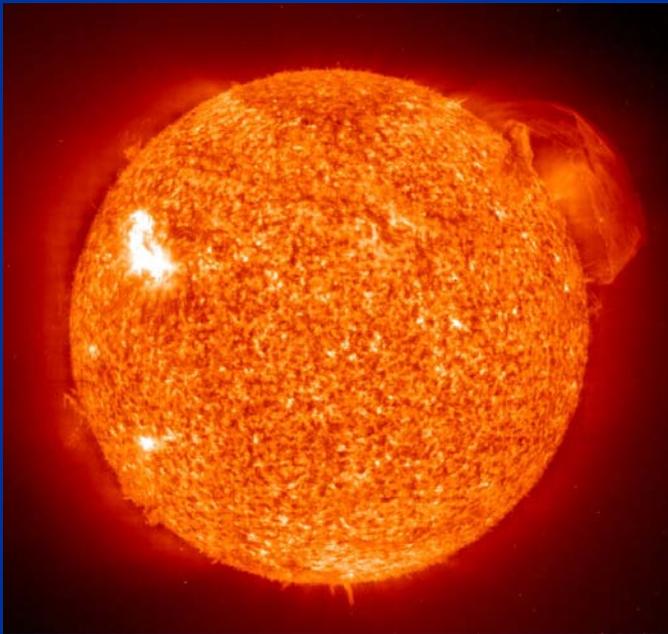
Plasma bei extrem kalter Temperatur

später:

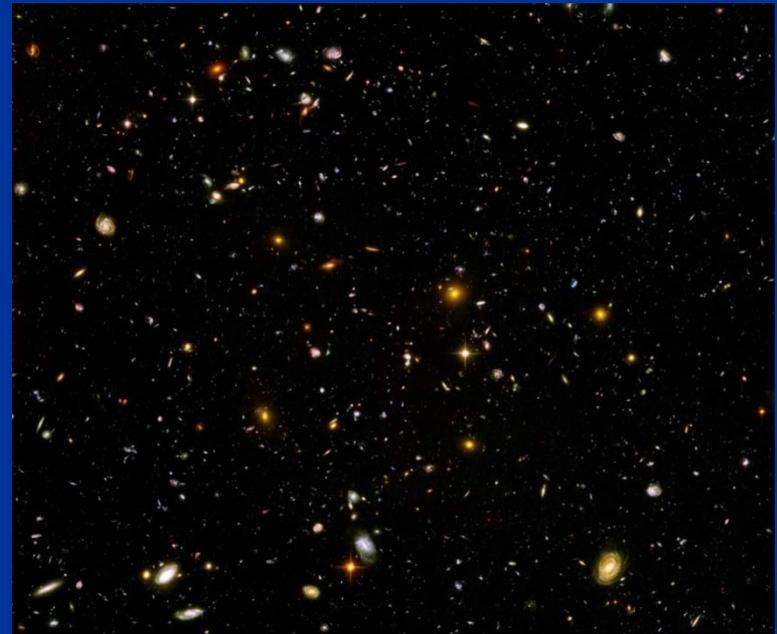
Schrumpfen und Erwärmung

Universum wird durchsichtig, sobald Massen groß genug sind, so dass sich Atome bilden

Plasma: undurchsichtig



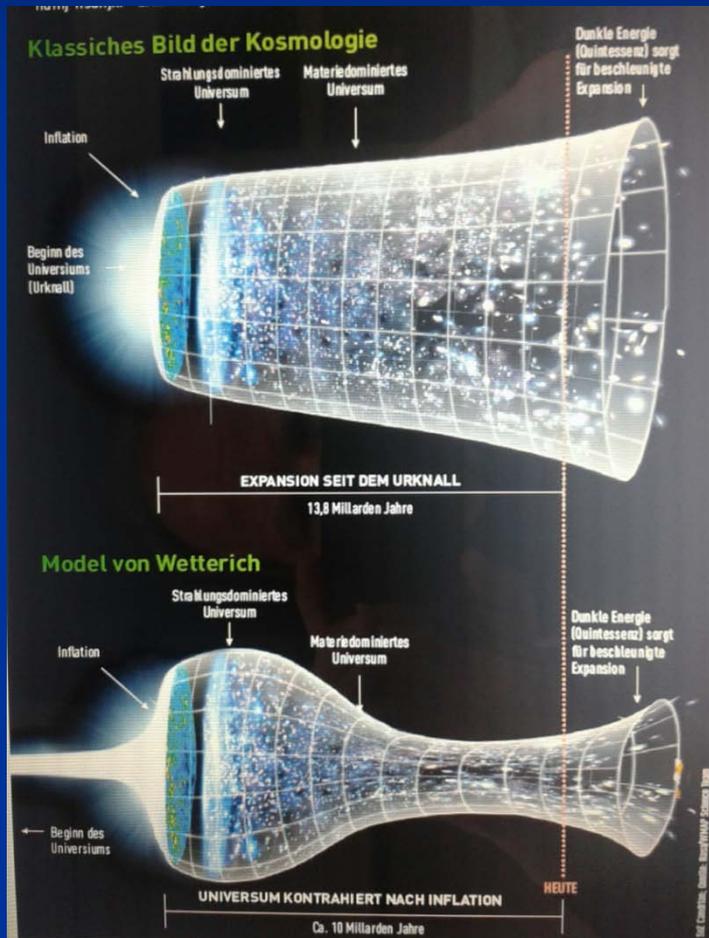
Atome: durchsichtig



wie im Innern der Sonne

Weltall heute

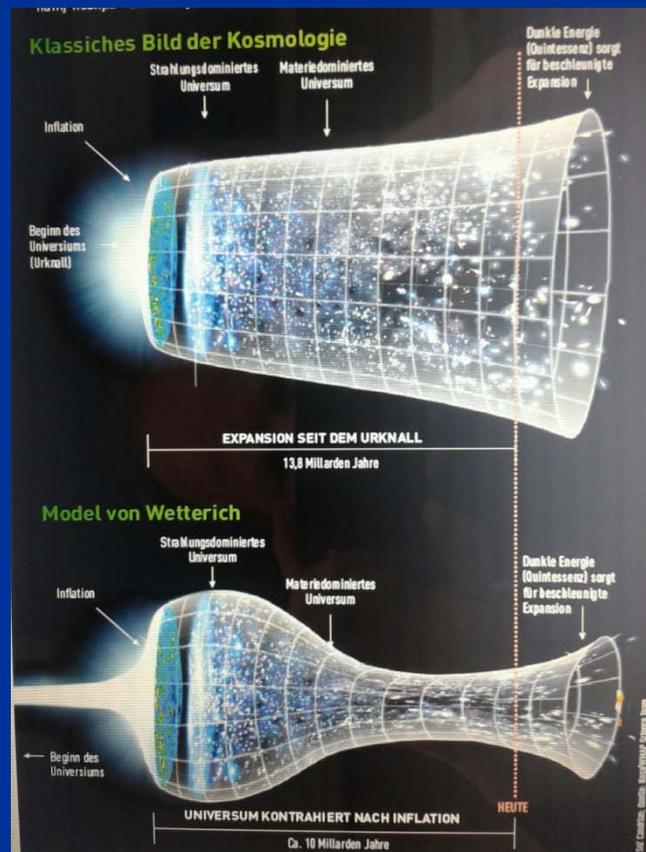
Beide Bilder beschreiben Beobachtungen richtig



Heißer Urknall

Ewiges Licht-Vakuum :
ein Universum, das
aus der Kältestarre kam

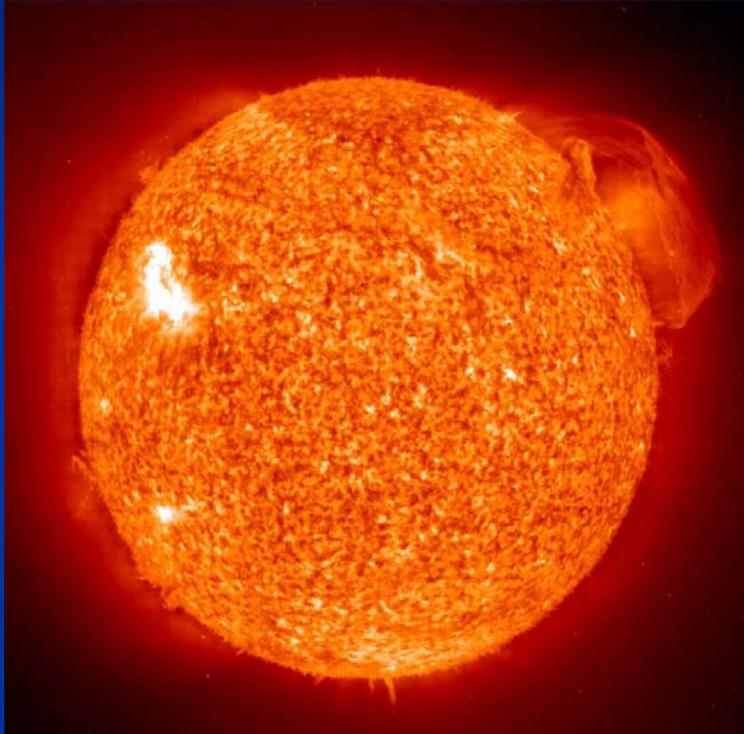
Beide Bilder beschreiben die gleiche Realität Mathematische Äquivalenz



Heißer Urknall

Ewiges Licht-Vakuum :
ein Universum, das
aus der Kältestarre kam

Urknall oder Kältestarre ?



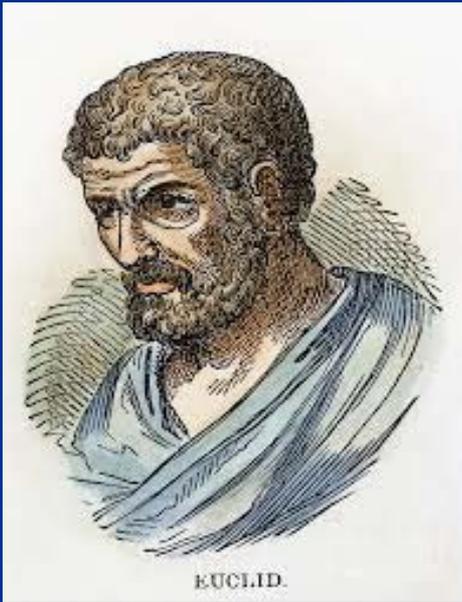
Kältestarre : nur die Maß -Einheiten für Zeit, Temperatur etc. sind verschieden wegen verschiedener Massen!

Urknall ist nicht falsch,

aber alternative Bilder existieren !

Raum und Zeit

Was ist Raum ?



Euclid



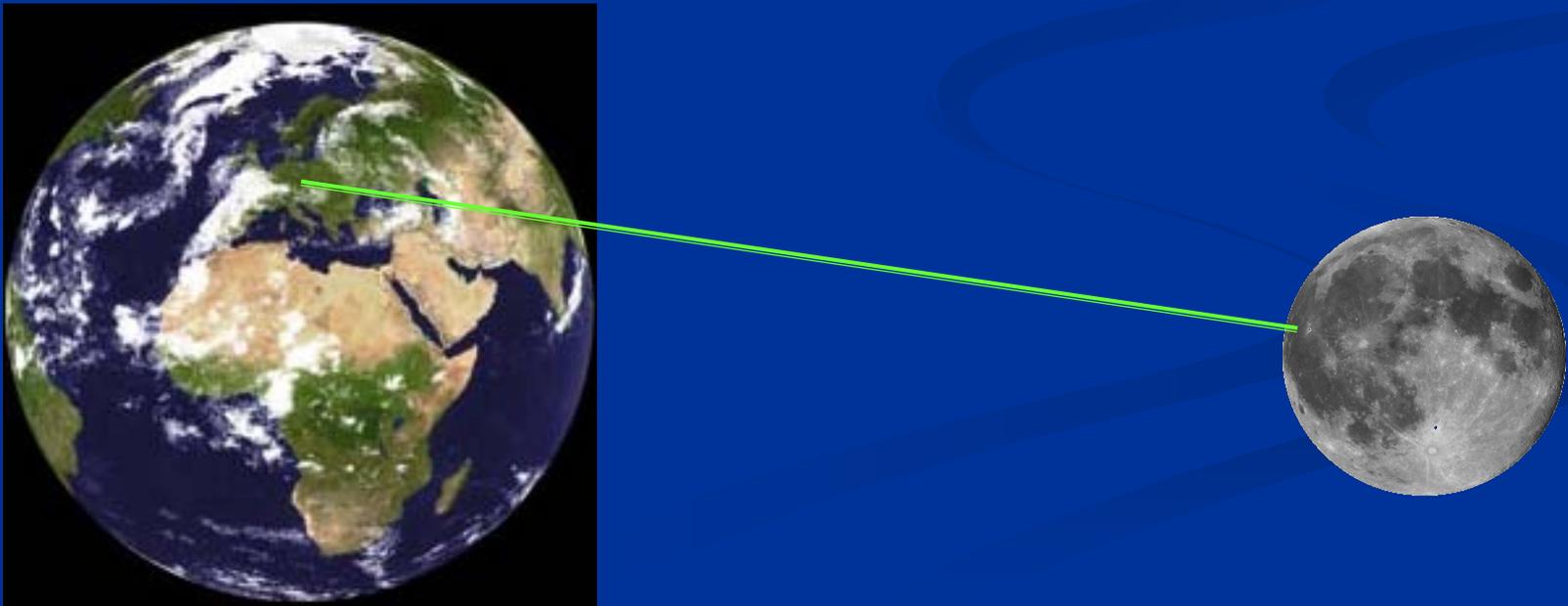
Newton



Einstein

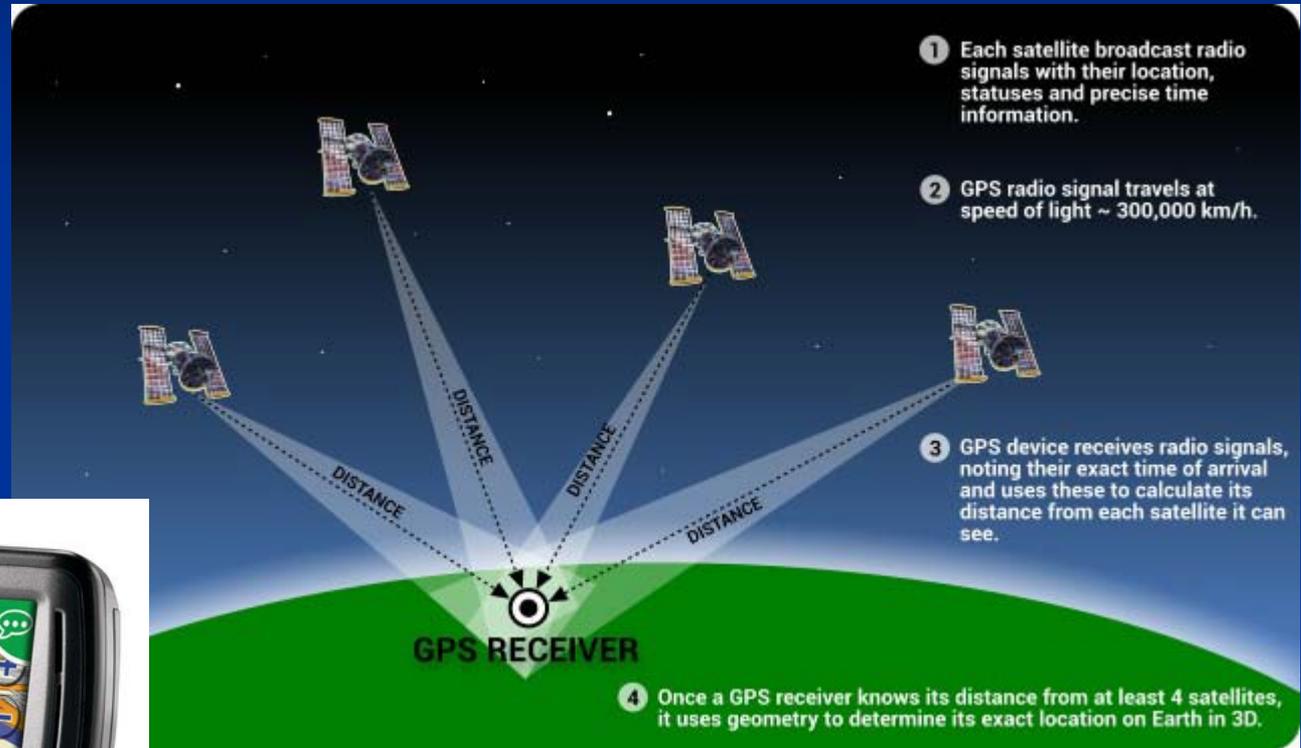
Ist Raum einfach da ?

- Eigenschaften des Raums werden durch physikalische Eigenschaften bestimmt
- Wie lange braucht ein Lichtstrahl von Stuttgart nach Berlin oder zum Mond ?

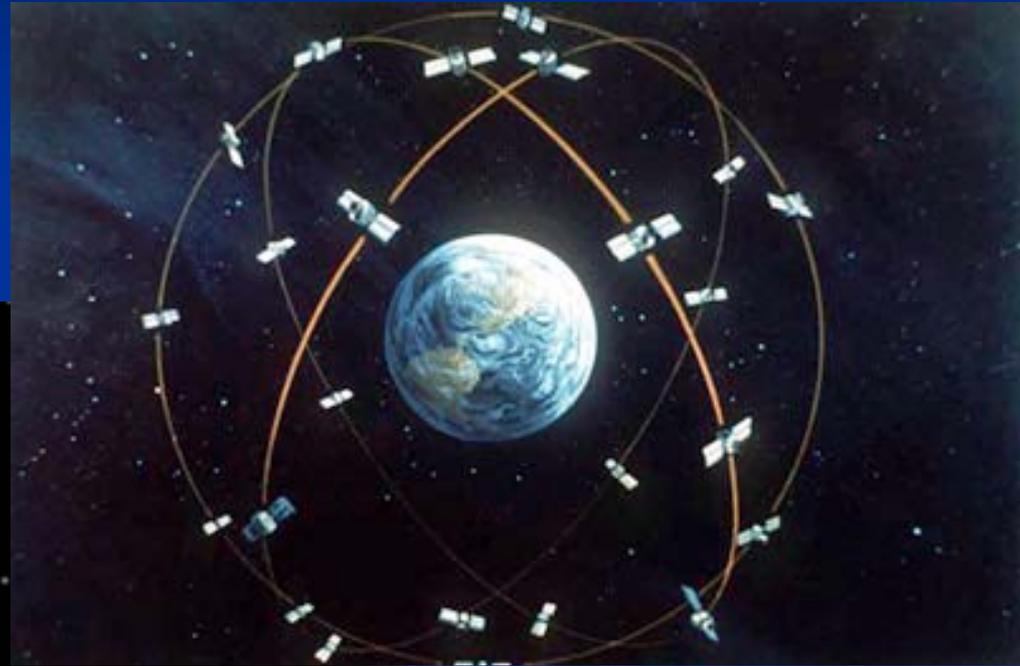


*Wo nichts ist ,
ist auch kein Raum*

GPS benutzt Lichtwellen (bzw. Radiowellen)



„Konstruktion des Raums mit Licht“



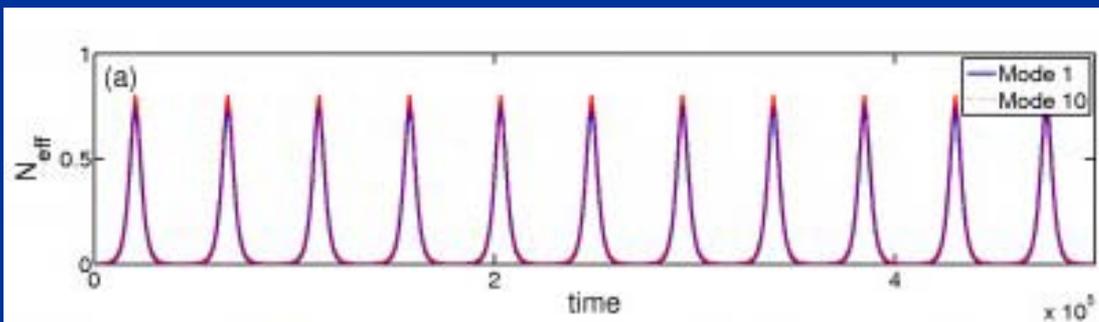
Raumzeit

Licht + Uhr



Physikalische Zeit

- Physikalische Zeit muss durch physikalischen Prozess definiert werden
- Periodische Prozesse
- Zählen des Tickens einer Uhr



Raum und Zeit sind *Eigenschaften* des Materiellen

- Raum ist nicht „einfach da“ und wir bewegen uns in ihm.
- Raum ist nicht starr.
- Zeit ist nicht „einfach da“ und starr.
- Wo nichts Materielles ist , gibt es auch keinen Raum und keine Zeit !
- „Außerhalb des Universums“ ist nicht sinnvoll.
- „Vor dem Universum“ ist nicht sinnvoll.

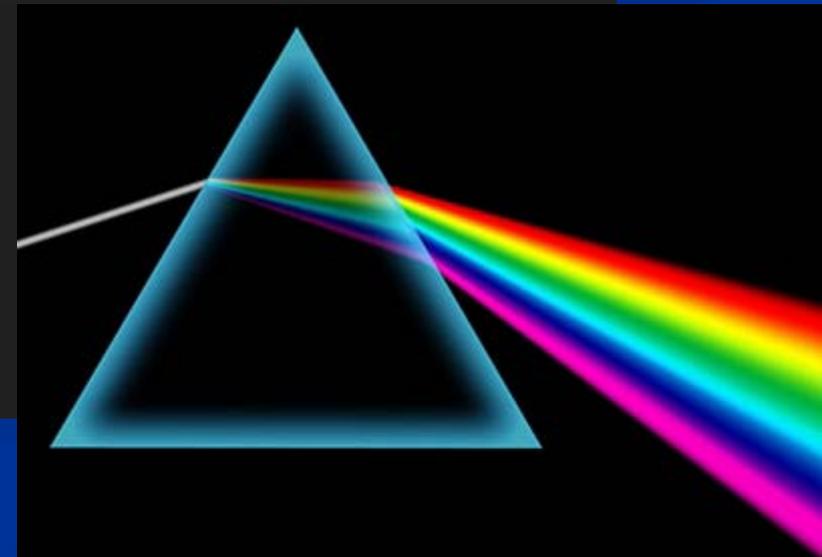
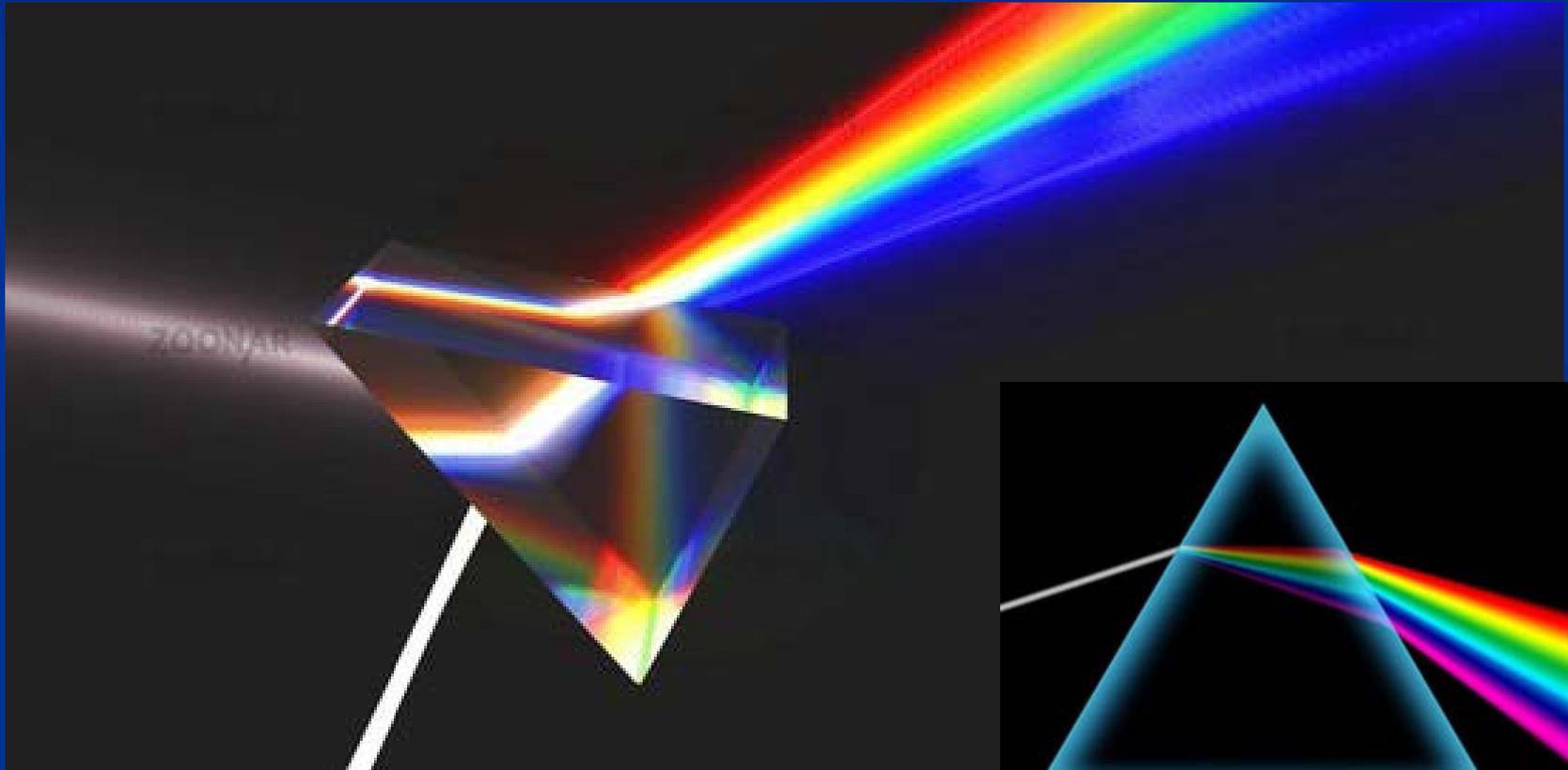


(1) Raum und Zeit sind
Eigenschaften des Materiellen

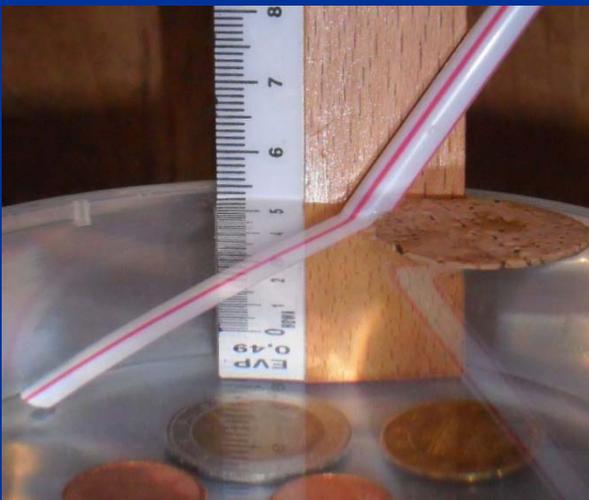
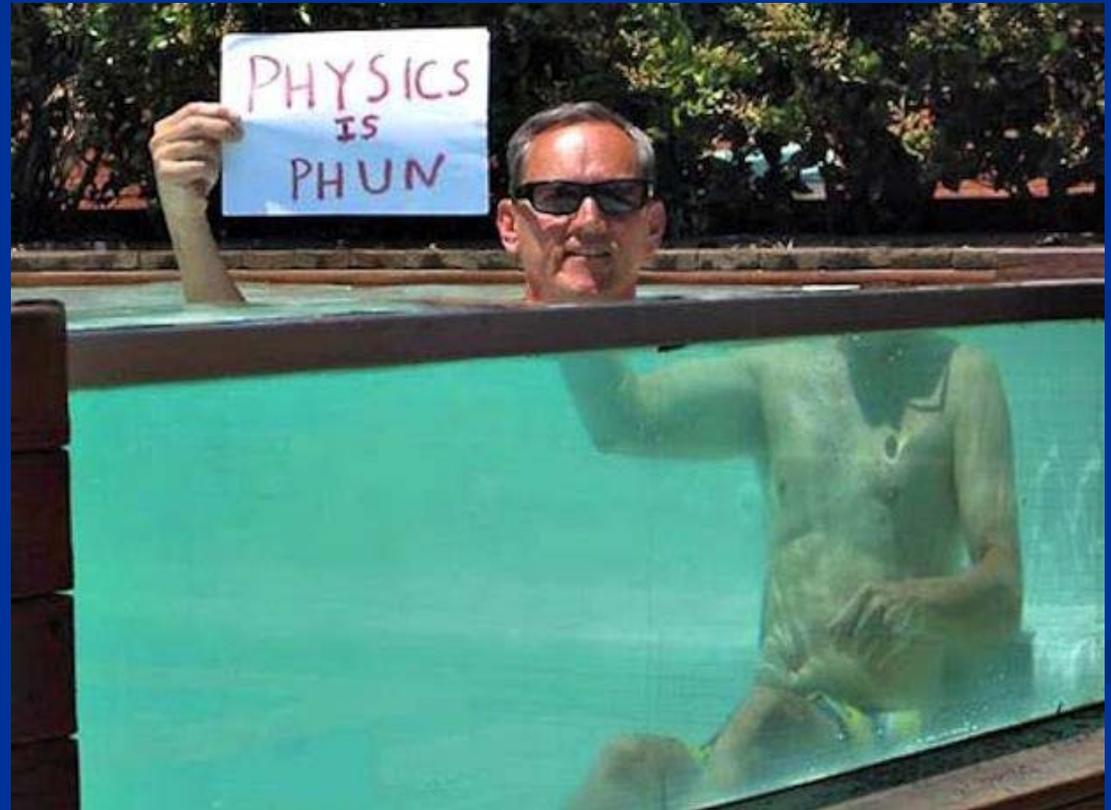
In Abwesenheit von Teilchen :
Raum und Zeit sind
Eigenschaften des Vakuums

**Raumzeit wird vom
Materiellen beeinflusst**

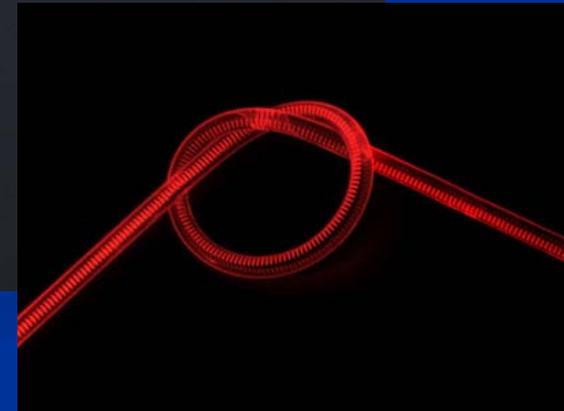
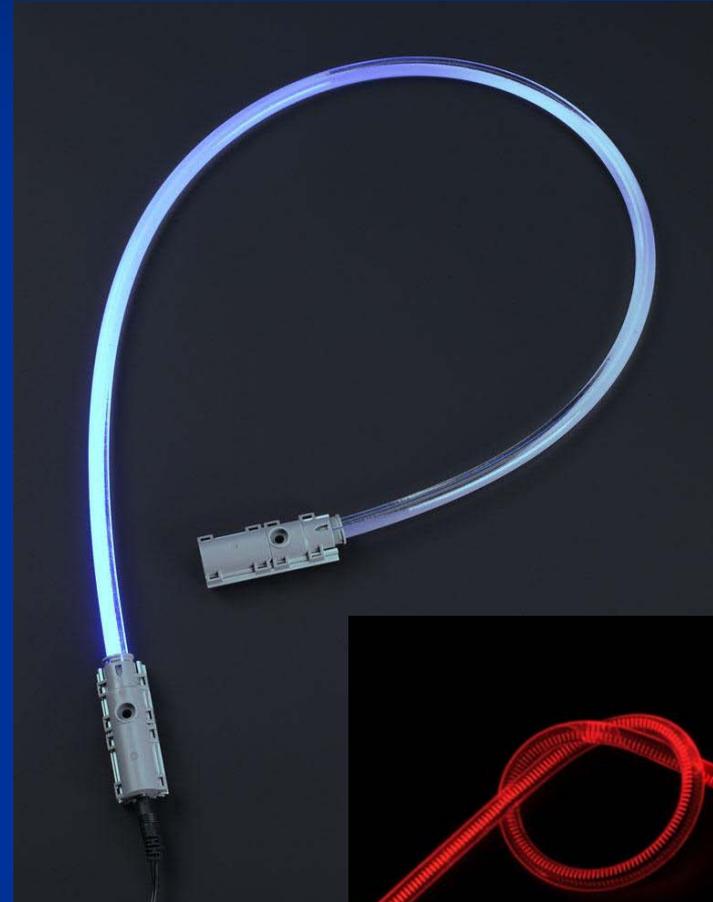
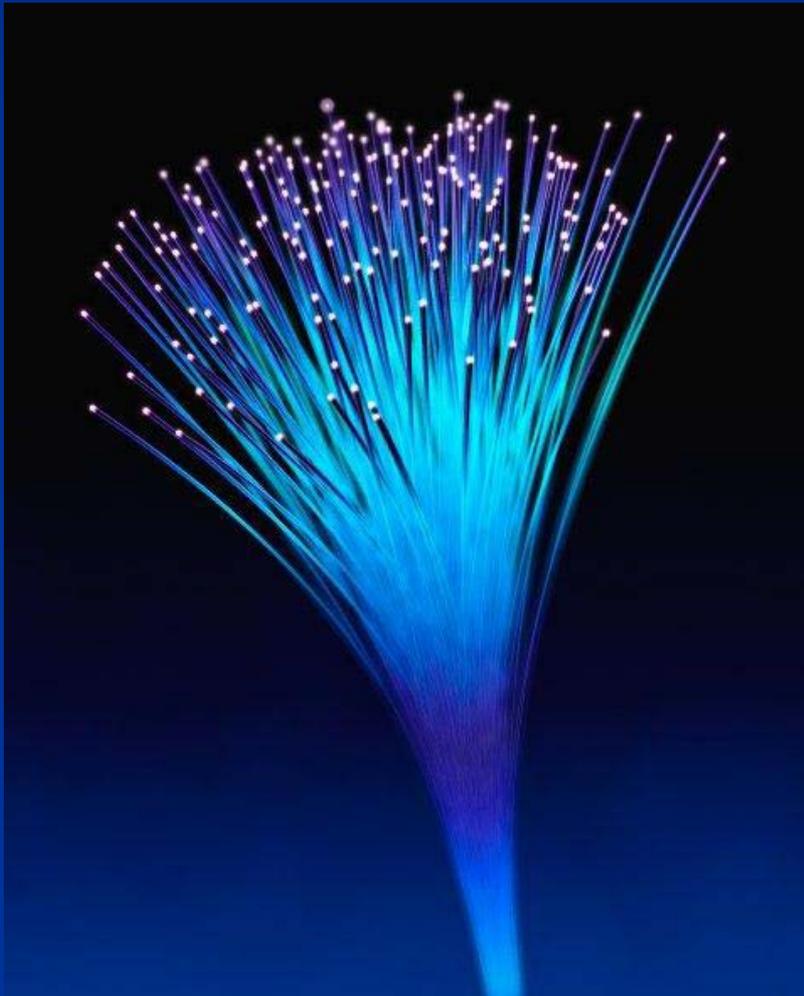
Licht kann auch auf krumme Bahnen kommen



Licht wird durch Materie von Ausbreitung auf Geraden abgelenkt



Lichtausbreitung wird durch Materie beeinflusst

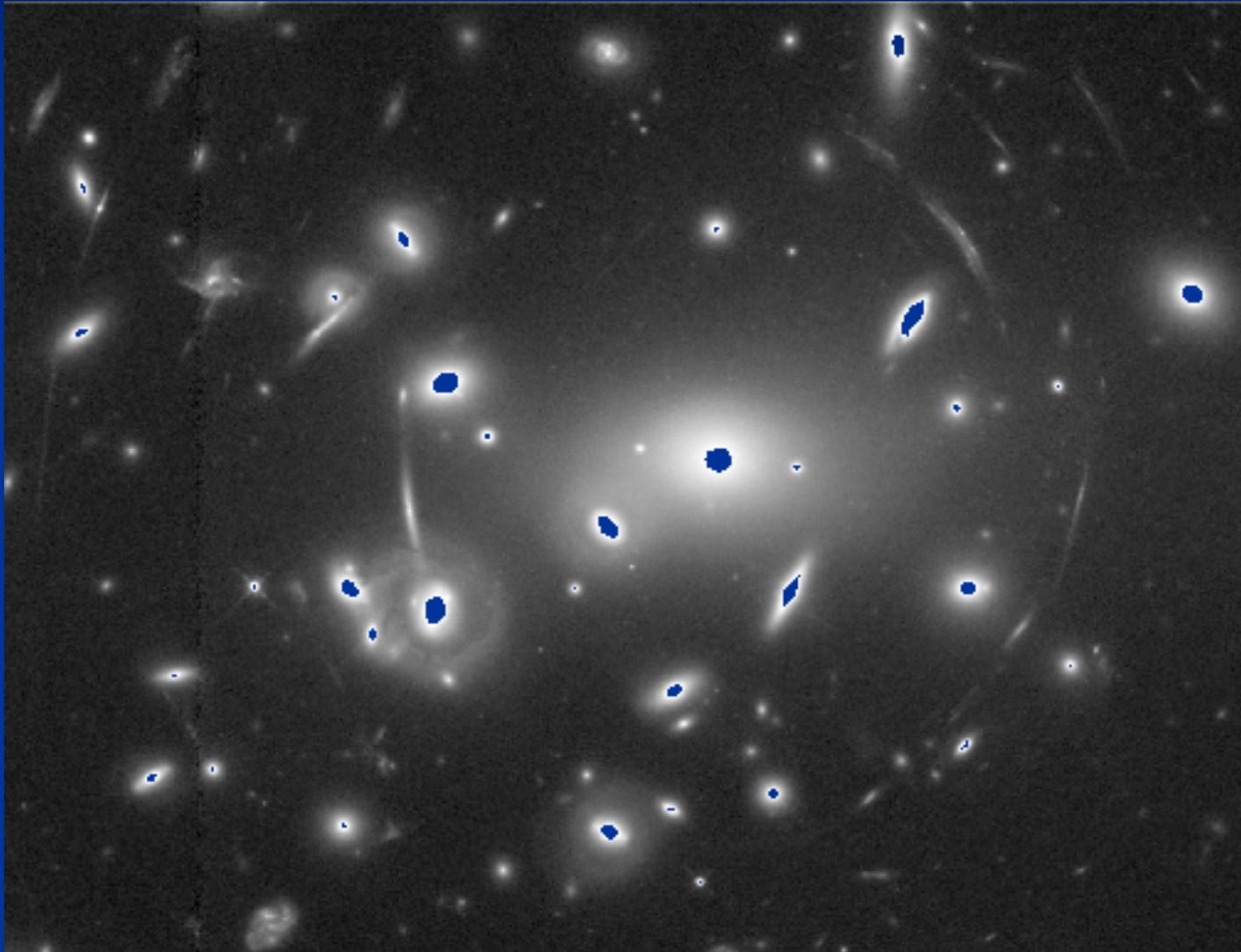




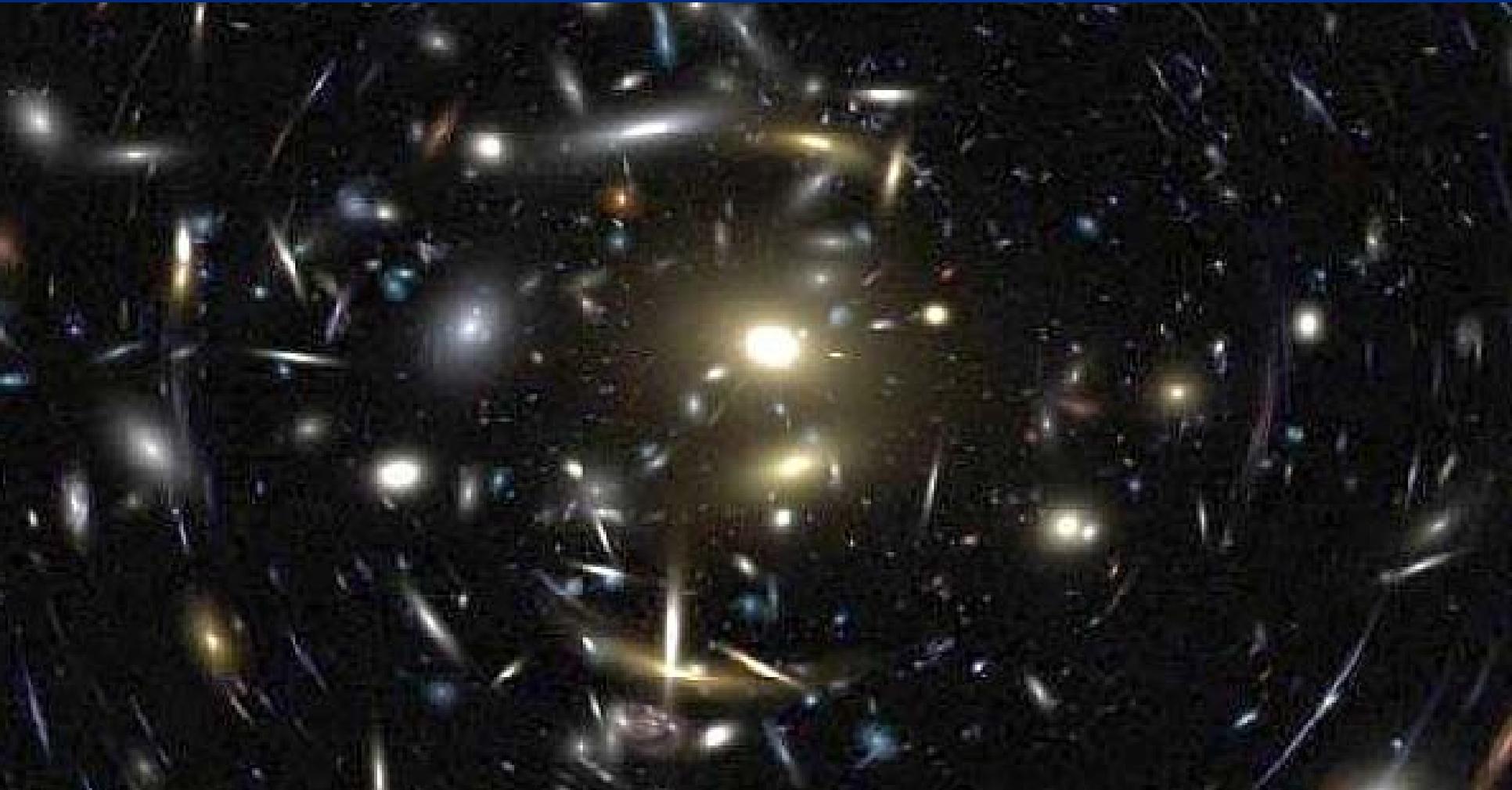
Glas kann Lichtausbreitung beeinflussen



und auch der leere Raum



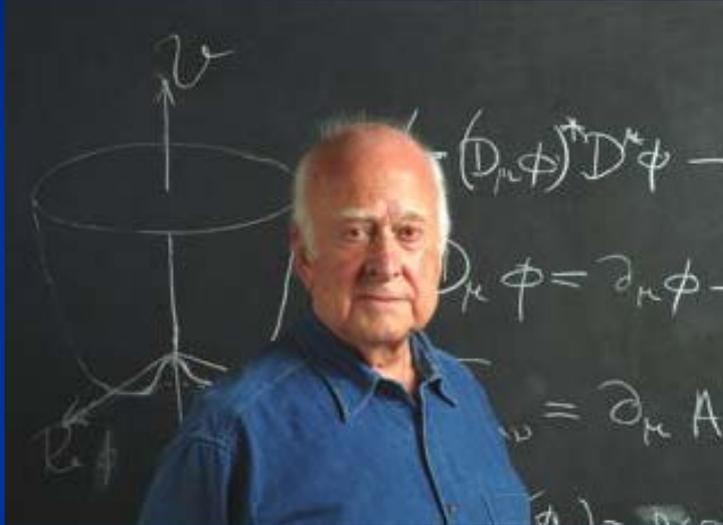
Gravitationslinse



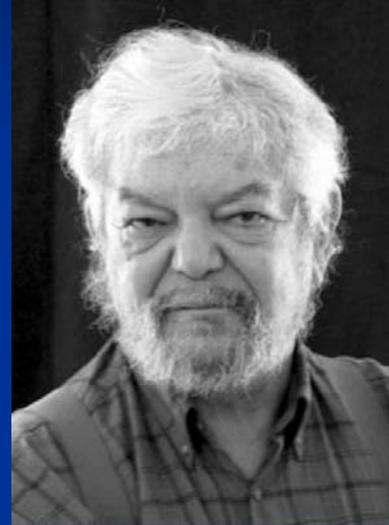
Das Vakuum ist nicht leer.

*Physikalische Gesetze hängen
vom Zustand des Materiellen ab.*

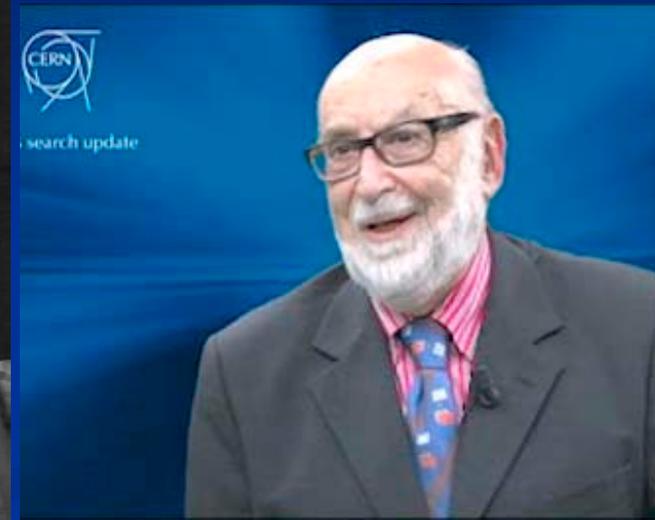
Brout-Englert-Higgs Mechanismus der spontanen Symmetriebrechung bestätigt



Higgs



Brout



Englert

Gesetze hängen vom Vakuum ab

Metrik

Metrisches Feld

- Im Vakuum gibt es **Felder** und ihre Fluktuationen
- **Magnetfeld** : an jedem Ort und zu jeder Zeit : drei Größen
- **Metrisches Feld oder Gravitationsfeld** : an jedem Ort und zu jeder Zeit: zehn Größen

Gravitations - Feld: 10 Größen

$$g_{\mu\nu}(t, x, y, z)$$

$$g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}$$

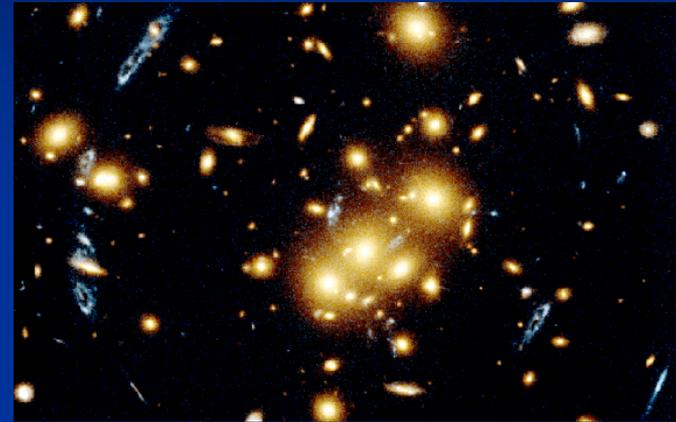
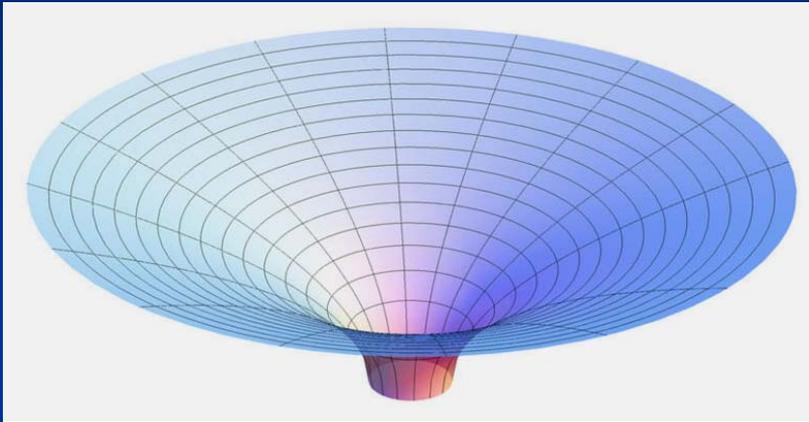
$$g_{\mu\nu} : (g_{00}, g_{01}, g_{02}, g_{03}, g_{11}, g_{12}, g_{13}, g_{22}, g_{23}, g_{33})$$

Matrix :

$$g_{\mu\nu} : \begin{pmatrix} g_{00} & g_{01} & g_{02} & g_{03} \\ g_{10} & g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{20} & g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{30} & g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{pmatrix}$$

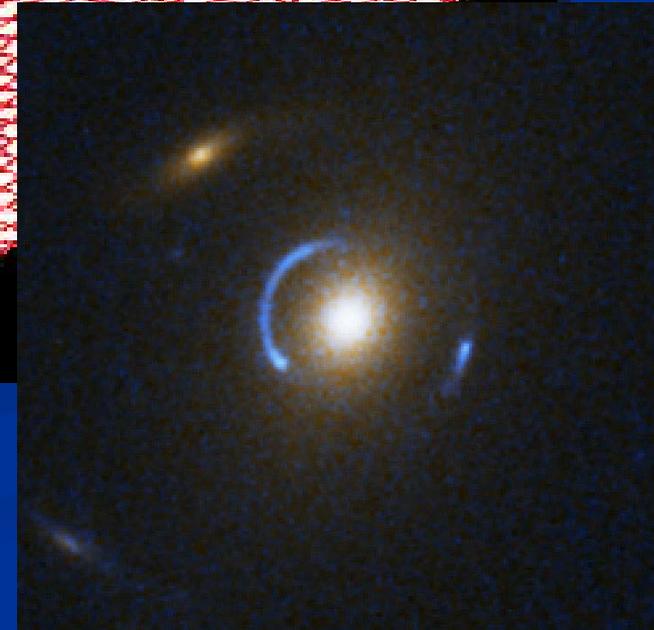
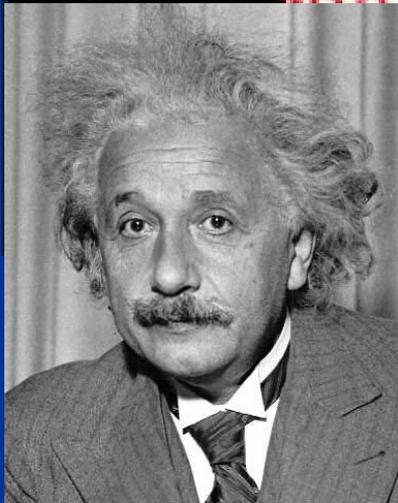
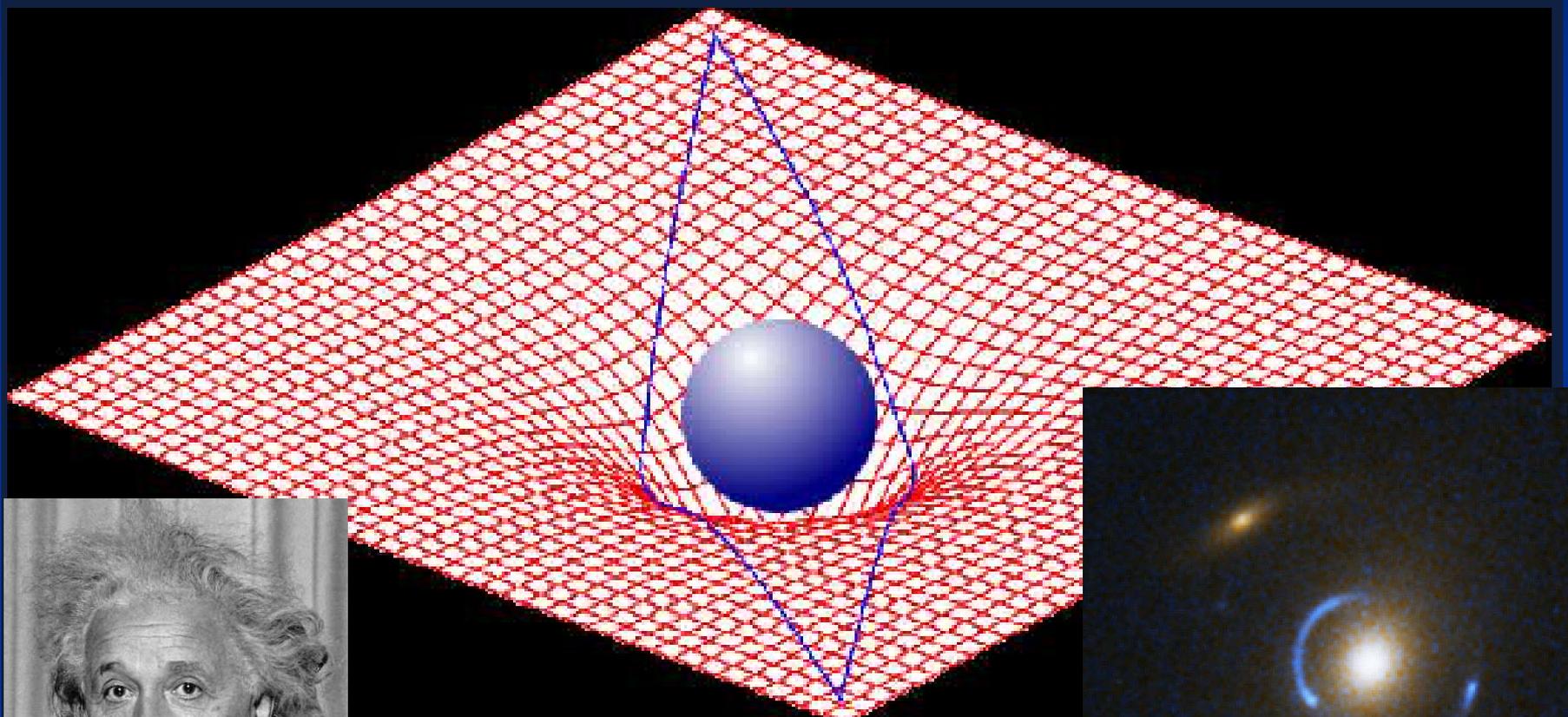
Eines der Felder ist das
Gravitationspotenzial von Newton

Metrik beeinflusst Lichtausbreitung



- Abstände im Raum hängen von Metrik ab
- Metrik wird vom Materiellen beeinflusst, z.B. Sonne, Erde oder Galaxie

Lichtstrahlen werden durch Massen abgelenkt



Eigenschaften von Raumzeit werden durch Metrik beschrieben

- Magnetfeld lenkt Elektronen ab , nicht Licht
- Metrisches Feld lenkt auch Lichtstrahlen ab

Wenn wir Raumzeit mit Lichtstrahlen konstruieren :



- Eigenschaften der Raumzeit (Geometrie) hängen von Metrik ab

Das Gravitationsfeld ist die Metrik der Raumzeit

Geometrie gekrümmter Räume



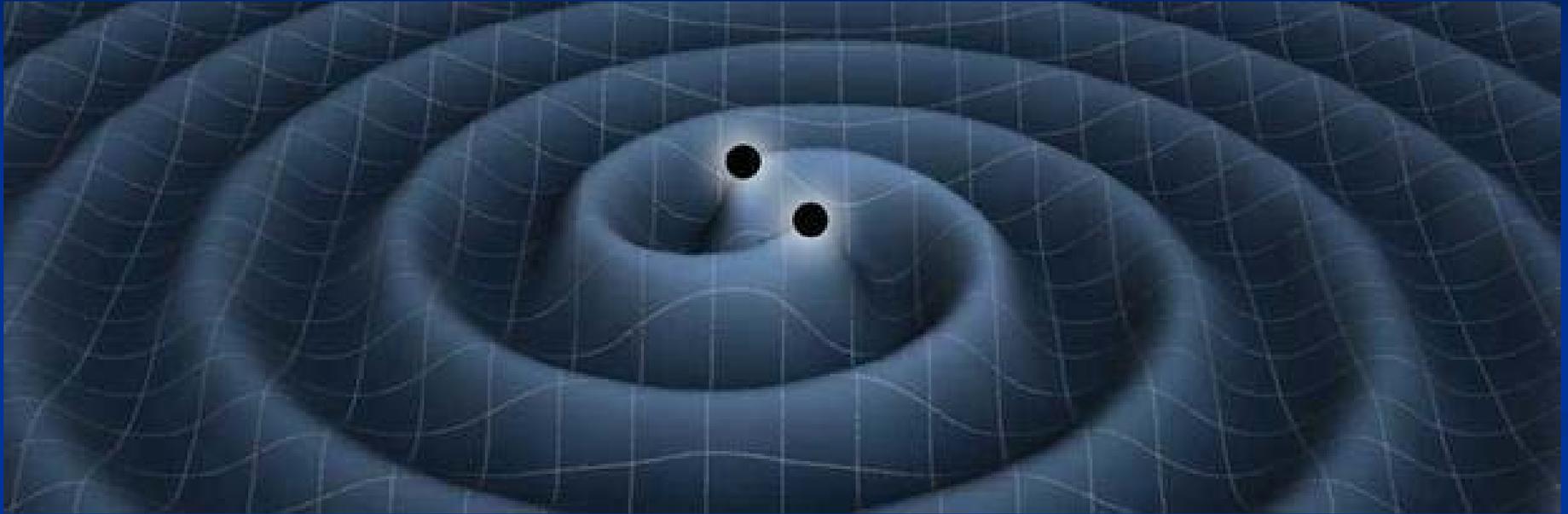
Gauss



Riemann

Geometrie wird dynamisch !

Gravitationswellen



Periodische Oszillationen der Metrik

wie :

Lichtwellen : Periodische Oszillationen des
elektrischen und magnetischen Felds

Nachweis der Gravitationswellen

Der Nachweis von Gravitationswellen

- 1 Starke Gravitationswellen entstehen vor allem, wenn schwere Objekte wie **Neutronensterne** oder **schwarze Löcher** zusammenstoßen oder sich umkreisen.
- 2 Die Wellen **verzerren** die Raumzeit.
- 3 Die **Verzerrung** breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit aus.
- 4 Die Tunnel des Observatoriums werden um den Bruchteil des Durchmessers eines Atomkerns unterschiedlich **gestaucht und gestreckt**.
- 5 Die Längenveränderung der Tunnel durch die Gravitationswelle kann mit **Laserstrahlen gemessen** werden.

Quelle: *Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory, Nature dpa•23670



LIGO

Gravitationswelle : kleine Laufzeitänderung von Licht in verschiedenen Richtungen

Metrik des Universums homogen und isotrop

$$g_{\mu\nu} : \begin{pmatrix} -1, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & a(t), & 0, & 0 \\ 0, & 0, & a(t), & 0 \\ 0, & 0, & 0, & a(t) \end{pmatrix}$$

Räumlicher Abstand ist proportional $a(t)$
Ausdehnung des Raums wenn $a(t)$ wächst

Kein Raum , keine Zeit ohne Metrik

$g_{\mu\nu}=0$: alle Abstände sind Null

$$ds^2 = \sum_{\mu=0}^3 \sum_{\nu=0}^3 g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$

$a=0$: Urknall Singularität ?

$$g_{\mu\nu} : \begin{pmatrix} -1, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & a(t), & 0, & 0 \\ 0, & 0, & a(t), & 0 \\ 0, & 0, & 0, & a(t) \end{pmatrix}$$

(2) Die Eigenschaften von Raumzeit werden durch metrisches Feld beschrieben



$$ds^2 = \sum_{\mu=0}^3 \sum_{\nu=0}^3 g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$

Verschiedene Bilder des Universums

Feld - Relativität

- Zusätzlich zur Metrik gibt es weitere Felder
- **Skalarfeld (Kosmon)** : eine Größe an jedem Ort und zu jeder Zeit
- **Unterschiedliche Wahl der Metrik möglich**
- **Unterschiedliche Bilder der Geometrie**
- **Verschiedene Bilder beschreiben gleichwertig die Realität**

*Haben wir gemessen,
dass sich der Raum ausdehnt ?*

Urknall oder Kältestarre ?

- Wissen wir wirklich , ob das Universum sich ausdehnt ?
- Beobachtet : der Abstand zwischen Galaxien, geteilt durch die Größe der Atome , wächst.
- Atome könnten auch kleiner werden...

Schrumpfende Atome

Einfaches Modell mit wachsenden
Teilchenmassen :

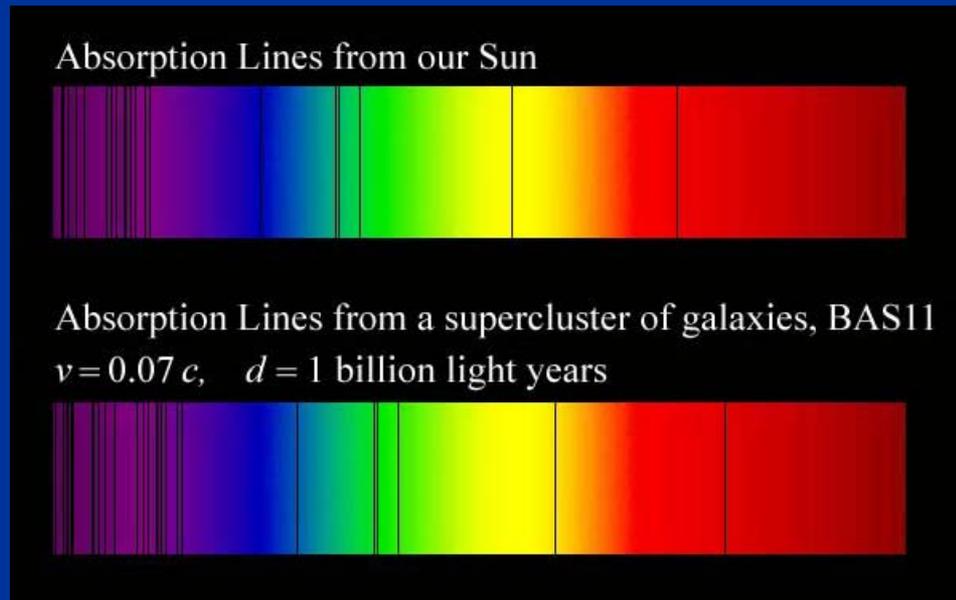
Massen hängen vom Kosmon-Feld ab, und
dieses wächst.

Wenn die Elektronmasse wächst, werden die
Atome kleiner, und damit auch die Wellenlänge
des ausgesendeten Lichts.

Rotverschiebung

statt Expansion des Universums:

Wir beobachten größere Wellenlängen,
weil die Atome früher größer waren !



Was wächst ?

Verhältnis des Abstands der Galaxien
und des Atomdurchmessers !

Atomradius konstant :
Geometrie dehnt sich aus

Alternative : Atome werden kleiner

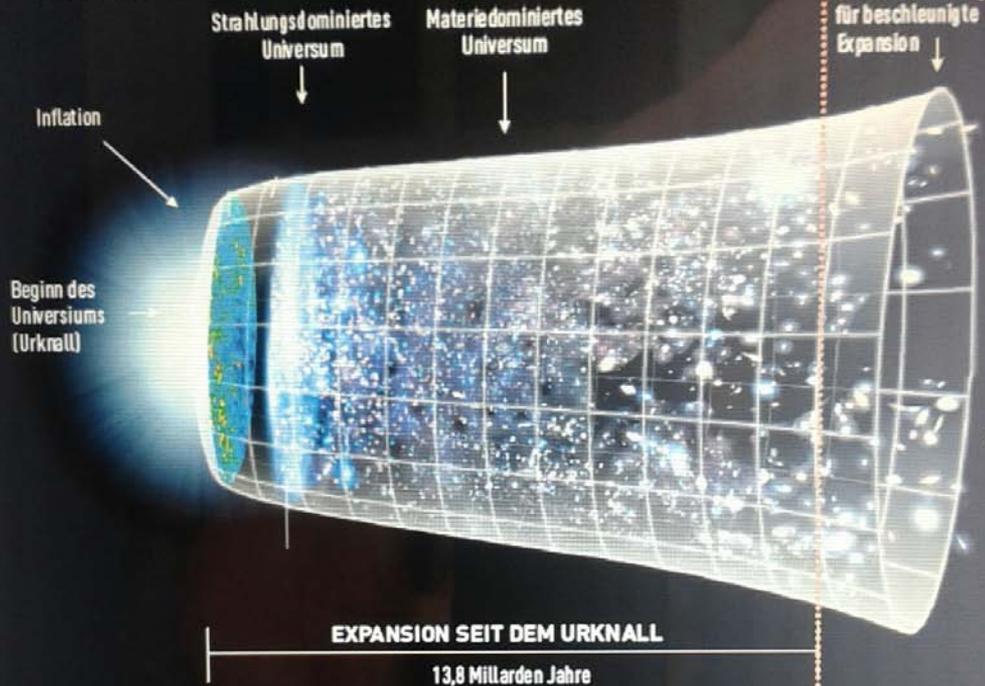
alte Idee : Hoyle, Narlikar,...

Das Universum schrumpft ...

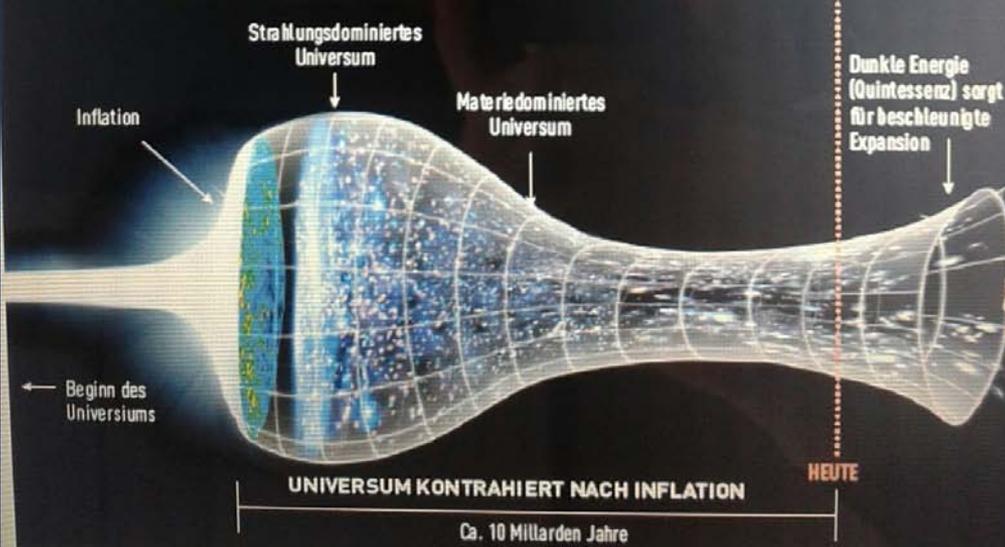
während

**Massen der Elementarteilchen
und Planck Masse wachsen**

Klassisches Bild der Kosmologie

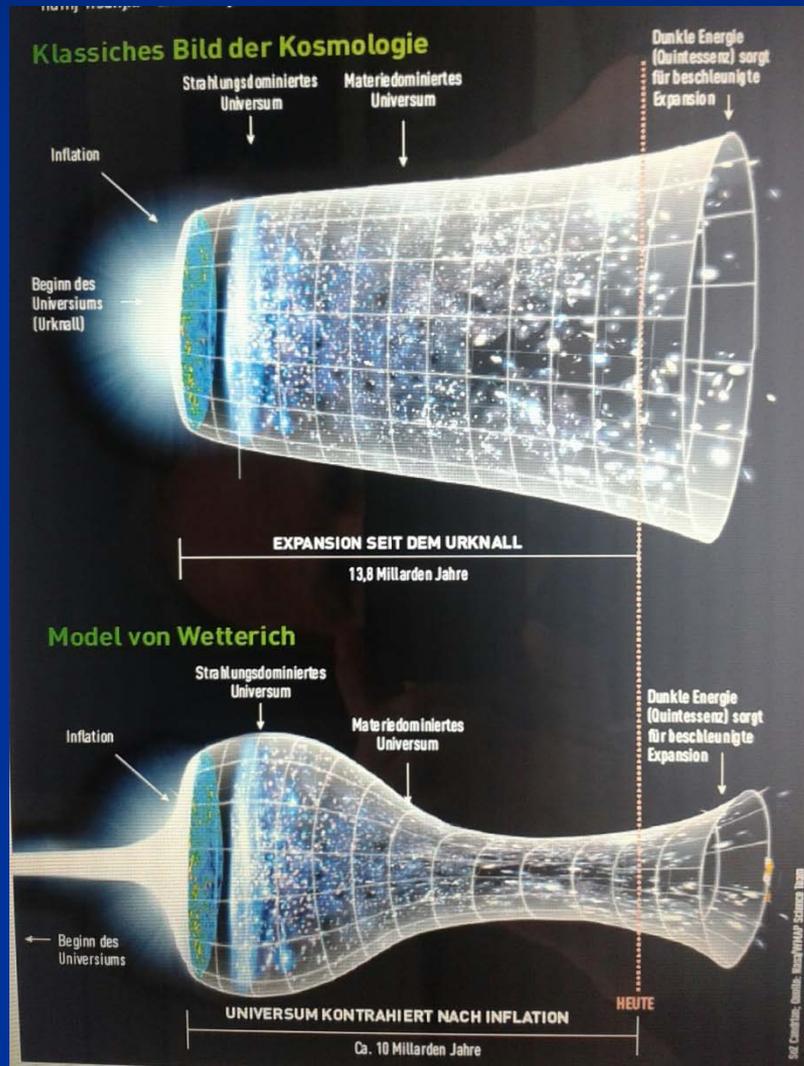


Model von Wetterich



Sonntagszeitung
Zürich
Laukenmann

(3) Zeit, Raum und Geometrie sind nicht eindeutig



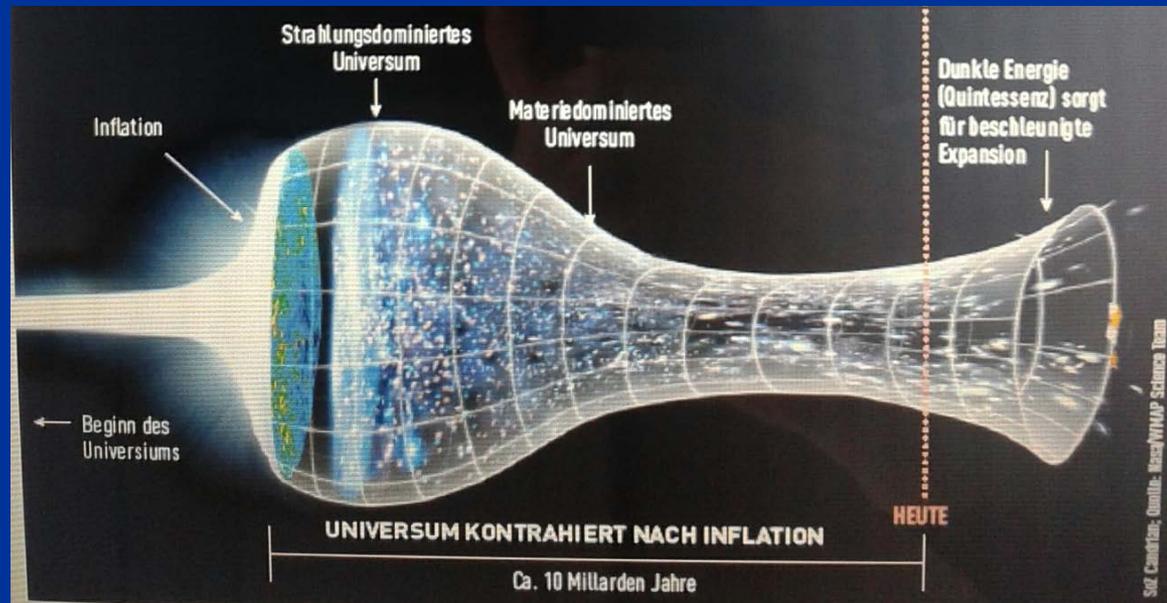
Heißer Urknall

Das Universum, das aus der Kältestarre kam

Was war am „Anfang“ ?

Universum existiert bis in die unendliche Vergangenheit

keine Singularität!



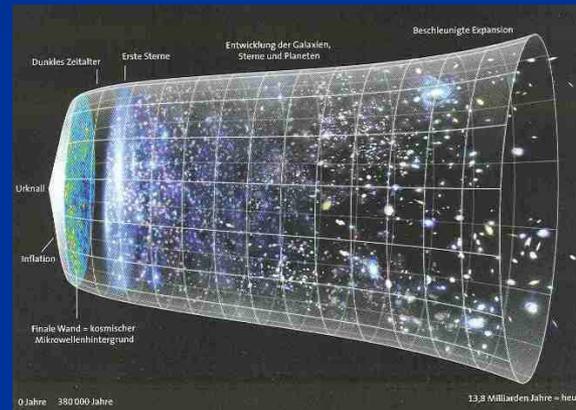
Ewiges Universum

- *Universum besteht seit unendlicher Zeit ,
und wird noch unendliche Zeit bestehen !*
- *Raum ist unendlich ausgedehnt – schon immer !*

Im Bild des Urknalls :

- Zeitskalen werden immer kürzer, je mehr man sich dem Zeitpunkt $t=0$ nähert

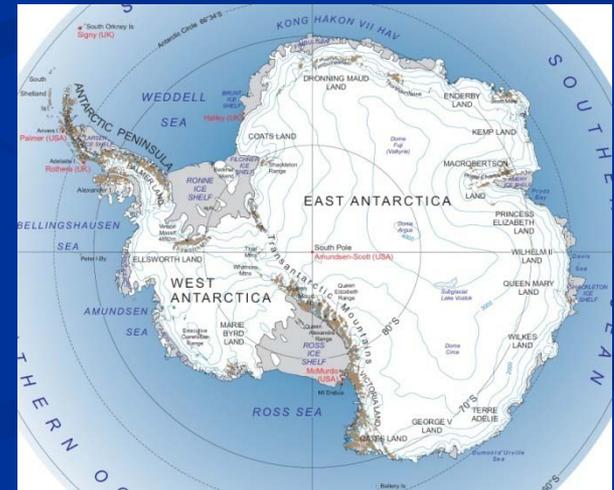
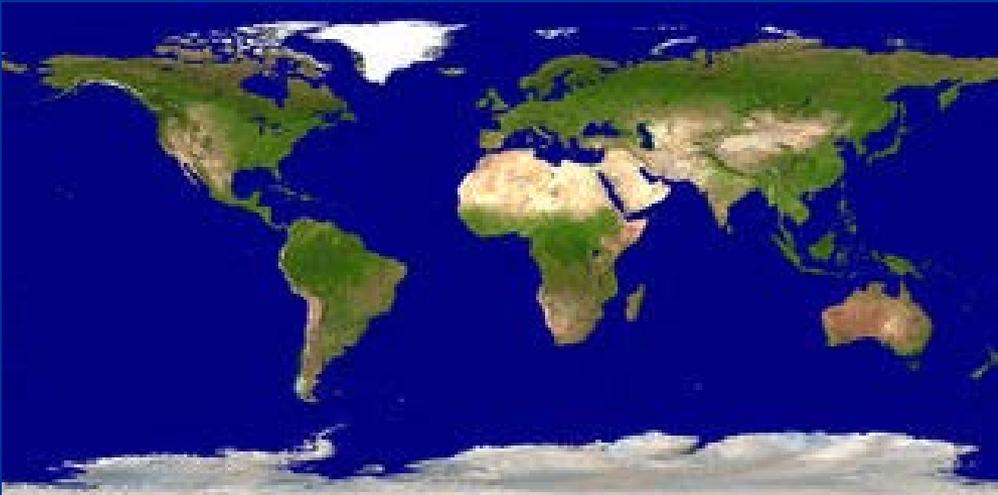
- *Singularität*



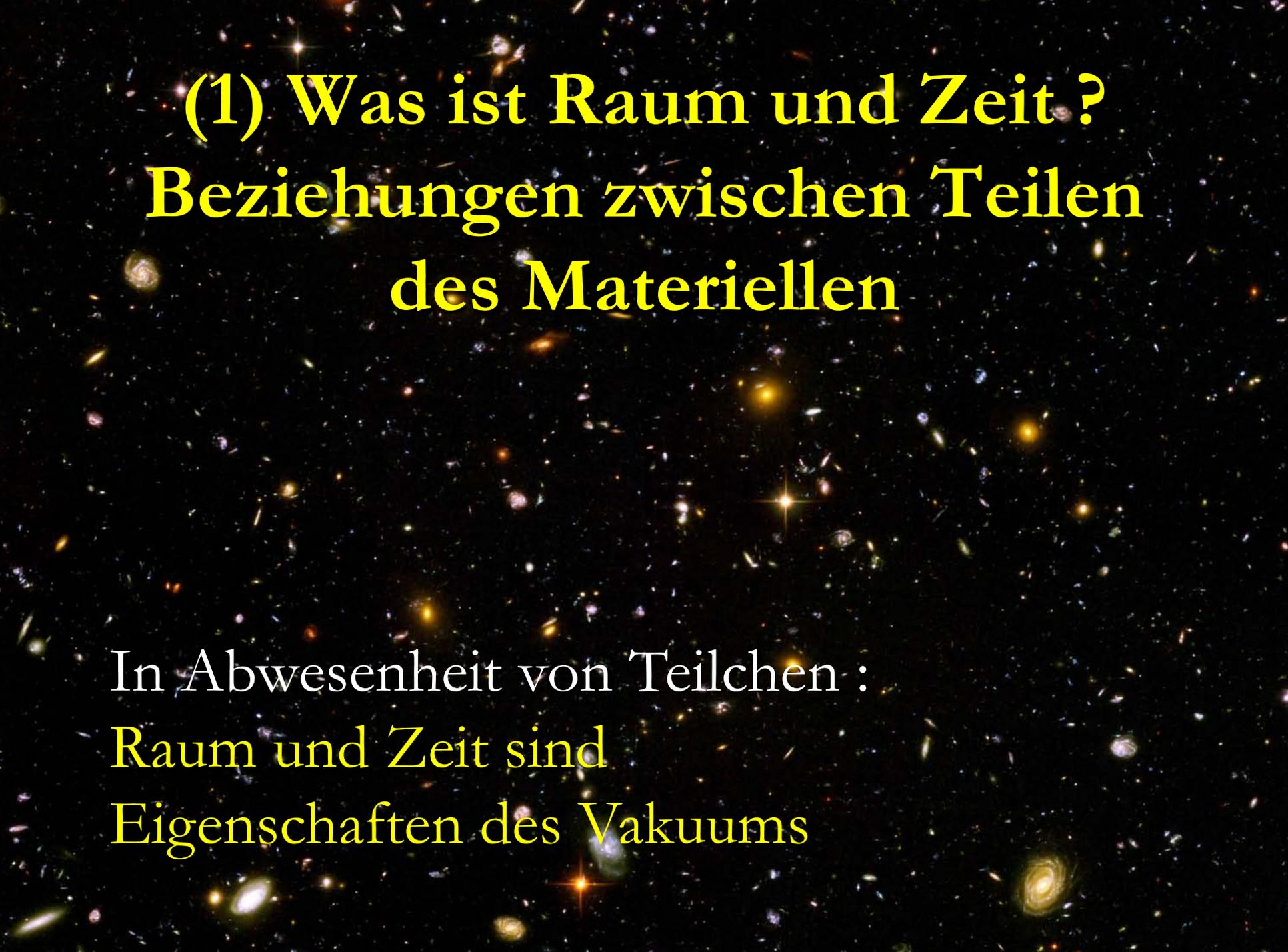
- Singularität wegen ungünstiger Wahl der Metrik
- **Physikalische Zeit** (Anzahl des Tickens der „Uhr“)
auch in diesem Bild **unendlich**

Feld - Singularität

- Urknall ist Feld - Singularität
- ähnlich (aber nicht identisch mit)
Koordinaten - Singularität



Zusammenfassung



**(1) Was ist Raum und Zeit ?
Beziehungen zwischen Teilen
des Materiellen**

In Abwesenheit von Teilchen :
Raum und Zeit sind
Eigenschaften des Vakuums

(2) Die Eigenschaften von Raumzeit werden durch metrisches Feld beschrieben, und dadurch vom Materiellen beeinflusst

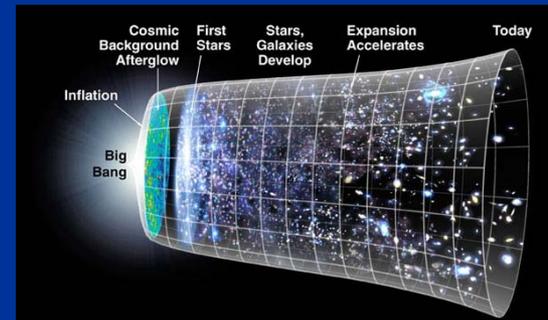


$$ds^2 = \sum_{\mu=0}^3 \sum_{\nu=0}^3 g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$

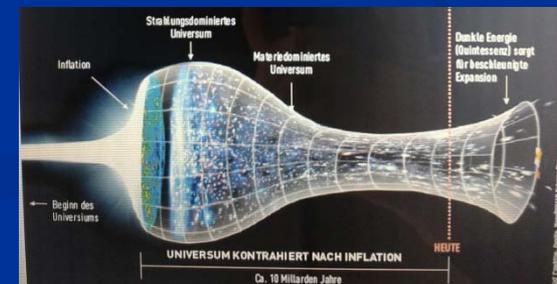
(3) Raumzeit und Geometrie sind nicht absolut - verschiedene Bilder sind möglich !

Expandierendes
Universum
oder
schrumpfende
Atome

Heißer Urknall



Ewiges Licht-Vakuum



(4) Was passiert am „Urknall“ ?

- Die Massen aller Teilchen gehen gegen Null
- Alles bewegt sich wie Lichtquanten
- Am „Anfang“ war ewiges Licht-Vakuum



**Licht währte ewig,
und Alles ward aus Licht**