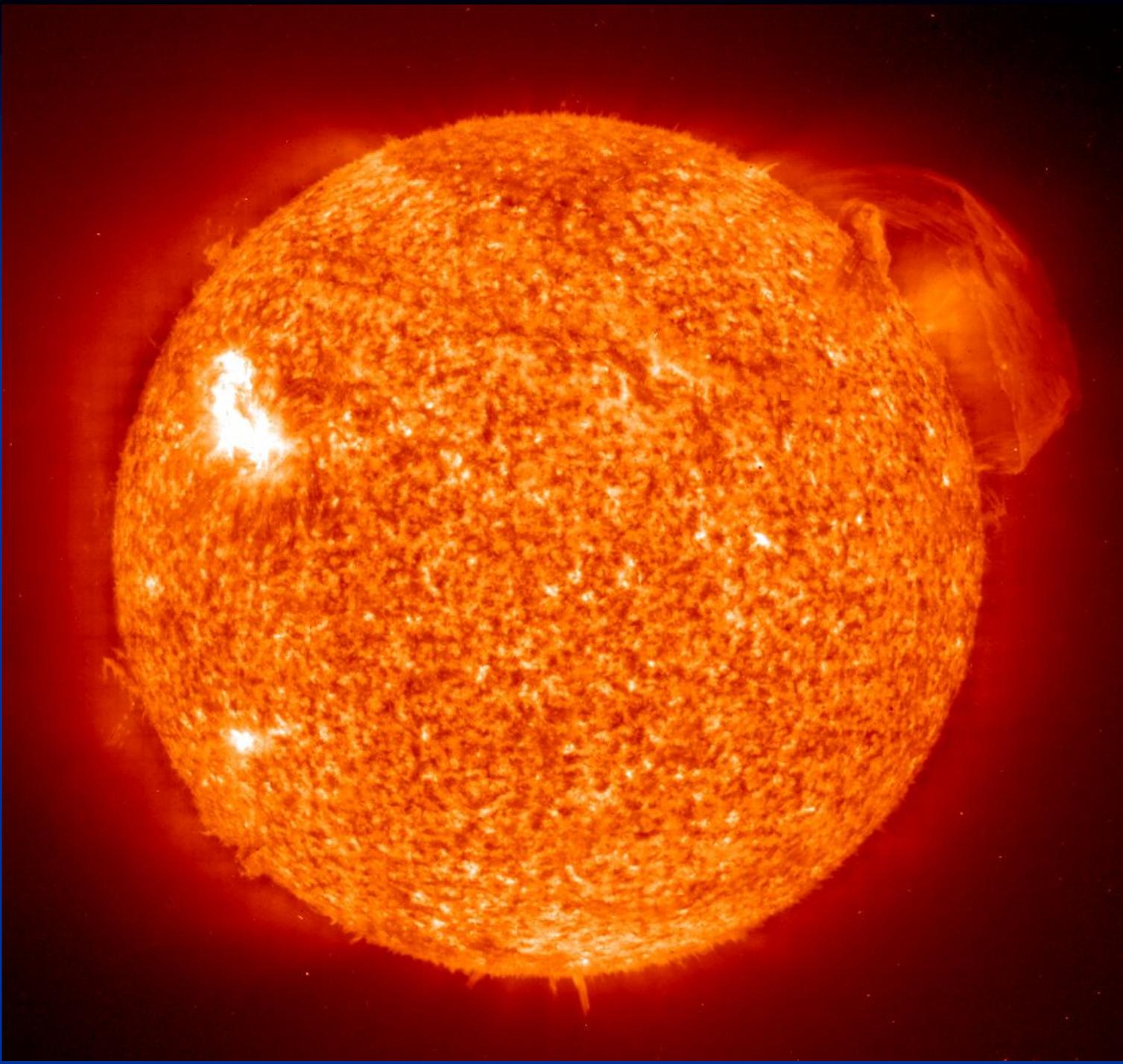


# Der Beginn des Universums



vor 8 Minuten



vor vielen Tausenden von Jahren







vor vielen Millionen von Jahren

vor Milliarden Jahren

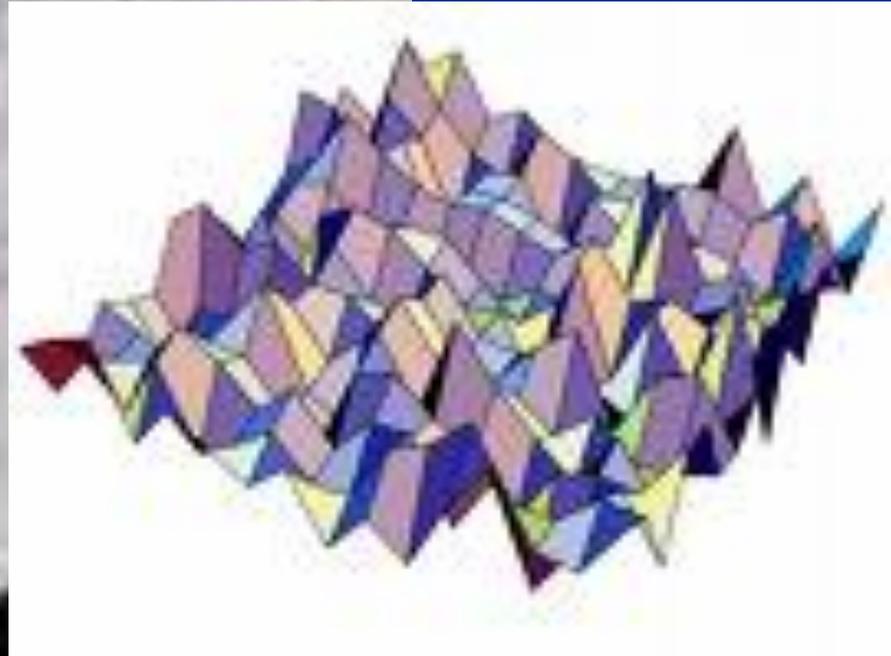


*Wo kommt das Alles her ?*

*Hat das Universum einen Anfang,  
oder existiert es schon immer ?*

# Der Urknall

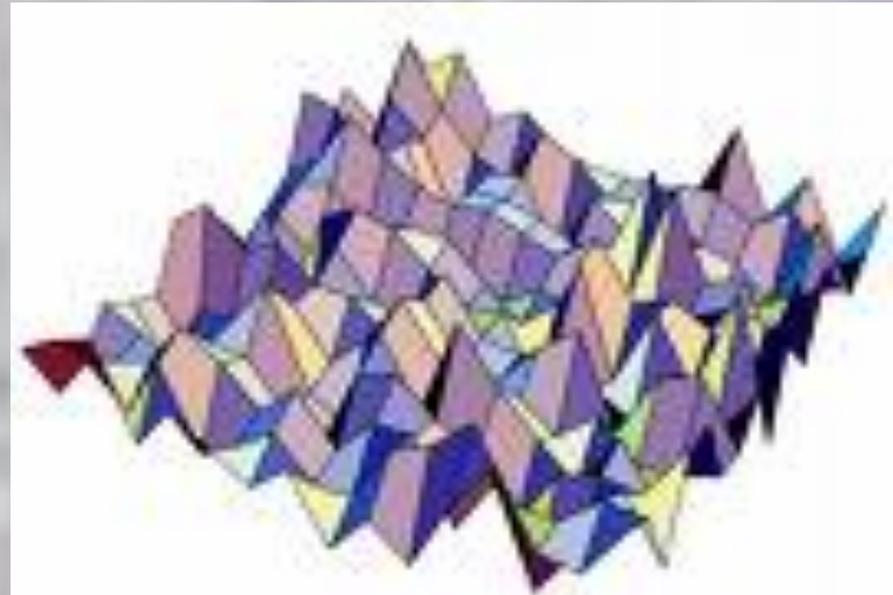
Wie unser Universum aus fast  
Nichts entstand



# **Inflationäres Universum**

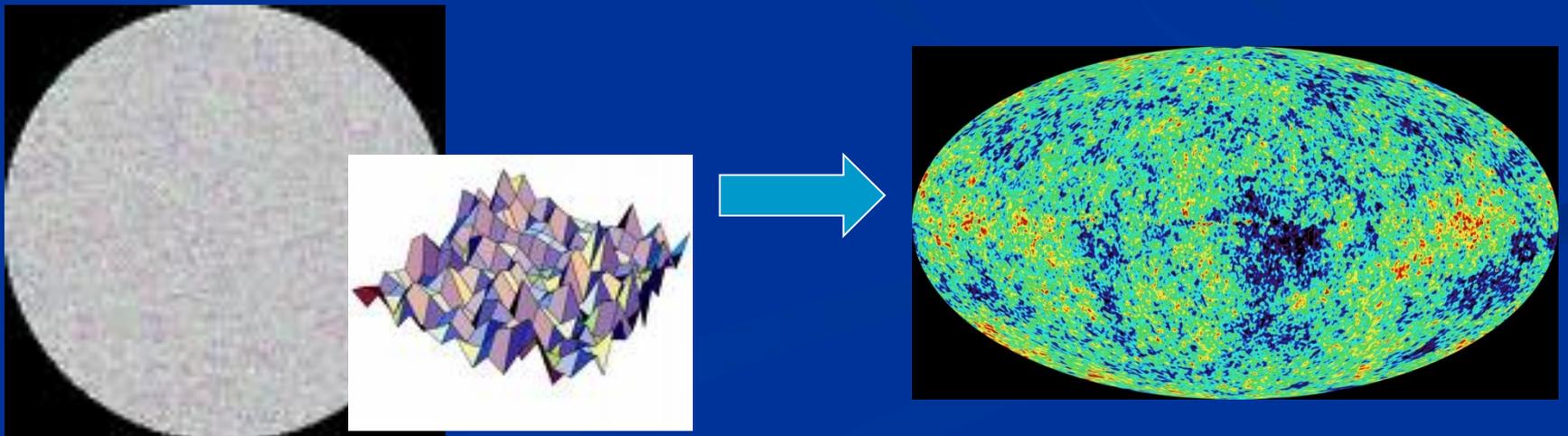
**Überall fast Nichts  
nur Fluktuationen**

**Explosionsartige  
Expansion des Raums**



# Inflationäres Universum

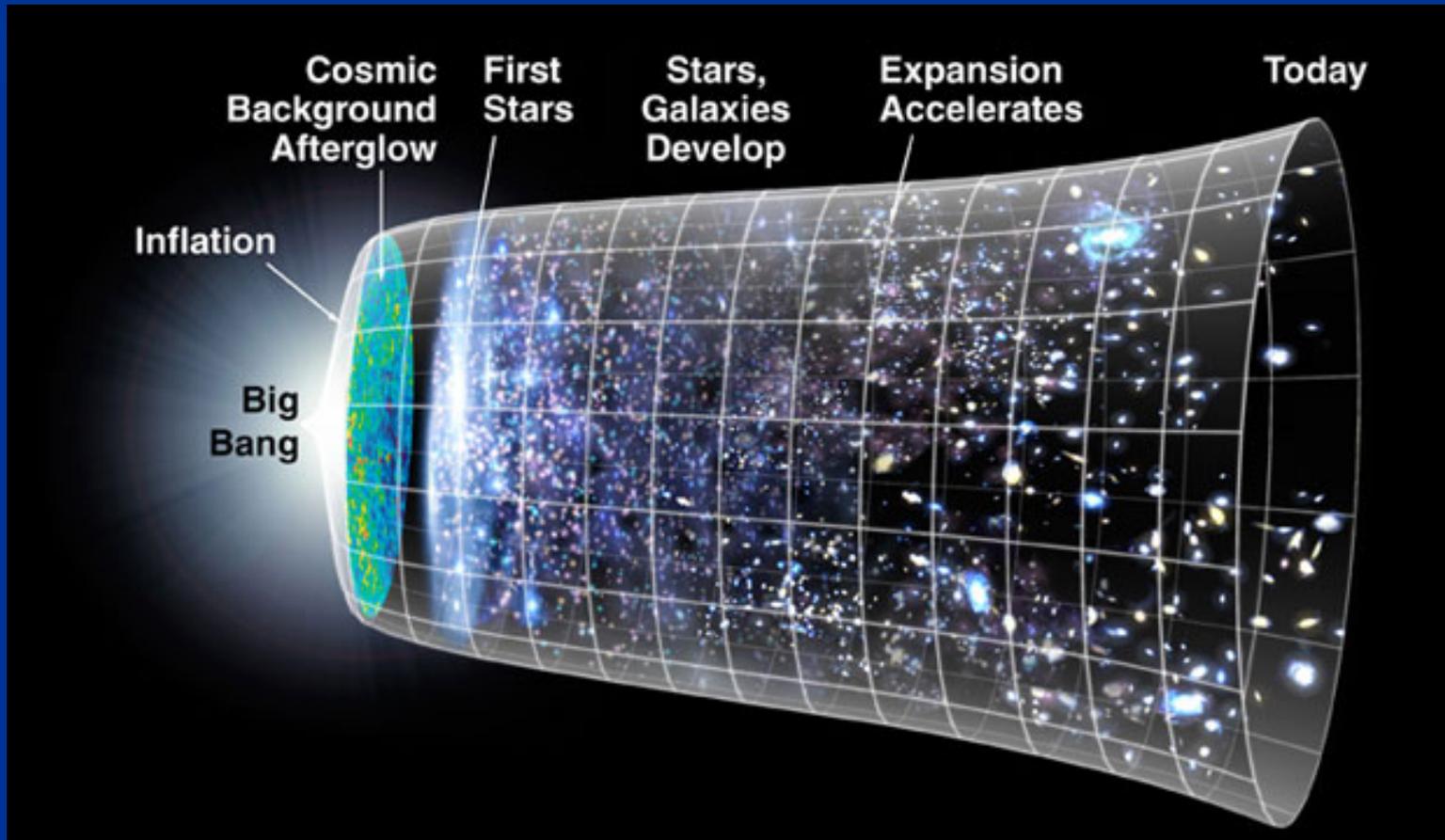
- Explosionsartige Expansion  
ca  $10^{-30}$  -  $10^{-40}$  Sekunden ab
- Beobachtung möglich : aus primordialen Fluktuationen werden Fluktuationen der kosmischen Hintergrundstrahlung



**Nach Inflation :**  
**Erzeugung der Elementarteilchen**  
**Aufheizen des Universums**  
**Plasma**

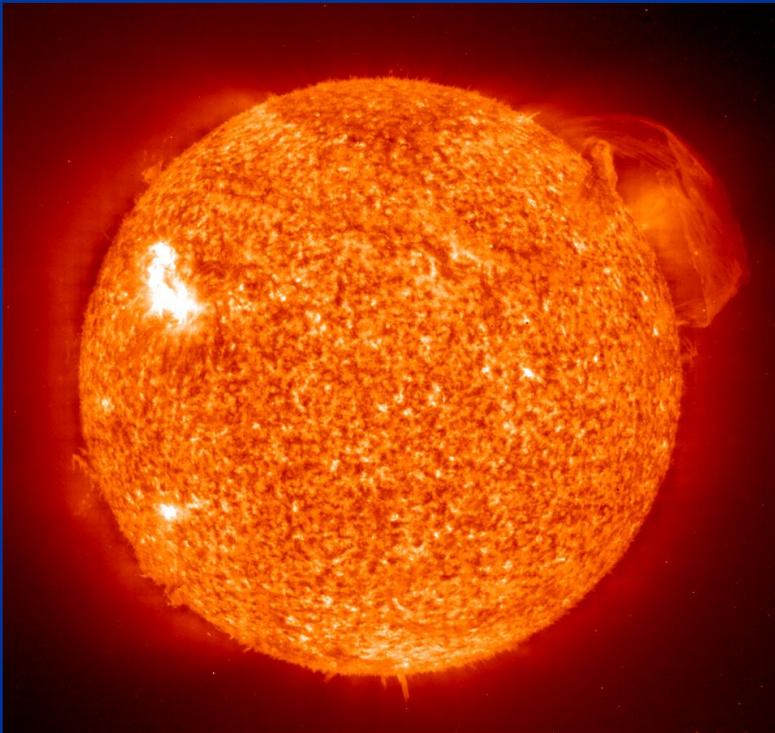
**später:**  
**Ausdehnung und Abkühlung**

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



# Plasma

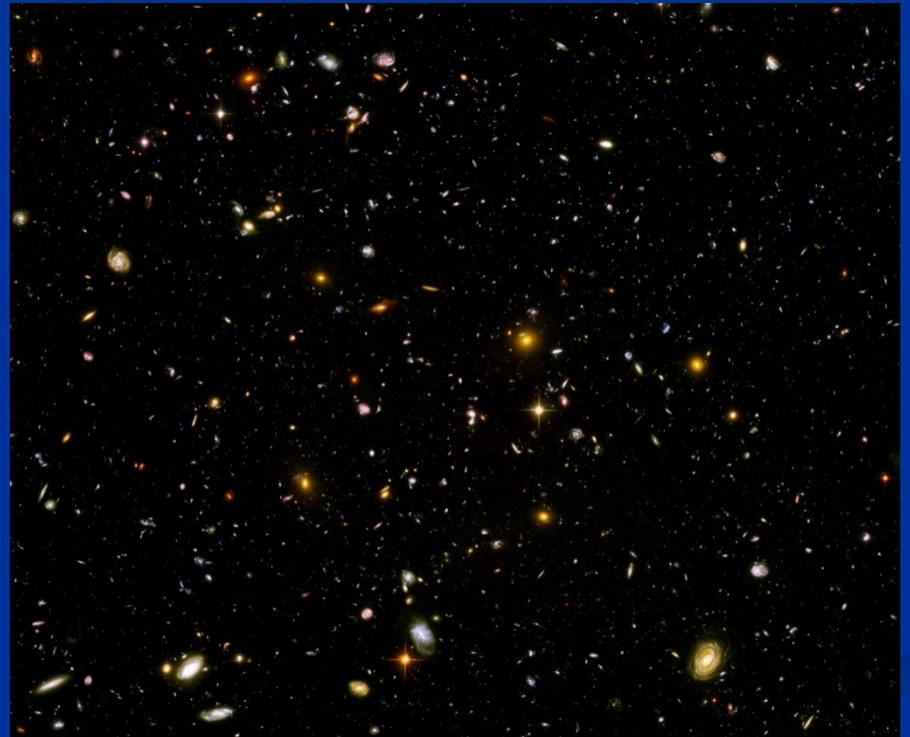
undurchsichtig



wie im Innern der Sonne

# Atome

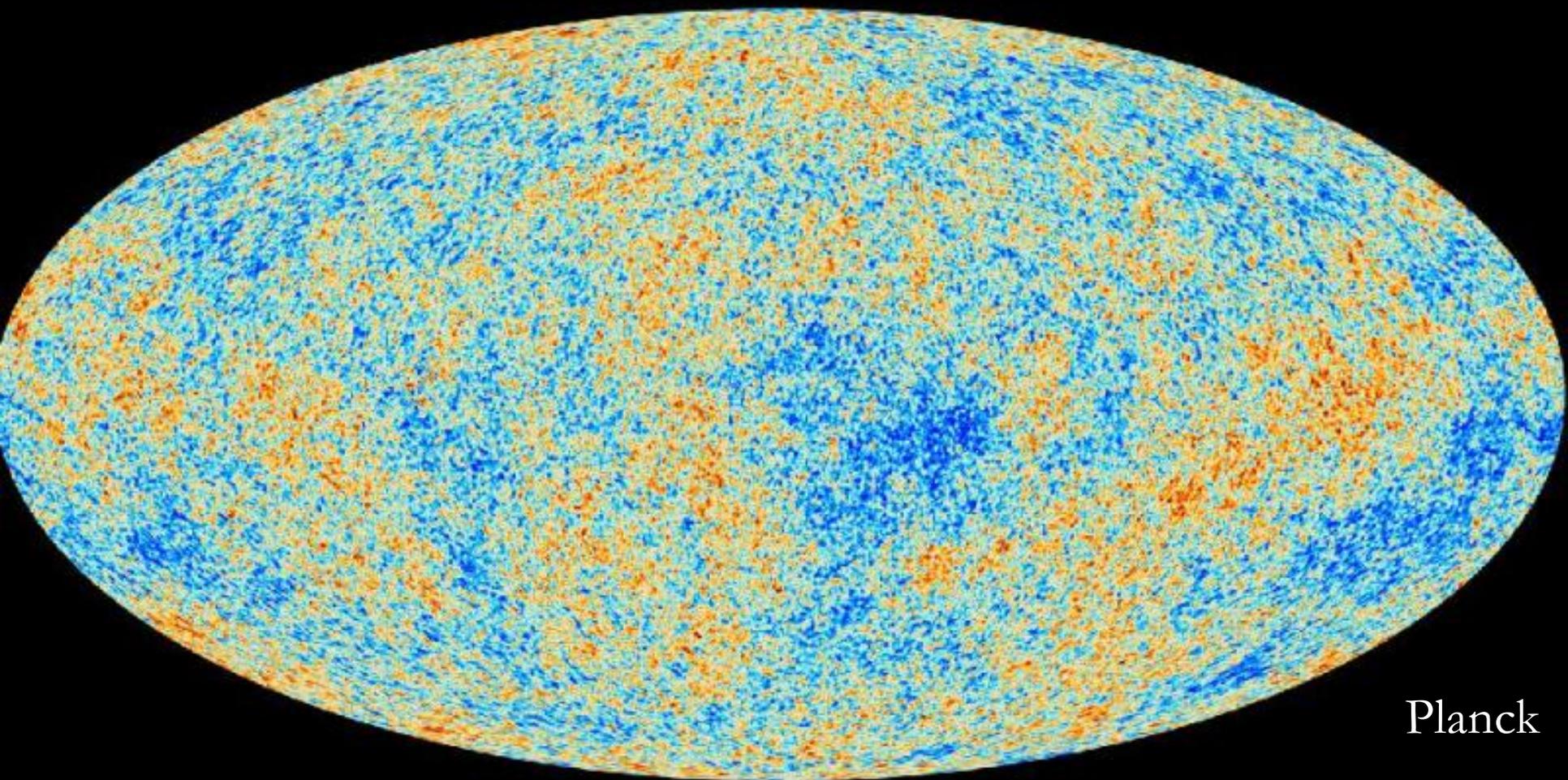
durchsichtig



Weltall heute

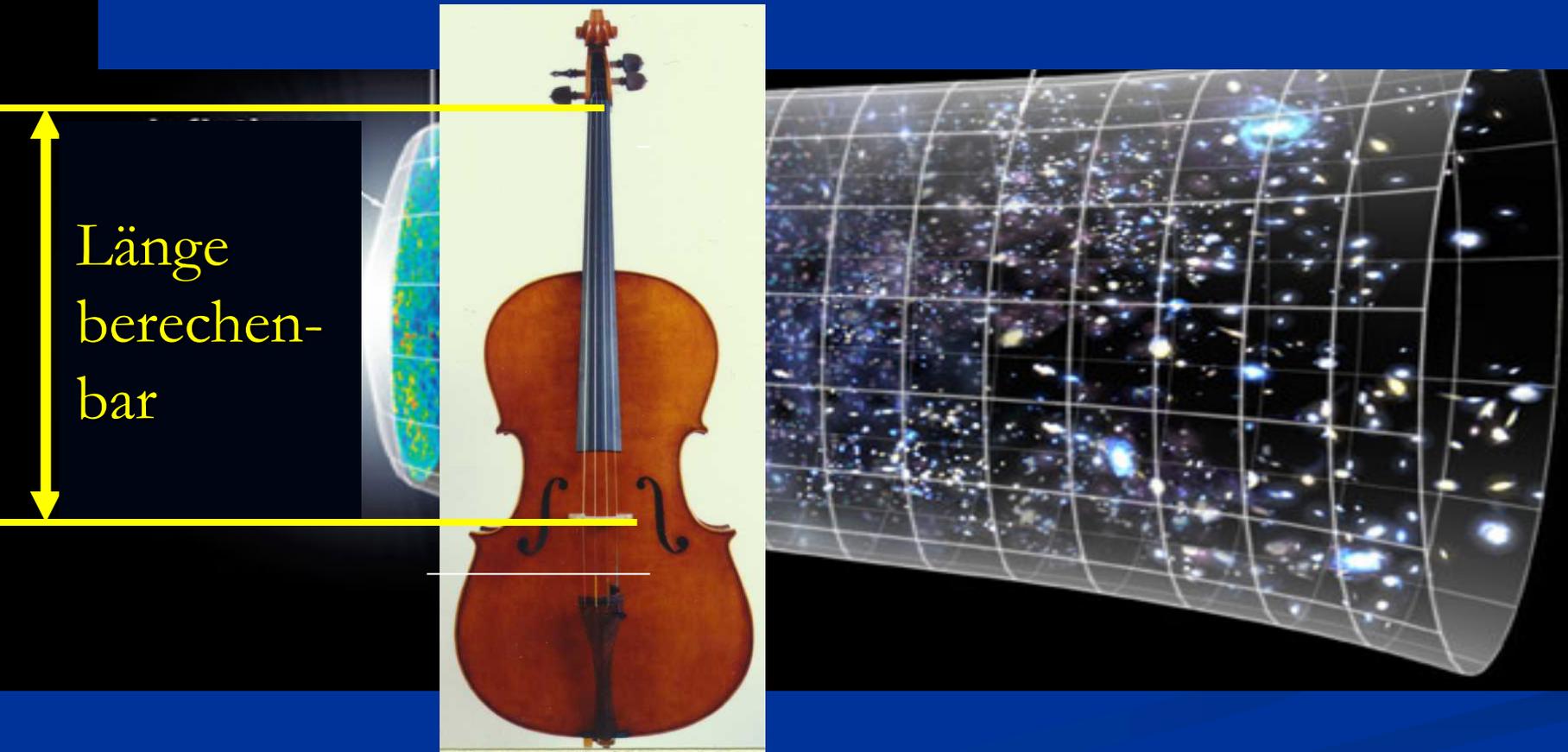
# Und es werde Licht

Die kosmische Hintergrundstrahlung



Planck

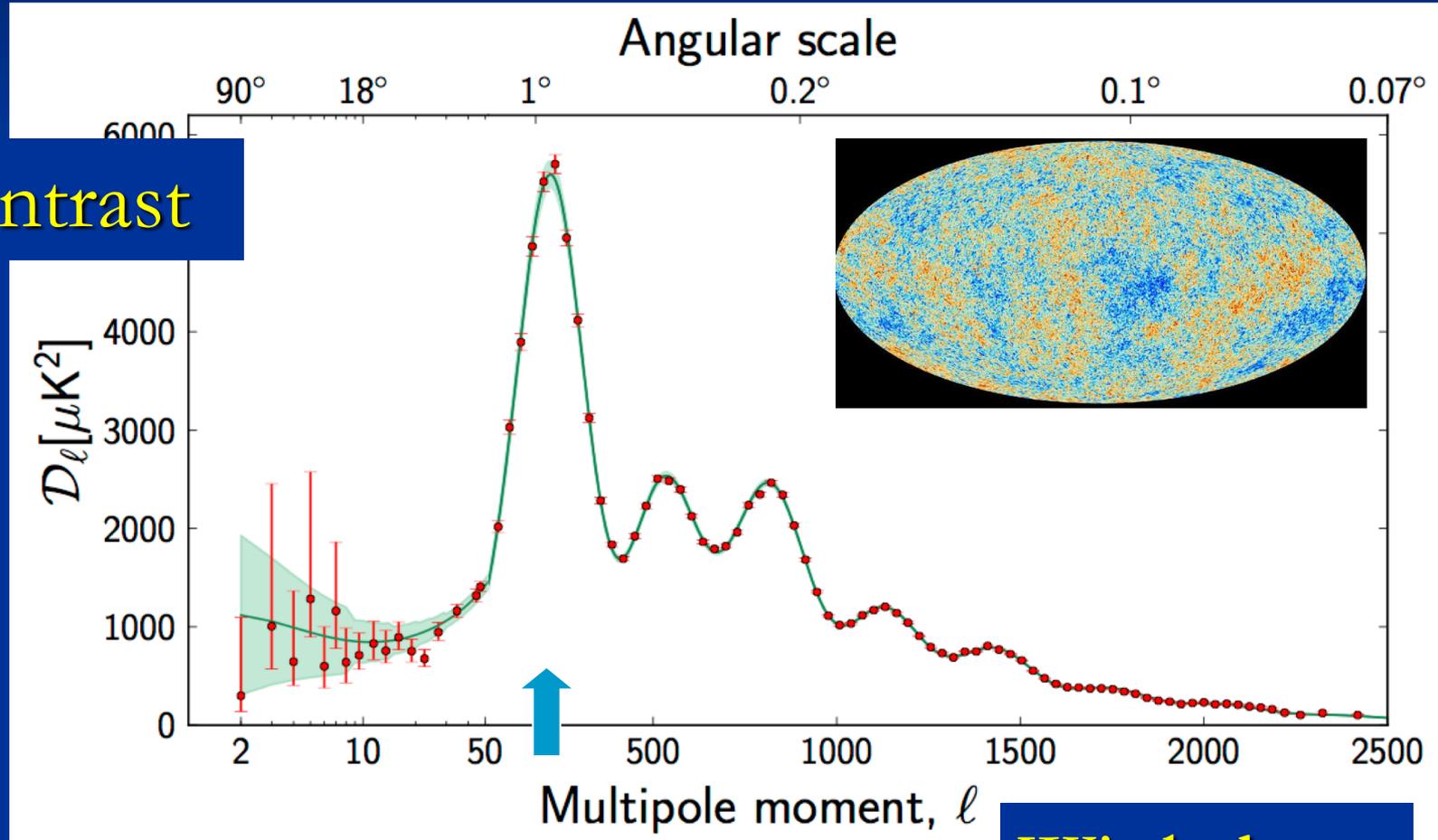
# Schallwellen im frühen Universum



führen zu winzigen Temperaturschwankungen

# Stärke der Temperaturschwankung in Abhängigkeit von Fleckengröße ( im Winkel )

Kontrast

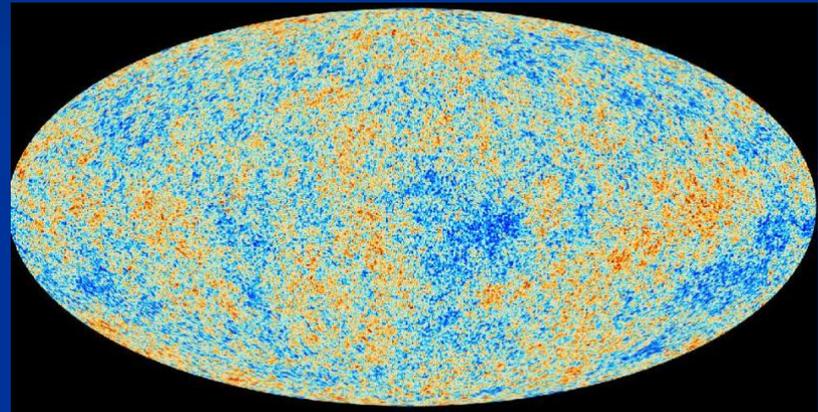
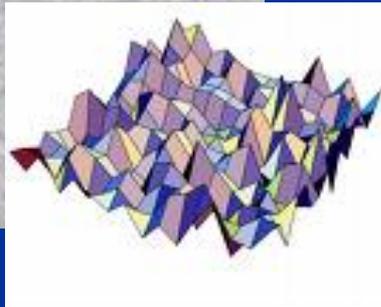
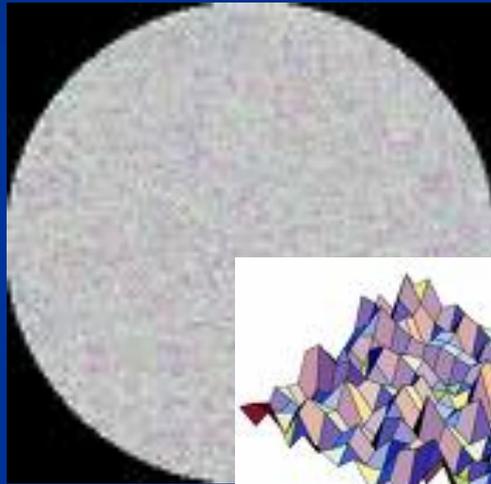


ca 10 Grad

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 ?

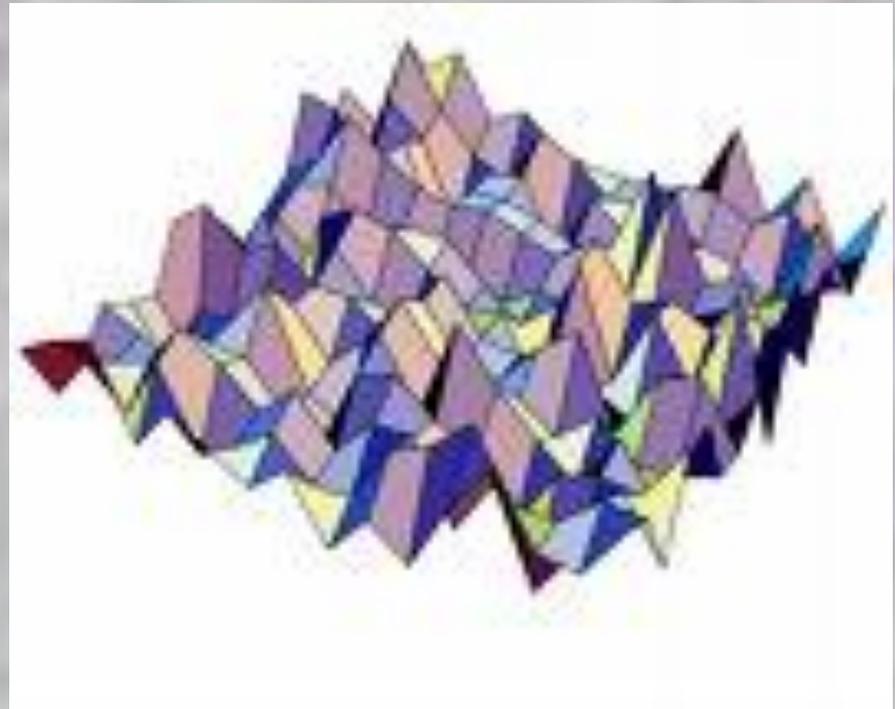
# Ein anderes Bild

# Ewiges Licht-Vakuum

Überall fast Nichts  
nur Fluktuationen

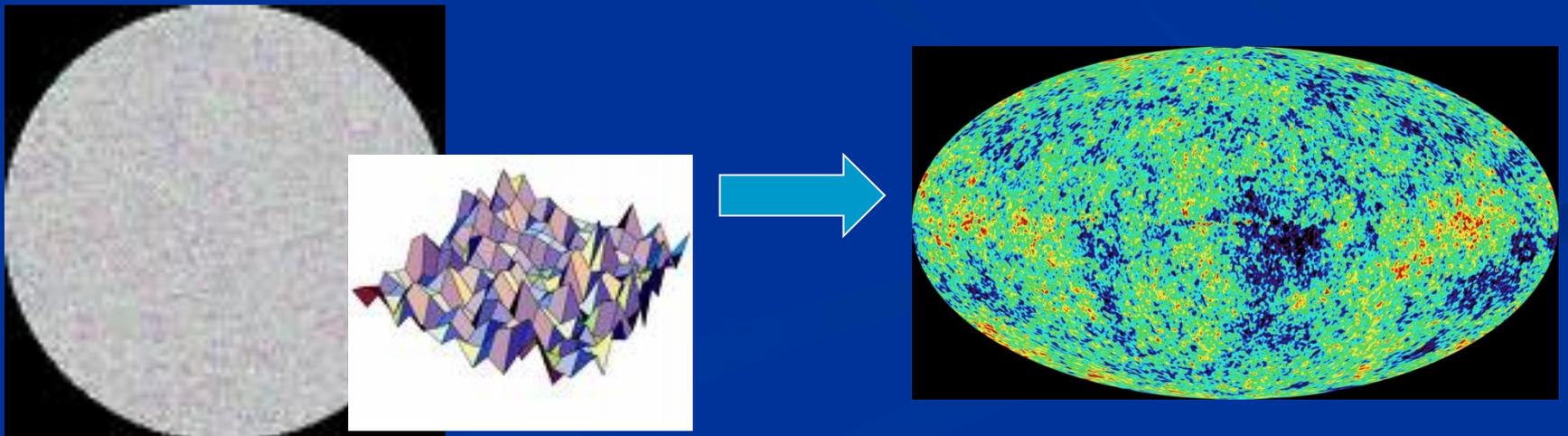
Alle Teilchen bewegen  
sich mit Lichtgeschwindigkeit,  
wie Lichtteilchen

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**

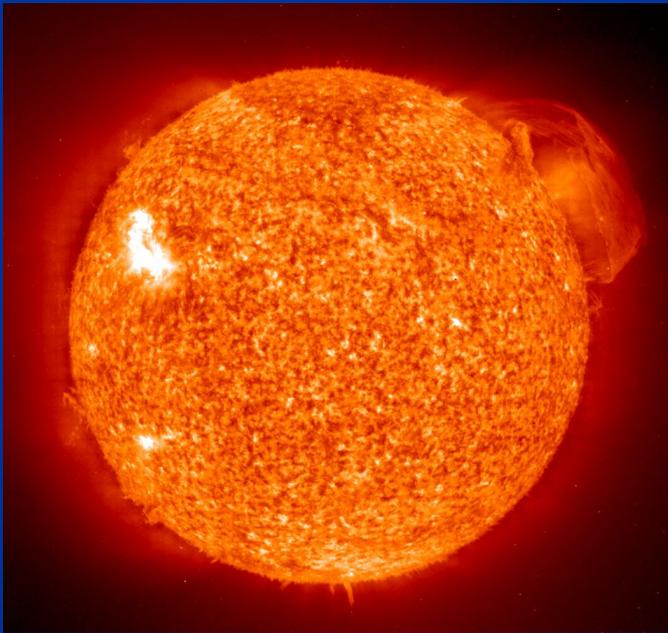
**Plasma bei extrem kalter Temperatur**

**später:**

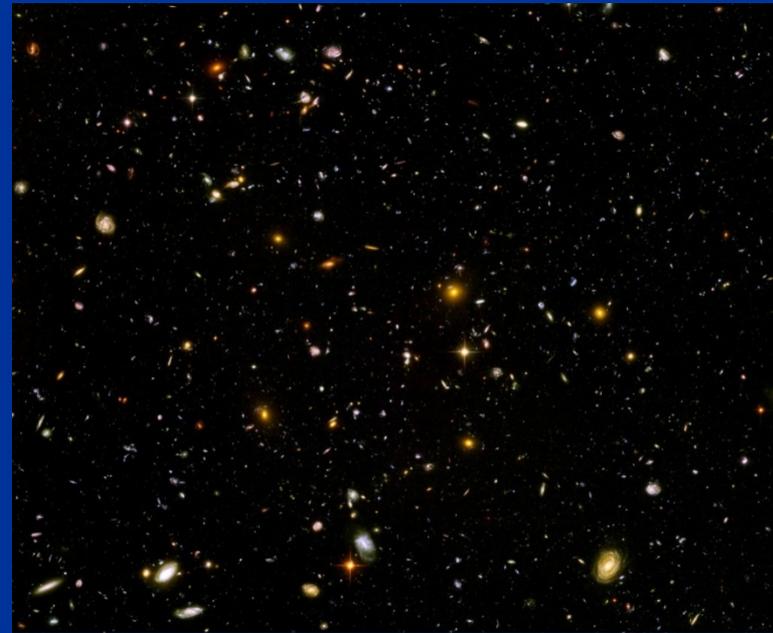
**Schrumpfen und Erwärmung**

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

Plasma: undurchsichtig



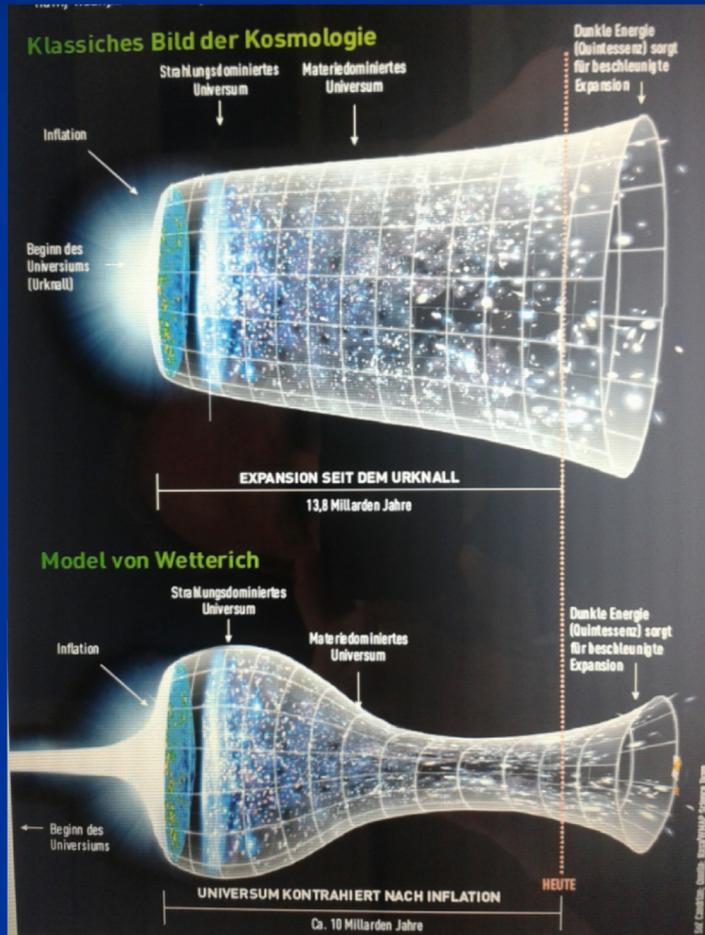
Atome: durchsichtig



wie im Innern der Sonne

Weltall heute

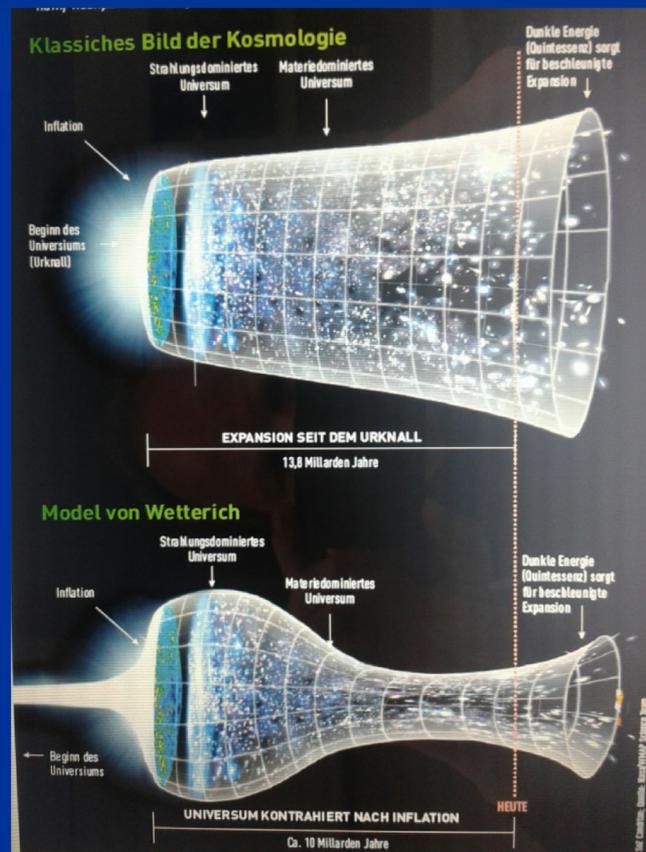
# Beide Bilder beschreiben Beobachtungen richtig



Heißer Urknall

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

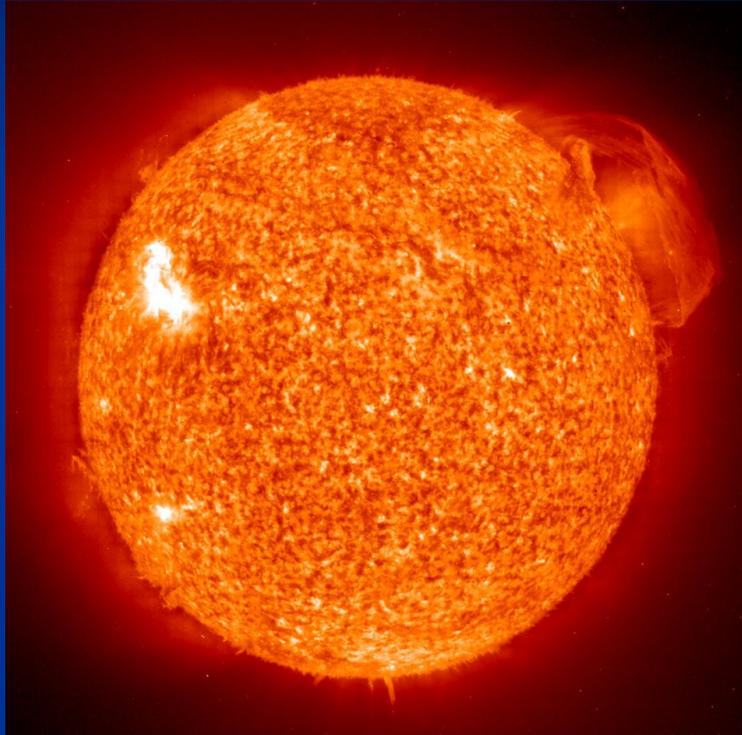
# Beide Bilder beschreiben die gleiche Realität Mathematische Äquivalenz



Heißer Urknall

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

# Urknall oder Kältestarre ?



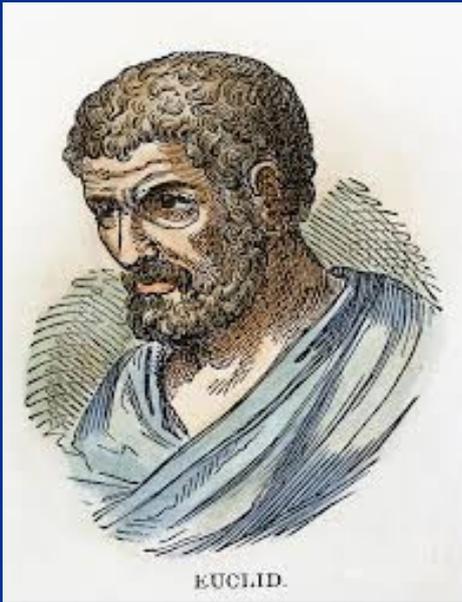
Kältestarre : nur die Maß -Einheiten  
für Zeit, Temperatur etc. sind verschieden  
wegen verschiedener Massen!

*Urknall ist nicht falsch,*

*aber alternative Bilder existieren !*

# Raum und Zeit

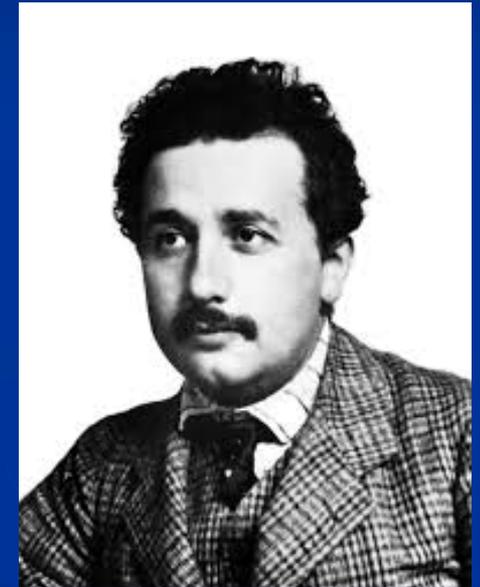
# Was ist Raum ?



Euclid



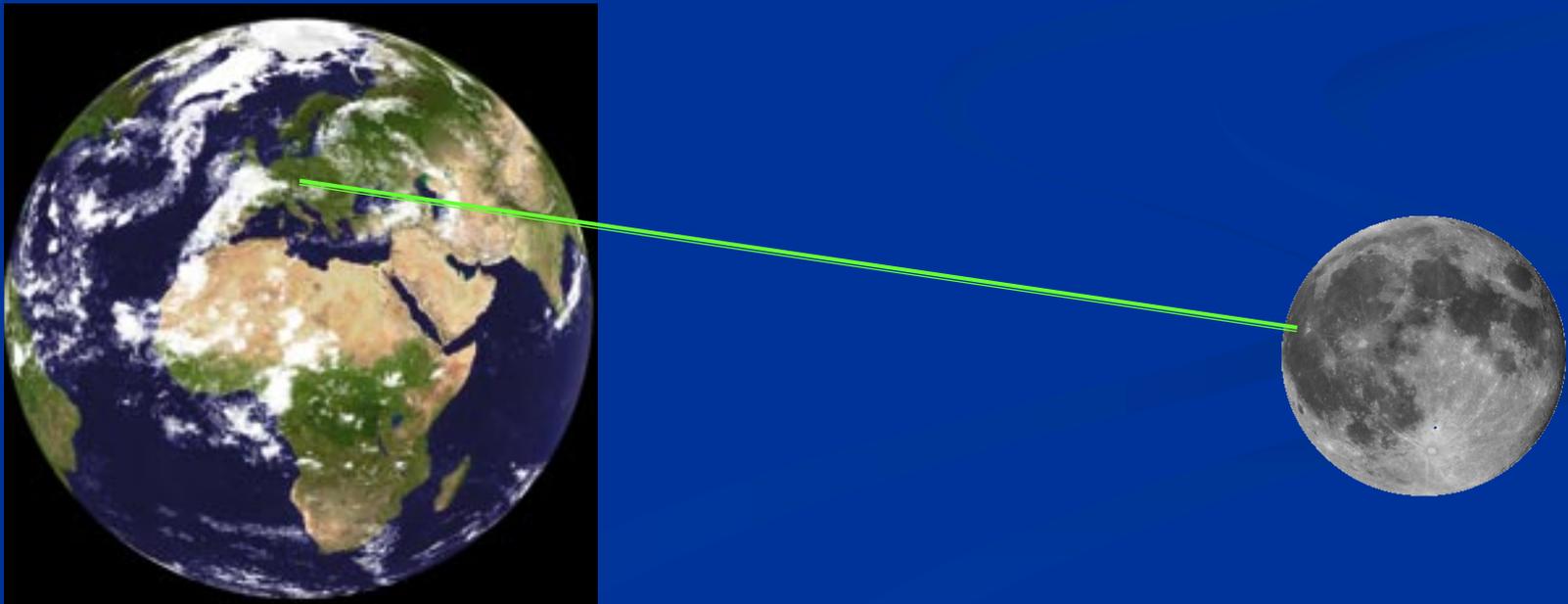
Newton



Einstein

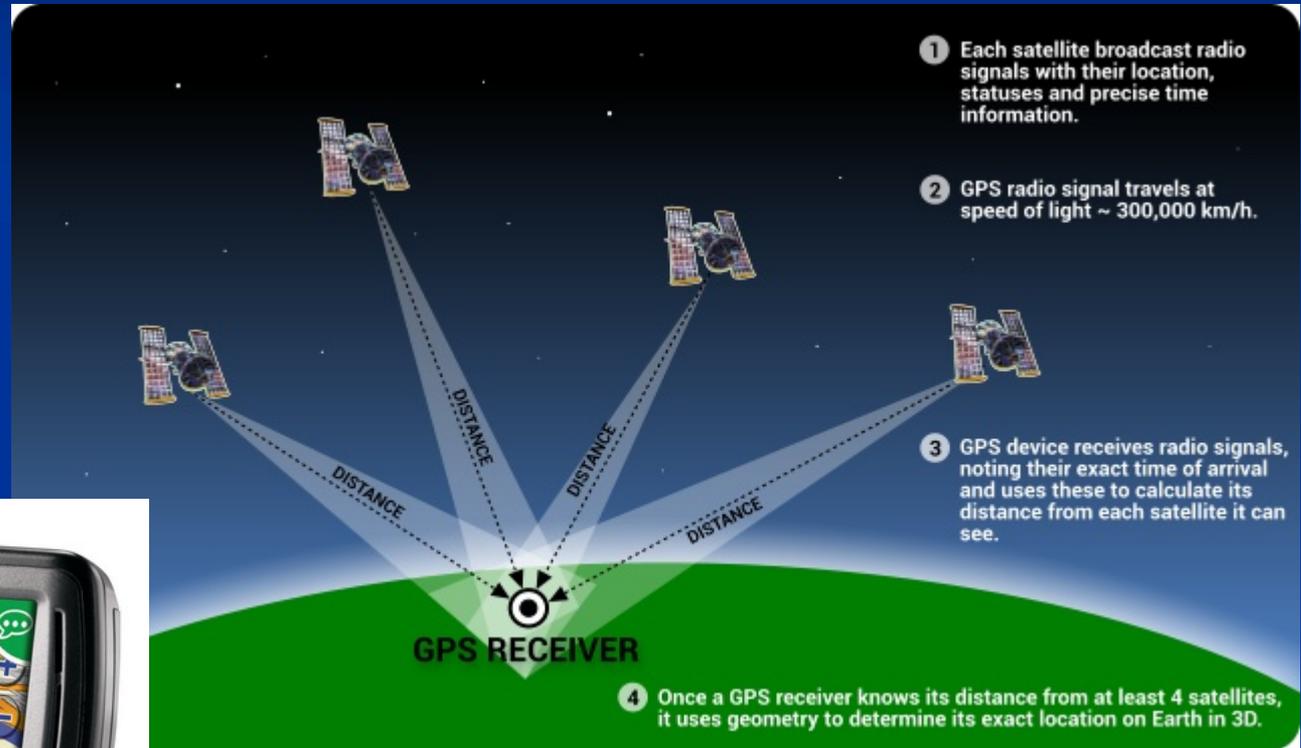
# Ist Raum einfach da ?

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

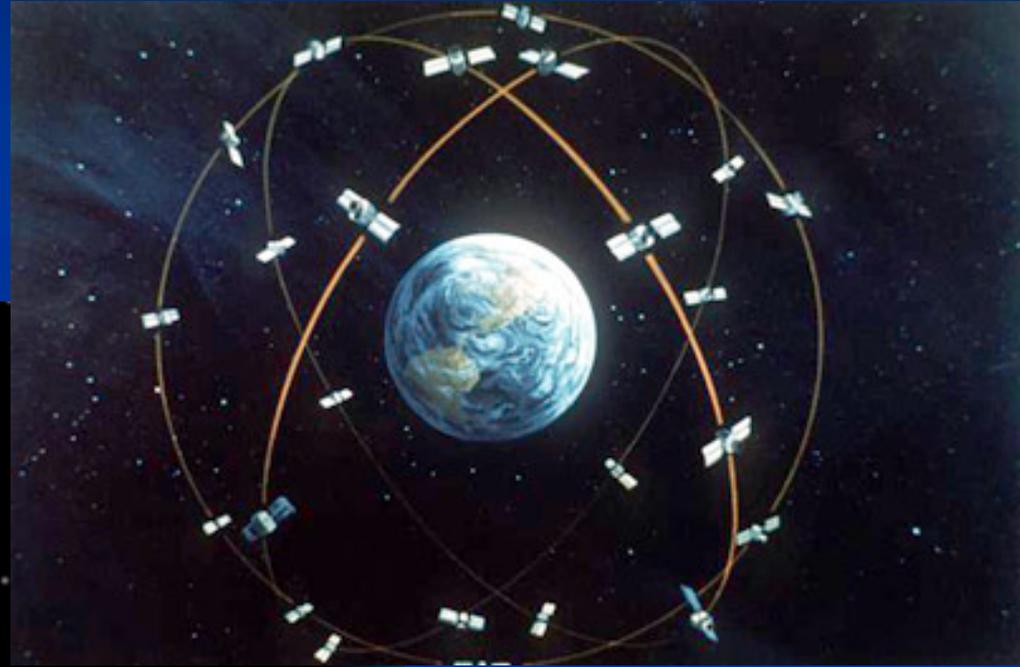


*Wo nichts ist ,  
ist auch kein Raum*

# GPS benutzt Lichtwellen ( bzw. Radiowellen )



# „Konstruktion des Raums mit Licht“



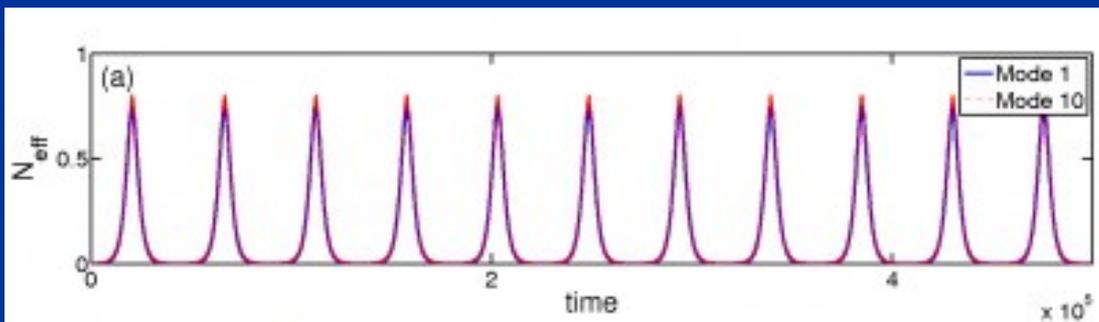
# Raumzeit

## 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.

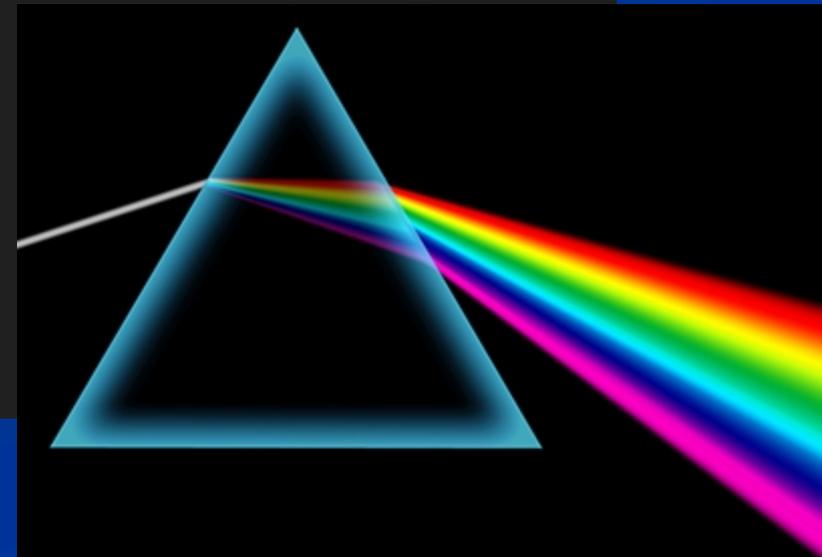
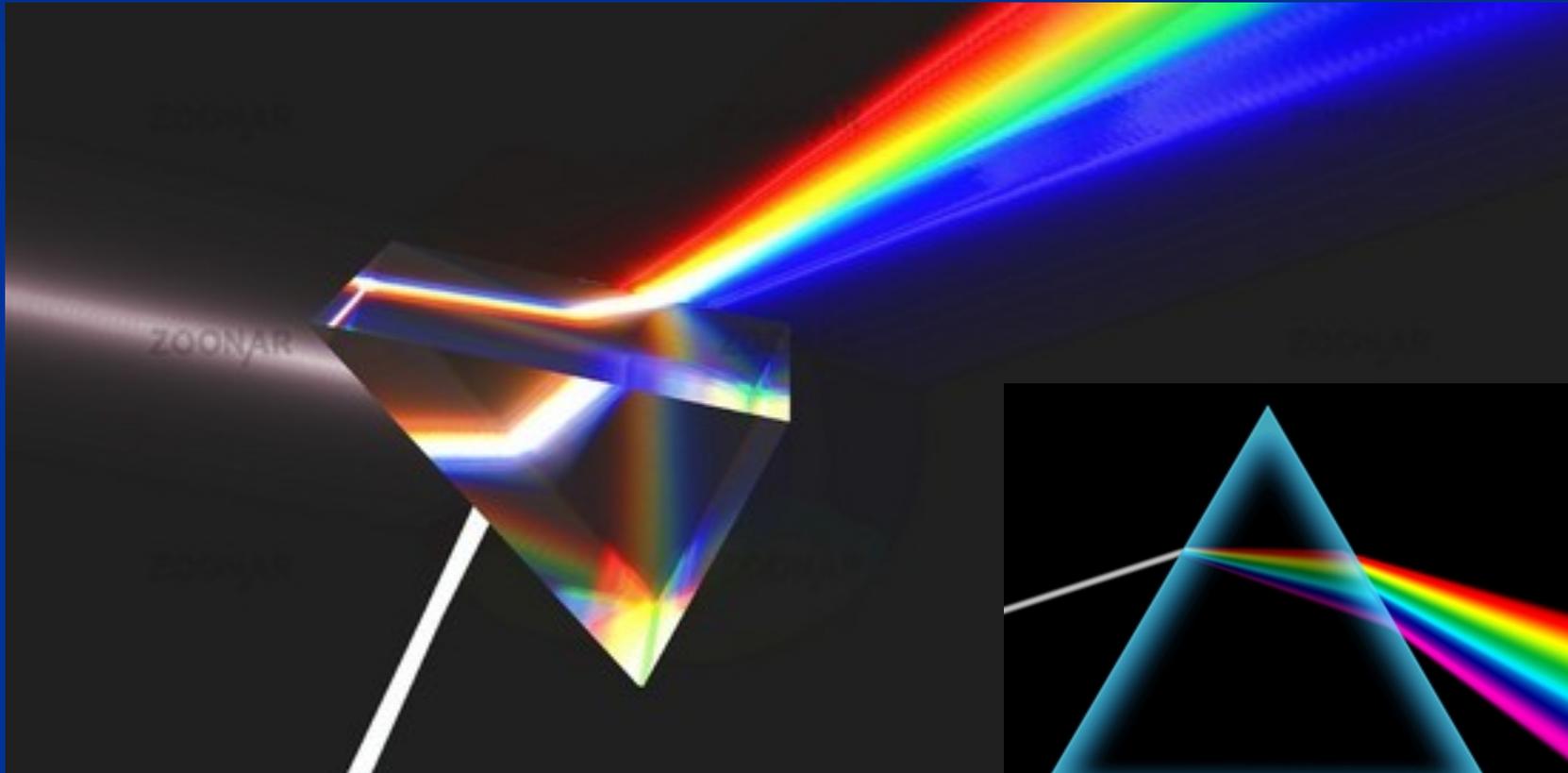


(1) Raum und Zeit sind  
*Eigenschaften* des Materiellen

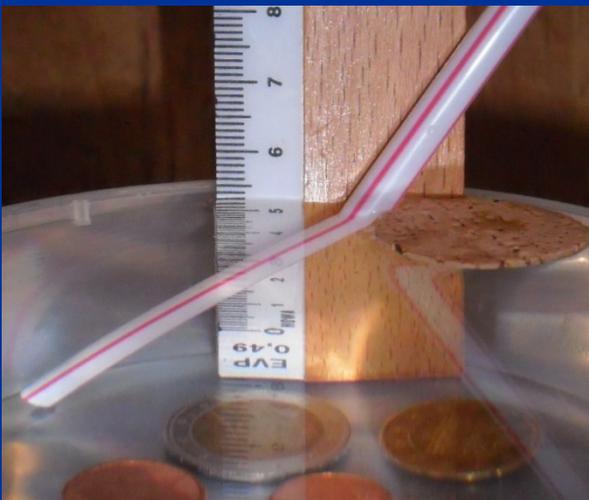
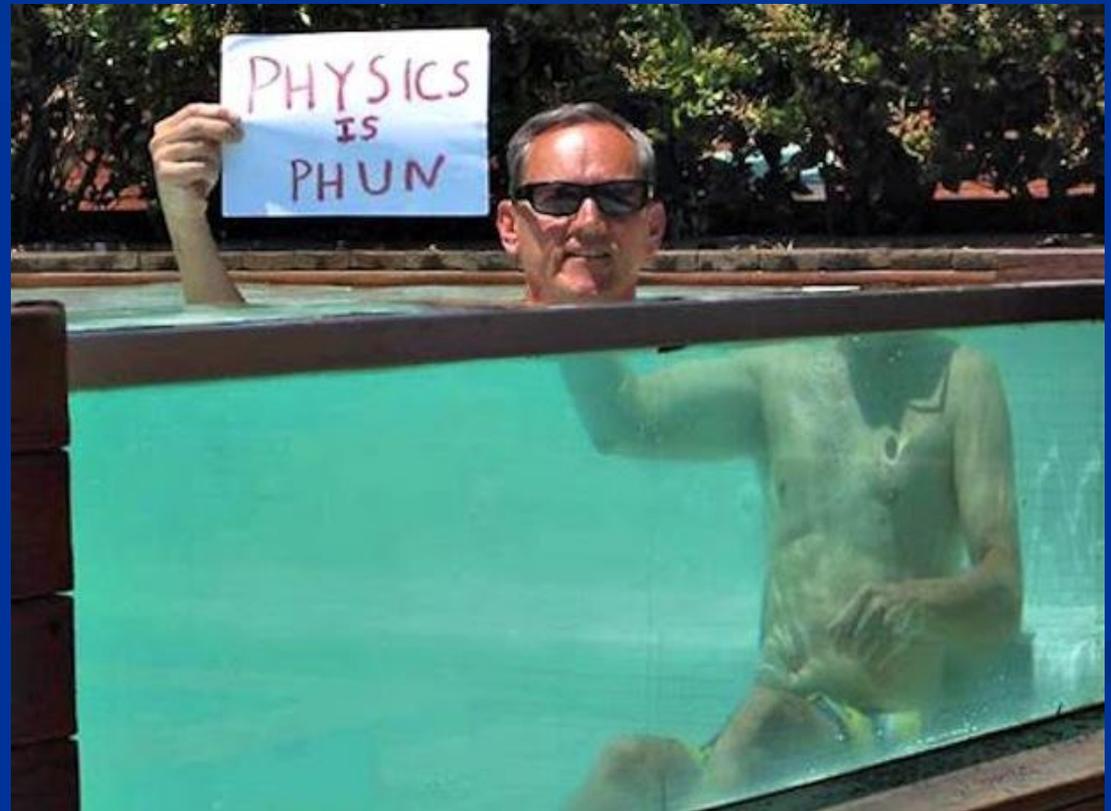
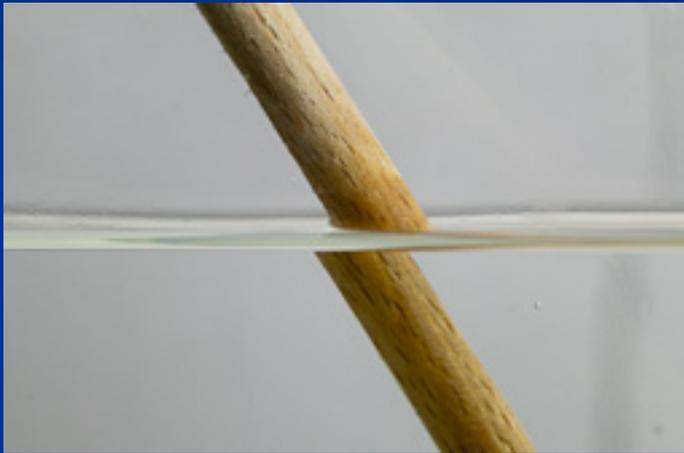
In Abwesenheit von Teilchen :  
Raum und Zeit sind  
Eigenschaften des Vakuums

**Raumzeit wird vom  
Materiellen beeinflusst**

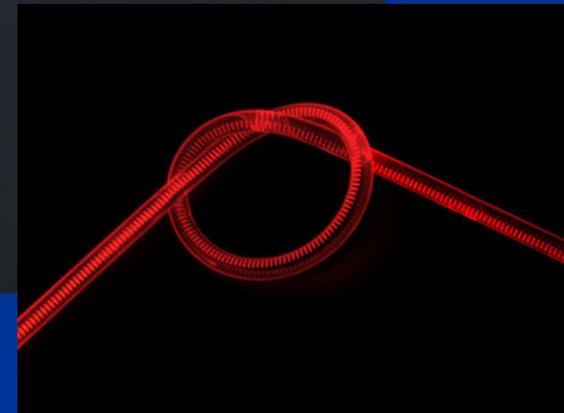
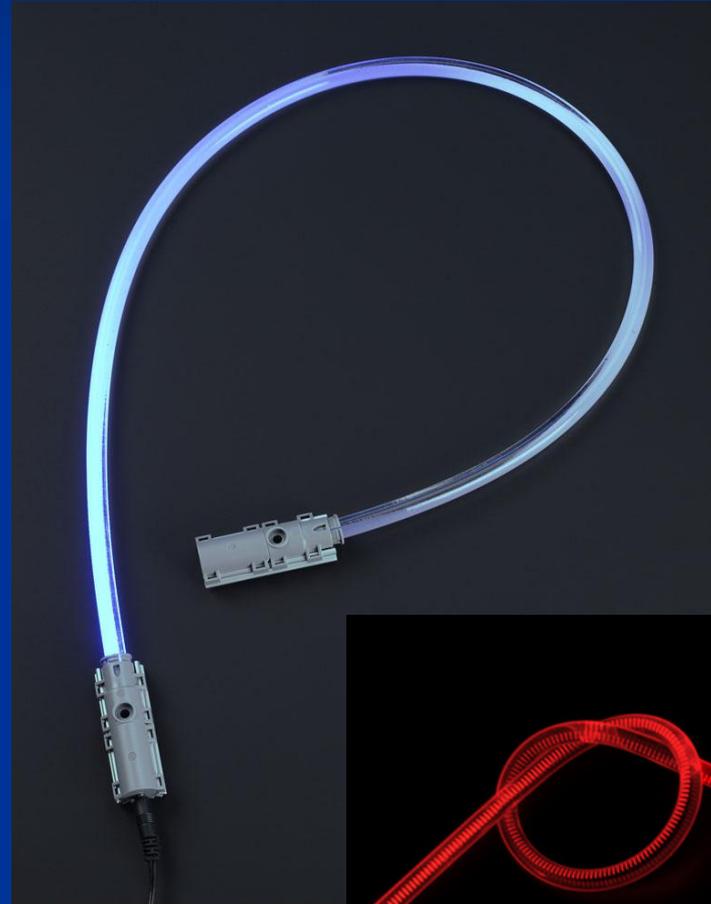
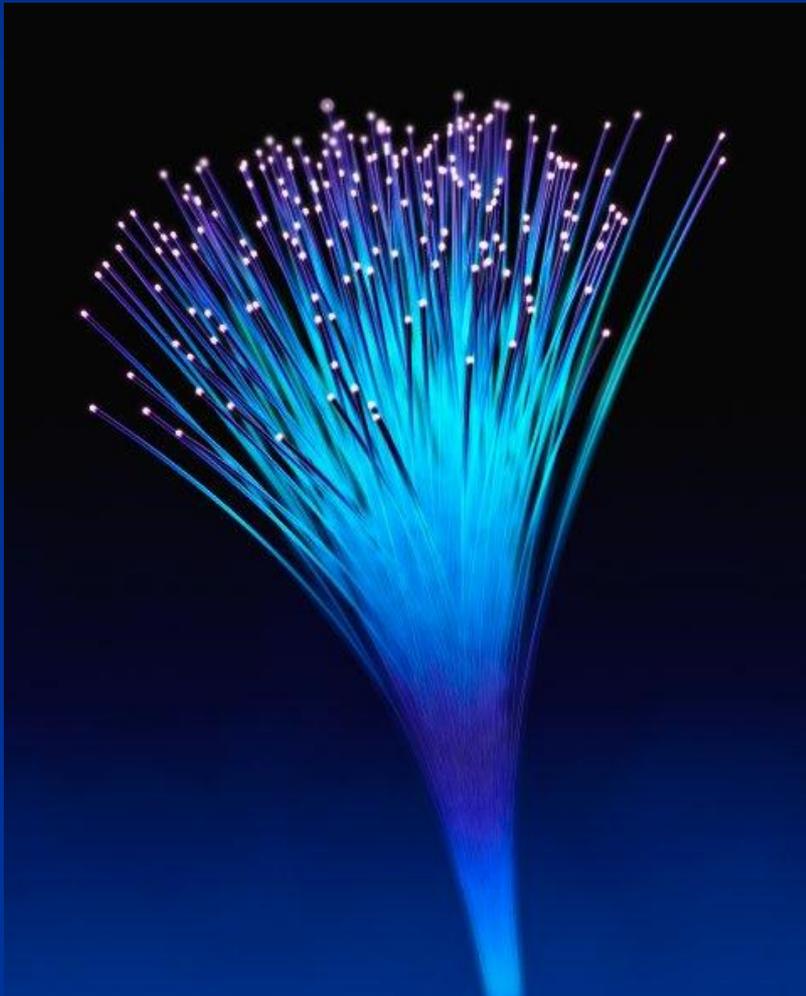
# Licht kann auch auf krumme Bahnen kommen



# Licht wird durch Materie von Ausbreitung auf Geraden abgelenkt

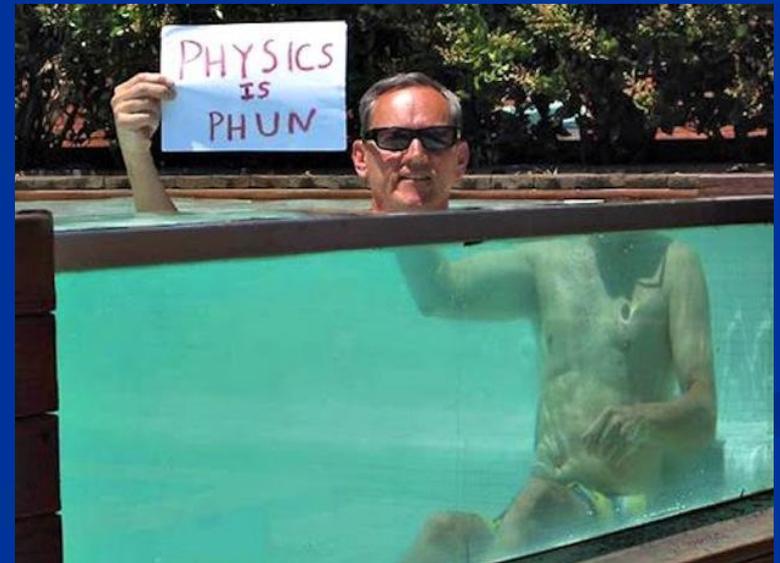
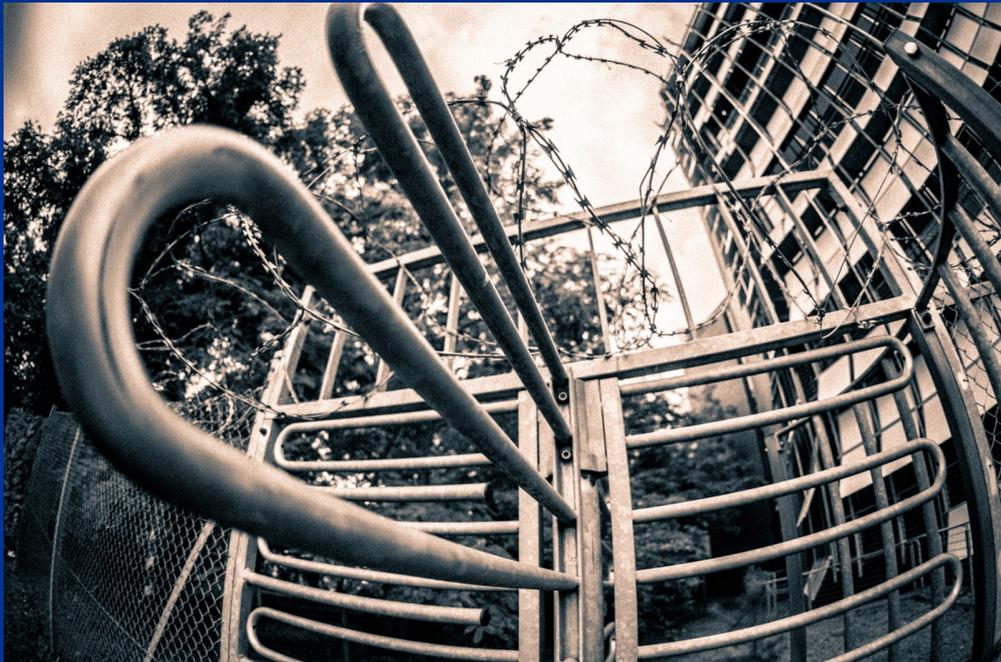


# Lichtausbreitung wird durch Materie beeinflusst

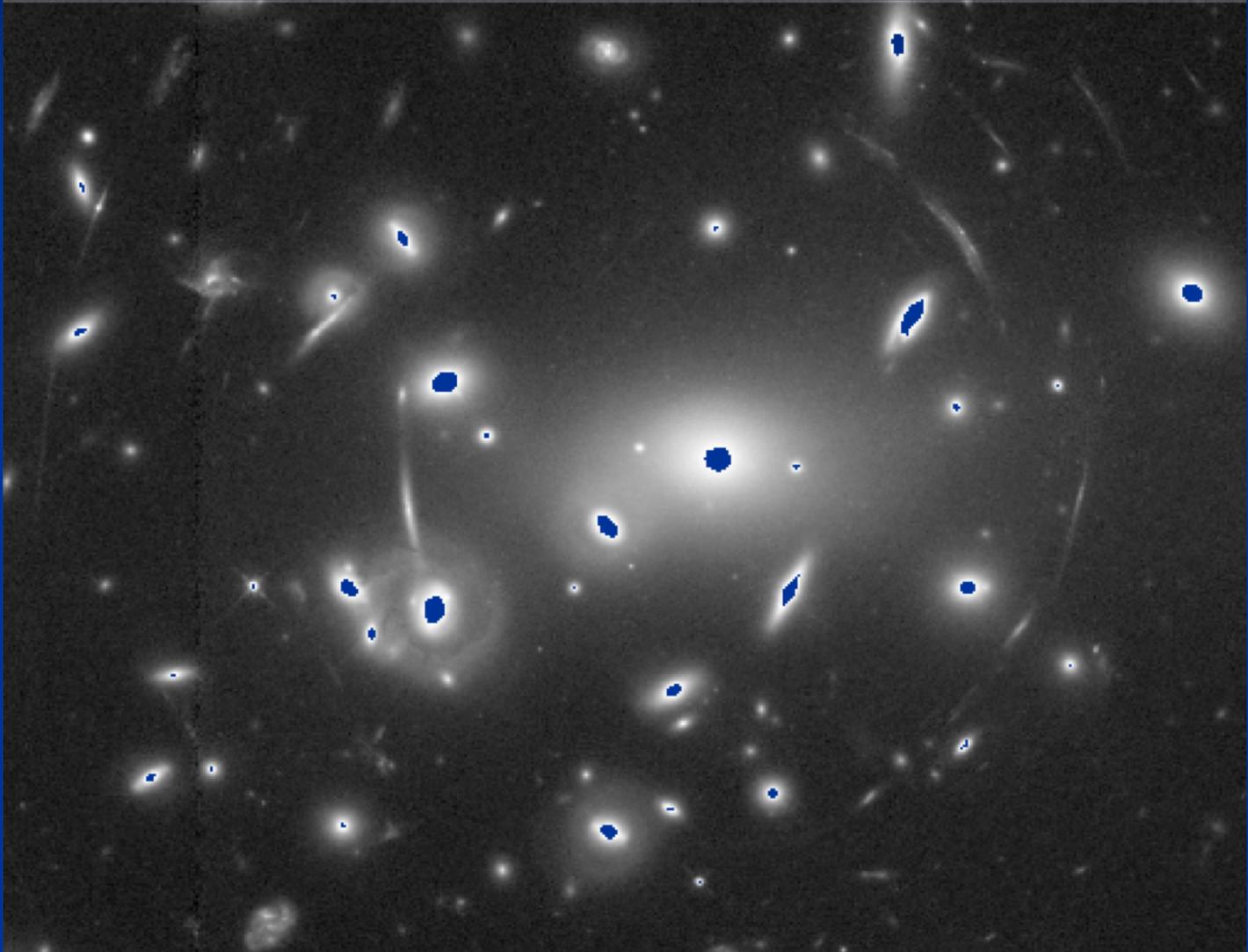




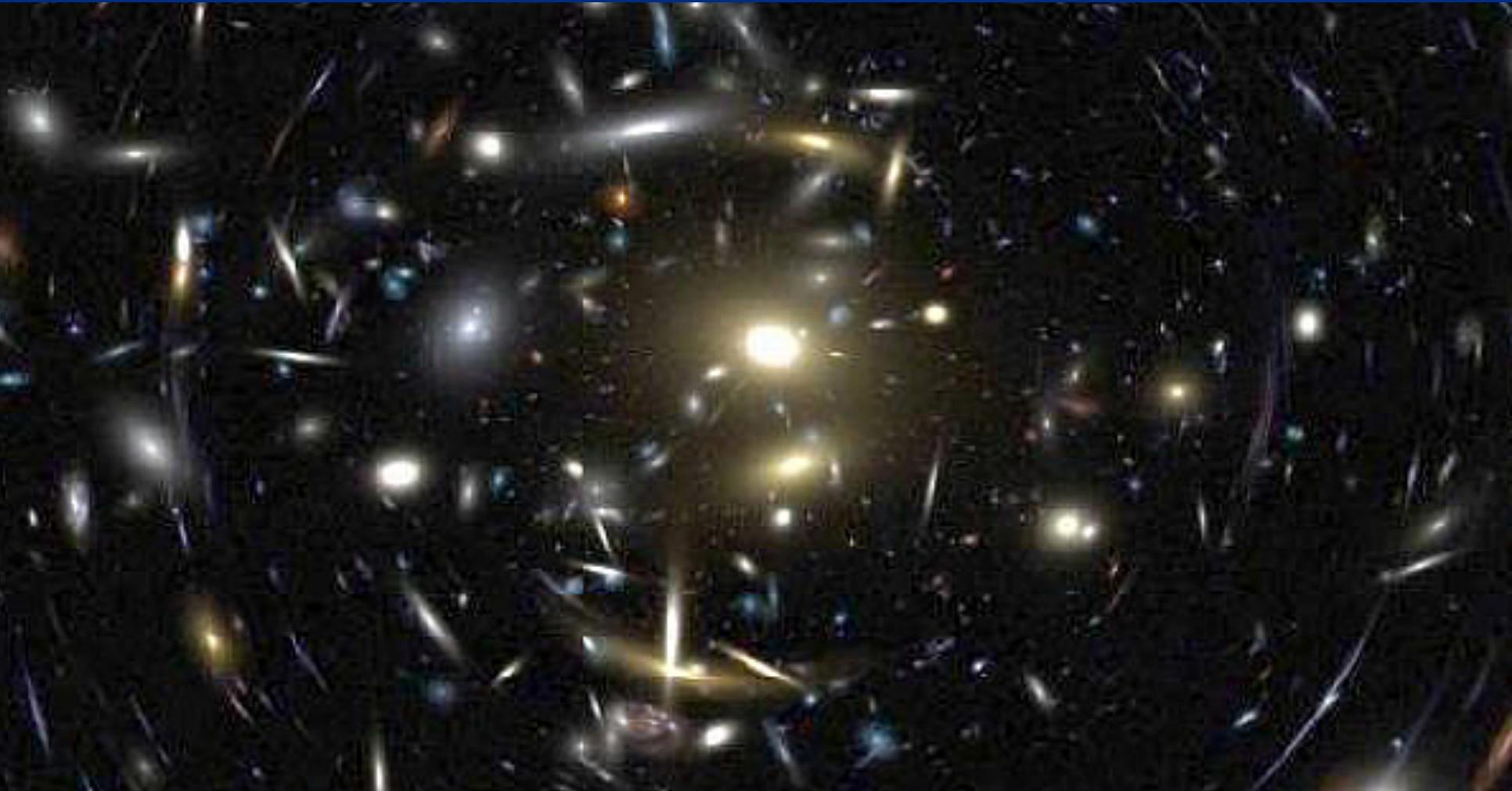
# Glas oder Wasser kann Lichtausbreitung beeinflussen



und auch der leere Raum



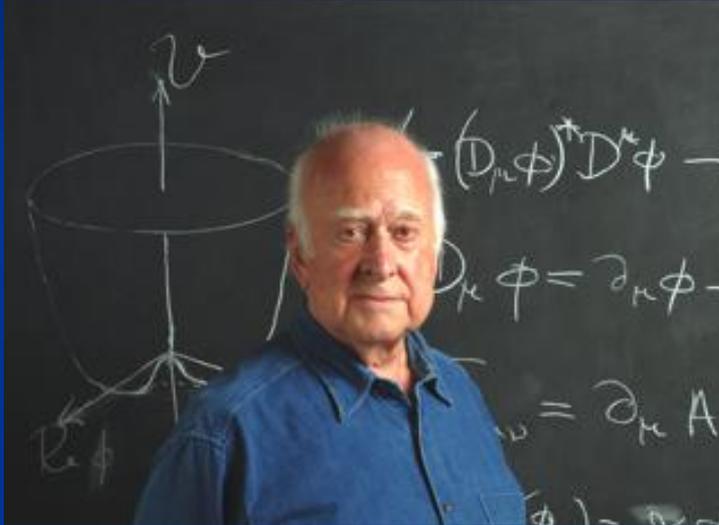
# Gravitationslinse



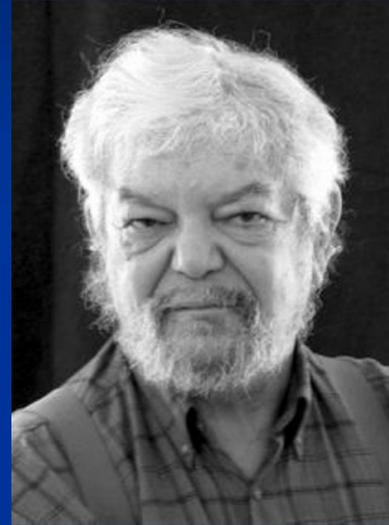
*Das Vakuum ist nicht leer.*

*Physikalische Gesetze hängen  
vom Zustand des Materiellen ab.*

# Brout-Englert-Higgs Mechanismus der spontanen Symmetriebrechung bestätigt



Higgs



Brout



Englert

**Gesetze hängen vom Vakuum ab**

# Gravitationsfeld oder 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

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

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

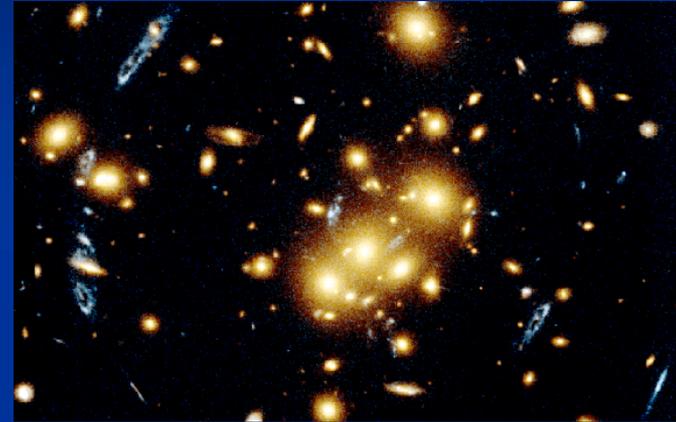
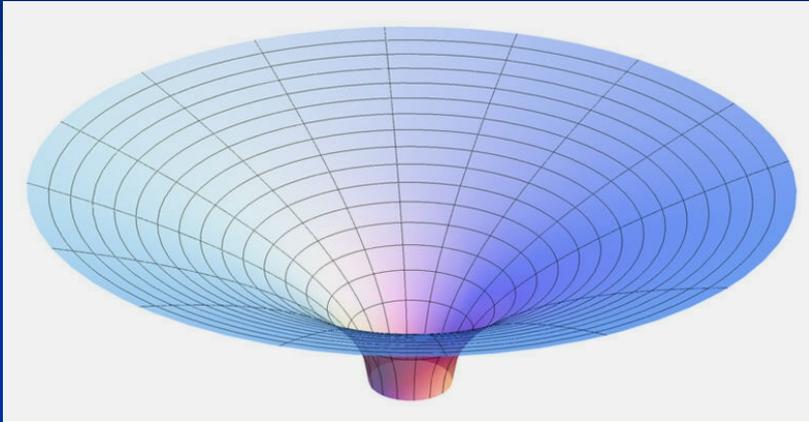
$$g_{\mu\nu} : (g_{00}, g_{01}, g_{02}, g_{03}, g_{11}, g_{12}, g_{13}, g_{22}, g_{23}, g_{33})$$

Matrix :

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

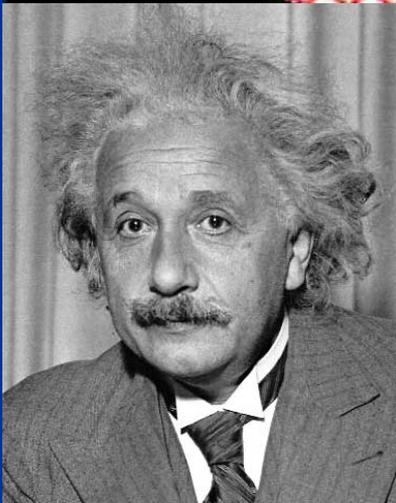
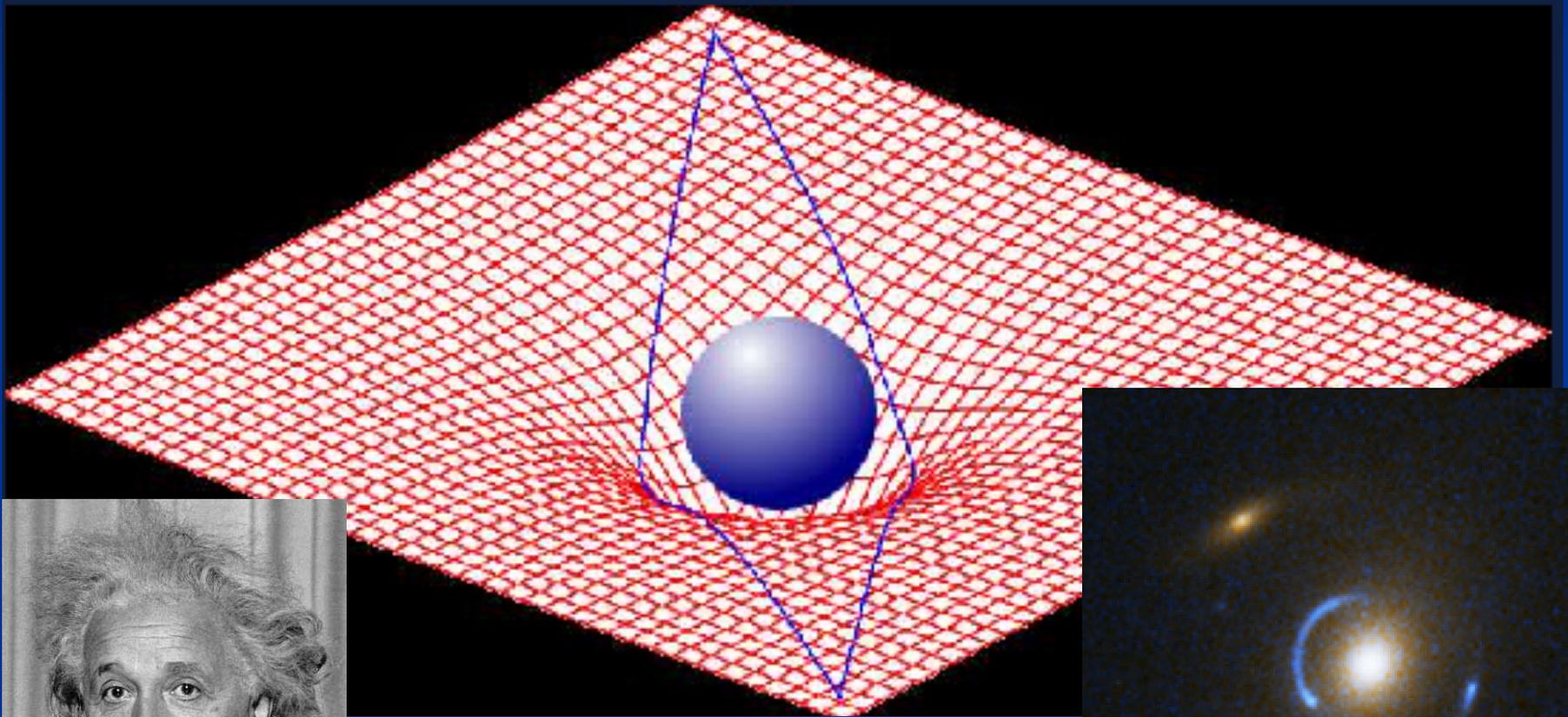
Eines der Felder ist das  
Gravitationspotenzial von Newton

# Metrik beeinflusst Lichtausbreitung



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

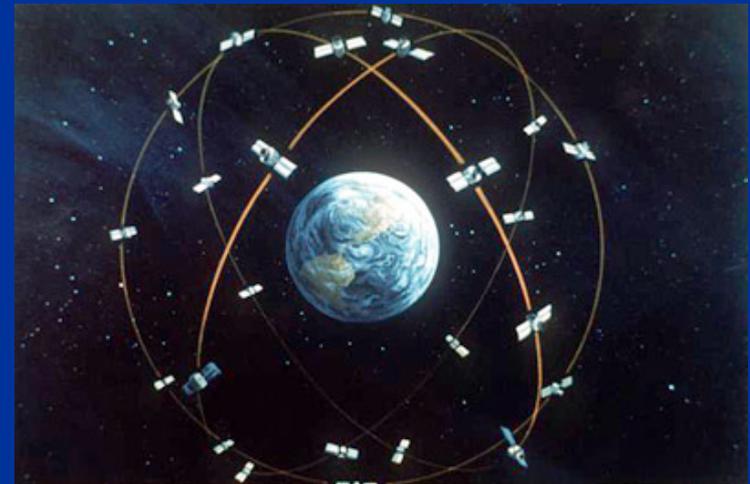
# Lichtstrahlen werden durch Massen abgelenkt



# 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



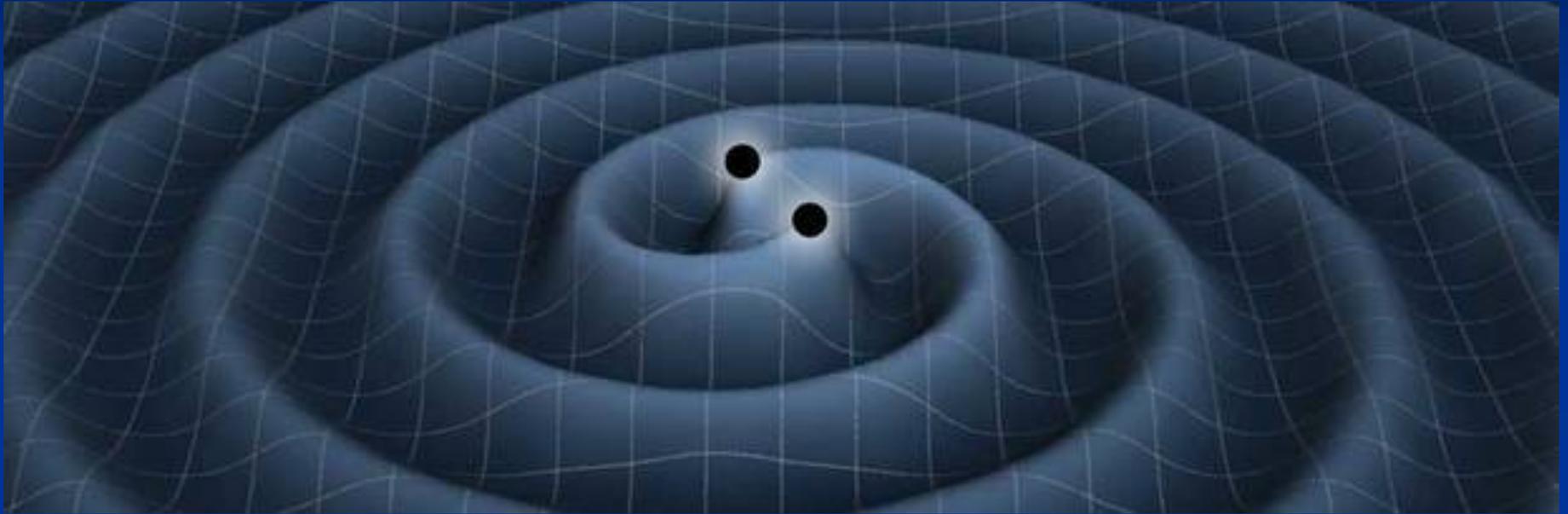
Gauss



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 **verzerrn** 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

# Expansion des Raums

- Expansion des Raums ist Änderung des Werts des metrischen Felds
- Mehr nicht !
- Sieht nicht mehr ganz so dramatisch aus

# 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 :

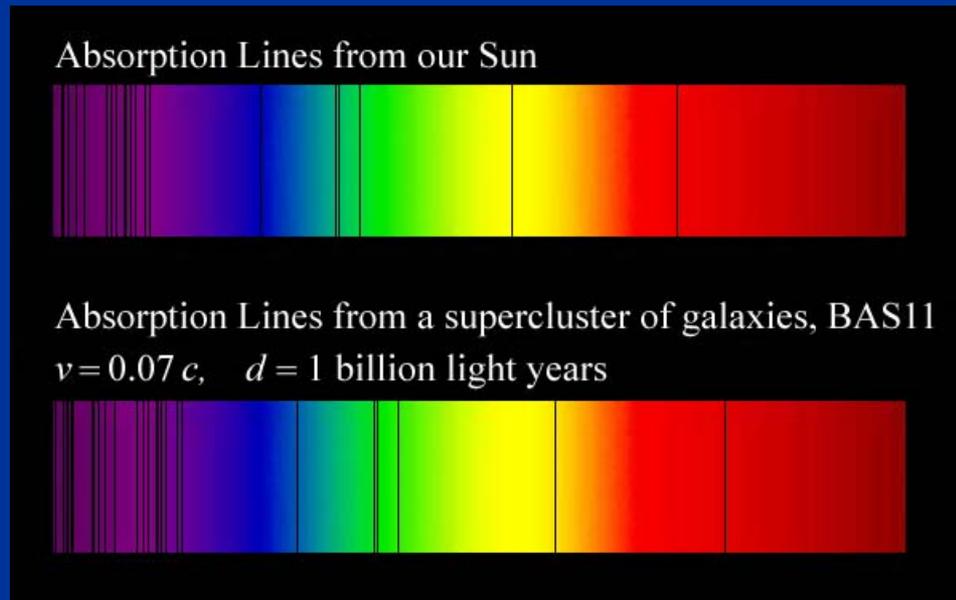
Massen hängen vom Kosmon-Feld ab, und  
dieses wächst.

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

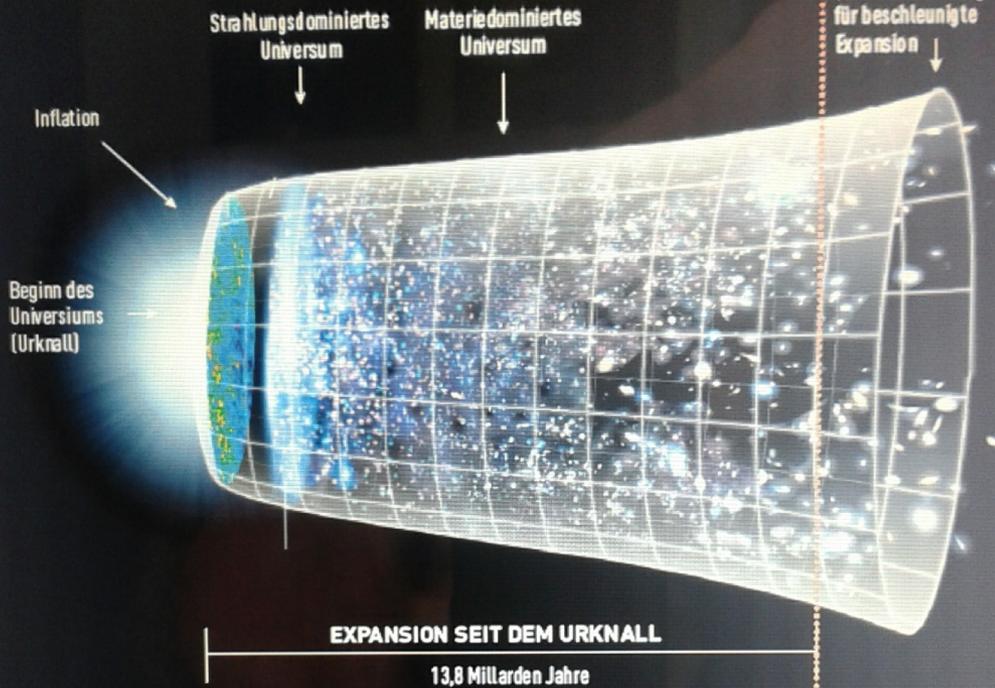
*alte Idee : Hoyle, Narlikar,...*

**Das Universum schrumpft ...**

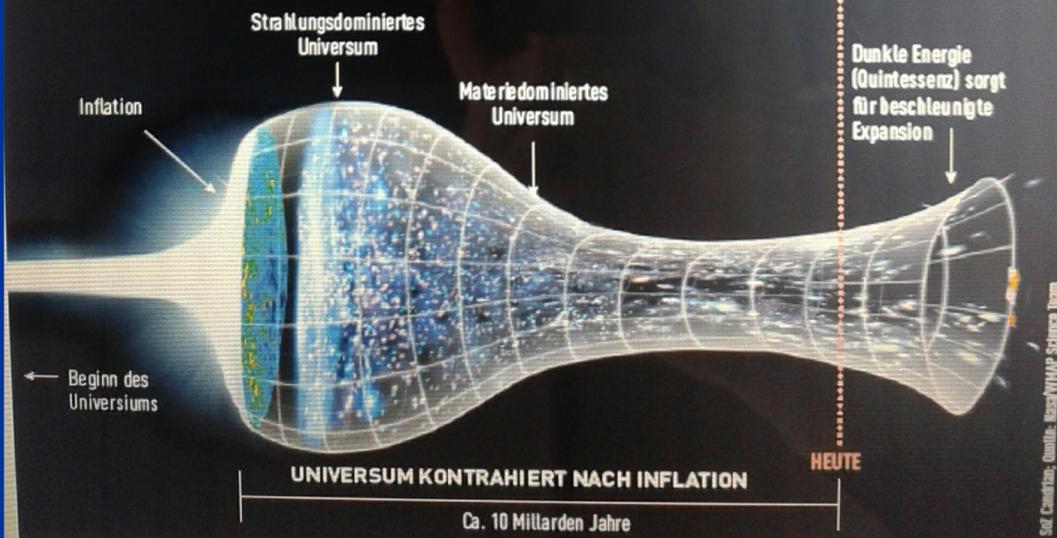
**während**

**Massen der Elementarteilchen  
und Planck Masse wachsen**

## Klassisches Bild der Kosmologie

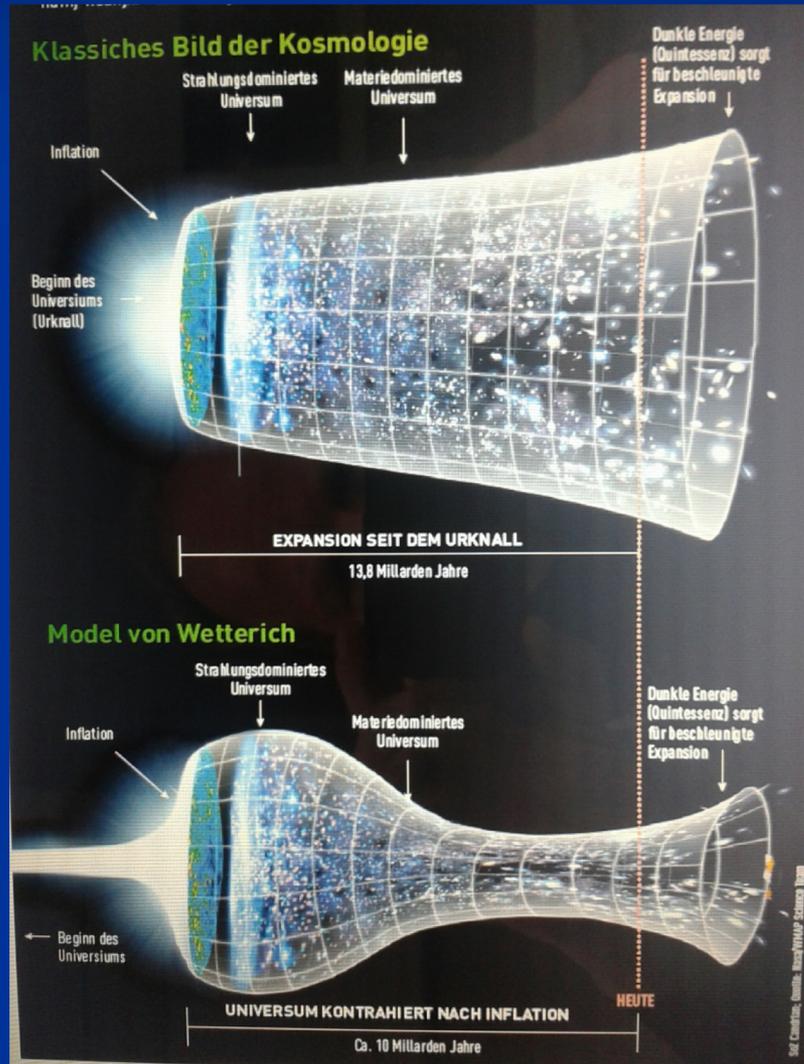


## Model von Wetterich



Sonntagszeitung  
Zürich  
Laukenmann

# (3) Zeit, Raum und Geometrie sind nicht eindeutig



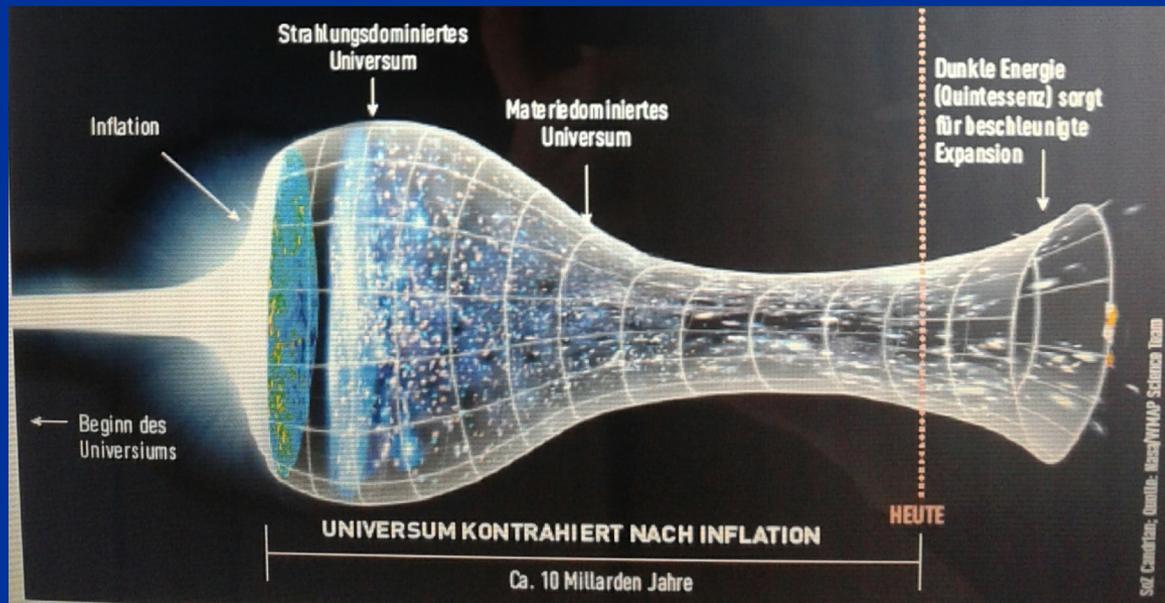
Heißer Urknall

Das Universum, das aus der Kältestarre kam

Was war am „Anfang“ ?

# Universum existiert bis in die unendliche Vergangenheit

*keine Singularität!*



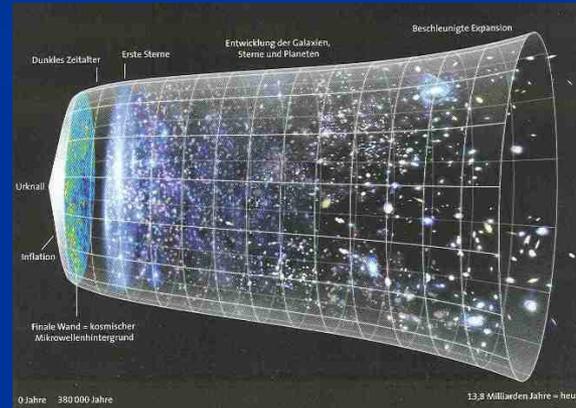
# Ewiges Universum

- *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

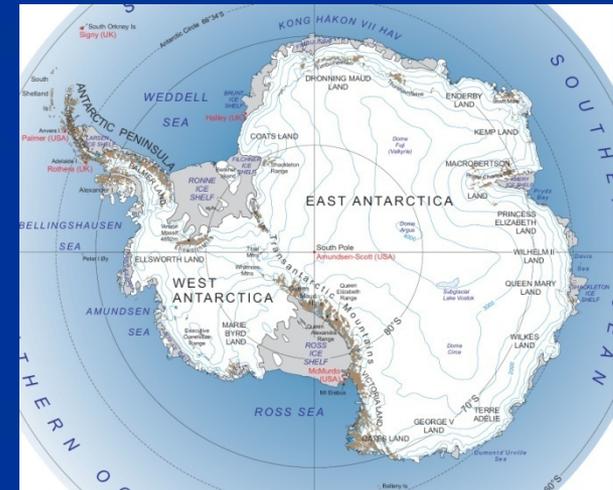
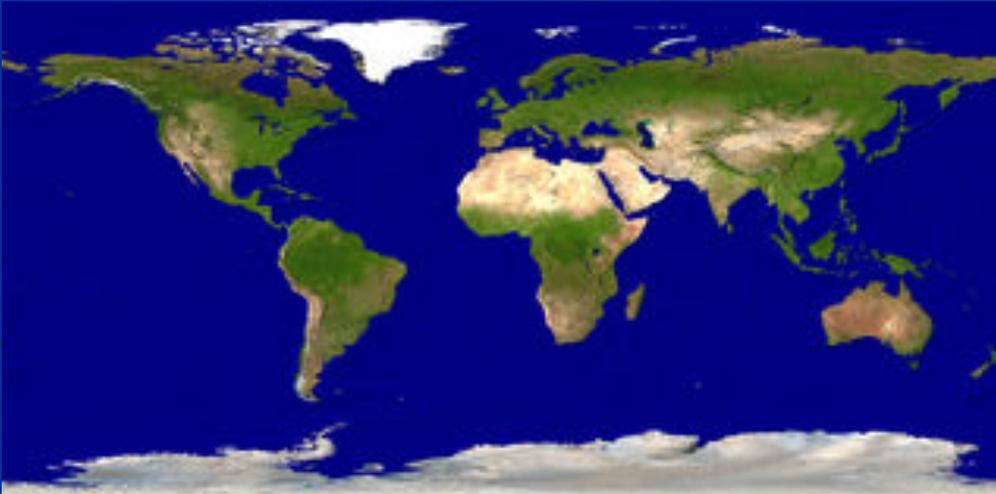
- **Singularität**



- 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



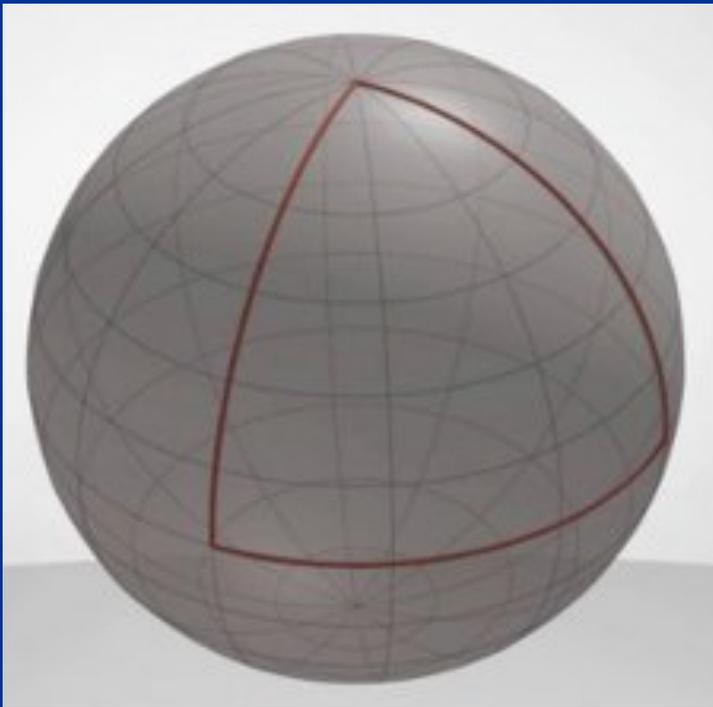
# Zusammenfassung



**(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**

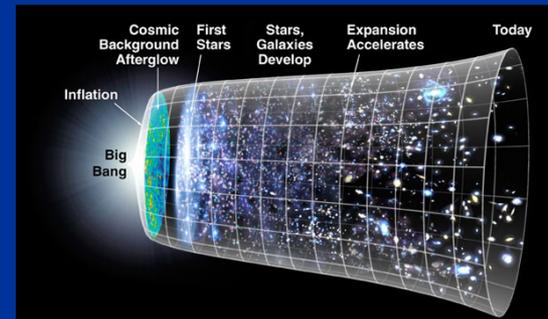


$$ds^2 = \sum_{\mu=0}^3 \sum_{\nu=0}^3 g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$

# (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**

end