

# Wahrheit, Realität und Virtualität in der Physik über die (Un-)Möglichkeit experimenteller Verifikation

Daniel Grumiller

Institut für Theoretische Physik  
Technische Universität Wien

Österreichischer Wissenschaftstag 2014  
Wahrheit in den Wissenschaften  
Semmering, Oktober 2014



A photograph of a weathered wooden fence with a quote by Mark Twain painted on it. The quote is written in large, colorful, block letters. The background shows trees and a clear blue sky.

IF YOU TELL THE TRUTH  
YOU DON'T HAVE TO  
REMEMBER ANYTHING  
- MARK TWAIN

# Überblick

Die Wahrheit?

Nichts als die Wahrheit?

Die ganze Wahrheit?

Fallbeispiel Multiversum

# Überblick

Die Wahrheit?

Nichts als die Wahrheit?

Die ganze Wahrheit?

Fallbeispiel Multiversum

“Telling the truth  
and making  
someone cry is  
better than telling  
a lie and making  
someone smile.”  
-Paolo Coelho

## Wahrheitsdefinition

Entnommen aus dem Merriam-Webster Dictionary (links) und dem Duden (rechts)

### the truth

- ▶ the real facts about something
- ▶ the things that are true
- ▶ the quality or state of being true
- ▶ a statement or idea that is true or is accepted as true

### true

- ▶ agreeing with the facts
- ▶ not false
- ▶ real or genuine
- ▶ having all the expected or necessary qualities of a specified type of person or thing

### die Wahrheit

- ▶ die Übereinstimmung einer Aussage mit der Sache, über die sie gemacht wird
- ▶ das Wahrsein, die Richtigkeit
- ▶ wirklicher, wahrer Sachverhalt, Tatbestand
- ▶ Erkenntnis (als Spiegelbild der Wirklichkeit), Lehre des Wahren

### wahr

- ▶ der Wahrheit, Wirklichkeit, den Tatsachen entsprechend
- ▶ wirklich geschehen, nicht erdichtet, erfunden o.Ä.
- ▶ tatsächlich, wirklich
- ▶ echt, aufrichtig; die Bezeichnung verdienend

# Wahrheitsdefinition

Entnommen aus dem Merriam-Webster Dictionary (links) und dem Duden (rechts)

## the truth

- ▶ the real facts about something
- ▶ ...
- ▶ ...
- ▶ ...

## true

- ▶ agreeing with the facts
- ▶ not false
- ▶ ...
- ▶ ...

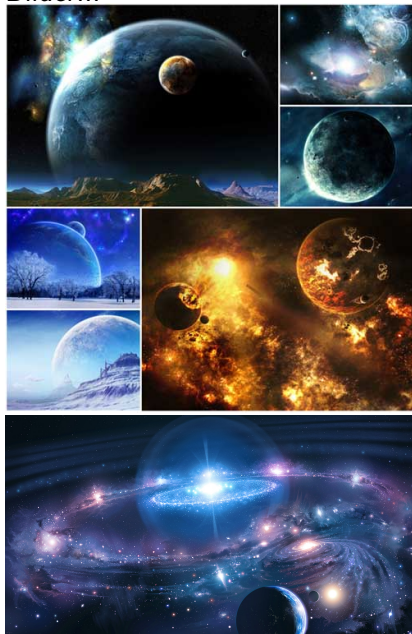
## die Wahrheit

- ▶ die Übereinstimmung einer Aussage mit der Sache, über die sie gemacht wird
- ▶ ...
- ▶ ...
- ▶ ...

## wahr

- ▶ der Wahrheit, Wirklichkeit, den Tatsachen entsprechend
- ▶ ...
- ▶ ...
- ▶ ...

Bilder...



...oder Gleichungen?

Maxwell	$dF = 0 \quad *d*F = j$
Einstein	$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = T_{\mu\nu}$
Schrödinger	$i\hbar\partial_t\Psi = \hat{H}\Psi$
Dirac	$(i\nabla - m)\psi = 0$
Euler-Lagrange	$(\partial/\partial\phi - \partial(\partial/\partial\partial\phi))\mathcal{L} = 0$
Standard Model	$SU(3)_C \times SU(2)_Y \times U(1)_Y$
Renormalization	$1 + 2 + 3 + \dots = -\frac{1}{12}$
Natural units	$\hbar = c = G_N = k_B = 1$
Schwarzschild	$(1 - \frac{2M}{r}) du^2 + 2 du dr + \dots$
Bekenstein	$S_{\text{BH}} \propto A_h$
Hawking	$S_{\text{BH}} = A_h/4$
Chern-Simons	$\frac{k}{4\pi} \text{tr} (A dA + \frac{2}{3} A \wedge A \wedge A)$
AdS/CFT	$\langle \exp \int \phi_0 \mathcal{O} \rangle_{\text{CFT}} = Z_{\text{AdS}}(\phi_0)$
chiral gravity	$c_L = 24 \quad c_R = 0$
log CFT	$\langle t(z)t(0) \rangle = -b \ln  z ^2 / z^4$



# Idealisierte Wahrheitsfindungsprozesse in der Physik

Links: Bottom-up

Rechts: Top-down

▶ Beobachtung eines Effekts

Einfaches Beispiel:

▶ fallender Ball

# Idealisierte Wahrheitsfindungsprozesse in der Physik

Links: Bottom-up

Rechts: Top-down

- ▶ Beobachtung eines Effekts
- ▶ Systematisches Ausmessen des Effekts

Einfaches Beispiel:

- ▶ fallender Ball
- ▶ vierfacher Weg ergibt etwa doppelte Zeit

# Idealisierte Wahrheitsfindungsprozesse in der Physik

Links: Bottom-up

Rechts: Top-down

- ▶ Beobachtung eines Effekts
- ▶ Systematisches Ausmessen des Effekts
- ▶ Phänomenologische Beschreibung des Effekts

Einfaches Beispiel:

- ▶ fallender Ball
- ▶ vierfacher Weg ergibt etwa doppelte Zeit
- ▶  $\text{Weg} \propto \text{Zeit}^2$

# Idealisierte Wahrheitsfindungsprozesse in der Physik

Links: Bottom-up

Rechts: Top-down

- ▶ Beobachtung eines Effekts
- ▶ Systematisches Ausmessen des Effekts
- ▶ Phänomenologische Beschreibung des Effekts
- ▶ Theorie, die diesen Effekt erklärt

Einfaches Beispiel:

- ▶ fallender Ball
- ▶ vierfacher Weg ergibt etwa doppelte Zeit
- ▶  $\text{Weg} \propto \text{Zeit}^2$
- ▶  $s = \frac{g}{2} t^2$ ,  $g$  ist universelle Konstante

# Idealisierte Wahrheitsfindungsprozesse in der Physik

Links: Bottom-up

Rechts: Top-down

- ▶ Beobachtung eines Effekts
- ▶ Systematisches Ausmessen des Effekts
- ▶ Phänomenologische Beschreibung des Effekts
- ▶ Theorie, die diesen Effekt erklärt
- ▶ Vorhersage neuer Effekte derselben Theorie

Einfaches Beispiel:

- ▶ fallender Ball
- ▶ vierfacher Weg ergibt etwa doppelte Zeit
- ▶  $\text{Weg} \propto \text{Zeit}^2$
- ▶  $s = \frac{g}{2} t^2$ ,  $g$  ist universelle Konstante
- ▶ alle Körper fallen gleich schnell

# Idealisierte Wahrheitsfindungsprozesse in der Physik

Links: Bottom-up

Rechts: Top-down

- ▶ Beobachtung eines Effekts
- ▶ Systematisches Ausmessen des Effekts
- ▶ Phänomenologische Beschreibung des Effekts
- ▶ Theorie, die diesen Effekt erklärt
- ▶ Vorhersage neuer Effekte derselben Theorie
- ▶ Erkenntnis neuer Zusammenhänge in der Natur

## Einfaches Beispiel:

- ▶ fallender Ball
- ▶ vierfacher Weg ergibt etwa doppelte Zeit
- ▶  $\text{Weg} \propto \text{Zeit}^2$
- ▶  $s = \frac{g}{2} t^2$ ,  $g$  ist universelle Konstante
- ▶ alle Körper fallen gleich schnell
- ▶ Einsichten über Trägheit und Erdbeschleunigung

Bezeichne im weiteren diese Zusammenhänge als wahr

# Idealisierte Wahrheitsfindungsprozesse in der Physik

Links: Bottom-up

Rechts: Top-down

Klassisches Beispiel:

- ▶ Es gibt keine absoluten Geschwindigkeiten, bis auf die Lichtgeschwindigkeit, die gleich ist in allen relativ zueinander bewegten Bezugssystemen

- ▶ Prinzip, das an die Spitze der Überlegungen gestellt wird

# Idealisierte Wahrheitsfindungsprozesse in der Physik

Links: Bottom-up

Klassisches Beispiel:

- ▶ Es gibt keine absoluten Geschwindigkeiten, bis auf die Lichtgeschwindigkeit, die gleich ist in allen relativ zueinander bewegten Bezugssystemen
- ▶ Relativitätstheorie

Rechts: Top-down

- ▶ Prinzip, das an die Spitze der Überlegungen gestellt wird
- ▶ Konstruktion von Theorie(n) kompatibel mit dem Prinzip



# Idealisierte Wahrheitsfindungsprozesse in der Physik

Links: Bottom-up

Klassisches Beispiel:

- ▶ Es gibt keine absoluten Geschwindigkeiten, bis auf die Lichtgeschwindigkeit, die gleich ist in allen relativ zueinander bewegten Bezugssystemen
- ▶ Relativitätstheorie
- ▶ Bewegte Uhren gehen langsamer

Rechts: Top-down

- ▶ Prinzip, das an die Spitze der Überlegungen gestellt wird
- ▶ Konstruktion von Theorie(n) kompatibel mit dem Prinzip
- ▶ Phänomenologische Vorhersage(n) der Theorie(n)

# Idealisierte Wahrheitsfindungsprozesse in der Physik

Links: Bottom-up

Klassisches Beispiel:

- ▶ Es gibt keine absoluten Geschwindigkeiten, bis auf die Lichtgeschwindigkeit, die gleich ist in allen relativ zueinander bewegten Bezugssystemen
- ▶ Relativitätstheorie
- ▶ Bewegte Uhren gehen langsamer
- ▶ Schicke Flugzeug mit sehr genauer Uhr einmal um die Erde und vergleiche mit bodenständiger Uhr

Rechts: Top-down

- ▶ Prinzip, das an die Spitze der Überlegungen gestellt wird
- ▶ Konstruktion von Theorie(n) kompatibel mit dem Prinzip
- ▶ Phänomenologische Vorhersage(n) der Theorie(n)
- ▶ Vorschlag von Experimenten zur Überprüfung

# Idealisierte Wahrheitsfindungsprozesse in der Physik

Links: Bottom-up

Klassisches Beispiel:

- ▶ Es gibt keine absoluten Geschwindigkeiten, bis auf die Lichtgeschwindigkeit, die gleich ist in allen relativ zueinander bewegten Bezugssystemen
- ▶ Relativitätstheorie
- ▶ Bewegte Uhren gehen langsamer
- ▶ Schicke Flugzeug mit sehr genauer Uhr einmal um die Erde und vergleiche mit bodenständiger Uhr
- ▶ Die bewegte Uhr geht tatsächlich langsamer!

Rechts: Top-down

- ▶ Prinzip, das an die Spitze der Überlegungen gestellt wird
- ▶ Konstruktion von Theorie(n) kompatibel mit dem Prinzip
- ▶ Phänomenologische Vorhersage(n) der Theorie(n)
- ▶ Vorschlag von Experimenten zur Überprüfung
- ▶ Bestätigung oder Falsifikation der Theorie(n)

# Idealisierte Wahrheitsfindungsprozesse in der Physik

Links: Bottom-up

Klassisches Beispiel:

- ▶ Es gibt keine absoluten Geschwindigkeiten, bis auf die Lichtgeschwindigkeit, die gleich ist in allen relativ zueinander bewegten Bezugssystemen
- ▶ Relativitätstheorie
- ▶ Bewegte Uhren gehen langsamer
- ▶ Schicke Flugzeug mit sehr genauer Uhr einmal um die Erde und vergleiche mit bodenständiger Uhr
- ▶ Die bewegte Uhr geht tatsächlich langsamer!
- ▶ GPS

Rechts: Top-down

- ▶ Prinzip, das an die Spitze der Überlegungen gestellt wird
- ▶ Konstruktion von Theorie(n) kompatibel mit dem Prinzip
- ▶ Phänomenologische Vorhersage(n) der Theorie(n)
- ▶ Vorschlag von Experimenten zur Überprüfung
- ▶ Bestätigung oder Falsifikation der Theorie(n)
- ▶ Technische Anwendungen von bestätigten Theorien

Bezeichne im weiteren hinreichend bestätigte Theorien als wahr

## Ein Experiment zum Mitmachen

Vier Kärtchen mit Buchstaben auf der Vorderseite und Zahlen auf der Rückseite



A



B



2



3

## Ein Experiment zum Mitmachen

Vier Kärtchen mit Buchstaben auf der Vorderseite und Zahlen auf der Rückseite

A

B

2

3

Hypothese

Auf der Rückseite von Kärtchen mit Vokalen sind gerade Zahlen

## Ein Experiment zum Mitmachen

Vier Kärtchen mit Buchstaben auf der Vorderseite und Zahlen auf der Rückseite

A

B

2

3

Hypothese

Auf der Rückseite von Kärtchen mit Vokalen sind gerade Zahlen

Teste Hypothese durch Umdrehen von zwei der vier Kärtchen  
**Welche zwei würden Sie umdrehen?**

## Ein Experiment zum Mitmachen

Vier Kärtchen mit Buchstaben auf der Vorderseite und Zahlen auf der Rückseite



A



2

Hypothese

Auf der Rückseite von Kärtchen mit Vokalen sind gerade Zahlen

Wer hat diese beiden Kärtchen gewählt?



Wason Card Problem, P. C. Wason “Reasoning” (1966).

In Foss, B. M. *New horizons in psychology*. Harmondsworth: Penguin.



A



3

Hypothese

Auf der Rückseite von Kärtchen mit Vokalen sind gerade Zahlen

Wer hat diese beiden Kärtchen gewählt?

# Wahrheitsfindung in der Praxis

## Confirmation bias und andere Fallgruben

### Tatsachen

1. Menschen entscheiden nicht ausschliesslich rational
2. WissenschaftlerInnen sind Menschen



# Wahrheitsfindung in der Praxis

## Confirmation bias und andere Fallgruben

### Tatsachen

1. Menschen entscheiden nicht ausschliesslich rational
2. WissenschaftlerInnen sind Menschen

Einige Methoden zur Immunisierung gegen Irrationalität:

# Wahrheitsfindung in der Praxis

## Confirmation bias und andere Fallgruben

### Tatsachen

1. Menschen entscheiden nicht ausschliesslich rational
2. WissenschaftlerInnen sind Menschen

Einige Methoden zur Immunisierung gegen Irrationalität:

- ▶ Skepsis/Advocatus Diaboli

Wissenschaftsbeispiel: ich will Theorie A testen, also nehme ich an, dass Theorie A **falsch** ist und versuche möglichst viele Argumente zu finden die Theorie A zu widerlegen

Politikbeispiel: ich will eine Entscheidung treffen, also nehme ich an, dass die Entscheidung **schlecht** ist und versuche ich möglichst viele Argumente gegen diese Entscheidung zu finden

# Wahrheitsfindung in der Praxis

## Confirmation bias und andere Fallgruben

### Tatsachen

1. Menschen entscheiden nicht ausschliesslich rational
2. WissenschaftlerInnen sind Menschen

Einige Methoden zur Immunisierung gegen Irrationalität:

- ▶ Skepsis/Advocatus Diaboli
- ▶ Konkurrenz

Wissenschaftsbeispiel: ATLAS und CMS am CERN — wenn z.B. CMS behauptet, ein neues Teilchen gefunden zu haben das ATLAS nicht gefunden hat, wird sich ATLAS bemühen CMS einen Fehler nachzuweisen

Politikbeispiel: wenn PolitikerIn A von Partei B etwas Relevantes behauptet, wird sich PolitikerIn C von Partei D bemühen, A einen Fehler nachzuweisen (caveat: rhetorische Nebelgranaten!)

### Tatsachen

1. Menschen entscheiden nicht ausschliesslich rational
2. WissenschaftlerInnen sind Menschen

Einige Methoden zur Immunisierung gegen Irrationalität:

- ▶ Skepsis/Advocatus Diaboli
- ▶ Konkurrenz
- ▶ Hohe Standards in statistischen Daten

Wissenschaftsbeispiel:  $5\text{-}\sigma$  Kriterium für Entdeckung eines neuen Phänomens, wie z.B. das Higgs-Teilchen (Chance für Fehlinterpretation einer zufälligen Fluktuation als Effekt: 1:3 Millionen)

Politikbeispiel: ?

### Tatsachen

1. Menschen entscheiden nicht ausschliesslich rational
2. WissenschaftlerInnen sind Menschen

Einige Methoden zur Immunisierung gegen Irrationalität:

- ▶ Skepsis/Advocatus Diaboli
- ▶ Konkurrenz
- ▶ Hohe Standards in statistischen Daten
- ▶ Transparenz

Wissenschaftsbeispiel: Veröffentlichung aller Daten eines Experimentes, so dass alle Behauptungen überprüft werden können

Politikbeispiel: Glasnost

# Wahrheitsfindung in der Praxis

## Confirmation bias und andere Fallgruben

### Tatsachen

1. Menschen entscheiden nicht ausschliesslich rational
2. WissenschaftlerInnen sind Menschen

Einige Methoden zur Immunisierung gegen Irrationalität:

- ▶ Skepsis/Advocatus Diaboli
- ▶ Konkurrenz
- ▶ Hohe Standards in statistischen Daten
- ▶ Transparenz
- ▶ ...

### Anmerkung

Dieselben Methoden funktionieren grundsätzlich auch ausserhalb der Naturwissenschaften



# Überblick

Die Wahrheit?

Nichts als die Wahrheit?

Die ganze Wahrheit?

Fallbeispiel Multiversum

When in doubt  
tell the truth.  
It will confound  
your enemies and  
astound your  
friends.

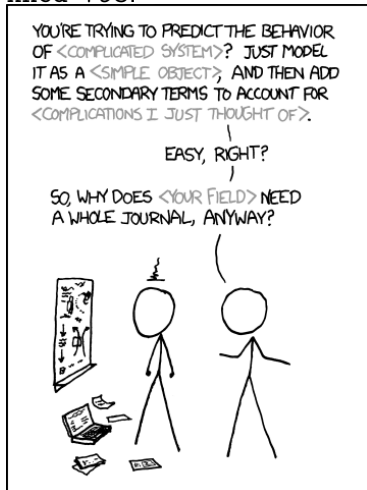
*Mark Twain*

meetville.com

## Vereinfachung...

...ein Euphemismus für "Lüge"?

xkcd 793:



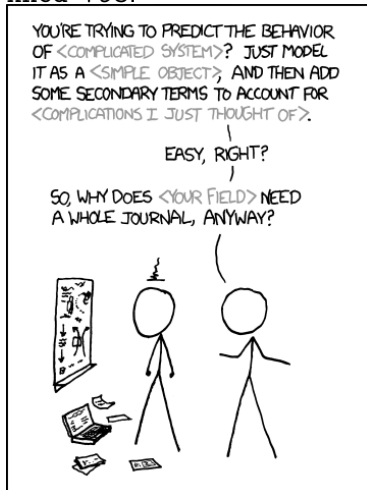
LIBERAL-ARTS MAJORS MAY BE ANNOYING SOMETIMES, BUT THERE'S *NOTHING* MORE OBNOXIOUS THAN A PHYSICIST FIRST ENCOUNTERING A NEW SUBJECT.

Vereinfachungen/Slogans hilfreich,  
aber mitunter zu einfach:

## Vereinfachung...

...ein Euphemismus für "Lüge"?

xkcd 793:



LIBERAL-ARTS MAJORS MAY BE ANNOYING SOMETIMES, BUT THERE'S *NOTHING* MORE OBNOXIOUS THAN A PHYSICIST FIRST ENCOUNTERING A NEW SUBJECT.

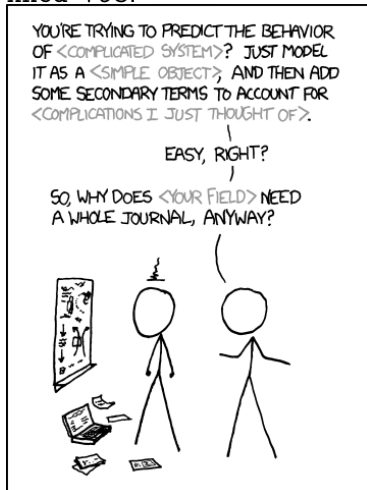
Vereinfachungen/Slogans hilfreich,  
aber mitunter zu einfach:

- ▶ Alles ist Mechanik

## Vereinfachung...

...ein Euphemismus für "Lüge"?

xkcd 793:



LIBERAL-ARTS MAJORS MAY BE ANNOYING SOMETIMES, BUT THERE'S *NOTHING* MORE OBNOXIOUS THAN A PHYSICIST FIRST ENCOUNTERING A NEW SUBJECT.

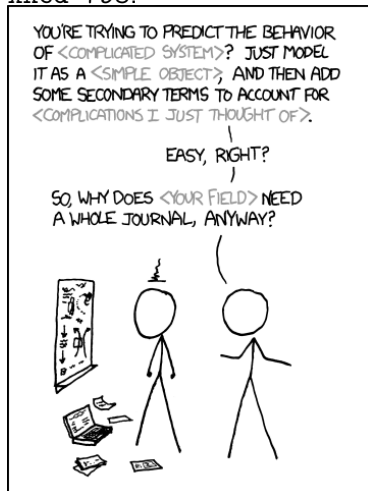
Vereinfachungen/Slogans hilfreich, aber mitunter zu einfach:

- ▶ Alles ist Mechanik
- ▶ Alles ist Geometrie

## Vereinfachung...

...ein Euphemismus für "Lüge"?

xkcd 793:



LIBERAL-ARTS MAJORS MAY BE ANNOYING SOMETIMES, BUT THERE'S *NOTHING* MORE OBNOXIOUS THAN A PHYSICIST FIRST ENCOUNTERING A NEW SUBJECT.

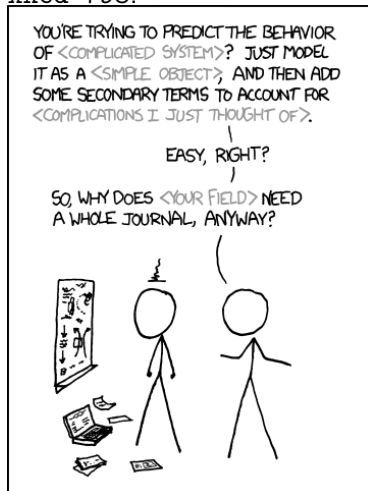
Vereinfachungen/Slogans hilfreich, aber mitunter zu einfach:

- ▶ Alles ist Mechanik
- ▶ Alles ist Geometrie
- ▶ Alles ist Quantenfelder

# Vereinfachung...

...ein Euphemismus für "Lüge"?

xkcd 793:



LIBERAL-ARTS MAJORS MAY BE ANNOYING SOMETIMES, BUT THERE'S *NOTHING* MORE OBNOXIOUS THAN A PHYSICIST FIRST ENCOUNTERING A NEW SUBJECT.

Vereinfachungen/Slogans hilfreich, aber mitunter zu einfach:

- ▶ Alles ist Mechanik
- ▶ Alles ist Geometrie
- ▶ Alles ist Quantenfelder
- ▶ Alles ist Strings/Branes

# Vereinfachung...

...ein Euphemismus für "Lüge"?

xkcd 793:



LIBERAL-ARTS MAJORS MAY BE ANNOYING SOMETIMES, BUT THERE'S *NOTHING* MORE OBNOXIOUS THAN A PHYSICIST FIRST ENCOUNTERING A NEW SUBJECT.

Vereinfachungen/Slogans hilfreich, aber mitunter zu einfach:

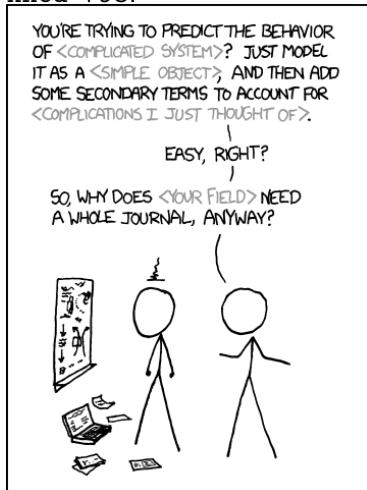
- ▶ Alles ist Mechanik
- ▶ Alles ist Geometrie
- ▶ Alles ist Quantenfelder
- ▶ Alles ist Strings/Branes
- ▶ Alles ist Information



# Vereinfachung...

...ein Euphemismus für "Lüge"?

xkcd 793:



LIBERAL-ARTS MAJORS MAY BE ANNOYING SOMETIMES, BUT THERE'S *NOTHING* MORE OBNOXIOUS THAN A PHYSICIST FIRST ENCOUNTERING A NEW SUBJECT.

Vereinfachungen/Slogans hilfreich, aber mitunter zu einfach:

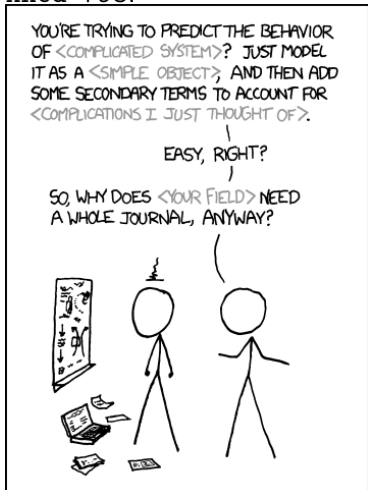
- ▶ Alles ist Mechanik
- ▶ Alles ist Geometrie
- ▶ Alles ist Quantenfelder
- ▶ Alles ist Strings/Branes
- ▶ Alles ist Information

Alles?

# Vereinfachung...

...ein Euphemismus für "Lüge"?

xkcd 793:



LIBERAL-ARTS MAJORS MAY BE ANNOYING SOMETIMES, BUT THERE'S NOTHING MORE OBNOXIOUS THAN A PHYSICIST FIRST ENCOUNTERING A NEW SUBJECT.

Vereinfachungen/Slogans hilfreich, aber mitunter zu einfach:

- ▶ Alles ist Mechanik
- ▶ Alles ist Geometrie
- ▶ Alles ist Quantenfelder
- ▶ Alles ist Strings/Branes
- ▶ Alles ist Information

Alles?...hängt davon ab, wie genau wir hinsehen!



# Vereinfachung in Wissenschaftskommunikation

## Fallbeispiel: BICEP 2

Fakten (Status März 2014):

- ▶ BICEP 2, ein Experiment am Südpol, veröffentlicht Datenauswertung

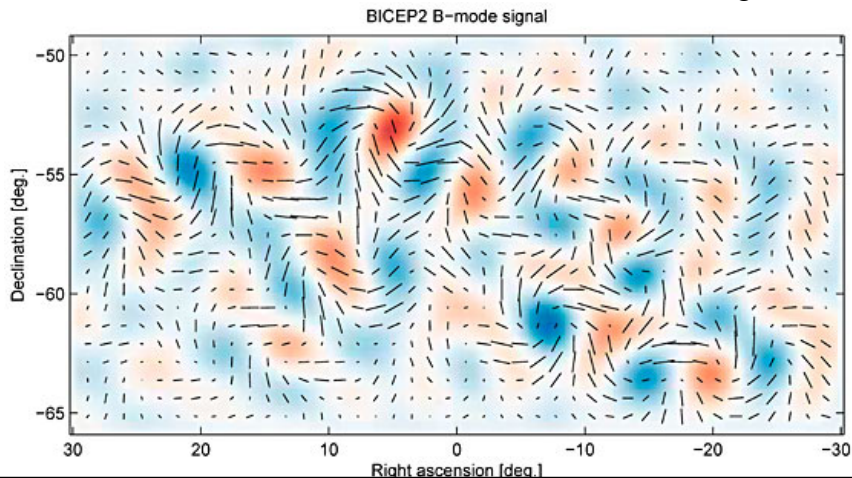


# Vereinfachung in Wissenschaftskommunikation

## Fallbeispiel: BICEP 2

Fakten (Status März 2014):

- ▶ BICEP 2, ein Experiment am Südpol, veröffentlicht Datenauswertung
- ▶ Detektion von "B-Moden" im kosmischen Mikrowellenhintergrund



Fakten (Status März 2014):

- ▶ BICEP 2, ein Experiment am Südpol, veröffentlicht Datenauswertung
- ▶ Detektion von “B-Moden” im kosmischen Mikrowellenhintergrund
- ▶ Wenn das Signal nicht durch andere Quellen erklärbar: **erster indirekter Hinweis auf primordiale Gravitationswellen, wie von manchen Inflationsmodellen vorhergesagt, die eine rasche Expansion des frühen Universums beschreiben.**

Praktisches Problem für WissenschaftsjournalistInnen:

wie konvertiere ich obiges statement in eine vernünftige Schlagzeile?

Fakten (Status März 2014):

- ▶ BICEP 2, ein Experiment am Südpol, veröffentlicht Datenauswertung
- ▶ Detektion von “B-Moden” im kosmischen Mikrowellenhintergrund
- ▶ Wenn das Signal nicht durch andere Quellen erklärbar: **erster indirekter Hinweis auf primordiale Gravitationswellen, wie von manchen Inflationsmodellen vorhergesagt, die eine rasche Expansion des frühen Universums beschreiben.**

Ausgewählte Zeitungsmeldungen die obiges statement vereinfachen:

- ▶ Erste direkte Messung von Gravitationswellen! (existiert noch nicht)
- ▶ Erster Hinweis auf Gravitationswellen! (bekannt seit 1980er)
- ▶ Erste Detektion von B-Moden (bekannt seit 2012)
- ▶ Erster Hinweis auf expandierendes Universum (bekannt seit 1920er)
- ▶ Erster Hinweis für Inflation (viele Hinweise seit 1990er)
- ▶ Erster direkter Hinweis für Inflation (existiert noch nicht)
- ▶ Wesentlicher Hinweis für Richtigkeit der Inflation (falsch — keine Vorhersage von Inflation per se)

# Vereinfachung in Wissenschaftskommunikation

## Fallbeispiel: BICEP 2

Fakten (Status Oktober 2014):

- ▶ BICEP 2, ein Experiment am Südpol, veröffentlichte Datenauswertung

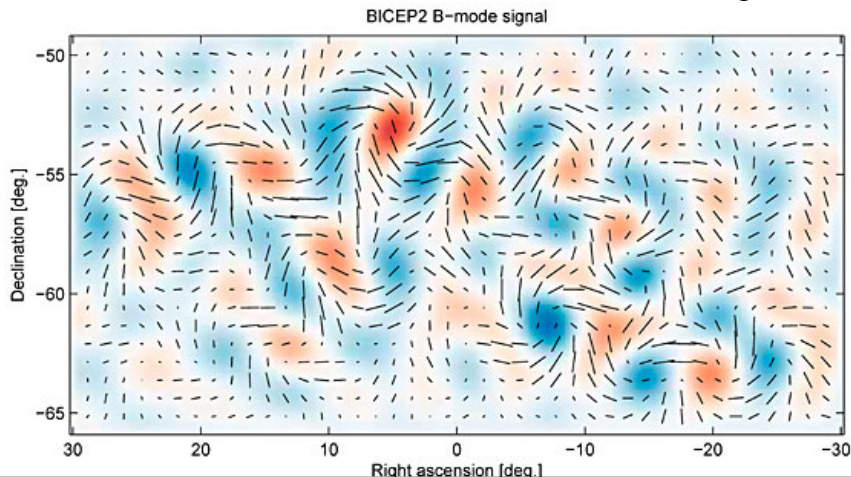


# Vereinfachung in Wissenschaftskommunikation

## Fallbeispiel: BICEP 2

Fakten (Status Oktober 2014):

- ▶ BICEP 2, ein Experiment am Südpol, veröffentlichte Datenauswertung
- ▶ Detektion von "B-Moden" im kosmischen Mikrowellenhintergrund





Fakten (Status Oktober 2014):

- ▶ BICEP 2, ein Experiment am Südpol, veröffentlichte Datenauswertung
- ▶ Detektion von “B-Moden” im kosmischen Mikrowellenhintergrund
- ▶ **Wenn das Signal nicht durch andere Quellen erklärbar**: erster indirekter Hinweis auf primordiale Gravitationswellen, wie von manchen Inflationsmodellen vorhergesagt, die eine rasche Expansion des frühen Universums beschreiben.

Fakten (Status Oktober 2014):

- ▶ BICEP 2, ein Experiment am Südpol, veröffentlichte Datenauswertung
- ▶ Detektion von “B-Moden” im kosmischen Mikrowellenhintergrund
- ▶ **Wenn das Signal nicht durch andere Quellen erklärbar:** erster indirekter Hinweis auf primordiale Gravitationswellen, wie von manchen Inflationsmodellen vorhergesagt, die eine rasche Expansion des frühen Universums beschreiben.
- ▶ **Signal wahrscheinlich durch Staub erklärbar (PLANCK-Experiment), und daher kein Hinweis auf primordiale Gravitationswellen.**

Fakten (Status Oktober 2014):

- ▶ BICEP 2, ein Experiment am Südpol, veröffentlichte Datenauswertung
- ▶ Detektion von “B-Moden” im kosmischen Mikrowellenhintergrund
- ▶ **Wenn das Signal nicht durch andere Quellen erklärbar:** erster indirekter Hinweis auf primordiale Gravitationswellen, wie von manchen Inflationsmodellen vorhergesagt, die eine rasche Expansion des frühen Universums beschreiben.
- ▶ **Signal wahrscheinlich durch Staub erklärbar (PLANCK-Experiment), und daher kein Hinweis auf primordiale Gravitationswellen.**

- ▶ Fehler dieser Art passieren in praktisch jedem Bereich (Sorglosigkeit, Wunschdenken, ehrliches Pech, ...)
- ▶ in Wissenschaft: reinigende Wirkung von Skepsis, Konkurrenz, hohen Standards und Transparenz

# Überblick

Die Wahrheit?

Nichts als die Wahrheit?

Die ganze Wahrheit?

Fallbeispiel Multiversum



*Truth is the most valuable  
thing we have. Let us econo-  
mize it.*

*Walter Lippman*

*From "Following the Equator."  
Copyright, 1897, by Olivia L. Clemens.*

## Die perfekte Theorie?

### Analogie mit Landkarten

Wie gut eine Theorie (Landkarte) ist, hängt von Fragestellung ab

# Die perfekte Theorie?

## Analogie mit Landkarten

Wie gut eine Theorie (Landkarte) ist, hängt von Fragestellung ab

- ▶ Messe Zeit, die Ball von Hand zu Boden braucht und vergleiche mit Gravitationstheorie  
Messfehler gross genug, so dass Newton's Theorie reicht
- ▶ Will wissen, ob Bolivien ans Meer grenzt  
Weltkugel im Massstab 1:10  
Millionen ausreichend genau

# Die perfekte Theorie?

## Analogie mit Landkarten

Wie gut eine Theorie (Landkarte) ist, hängt von Fragestellung ab

- ▶ Messe Zeit, die Ball von Hand zu Boden braucht und vergleiche mit Gravitationstheorie  
Messfehler gross genug, so dass Newton's Theorie reicht
- ▶ Verwende GPS um zu navigieren  
Newton's Theorie schickt mich bereits nach 1 Tag ca. 10 Kilometer in die Irre — brauche Einsteinsche Relativitätstheorie
- ▶ Will wissen, ob Bolivien ans Meer grenzt  
Weltkugel im Massstab 1:10 Millionen ausreichend genau
- ▶ Will etwa auf 10 Minuten genau wissen, wie lange ich mit dem Zug von Wien nach Müzzuschlag brauche  
Karte im Massstab 1:100000 ausreichend genau



# Die perfekte Theorie?

## Analogie mit Landkarten

Wie gut eine Theorie (Landkarte) ist, hängt von Fragestellung ab

- ▶ Messe Zeit, die Ball von Hand zu Boden braucht und vergleiche mit Gravitationstheorie  
Messfehler gross genug, so dass Newton's Theorie reicht
- ▶ Verwende GPS um zu navigieren  
Newton's Theorie schickt mich bereits nach 1 Tag ca. 10 Kilometer in die Irre — brauche Einsteinsche Relativitätstheorie
- ▶ Will verdampfende Schwarze Löcher verstehen  
Einsteinsche Relativitätstheorie schickt mich konzeptuell in die Irre — brauche Quantengravitation
- ▶ Will wissen, ob Bolivien ans Meer grenzt  
Weltkugel im Massstab 1:10 Millionen ausreichend genau
- ▶ Will etwa auf 10 Minuten genau wissen, wie lange ich mit dem Zug von Wien nach Müzzzuschlag brauche  
Karte im Massstab 1:100000 ausreichend genau
- ▶ Will auf den Meter genau wissen, wie weit die nächste Volksschule von zu Hause entfernt ist  
Brauche Karte im Massstab 1:1000 (wenn ich auf Millimeter genau die Karte ausmessen kann)

# Die perfekte Theorie?

## Analogie mit Landkarten

Behauptung:

Landkarte im 1:1 Masstab ist nutzlos

# Die perfekte Theorie?

## Analogie mit Landkarten

Behauptung:

Landkarte im 1:1 Masstab ist nutzlos

Folgt durch Analogieschluss, dass die “perfekte Theorie” nutzlos ist?

Die Antwort darauf ist ein klares

## Die perfekte Theorie?

### Analogie mit Landkarten

Behauptung:

Landkarte im 1:1 Masstab ist nutzlos

Folgt durch Analogieschluss, dass die “perfekte Theorie” nutzlos ist?

Die Antwort darauf ist ein klares

möglicherweise

# Die perfekte Theorie?

## Analogie mit Landkarten

Behauptung:

Landkarte im 1:1 Masstab ist nutzlos

Folgt durch Analogieschluss, dass die “perfekte Theorie” nutzlos ist?

Die Antwort darauf ist ein klares

möglicherweise

Sind von einer solchen Theorie noch so weit entfernt, dass es müssig scheint über ihre Nützlichkeit zu spekulieren

# Die perfekte Theorie?

## Analogie mit Landkarten

Behauptung:

Landkarte im 1:1 Masstab ist nutzlos

Folgt durch Analogieschluss, dass die “perfekte Theorie” nutzlos ist?

Die Antwort darauf ist ein klares

möglicherweise

Sind von einer solchen Theorie noch so weit entfernt, dass es müssig scheint über ihre Nützlichkeit zu spekulieren

Genereller Nutzen von physikalischen Theorien:

- ▶ Quantitative Beschreibung von Naturereignissen
- ▶ Zusammenhänge verschiedener Phänomene
- ▶ Algorithmische Komprimierung (Theorie einfacher als Phänomene)

## Reduktionismus

Attraktive Idee: alles hat eine Ursache, und zwar eine einzige Ursache

Beispiel 1: Viele interessante “Warum?” Fragen lassen sich letztlich mit “Weil die Sonne scheint” beantworten (siehe ‘Surely you are Joking, Mr. Feynman!’).

## Reduktionismus

Attraktive Idee: alles hat eine Ursache, und zwar eine einzige Ursache

Beispiel 1: Viele interessante “Warum?” Fragen lassen sich letztlich mit “Weil die Sonne scheint” beantworten (siehe ‘Surely you are Joking, Mr. Feynman!’).

Beispiel 2: Vereinheitlichung von geometrischer Optik, Elektrizität, Magnetismus, Wellenphänomenen, Mechanik der speziellen Relativitätstheorie innerhalb der Maxwellschen Theorie der Elektrodynamik



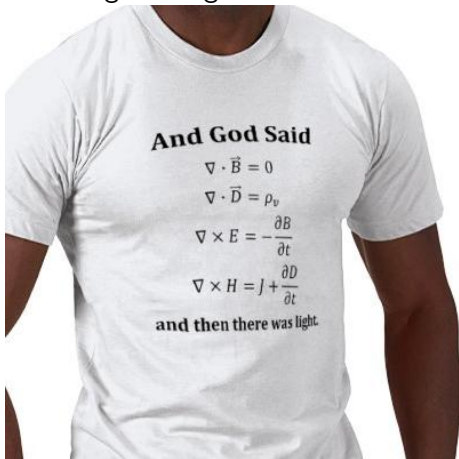
## Reduktionismus

Attraktive Idee: alles hat eine Ursache, und zwar eine einzige Ursache

Beispiel 1: Viele interessante “Warum?” Fragen lassen sich letztlich mit “Weil die Sonne scheint” beantworten (siehe ‘Surely you are Joking, Mr. Feynman!’).

Beispiel 2: Vereinheitlichung von geometrischer Optik, Elektrizität, Magnetismus, Wellenphänomenen, Mechanik der speziellen Relativitätstheorie innerhalb der Maxwellschen Theorie der Elektrodynamik

Maxwellgleichungen:

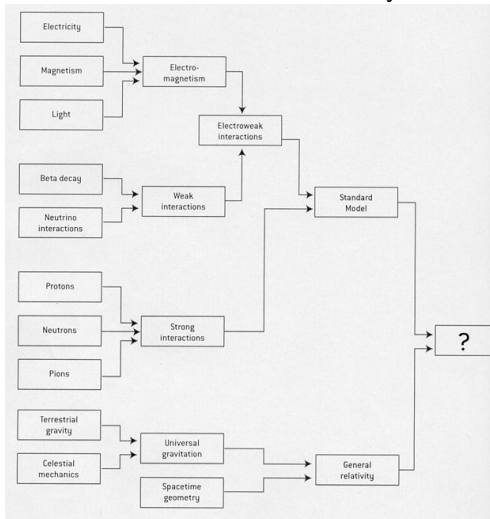


“Algorithmische Komprimierung”:  
Maxwellgleichungen sehr kompakt!

# Reduktionismus

Attraktive Idee: alles hat eine Ursache, und zwar eine einzige Ursache

Vereinfachte Geschichte der Physik:

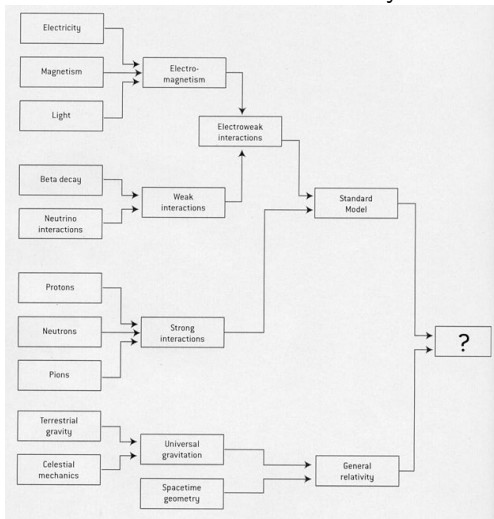


- ▶ Alle Experimente bisher im Einklang mit SM!

# Reduktionismus

Attraktive Idee: alles hat eine Ursache, und zwar eine einzige Ursache

## Vereinfachte Geschichte der Physik:



- ▶ Alle Experimente bisher im Einklang mit SM!
- ▶ Unglaublich präzise z.B.  $g$ -Faktor Experiment (2008):

$$\frac{g_e^{\text{exp}}}{2} = 1.00115965218073 \pm 0.000000000000028$$

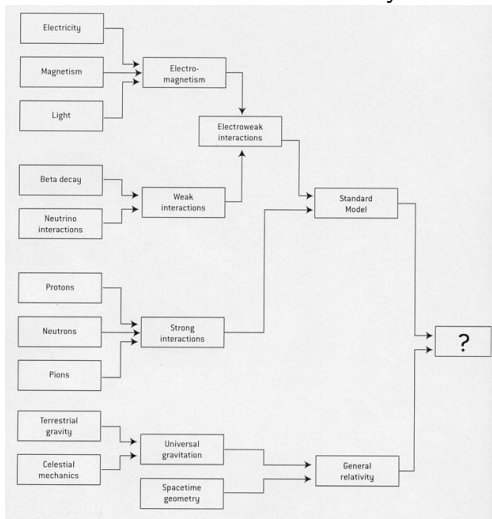
Theorie (2012):

$$\frac{g_e^{\text{the}}}{2} = 1.00115965218178 \pm 0.000000000000077$$

# Reduktionismus

Attraktive Idee: alles hat eine Ursache, und zwar eine einzige Ursache

## Vereinfachte Geschichte der Physik:



- ▶ Alle Experimente bisher im Einklang mit SM!
- ▶ Unglaublich präzise z.B.  $g$ -Faktor Experiment (2008):

$$\frac{g_e^{\text{exp}}}{2} = 1.00115965218073 \pm 0.000000000000028$$

Theorie (2012):

$$\frac{g_e^{\text{the}}}{2} = 1.00115965218178 \pm 0.000000000000077$$

- ▶ SM derzeit verbessert am LHC

## Zusammenfassung von dem was wir (reduktionistisch betrachtet) wissen

- ▶ Standard Modelle der Teilchenphysik und Kosmologie konsistent mit fast Allem was wir in der Natur beobachten

## Zusammenfassung von dem was wir (reduktionistisch betrachtet) wissen

- ▶ Standard Modelle der Teilchenphysik und Kosmologie konsistent mit fast Allem was wir in der Natur beobachten
- ▶ Fehlende Puzzlesteine: Higgs- und Graviton

## Zusammenfassung von dem was wir (reduktionistisch betrachtet) wissen

- ▶ Standard Modelle der Teilchenphysik und Kosmologie konsistent mit fast Allem was wir in der Natur beobachten
- ▶ Fehlende Puzzlesteine: ~~Higgs~~ und Graviton
- ▶ Wenn sie existieren: werden diese Dekade entdeckt!

## Zusammenfassung von dem was wir (reduktionistisch betrachtet) wissen

- ▶ Standard Modelle der Teilchenphysik und Kosmologie konsistent mit fast Allem was wir in der Natur beobachten
- ▶ Fehlende Puzzlesteine: Higgs und Graviton
- ▶ Wenn sie existieren: werden diese Dekade entdeckt!

Fehlt noch etwas?





# Überblick

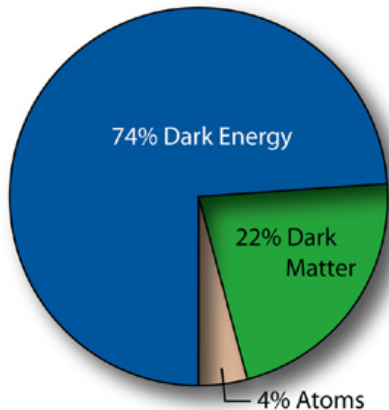
Die Wahrheit?

Nichts als die Wahrheit?

Die ganze Wahrheit?

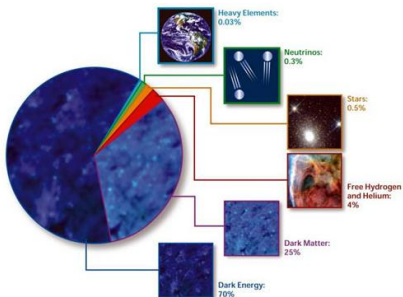
Fallbeispiel Multiversum

# Woraus besteht das Universum?

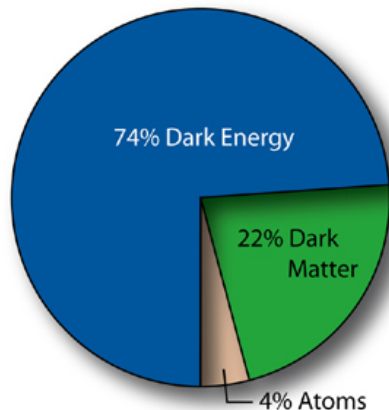


Sammeln alle Daten:

- ▶ Fortschritt der letzten 2 Dekaden: wir kennen weniger als 5% des Universums und wissen es!



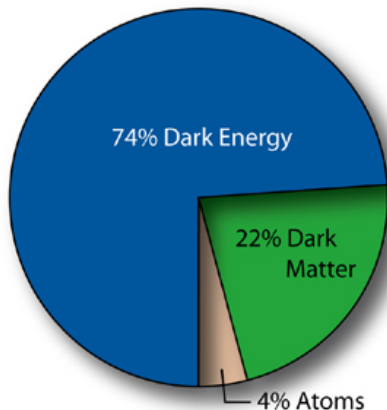
## Woraus besteht das Universum?



Sammeln alle Daten:

- ▶ Fortschritt der letzten 2 Dekaden: wir kennen weniger als 5% des Universums und wissen es!
- ▶ Dunkle Materie: viele Indikationen, viele Kandidaten

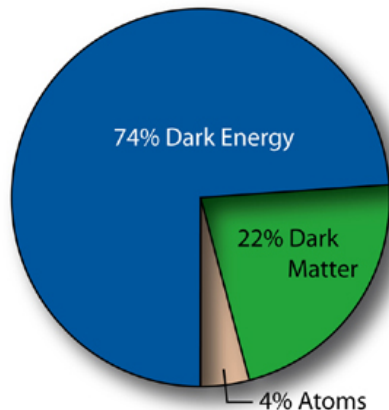
## Woraus besteht das Universum?



### Sammeln alle Daten:

- ▶ Fortschritt der letzten 2 Dekaden: wir kennen weniger als 5% des Universums und wissen es!
- ▶ Dunkle Materie: viele Indikationen, viele Kandidaten
- ▶ Mehr als 70% "Dunkle Energie"

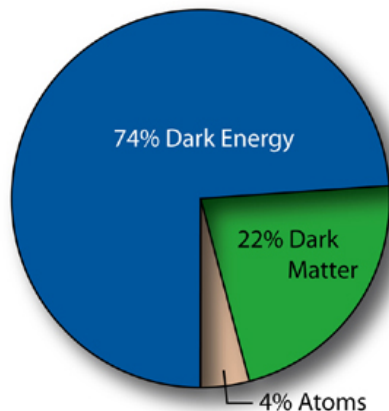
## Woraus besteht das Universum?



### Sammeln alle Daten:

- ▶ Fortschritt der letzten 2 Dekaden: wir kennen weniger als 5% des Universums und wissen es!
- ▶ Dunkle Materie: viele Indikationen, viele Kandidaten
- ▶ Mehr als 70% "Dunkle Energie"
- ▶ Einfachste korrekte Erklärung: kosmologische Konstante

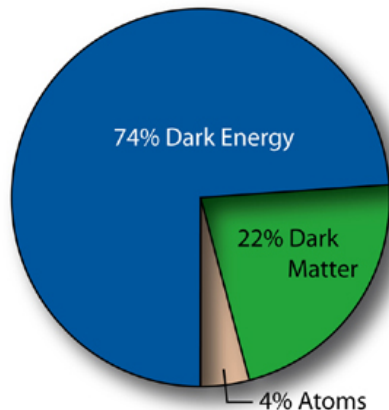
## Woraus besteht das Universum?



### Sammeln alle Daten:

- ▶ Fortschritt der letzten 2 Dekaden: wir kennen weniger als 5% des Universums und wissen es!
- ▶ Dunkle Materie: viele Indikationen, viele Kandidaten
- ▶ Mehr als 70% "Dunkle Energie"
- ▶ Einfachste korrekte Erklärung: kosmologische Konstante
- ▶ ABER: warum so klein???  $10^{-123}$

## Woraus besteht das Universum?



### Sammeln alle Daten:

- ▶ Fortschritt der letzten 2 Dekaden: wir kennen weniger als 5% des Universums und wissen es!
- ▶ Dunkle Materie: viele Indikationen, viele Kandidaten
- ▶ Mehr als 70% "Dunkle Energie"
- ▶ Einfachste korrekte Erklärung: kosmologische Konstante
- ▶ ABER: warum so klein???  $10^{-123}$
- ▶ Nobelpreis 2011 an Perlmutter, Riess und Schmidt für Entdeckung der kosmischen Beschleunigung!

# Weinberg's anthropisches Argument

Die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts

Warum ist die kosmologische Konstante so klein?



# Weinberg's anthropisches Argument

## Die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts

Warum ist die kosmologische Konstante so klein?

- ▶ Nehmen wir an es gäbe viele Universen mit verschiedenen Werten der kosmologischen Konstante

## Weinberg's anthropisches Argument

### Die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts

Warum ist die kosmologische Konstante so klein?

- ▶ Nehmen wir an es gäbe viele Universen mit verschiedenen Werten der kosmologischen Konstante
- ▶ Wir sind auf jeden Fall in einem der Universen das kompatibel mit der Existenz von Beobachtern ist

## Weinberg's anthropisches Argument

### Die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts

Warum ist die kosmologische Konstante so klein?

- ▶ Nehmen wir an es gäbe viele Universen mit verschiedenen Werten der kosmologischen Konstante
- ▶ Wir sind auf jeden Fall in einem der Universen das kompatibel mit der Existenz von Beobachtern ist
- ▶ Deshalb kann die kosmologische Konstante nicht zu gross sein

## Weinberg's anthropisches Argument

### Die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts

Warum ist die kosmologische Konstante so klein?

- ▶ Nehmen wir an es gäbe viele Universen mit verschiedenen Werten der kosmologischen Konstante
- ▶ Wir sind auf jeden Fall in einem der Universen das kompatibel mit der Existenz von Beobachtern ist
- ▶ Deshalb kann die kosmologische Konstante nicht zu gross sein

Mit diesen Argumenten hat Weinberg die richtige Grössenordnung der kosmologischen Konstante vorhergesagt vor ihrer Entdeckung durch Perlmutter, Riess und Schmidt im Jahr 1998

Keine andere ("echte") Erklärung ist davor oder seither gefunden worden, trotz vieler beherzter Versuche

## Weinberg's anthropisches Argument

### Die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts

Warum ist die kosmologische Konstante so klein?

- ▶ Nehmen wir an es gäbe viele Universen mit verschiedenen Werten der kosmologischen Konstante
- ▶ Wir sind auf jeden Fall in einem der Universen das kompatibel mit der Existenz von Beobachtern ist
- ▶ Deshalb kann die kosmologische Konstante nicht zu gross sein

Mit diesen Argumenten hat Weinberg die richtige Grössenordnung der kosmologischen Konstante vorhergesagt vor ihrer Entdeckung durch Perlmutter, Riess und Schmidt im Jahr 1998

Keine andere ("echte") Erklärung ist davor oder seither gefunden worden, trotz vieler beherzter Versuche

Vielleicht können wir nicht alle Konstanten vorhersagen...

Beispiel: Titius-Bode "Gesetz" für grosse Bahnabachsen vermutlich nur Zufall

Tatsachen des Lebens:

Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt

Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt
- ▶ Stringtheorie benötigt Extra-Dimensionen



Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt
- ▶ Stringtheorie benötigt Extra-Dimensionen
- ▶ Stringtheorie hat viele Lösungen (“Landscape” = “Landschaft”)

### Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt
- ▶ Stringtheorie benötigt Extra-Dimensionen
- ▶ Stringtheorie hat viele Lösungen (“Landscape” = “Landschaft”)
- ▶ Vom 4-dimensionalen Standpunkt ist jede Lösung eine eigene Theorie, also ist Stringtheorie eine “Theorie der Theorien”

### Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt
- ▶ Stringtheorie benötigt Extra-Dimensionen
- ▶ Stringtheorie hat viele Lösungen (“Landscape” = “Landschaft”)
- ▶ Vom 4-dimensionalen Standpunkt ist jede Lösung eine eigene Theorie, also ist Stringtheorie eine “Theorie der Theorien”
- ▶ Möglicherweise gibt es eine “bevorzugte” Lösung die mit unserem Universum übereinstimmt — keine Lösung dieser Art ist bisher gefunden worden

### Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt
- ▶ Stringtheorie benötigt Extra-Dimensionen
- ▶ Stringtheorie hat viele Lösungen (“Landscape” = “Landschaft”)
- ▶ Vom 4-dimensionalen Standpunkt ist jede Lösung eine eigene Theorie, also ist Stringtheorie eine “Theorie der Theorien”
- ▶ Möglicherweise gibt es eine “bevorzugte” Lösung die mit unserem Universum übereinstimmt — keine Lösung dieser Art ist bisher gefunden worden
- ▶ Möglicherweise gibt es keine “bevorzugte” Lösung, und unser Universum ist ein zufälliger Punkt in der Landschaft (konsistent mit unserer Existenz)

### Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt
- ▶ Stringtheorie benötigt Extra-Dimensionen
- ▶ Stringtheorie hat viele Lösungen (“Landscape” = “Landschaft”)
- ▶ Vom 4-dimensionalen Standpunkt ist jede Lösung eine eigene Theorie, also ist Stringtheorie eine “Theorie der Theorien”
- ▶ Möglicherweise gibt es eine “bevorzugte” Lösung die mit unserem Universum übereinstimmt — keine Lösung dieser Art ist bisher gefunden worden
- ▶ Möglicherweise gibt es keine “bevorzugte” Lösung, und unser Universum ist ein zufälliger Punkt in der Landschaft (konsistent mit unserer Existenz)

Stringtheorie legitimiert anthropische Argumente a la Weinberg

Multiversum Idee führte zu stark emotionalen Reaktionen und  
“Landskepticism”

Bekannter Physiker über anthropische Argumente, vor mehr als 10 Jahren:

“I hate it and it doesn't make sense.”

## Multiversum Idee führte zu stark emotionalen Reaktionen und “Landskepticism”

Bekannter Physiker über anthropische Argumente, vor mehr als 10 Jahren:

“I hate it and it doesn't make sense.”

Derselbe Physiker vor weniger als 5 Jahren:

“I hate it.”

Multiversum Idee führte zu stark emotionalen Reaktionen und  
“Landskepticism”

Bohemian Gravity (Tim Blais)

<http://www.youtube.com/watch?v=2rjbtsX7twc>



*Caught in the Landscape  
Out of touch with reality?*



Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

## Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach

## Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach
- ▶ Ich bin ein Mensch, daher ist der Mensch die Krone der Schöpfung

## Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach
- ▶ Ich bin ein Mensch, daher ist der Mensch die Krone der Schöpfung
- ▶ Wir leben auf der Erde, daher ist die Erde das Zentrum des Sonnensystems

## Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach
- ▶ Ich bin ein Mensch, daher ist der Mensch die Krone der Schöpfung
- ▶ Wir leben auf der Erde, daher ist die Erde das Zentrum des Sonnensystems
- ▶ Sonne ist wichtig, daher ist die Sonne Zentrum des Universums

## Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach
- ▶ Ich bin ein Mensch, daher ist der Mensch die Krone der Schöpfung
- ▶ Wir leben auf der Erde, daher ist die Erde das Zentrum des Sonnensystems
- ▶ Sonne ist wichtig, daher ist die Sonne Zentrum des Universums
- ▶ Wir leben in der Milchstrasse, daher ist die Milchstrasse das Zentrum des Universums

## Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach
- ▶ Ich bin ein Mensch, daher ist der Mensch die Krone der Schöpfung
- ▶ Wir leben auf der Erde, daher ist die Erde das Zentrum des Sonnensystems
- ▶ Sonne ist wichtig, daher ist die Sonne Zentrum des Universums
- ▶ Wir leben in der Milchstrasse, daher ist die Milchstrasse das Zentrum des Universums

Vergleiche mit folgenden Statement:

Unser Universum ist durch die Standardmodelle der Teilchenphysik und Kosmologie beschrieben.  
Daher muss jedes Universum durch die Standardmodelle der Teilchenphysik und Kosmologie beschrieben werden.

## Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach
- ▶ Ich bin ein Mensch, daher ist der Mensch die Krone der Schöpfung
- ▶ Wir leben auf der Erde, daher ist die Erde das Zentrum des Sonnensystems
- ▶ Sonne ist wichtig, daher ist die Sonne Zentrum des Universums
- ▶ Wir leben in der Milchstrasse, daher ist die Milchstrasse das Zentrum des Universums

Vergleiche mit folgenden Statement:

Unser Universum ist durch die Standardmodelle der Teilchenphysik und Kosmologie beschrieben.  
Daher muss jedes Universum durch die Standardmodelle der Teilchenphysik und Kosmologie beschrieben werden.

Es wäre schön wenn das wahr wäre.

Aber vielleicht sollten wir nicht enttäuscht sein, wenn es nicht wahr ist.



## Zusammenfassung von Kosmologie

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden

## Zusammenfassung von Kosmologie

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden
- ▶ Einige Aspekte der Kosmologie bleiben rätselhaft, z.B. die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts,  $\Lambda \approx 10^{-123}$

## Zusammenfassung von Kosmologie

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden
- ▶ Einige Aspekte der Kosmologie bleiben rätselhaft, z.B. die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts,  $\Lambda \approx 10^{-123}$
- ▶ Die einzige Erklärung dafür verwendet anthropische Argumente

## Zusammenfassung von Kosmologie

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden
- ▶ Einige Aspekte der Kosmologie bleiben rätselhaft, z.B. die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts,  $\Lambda \approx 10^{-123}$
- ▶ Die einzige Erklärung dafür verwendet anthropische Argumente
- ▶ Stringtheorie führt auf natürliche Weise zu einem Multiversum (“Landscape”) und stellt die Basis für anthropische Argumente zur Verfügung

## Zusammenfassung von Kosmologie

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden
- ▶ Einige Aspekte der Kosmologie bleiben rätselhaft, z.B. die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts,  $\Lambda \approx 10^{-123}$
- ▶ Die einzige Erklärung dafür verwendet anthropische Argumente
- ▶ Stringtheorie führt auf natürliche Weise zu einem Multiversum (“Landscape”) und stellt die Basis für anthropische Argumente zur Verfügung
- ▶ Vermutlich wäre jeder glücklich über eine nicht-anthropische Erklärung der kosmologischen Konstante und einer eindeutigen Herleitung der Standardmodelle aus Stringtheorie

## Zusammenfassung von Kosmologie

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden
- ▶ Einige Aspekte der Kosmologie bleiben rätselhaft, z.B. die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts,  $\Lambda \approx 10^{-123}$
- ▶ Die einzige Erklärung dafür verwendet anthropische Argumente
- ▶ Stringtheorie führt auf natürliche Weise zu einem Multiversum (“Landscape”) und stellt die Basis für anthropische Argumente zur Verfügung
- ▶ Vermutlich wäre jeder glücklich über eine nicht-anthropische Erklärung der kosmologischen Konstante und einer eindeutigen Herleitung der Standardmodelle aus Stringtheorie
- ▶ Wenn aber keine Erklärung dieser Art existiert müssen wir die Realität der “Landscape” akzeptieren

## Zusammenfassung von Kosmologie

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden
- ▶ Einige Aspekte der Kosmologie bleiben rätselhaft, z.B. die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts,  $\Lambda \approx 10^{-123}$
- ▶ Die einzige Erklärung dafür verwendet anthropische Argumente
- ▶ Stringtheorie führt auf natürliche Weise zu einem Multiversum (“Landscape”) und stellt die Basis für anthropische Argumente zur Verfügung
- ▶ Vermutlich wäre jeder glücklich über eine nicht-anthropische Erklärung der kosmologischen Konstante und einer eindeutigen Herleitung der Standardmodelle aus Stringtheorie
- ▶ Wenn aber keine Erklärung dieser Art existiert müssen wir die Realität der “Landscape” akzeptieren

Anzeichen sprechen dafür, dass wir gerade einen Paradigmenwechsel erleben

## Schlusswort von Steven Weinberg

‘About the multiverse, it is appropriate to keep an open mind, and opinions among scientists differ widely. In the Austin airport on the way to this meeting I noticed for sale the October issue of a magazine called Astronomy, having on the cover the headline “Why You Live in Multiple Universes.” Inside I found a report of a discussion at a conference at Stanford, at which Martin Rees said that he was sufficiently confident about the multiverse to bet his dog’s life on it, while Andrei Linde said he would bet his own life.’



## Schlusswort von Steven Weinberg

‘About the multiverse, it is appropriate to keep an open mind, and opinions among scientists differ widely. In the Austin airport on the way to this meeting I noticed for sale the October issue of a magazine called Astronomy, having on the cover the headline “Why You Live in Multiple Universes.” Inside I found a report of a discussion at a conference at Stanford, at which Martin Rees said that he was sufficiently confident about the multiverse to bet his dog’s life on it, while Andrei Linde said he would bet his own life.’

‘As for me, I have just enough confidence about the multiverse to bet the lives of both Andrei Linde and Martin Rees’s dog.’

Danke für die Aufmerksamkeit!

