

# Extradimensionen und mikroskopische schwarze Löcher am LHC

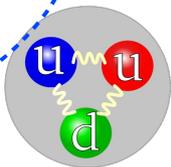
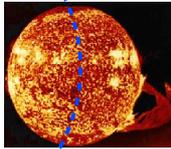
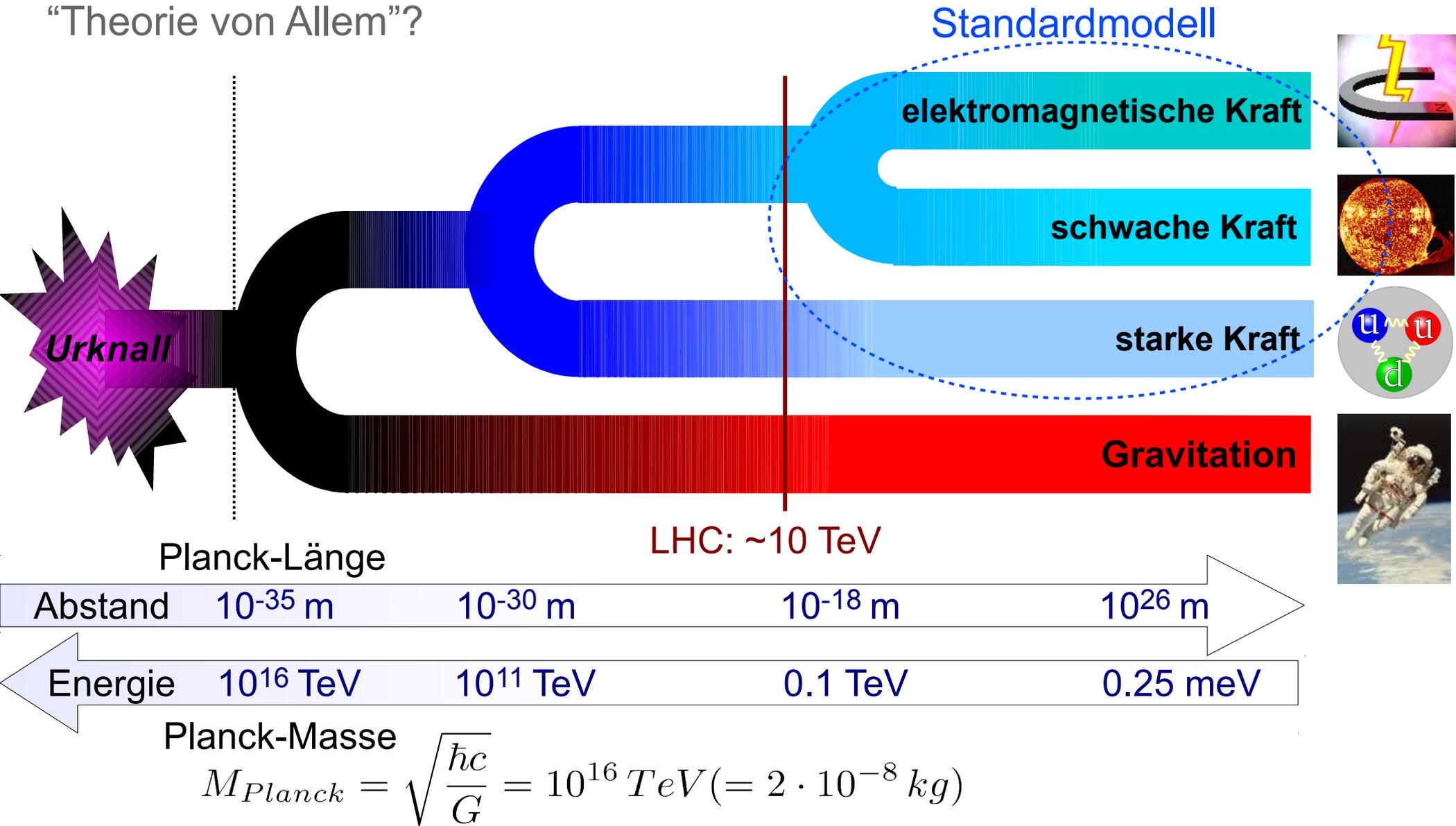


Anja Vest



# Fundamentale Naturkräfte

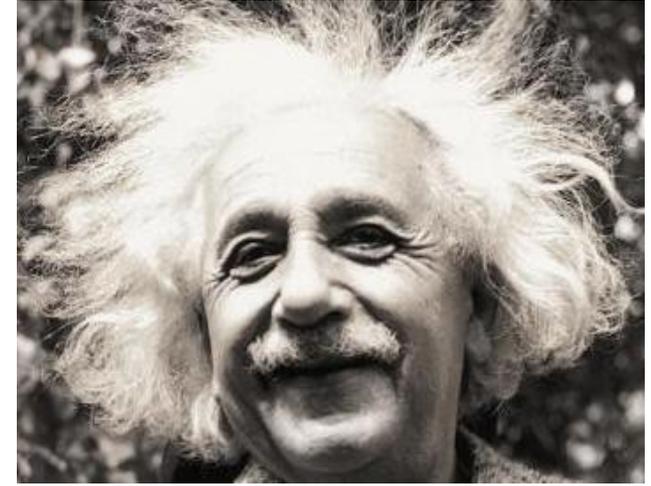
“Theorie von Allem”?



Große Energien ↔ kleine Abstände

# Gravitation

- Theorie für die Gravitation:  
Allgemeine Relativitätstheorie
- Eigenschaften:
  - unendliche Reichweite ( $\frac{1}{r^2}$ )
  - immer anziehend
  - (fast) unendlich schwach



→ **Warum ist die Gravitation so klein?**

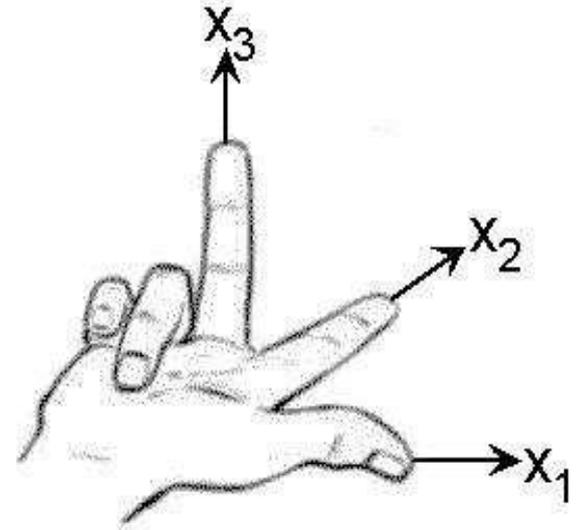
( $10^{43}$  mal kleiner als die elektromagnetische Kraft?)

oder: **Warum ist  $M_{Planck}$  so groß?**

mögliche Erklärung durch Theorie, die **Extradimensionen** vorhersagt (sehr spekulativ)

# Dimensionen

- Anzahl der von uns wahrgenommenen Raumdimensionen:  $n = 3$
- Vereinigung der 3 Raumdimensionen mit der Zeit
  - 4-dimensionale ***Raumzeit*** (Relativitätstheorie)
- **Zusätzliche Raumdimensionen / Extradimensionen ?**
  - bisher kein Anzeichen für ihre Existenz
  - Sie könnten die Schwäche der Gravitation erklären



# Extradimensionen

## Erste Ideen 1917 – 1926:

- Verbindung zwischen Allgemeiner Relativitätstheorie und Elektromagnetismus

→ *zusätzliche Raumdimension*



Theodor Kaluza



Oskar Klein

- Die **Extradimension** muss aufgerollt (“kompaktifiziert”) sein, da sie nicht beobachtet wird
- Die **Extradimension** existiert an jedem Raumpunkt



Grafik: symmetry magazine / Sandbox Studio

# Extradimensionen

Neues Modell 1998:

(Arkani-Hamed, Dimopoulos, Dvali)

- Hypothese: es gibt **d Extradimensionen** mit Radius **R**
- Teilchen und Kräfte leben in 3D, nur die Gravitation kann sich in **alle** Dimensionen ausbreiten



Gravitation in  $3 + d$  Dimensionen wird beschrieben durch neue kleine Planck-Masse  $M_D \sim 1 \text{ TeV}$

# Gravitation in Extradimensionen

Gravitation in 3 Dimensionen:

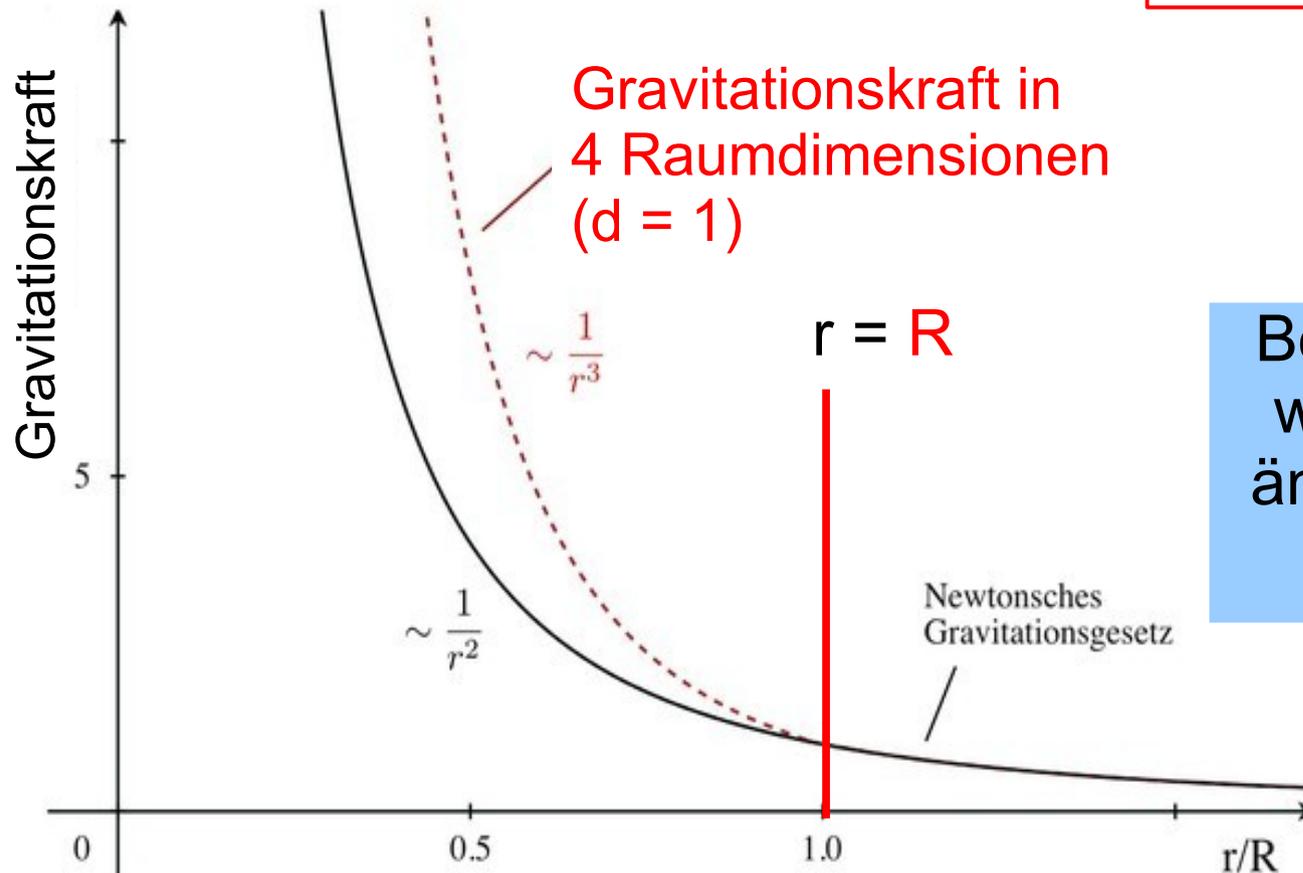
$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$$

$$G \sim \frac{1}{M_{Planck}^2}$$

Gravitation in 3 + **d** Dimensionen:

$$F = G' \cdot \frac{M \cdot m}{r^{2+d}}$$

$$G' \sim \frac{1}{M_D^{d+2}}$$



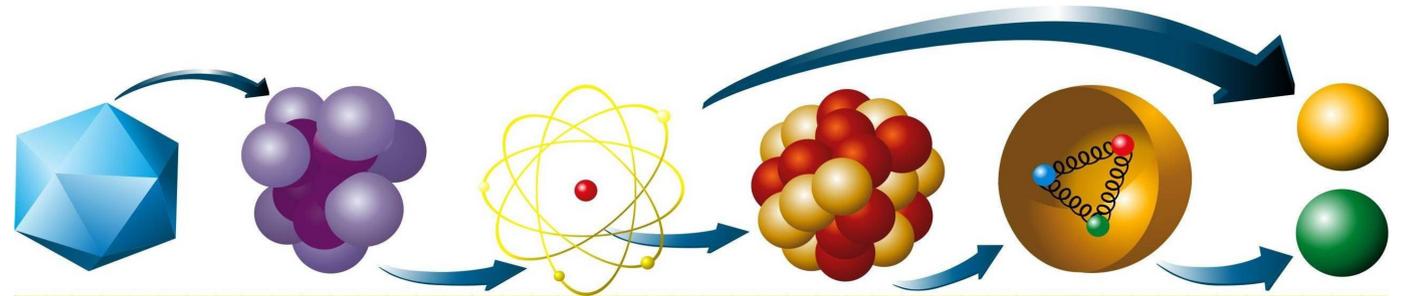
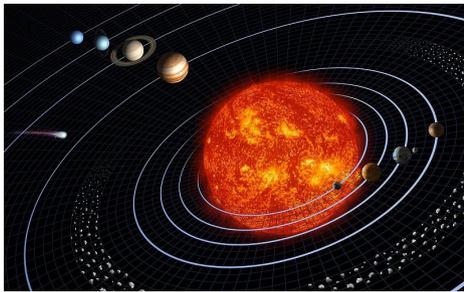
Bei kleinen Abständen  $r < R$  würde sich die Gravitation ändern und so stark wie die übrigen Kräfte werden!

# Größe von Extradimensionen

Für  $M_D = 1 \text{ TeV}$  :

$$M_{\text{Planck}}^2 \sim M_D^{d+2} R^d$$

<b>d</b> (Anzahl)	1	2	3	...	7
<b>R</b> (Radius)	$10^{10} \text{ km}$	1 mm	$10^{-9} \text{ m}$	...	$10^{-15} \text{ m}$



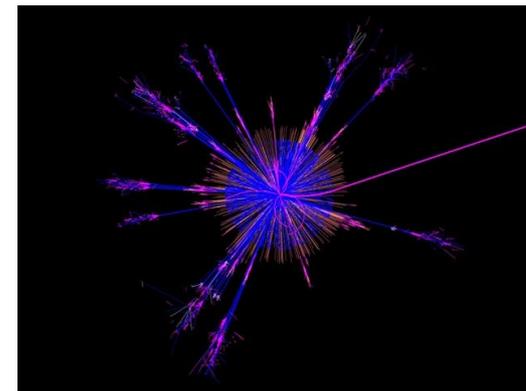
Gültigkeit des Newtonschen Gravitationsgesetzes  $F \sim \frac{1}{r^2}$  experimentell bewiesen bis hinunter zu  $r > R \sim 0.1 \text{ mm}$

Im Bereich  $r < R \sim 0.1 \text{ mm}$  sind Extradimensionen prinzipiell erlaubt

# Zusammenfassung bisher

## Extradimensionen (zusätzliche Raumdimensionen)

- sind sehr spekulativ und bisher existiert kein Anzeichen ihrer Existenz
- wären aufgerollt und sehr klein
- würden kleine Planck-Massen  $M_D \sim 1 \text{ TeV}$  ermöglichen und damit
  - die Gravitation ändern und ihre Schwäche in 3D erklären
  - das Phänomen mikroskopischer schwarzer Löcher ermöglichen



# Was ist ein schwarzes Loch ?

- von der Allg. Relativitätstheorie vorhergesagt
- kosmisches Objekt, dessen Gravitation so stark ist, dass selbst Licht nicht nach außen gelangen kann  
(ab Ereignishorizont: Fluchtgeschwindigkeit > Lichtgeschwindigkeit)

$$M_{SL} > 3 \cdot M_{Sonne}$$

Größe eines schwarzen Lochs → Schwarzschild-Radius

$$R_S \sim \frac{M_{SL}}{M_{Planck}^2}$$



# Mikroskopische schwarze Löcher am LHC?

Ein schwarzes Loch kann nur existieren, wenn

$$\left. \begin{array}{l} M_{SL} > M_{Planck} = 10^{16} \text{ TeV} \\ \text{LHC Energie:} \quad \sim 10 \text{ TeV} \end{array} \right\}$$

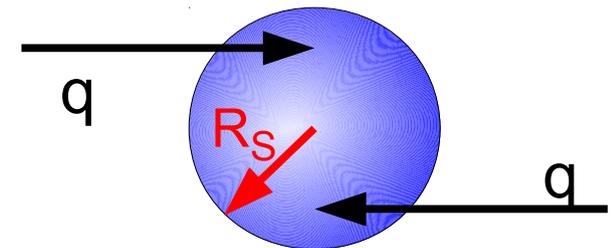
Energie des LHC  
um  $10^{15}$  zu klein!

→ Erzeugung mikroskopischer schwarzer Löcher am LHC ist nach derzeit gültigen Theorien nicht möglich!

...wäre *nur möglich*, falls es **Extradimensionen** gibt

wenn die Energie der Teilchenkollisionen  $> M_D$

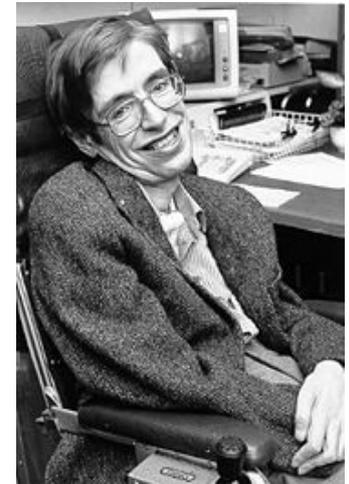
bzw. wenn sich zwei kollidierende Teilchen näher als  $2R_S$  kommen



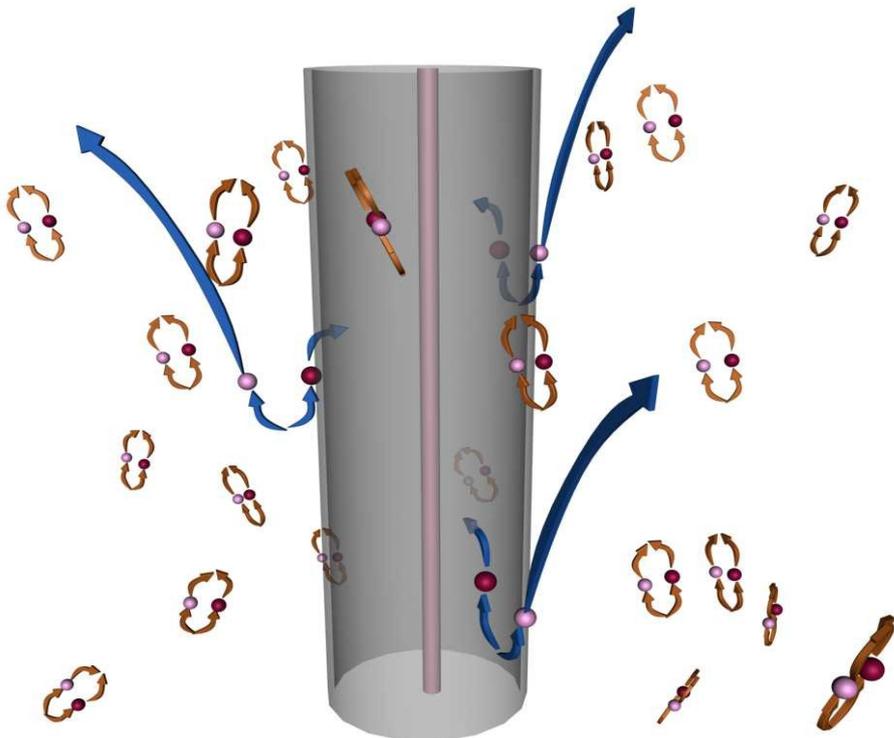
# Mikroskopische “schwarze Löcher” ?

Stephen Hawking (1974):

Schwarze Löcher strahlen! → **Hawking-Strahlung**

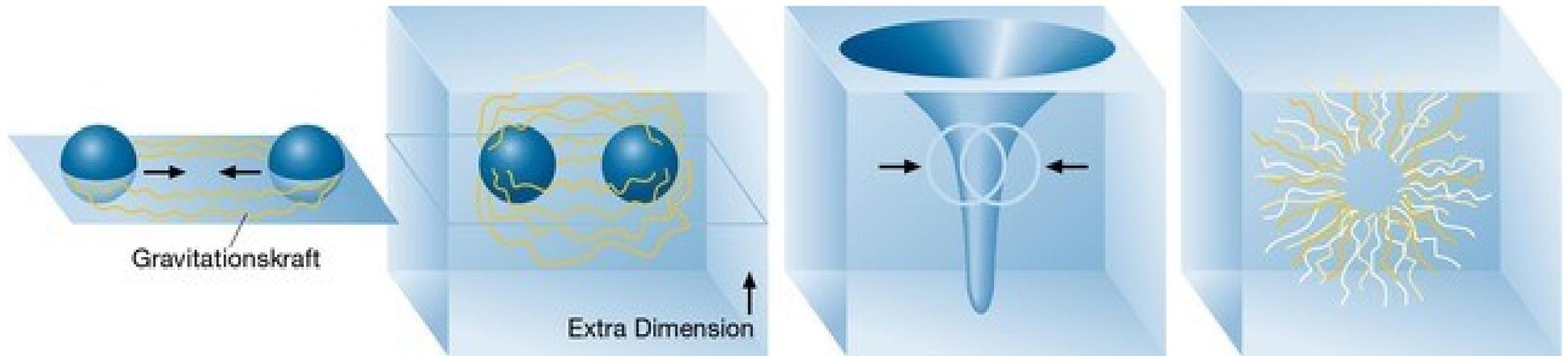


Hawking-Temperatur:  $T_H \sim \frac{1}{M_{SL}}$



*Mikroskopische* schwarze Löcher  
wären extrem heiß und würden  
nach Sekundenbruchteilen ( $10^{-26}$  s)  
“verdampfen”  
→ sie zerstrahlen in bekannte  
elementare Teilchen

# Entstehung und Ende eines mikroskopischen schwarzen Lochs



1.) Teilchenkollision

3.) Entstehung  
eines mikroskopischen  
schwarzen Lochs

2.) **Extradimensionen**  
sorgen für starke  
Gravitationskraft  
bei kleinen Abständen

4.) Verdampfung  
durch **Hawking-  
Strahlung**

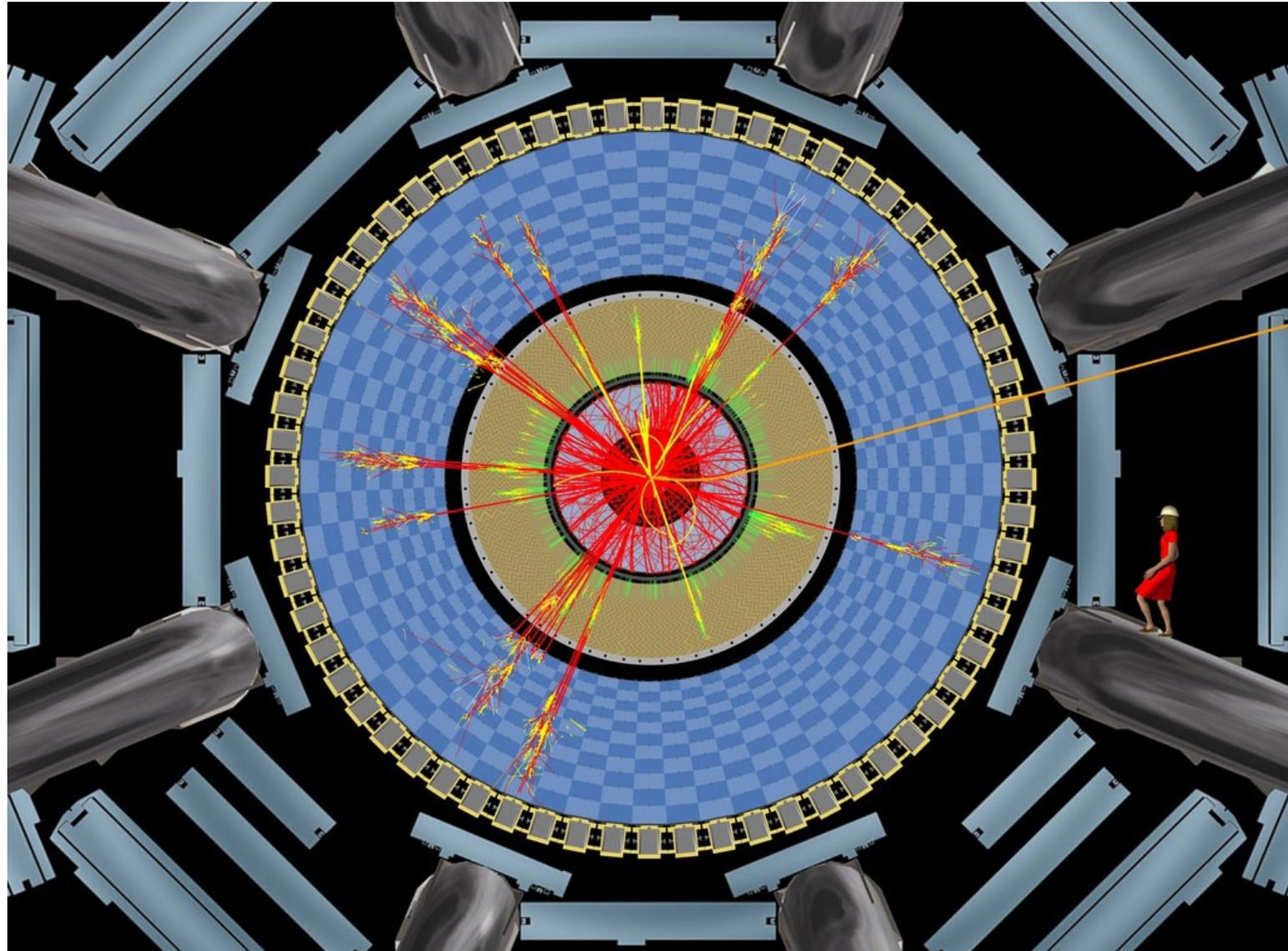
# Nachweis von mikroskopischen schwarzen Löchern



“Demokratischer”  
Zerfall in alle  
bekannten  
elementaren  
Teilchen



Eindeutiges  
Muster der  
Spuren der  
Zerfallsteilchen  
in den  
Nachweisgeräten



# Sind mikroskopische schwarze Löcher gefährlich?

Nein, denn:

- Durch die **Hawking-Strahlung** zerfallen sie direkt wieder
- Sie hätten so **geringe Massen**, dass sie keine andere Materie anziehen und „auffressen“ könnten  
(im Gegensatz zu kosmischen schwarzen Löchern)
- Teilchenkollisionen wie sie am LHC erzeugt werden, kommen **in der Natur mit zum Teil tausendfach höherer Energie** seit Millionen von Jahren vor  
(in der Erdatmosphäre kollidieren Elementarteilchen der kosmischen Strahlung mit den Luftteilchen)

# Zusammenfassung



Die Erzeugung mikroskopischer schwarzer Löcher am LHC

- ist sehr unwahrscheinlich
- wäre nur möglich, falls es *Extradimensionen* geben sollte
- würde daher unser Weltbild revolutionieren
- wäre ungefährlich