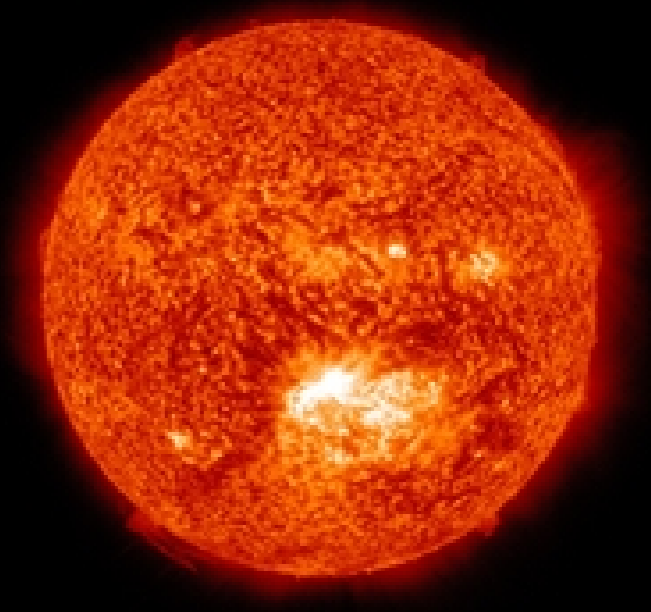


# ENERGIEERZEUGUNG IN DER SONNE



## Ist die Sonne der Schlüssel zur Lösung unserer Energie-Probleme?

Die Sonne spendet Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung.

→ Voraussetzung für irdisches Leben (z.B. Photosynthese)

→ technische Nutzung zur Erzeugung von elektrischer Energie

→ **Photovoltaik (Solarzellen)**  
→ **Solarthermie**

## Woher bezieht die Sonne ihre Energie?

### 19. Jahrhundert:

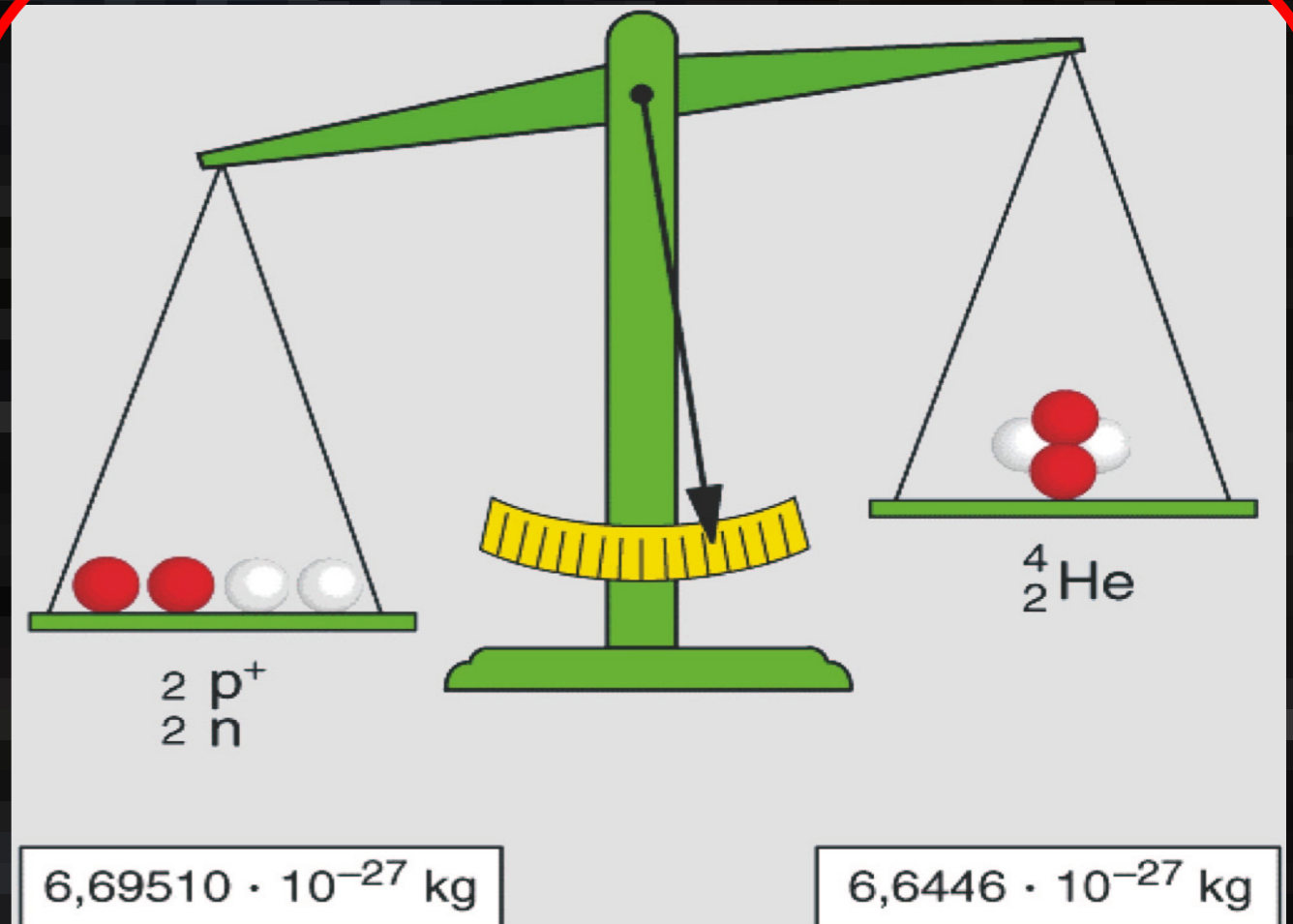
- Alter der Erde wurde durch Geologen auf einige Millionen Jahre beziffert
- Konventionelle Überlegungen von Lord Kelvin führten zu einem viel kürzeren Zeitraum, in dem die Sonne Energie liefern könnte
- Wenn die Sonne aus Steinkohle bestehen würde, könnte sie nicht einmal den Energiebedarf für 1.000.000 Jahre decken

1905: Einstein formuliert die Äquivalenz zwischen Energie und Masse:  $E = mc^2$

1909: Entdeckung des Atomkerns durch Ernest Rutherford beim Beschuss von  $\alpha$ -Teilchen an einer Goldfolie → **Rutherford'sches Atommodell**

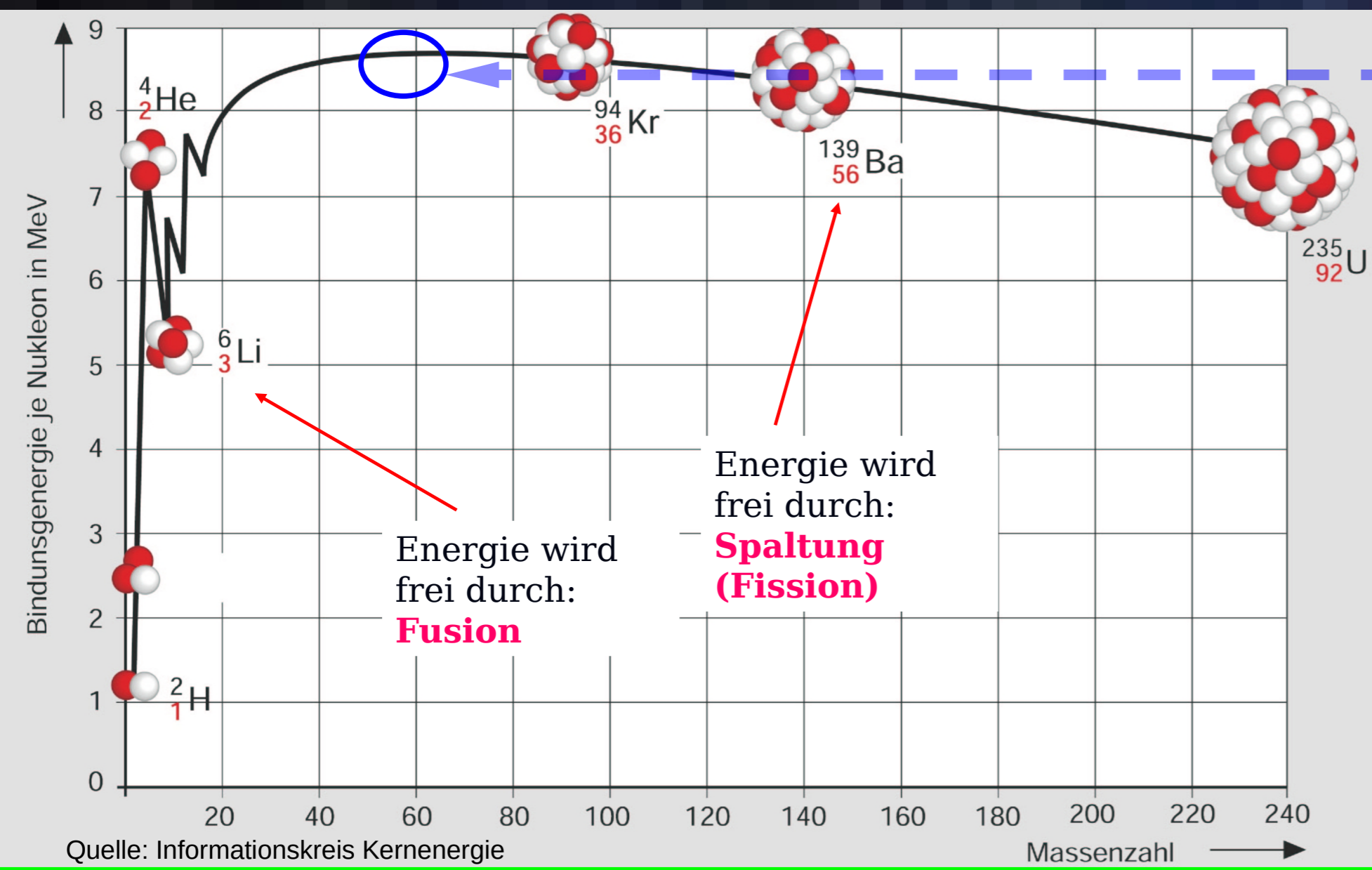
1920er Jahre: Massenspektrometrie durch William Aston:

- Die Masse eines Atomkerns ist stets kleiner als die Summe der Massen seiner Bausteine
- Massendefekt  $\Delta m$  als Folge der Bindungsenergie  $\Delta E$  der Protonen und Neutronen im Kern



Der  $^4\text{He}$ -Kern ist stets „leichter“ als seine Bestandteile (2 Protonen und 2 Neutronen)

Quelle: Informationskreis Kernenergie



Quelle: Informationskreis Kernenergie

Bindungsenergie in Bezug auf die Anzahl der Kernbausteine zeigt ein **Maximum bei Massenzahl 56 (Eisen)**

Energiegewinn durch **Fusion** leichter Kerne

hohe Drücke und Temperaturen von **15 Millionen Grad** erforderlich (vgl. Poster zur Kernfusion)

Energiegewinn durch **Spaltung** schwerer Kerne

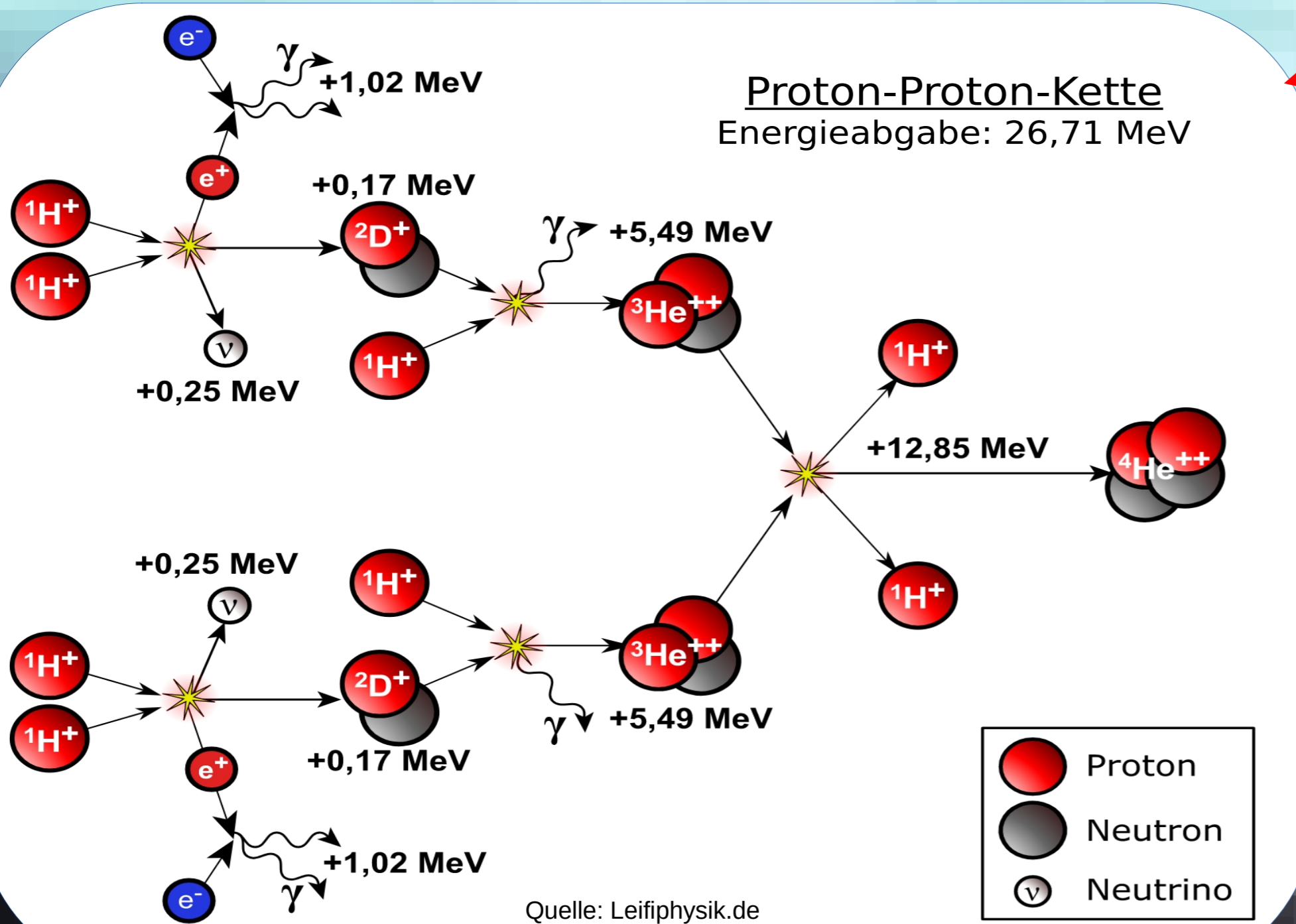
Kernkraftwerke (vgl. Poster zur Kernenergie)

Solche Temperaturen sind im Kern der Sonne (wie auch in anderen Sternen) zu finden.

→ **Die Sonne ist ein gigantischer Fusions-Reaktor! (zwei Fusions-Mechanismen)**

### Proton-Proton-Kette

Energieabgabe: 26,71 MeV



Quelle: Leifphysik.de

#### 1. Schritt:

Fusion zweier Protonen ( $^1\text{H}^+$ ) zu einem Deuteron ( $^2\text{D}^+$ , schwerer Wasserstoffkern) mit Emission eines Positrons  $e^+$  (quasi ein positiv geladenes Elektron) und eines Elektron-Neutrinos  $\nu$ .

#### 2. Schritt:

Fusion des Deuterons mit einem weiteren Proton zu einem  $^3\text{He}^{++}$ -Kern mit Emission eines Photons ( $\gamma$ -Quant).

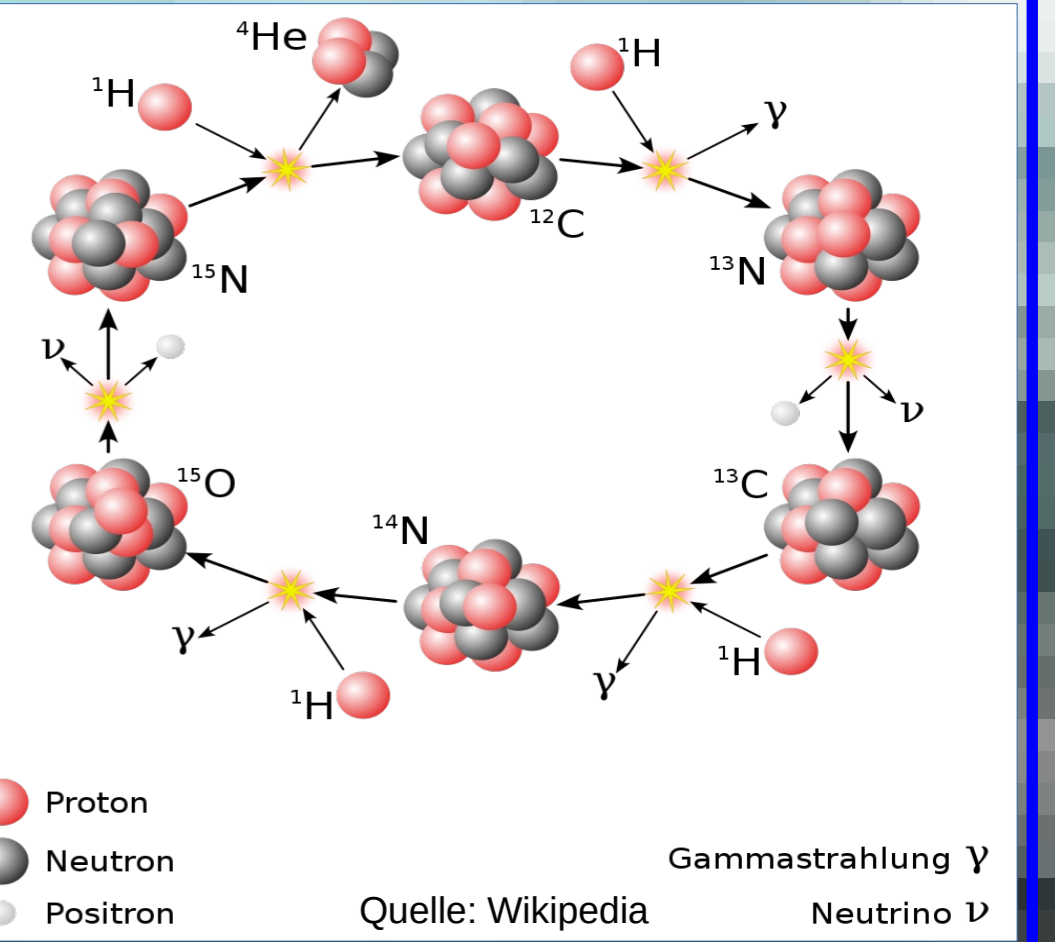
1. Schritt und 2. Schritt müssen für den **3. Schritt** zweimal ablaufen: Die zwei  $^3\text{He}^{++}$ -Kerne fusionieren zu einem  $^4\text{He}^{++}$ -Kern. Die zwei freigesetzten Protonen agieren als Fusionspartner.

#### Anmerkung:

Die Fusion von zwei  $^3\text{He}$ -Kernen findet zu ca. 86% statt. Alternativprozesse erzeugen zwischenzeitlich  $^7\text{Be}$ ,  $^7\text{Li}$  und  $^8\text{B}$  bevor der Zyklus wieder in  $^4\text{He}$  endet.

### Bethe-Weizsäcker-Zyklus:

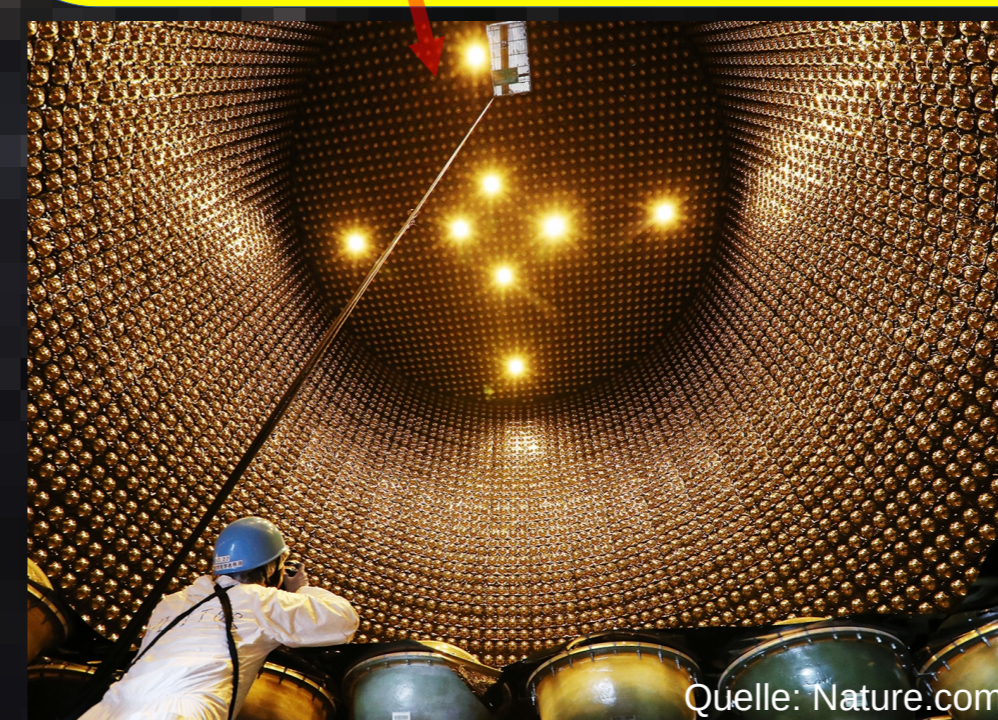
- 1937 von Hans Bethe und Carl Friedrich von Weizsäcker vorgeschlagen
- Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff dienen als Katalysatoren und werden wieder regeneriert
- Dieser Zyklus ist in unserer Sonne eher selten
- Dominant in heißeren Sternen
- Energiebilanz: 26,71 MeV



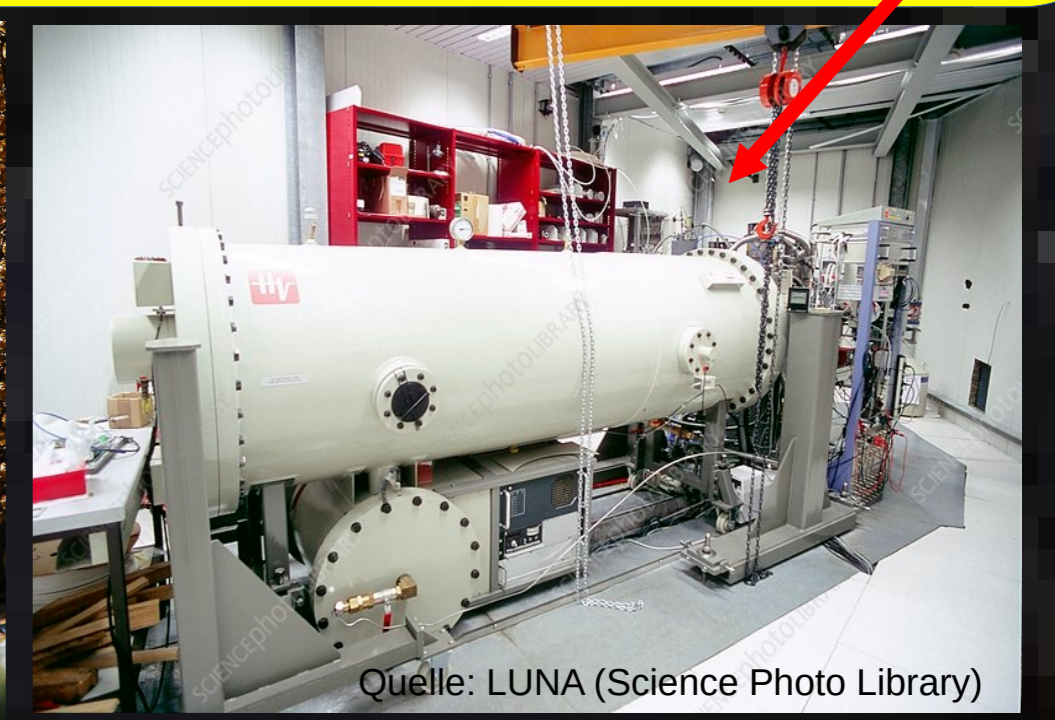
Quelle: Wikipedia

## Alles nur Theorie oder können wir diese Mechanismen nachweisen?

- Die in den Kern-Reaktionen freigesetzten Neutrinos können den Sonnenkern nahezu ungehindert verlassen
- Nachweis des Neutrino-Flusses in riesigen Detektoren (**Super-Kamiokande**, SNO, Borrexino) bestätigen den Ablauf der Kernreaktionen (Prof. Claus Rolfs: „*Neutrinos sind Sonnenspione*“)
- Vermessung von Kernreaktionen in Beschleuniger-Labors (vgl. **LUNA**) komplettieren unsere Modell-Vorstellung!



Quelle: Nature.com



Quelle: LUNA (Science Photo Library)

Ist ein kontrolliertes „Sonnenfeuer“ auf der Erde realisierbar? →