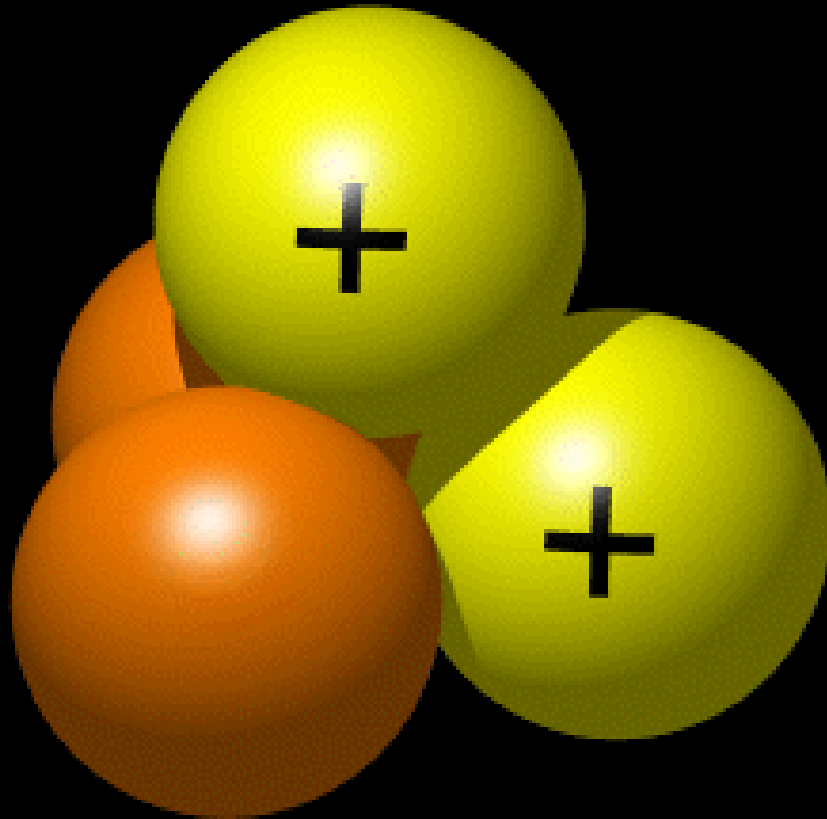


33. Lektion

Kerne



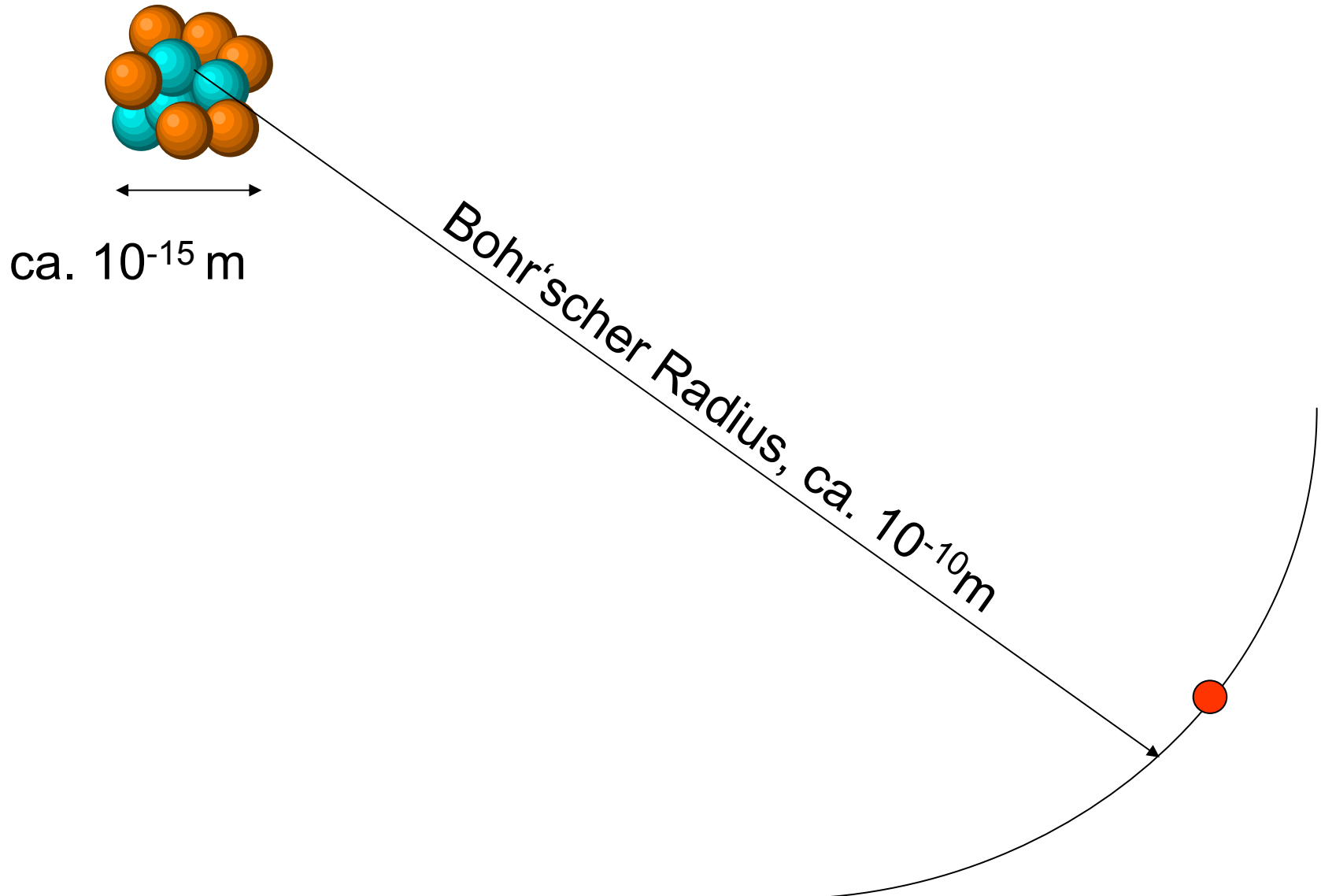
Lernziel:

Kerne bestehen aus Protonen und Neutronen, die mit starken, ladungsunabhängigen und kurzreichweitigen Kräften zusammengehalten werden

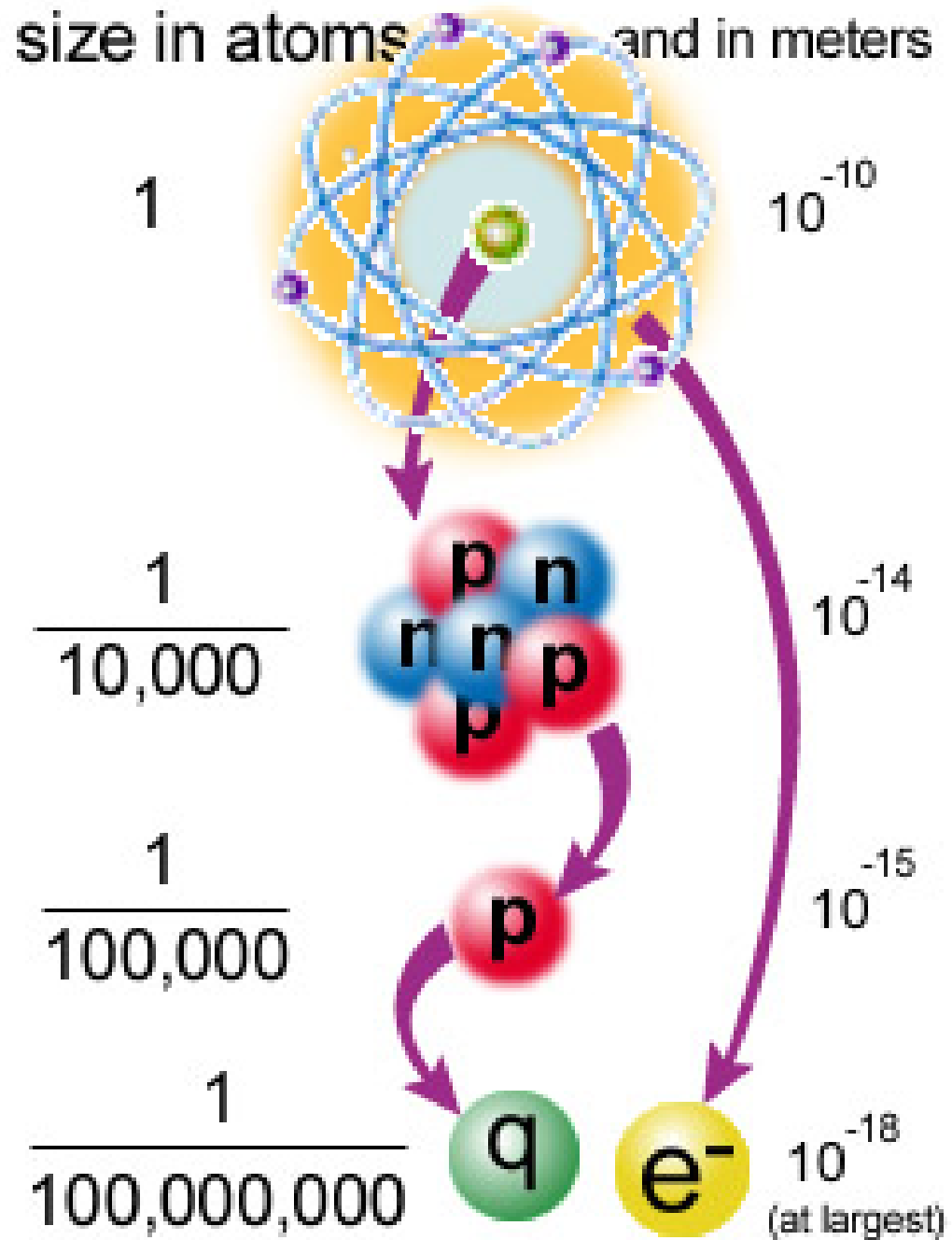
Begriffe

- Protonen, Neutronen
- Isotope
- Kernwechselwirkung
- Stabile Kerne
- Bindungsenergie
- Kernfusion, Kernspaltung

Die **Größe** eines Atoms ist durch die Elektronenorbitale gegeben, die **Masse** eines Atoms ist fast ausschließlich im Kern konzentriert.



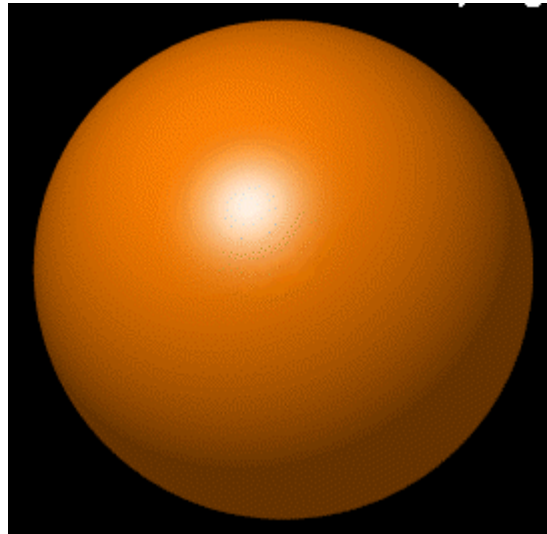
Größen- verhältnisse Atomkern zu Atom



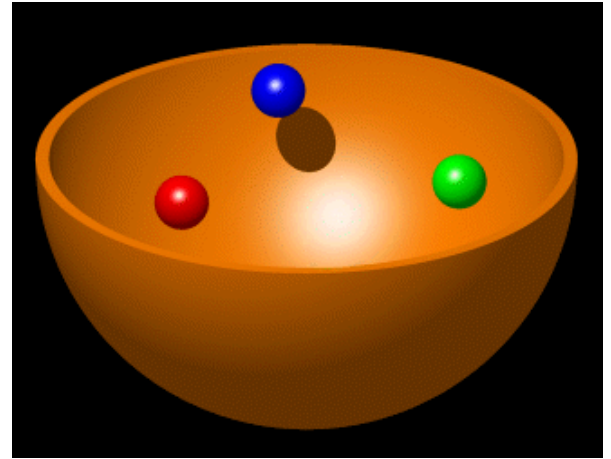
Quarks + Co

udd Quarks

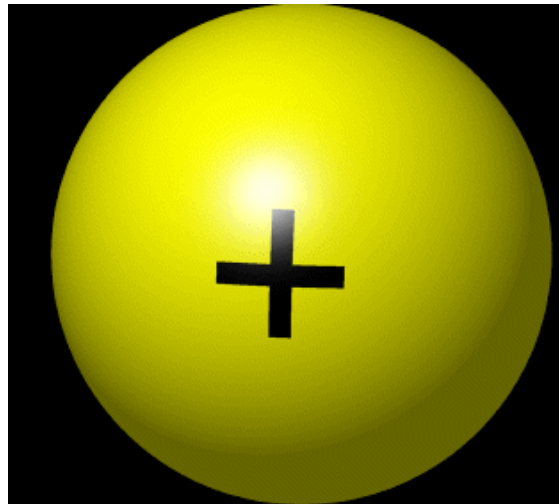
Neutron



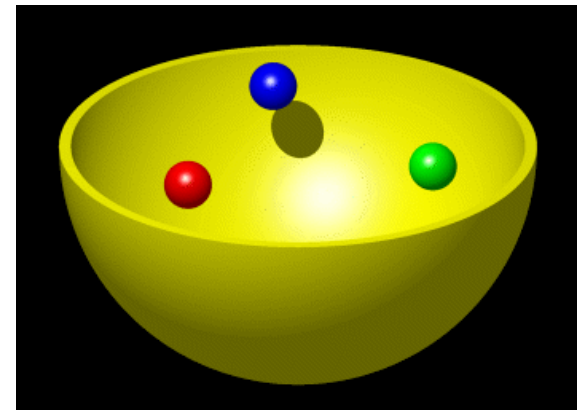
Quarks im Neutron



Proton



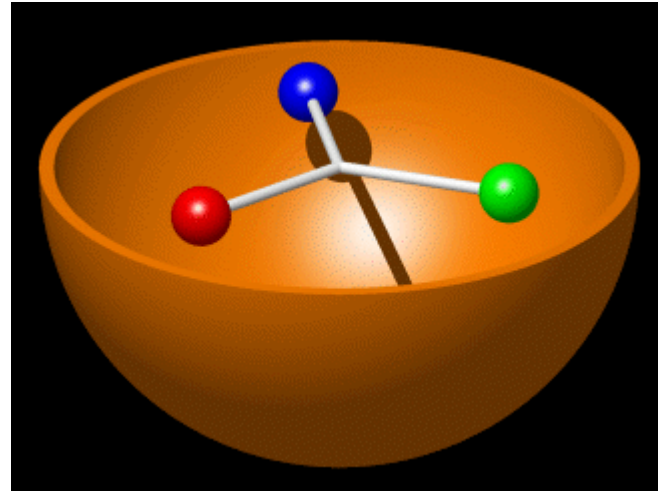
Quarks im Proton



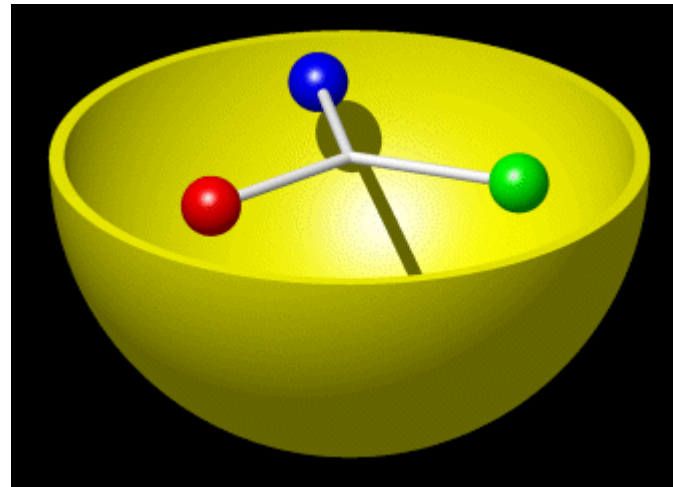
uud Quarks

Quarks
werden von
Gluonen
zusammen-
gehalten

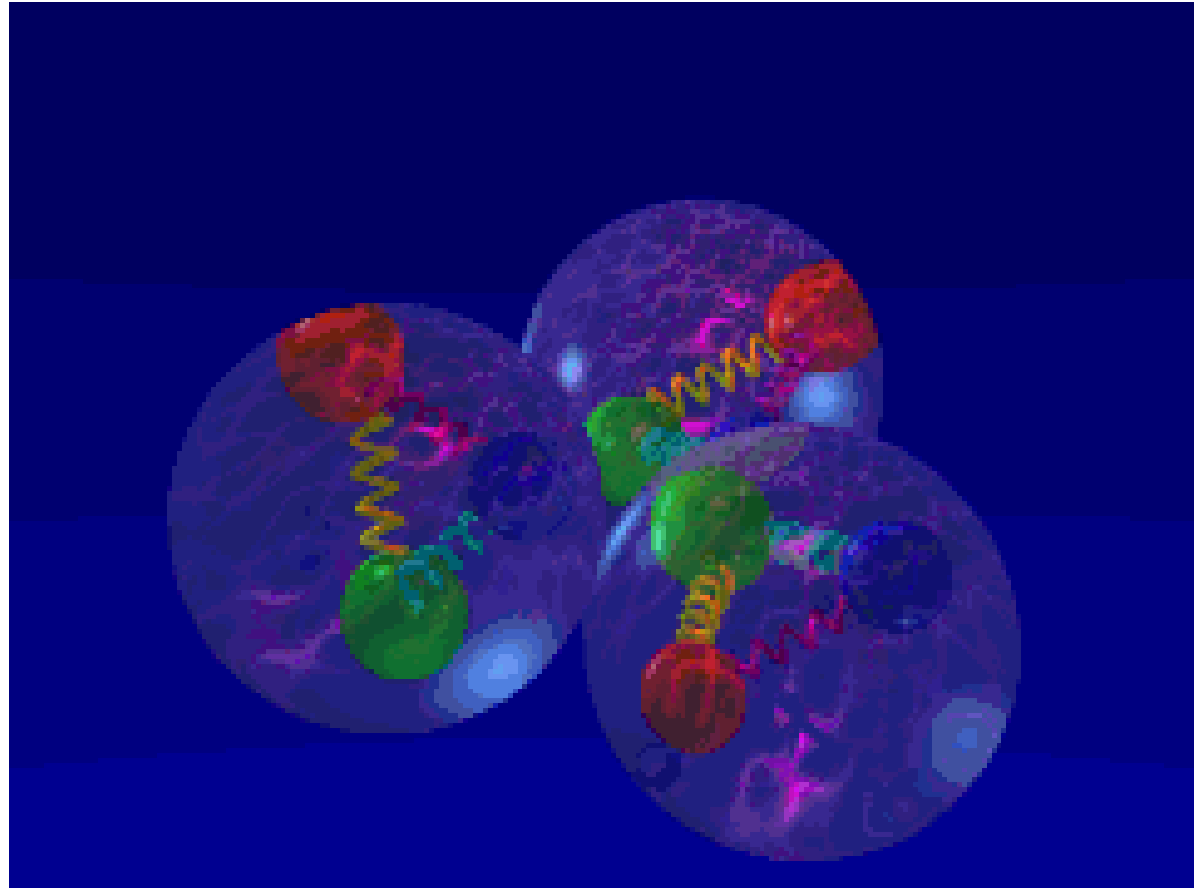
Neutronen



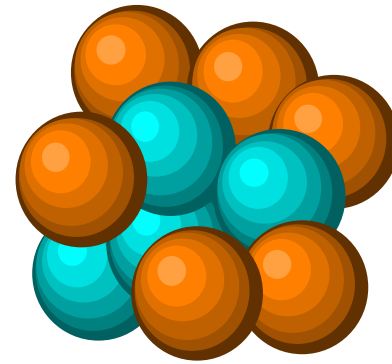
Protonen



Quark - Gluonen - Animation

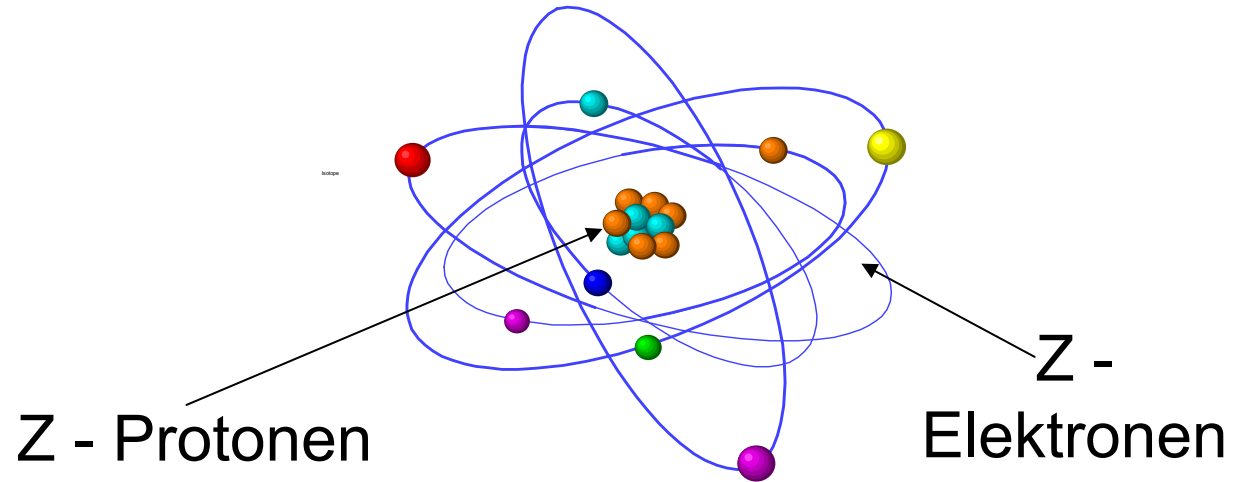


Kerne
bestehen aus
Protonen und
Neutronen
= Nukleonen



- Protonen sind positiv geladene Teilchen
- Neutronen sind elektrisch neutral
- Die Masse von Neutronen und Protonen ist fast gleich, und ca. 2000 mal größer als die Elektronenmasse
- Die Kern-Wechselwirkung zwischen Protonen und Neutronen ist wesentlich stärker als die abstoßende Coulombwechselwirkung zwischen den positiv geladenen Protonen

Isotope



- Die Zahl Z von Elektronen bestimmt die chemischen Eigenschaften eines Atoms.
- In neutralen Atomen ist die Zahl von Elektronen immer gleich der Zahl der Protonen im Kern.
- Die Zahl der Neutronen N im Kern ist dagegen nicht fixiert.
- Atome mit gleichem Z aber verschiedenem N nennt man **Isotope**.

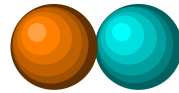
Wasserstoff-Isotope

p n n



Wasserstoff (H)

${}^1_1\text{H}$ stabil



Deuterium (D)

${}^2_1\text{H}$ stabil



Tritium (T)

${}^3_1\text{H}$ radioaktiv

Allgemein: ${}^A_Z\text{K}_N$ oder ${}^A_Z\text{K}$

Z Ordnungszahl = Anzahl von Protonen

N Neutronenzahl = Anzahl der Neutronen

A Massenzahl = Anzahl der Nukleonen
= $Z + N$

Isotope = Kerne mit gleichem Z
aber unterschiedlichem N

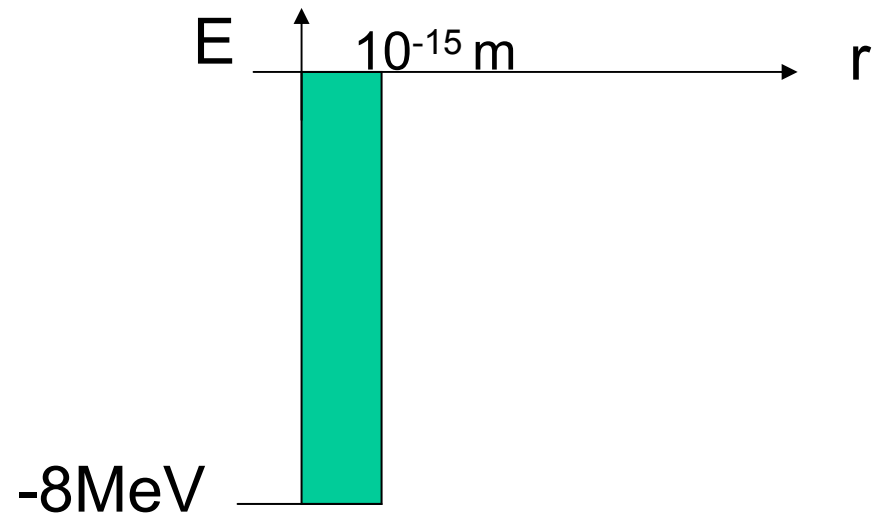
Was bestimmt die Kern- wechsel- wirkung

Die Kernwechselwirkung hat drei entscheidende Eigenschaften:

1. Sie ist sehr stark (starke Wechselwirkung, ca. 10^3 mal stärker als die Coulomb-Wechselwirkung zwischen geladenen Teilchen)
2. Sie ist sehr kurzreichweitig und wirkt nur innerhalb eines Kerns
3. Sie ist unabhängig vom Ladungs- bzw. Quarkzustand der Nukleonen, aber im Detail hoch komplex, wesentlich komplexer als die Coulombwechselwirkung

Reichweite

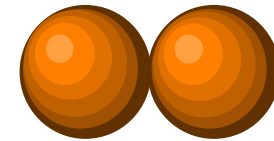
Die Nukleon-Nukleon Wechselwirkung ist sehr kurzreichweitig, d.h. sie reicht nur über ca 4 fm ($1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$) oder nur in unmittelbarer Nähe des Kerns. Vereinfacht kann man das Kernpotential durch einen tiefen Potentialtopf mit geringer Ausdehnung darstellen:



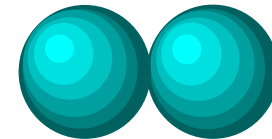
Wechselwirkung zwischen Nukleonen

Die drei Kern-Wechselwirkungen pp, pn,
und nn sind in etwa gleich groß, aber nur
pn ist stabil!

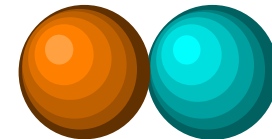
pp



nn



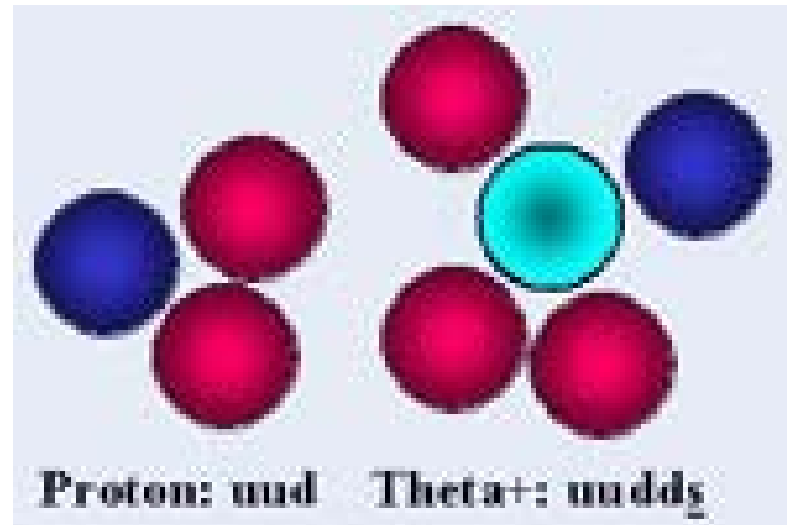
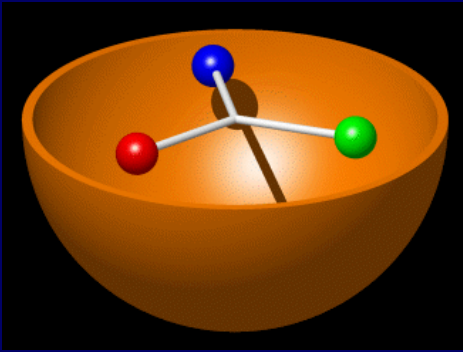
pn



Quarks + Antiquarks

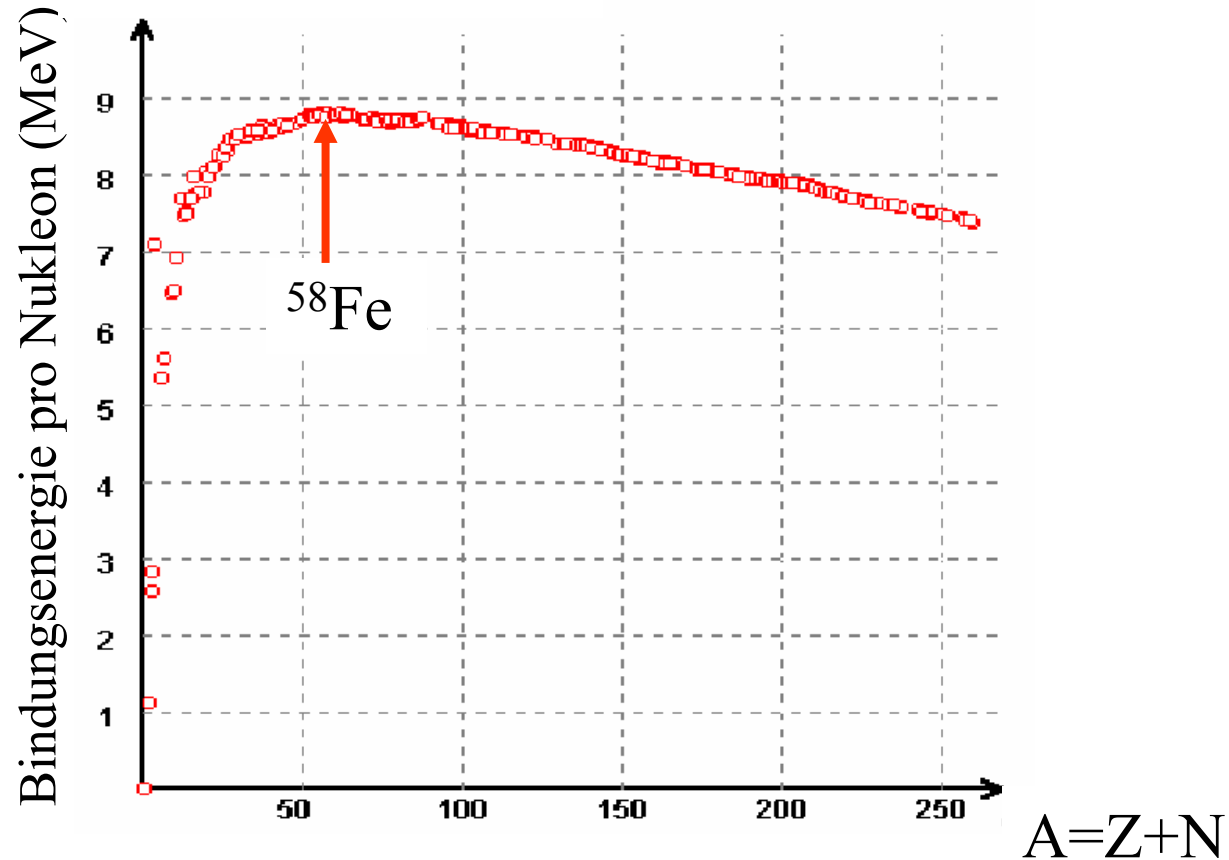
Der Protonen und Neutronen bestehen aus drei Quarks.

Bochumer Theoretiker haben vorausgesagt, dass es auch Teilchen (Theta) geben sollte mit vier bis fünf Quarks, bzw. vier Quarks und einem Anti-Quark:



Die theoretische Voraussage ist jetzt experimentell bestätigt worden.

Bindungs- energie pro Nukleon von stabilen Kernen



Die Bindungsenergie pro Nukleon ist am stärksten für ^{58}Fe . Nukleonen mit kleinerer Massenzahl gewinnen Energie durch Fusion, Nukleonen mit größerer Massenzahl durch Spaltung.

Bindungs- energie pro Nukleon von stabilen Kernen

Die nukleare Bindungsenergie B ist definiert als die Differenz zwischen der Summe der Massen der individuellen Nukleonen und ihrer beobachteten Masse, multipliziert mit c^2 :

$$B = (ZM_p + NM_n - M)c^2$$

Der Massendefekt entspricht der Energie, die aufgewandt werden muss, um einen Kern zu spalten, bzw. der Gewinn an Energie, wenn Nukleonen sich zu einem Kern verschmelzen.

Empirische Formel zur Beschreibung der Kernwechsel- wirkung



Carl Friedrich
von Weizsäcker

Zur Beschreibung der Bindungsenergie $B = (ZM_p + NM_n - M)c^2$, hat Weizsäcker 1935 den folgenden semiempirischen Ansatz gemacht (A = Massenzahl):

$B = b_1 A$	Bindungsenergie pro Nukleon (Volumenenergie)
$-b_2 A^{2/3}$	Schwächere Bindung durch fehlende Nachbarn an der Oberfläche
$-b_3 (A - 2Z)^2 / A$	Asymmetrieterm, schwächt die Ww bei nicht gleicher Zahl von P und N
$-b_4 Z^2 / A^{1/3}$	Coulombabstoßung der Protonen schwächt die Kern-Ww

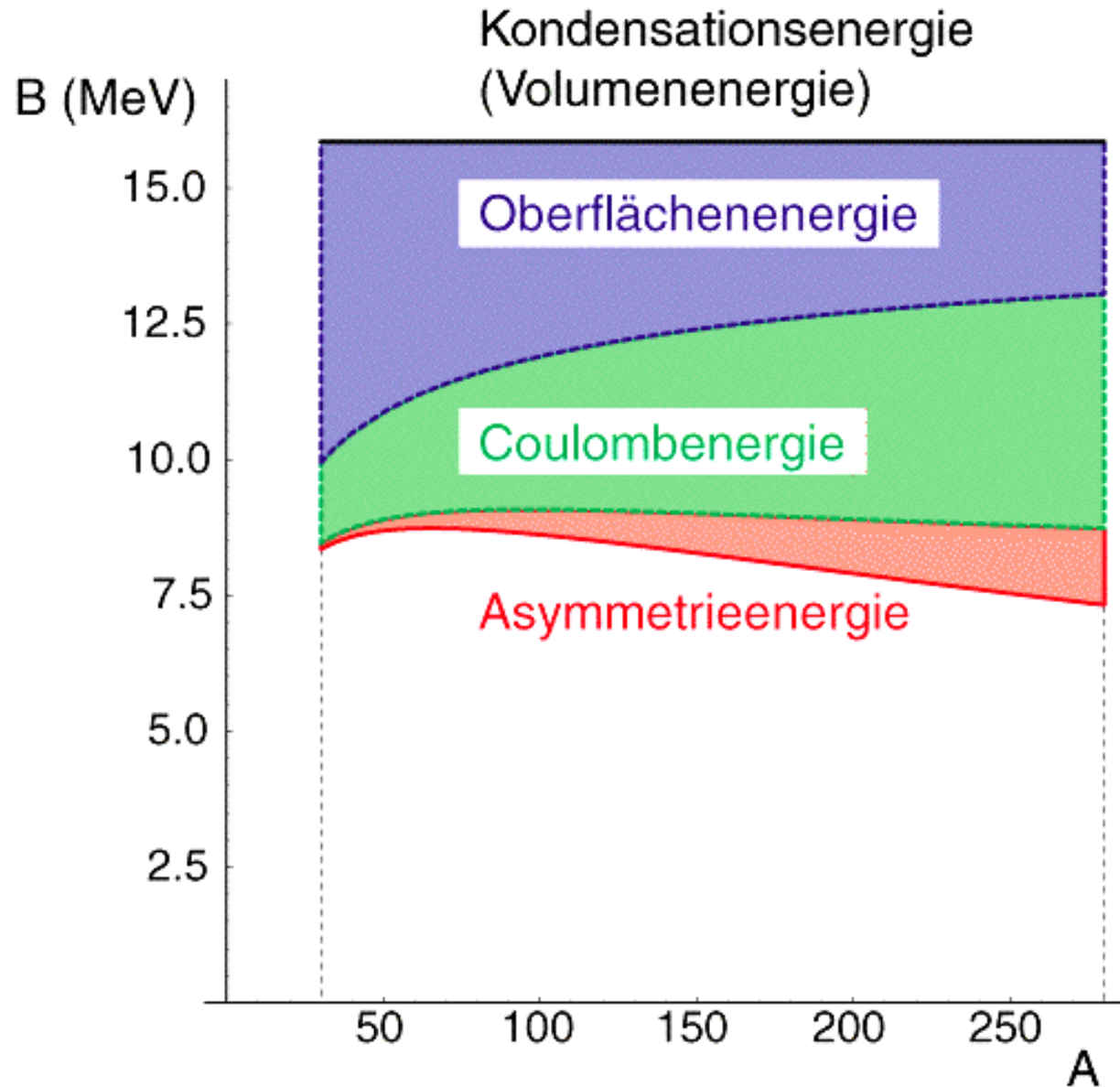
b_1, b_2, b_3, b_4 sind empirische Parameter

$b_1 \approx 16 \text{ MeV}, b_2 \approx 17 \text{ MeV}, b_3 \approx 25 \text{ MeV}, b_4 \approx 0.7 \text{ MeV}$

Empirische Formel zur Beschreibung der Kernwechsel- wirkung



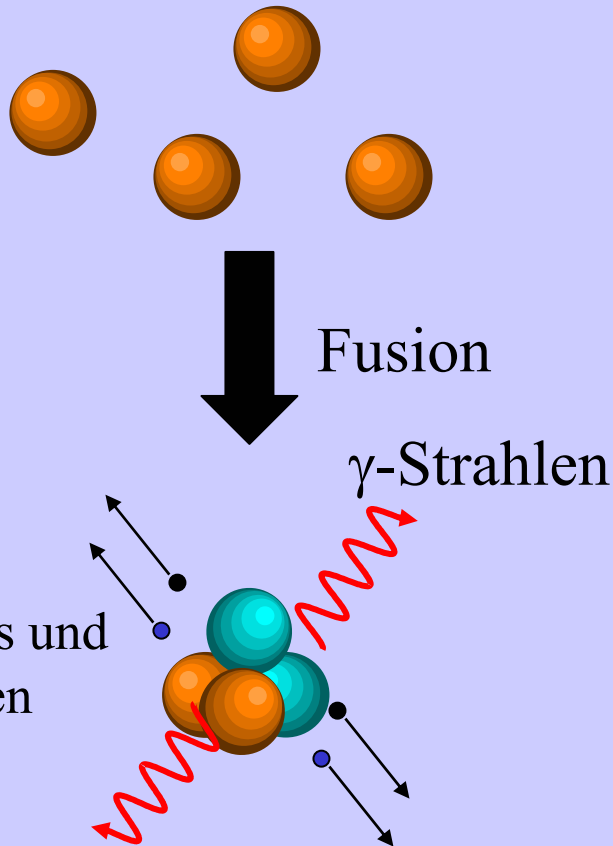
Carl Friedrich
von Weizsäcker



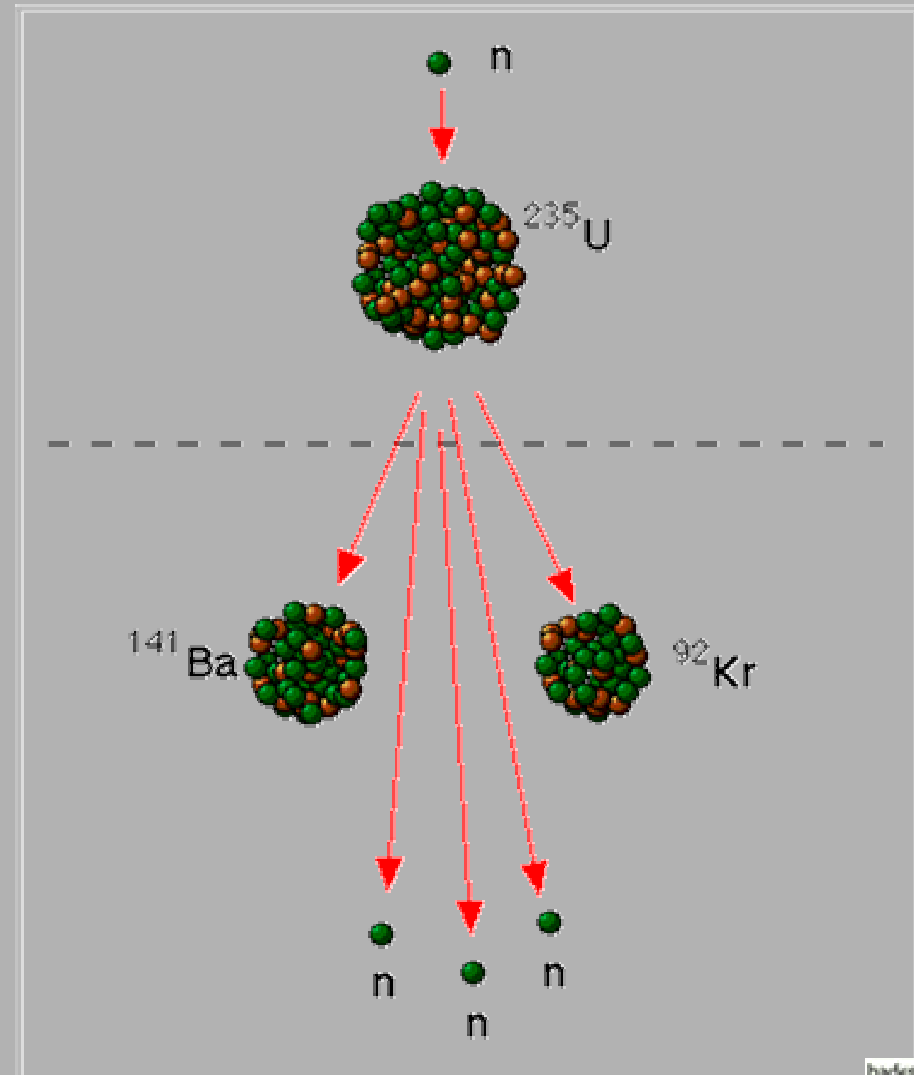
Energiegewinnung aus Kernreaktion

Kernfusion

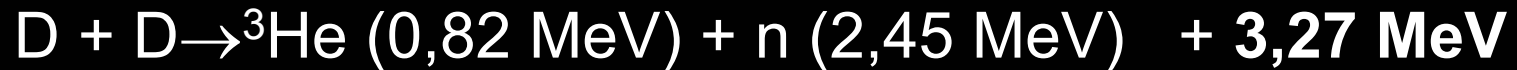
4 Protonen unter extremen Druck- und Temperaturbedingungen



Kernspaltung



Fusion Reaktionen:

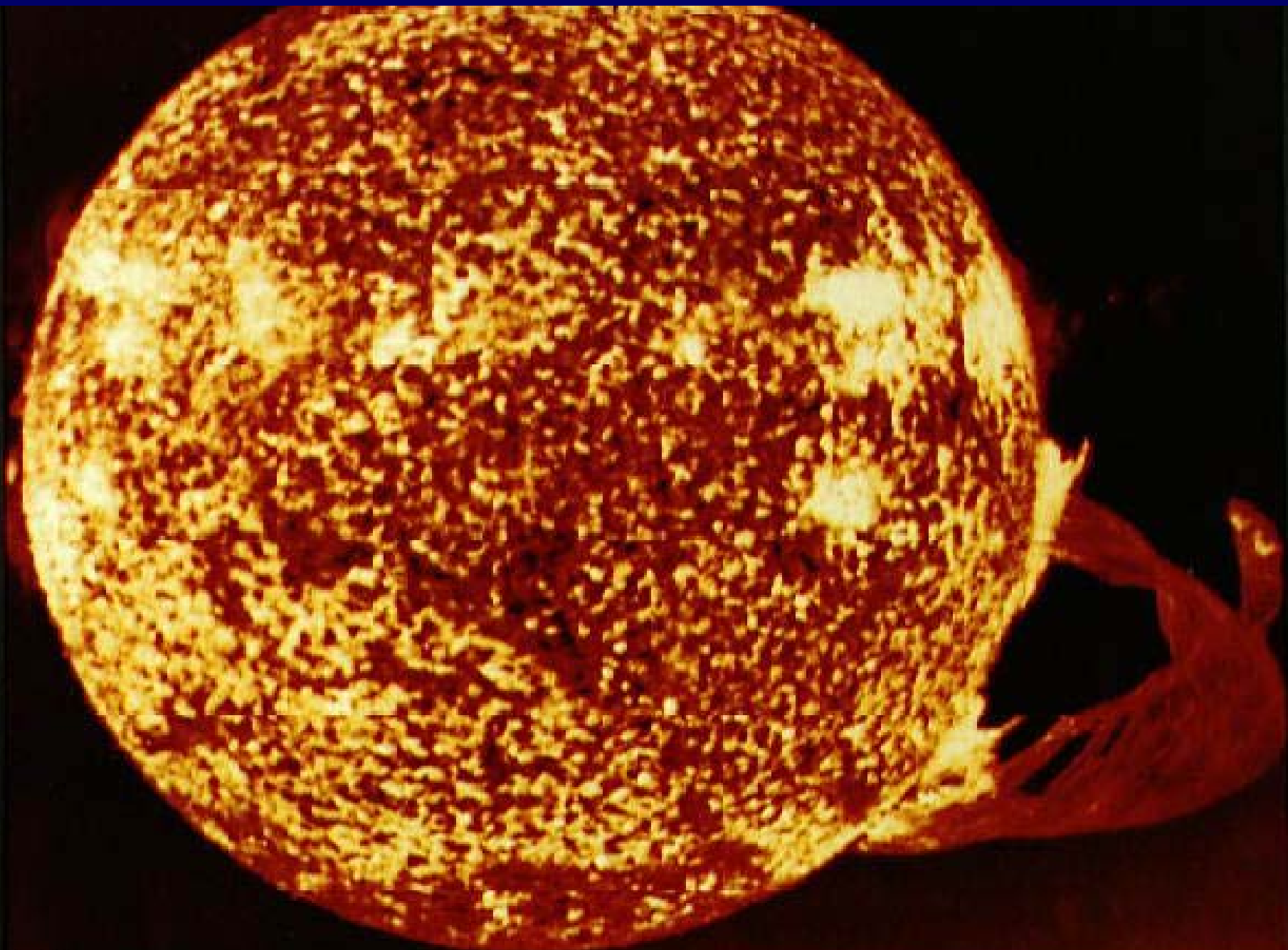


Tritium



Deuterium

Verbrennen von Wasserstoff zu Helium in der Sonne

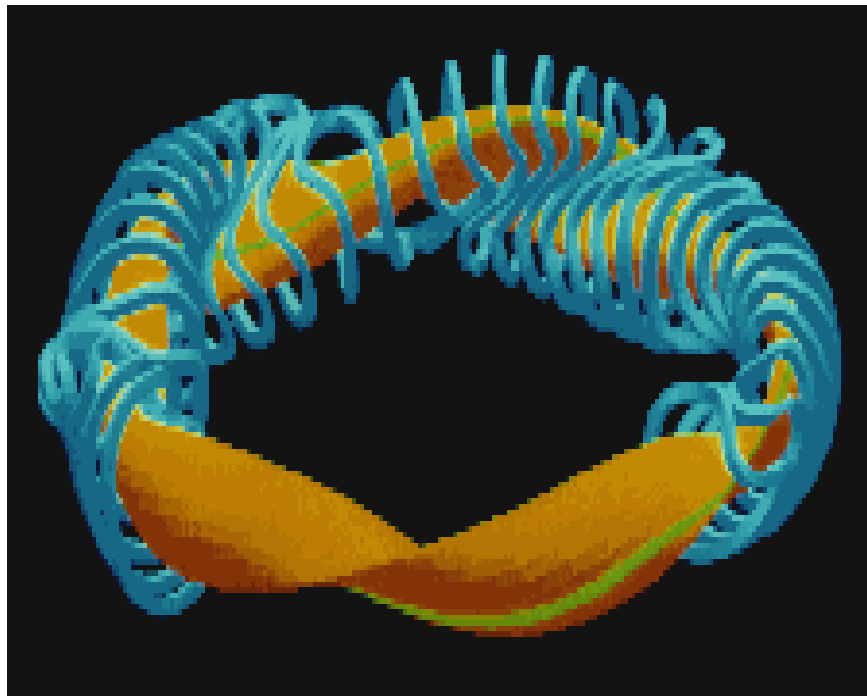


**Wasserstoff – Bombe durch D-T Reaktion
6. November 1952,
Eniwetok Atoll, Pazifischer Ozean**

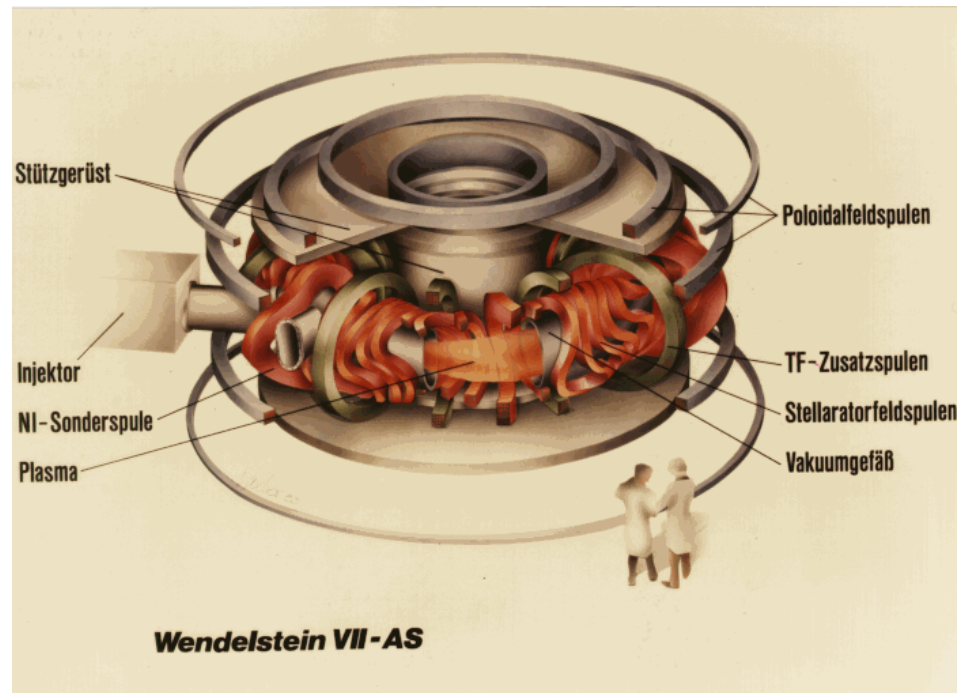


Tokamak-Fusionsreaktoren für Energiegewinnung aus Kernfusion

Torus zum Einschließen von heißen Plasmen für Fusion

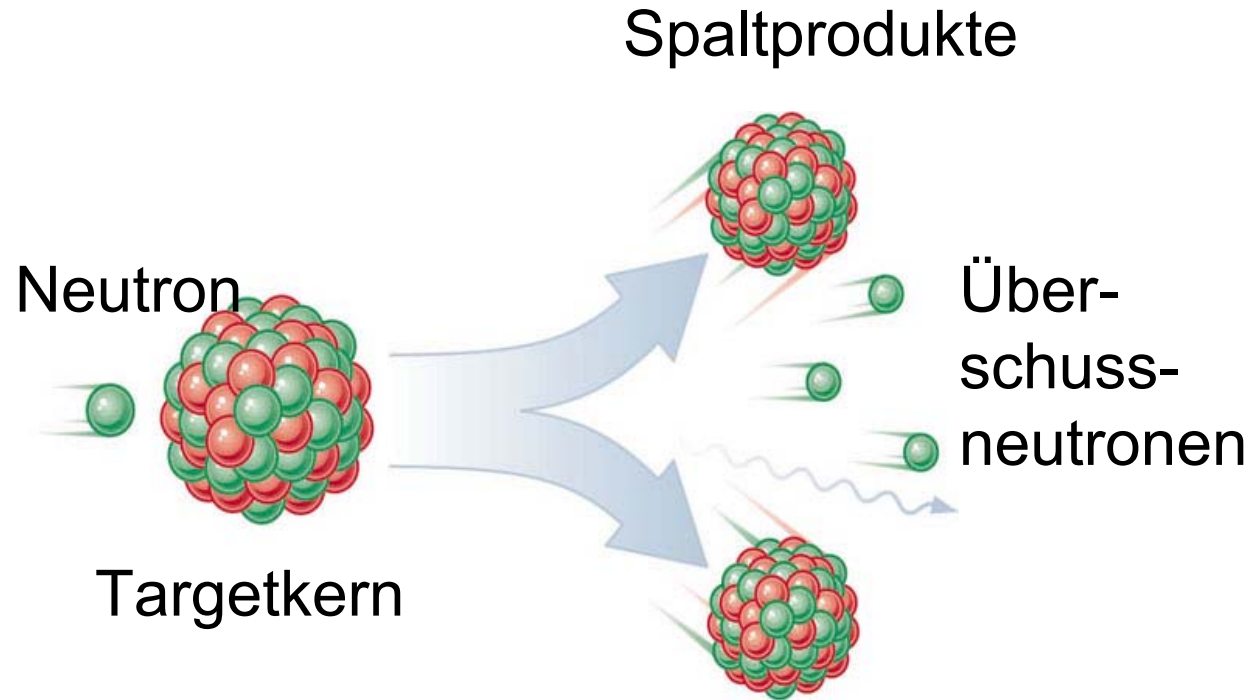
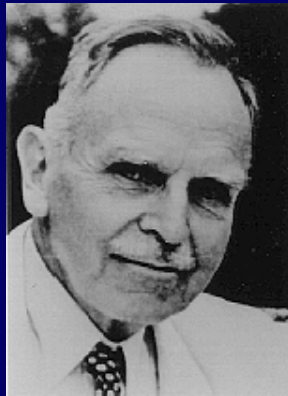


Geplanter Fusionsreaktor
Wendelstein des MPI-Greifswald



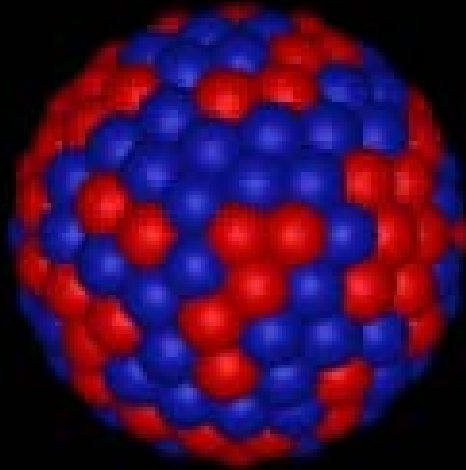
Kernspaltung

Lise Meitner und Otto Hahn

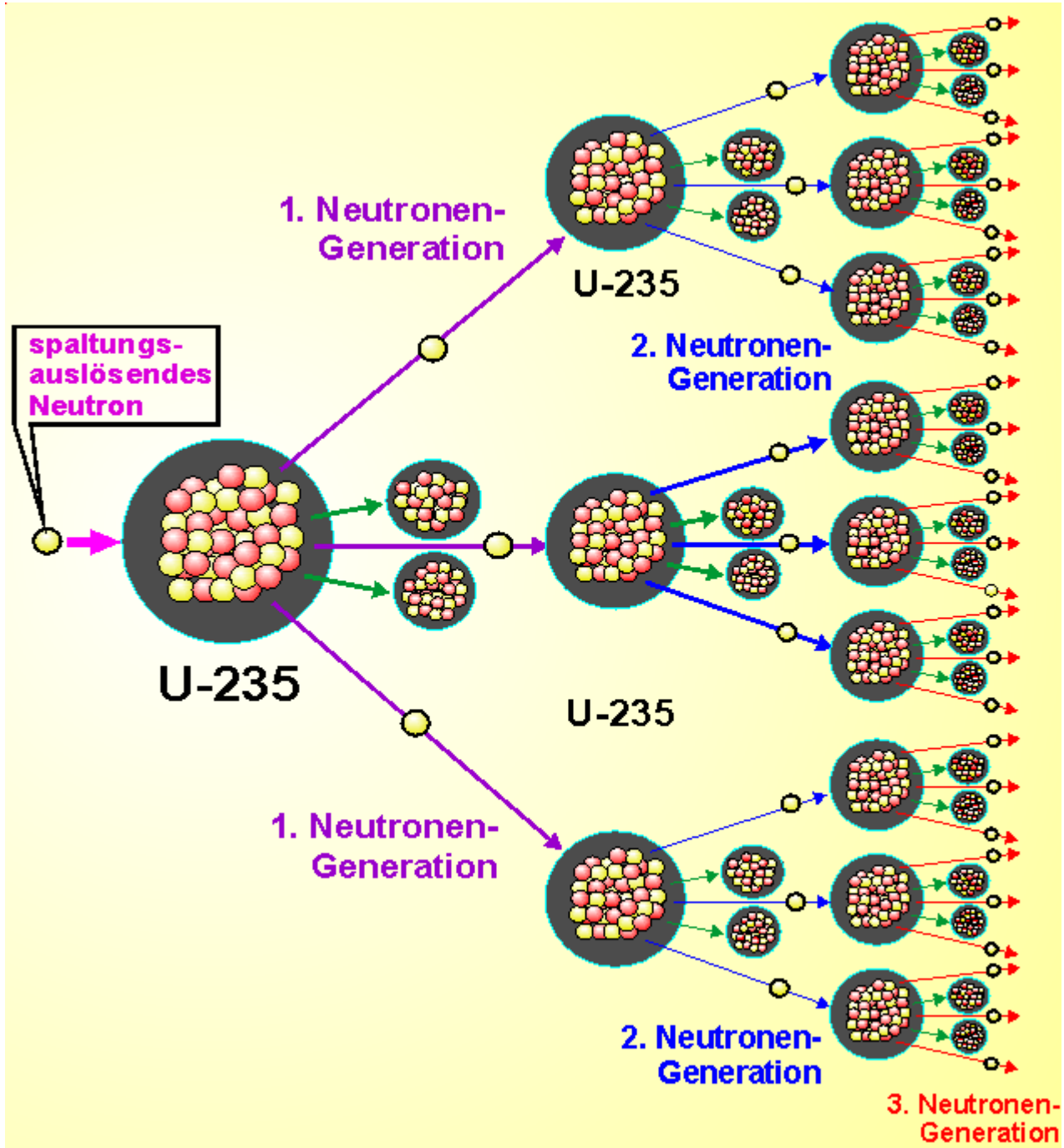


... entdeckten 1938
zusammen mit Fritz
Strassmann die Kernspaltung
von Uran nach Bestrahlung
mit Neutronen

Kernspaltung



Kettenreaktion bei der Kernspaltung mit Hilfe der Überschussneutronen



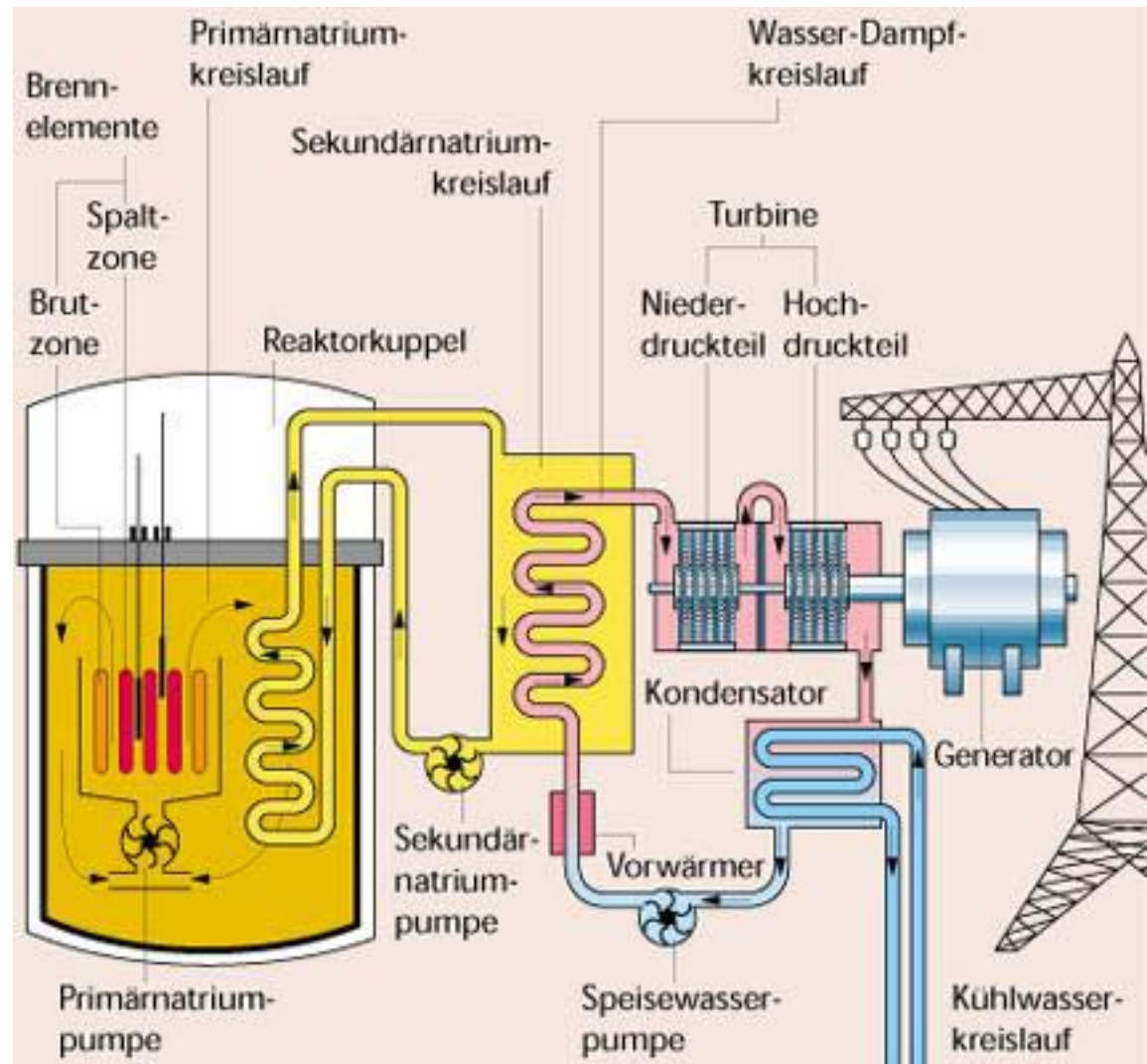
Atombombentest Trinity in Los Alamos, Kernspaltung von ^{239}Pu



Friedliche Nutzung von Kernkraft in einem Kernkraftwerk

Mit Hilfe der bei der Spaltung freiwerdenden Energie wird Wasserdampf erzeugt.

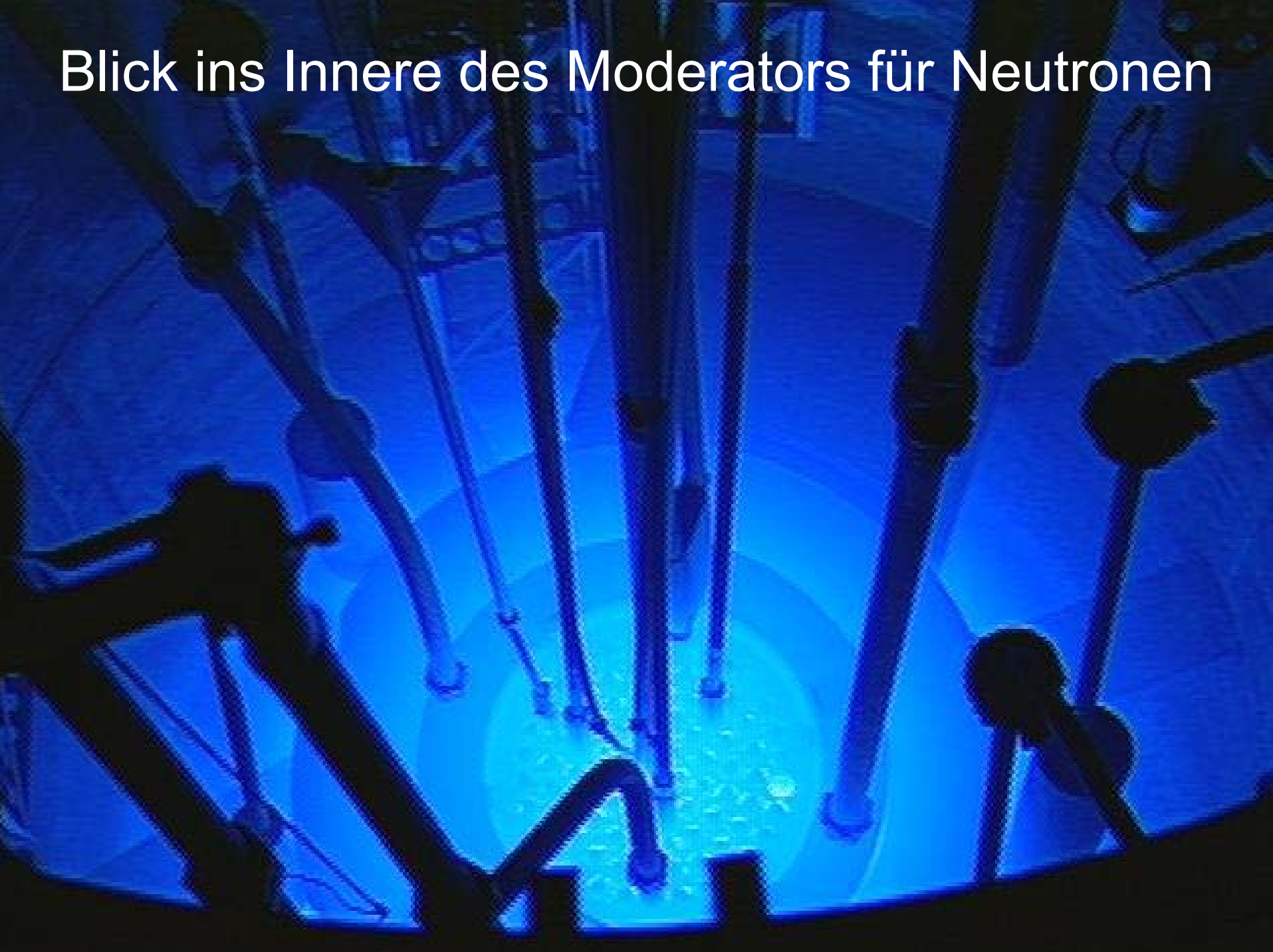
Wasserdampf treibt Turbinenschaufeln an, die sich zwischen den Polschuhen eines Magneten drehen. Dadurch entsteht Elektrizität.



Forschungsreaktor Institut Laue- Langevin in Grenoble

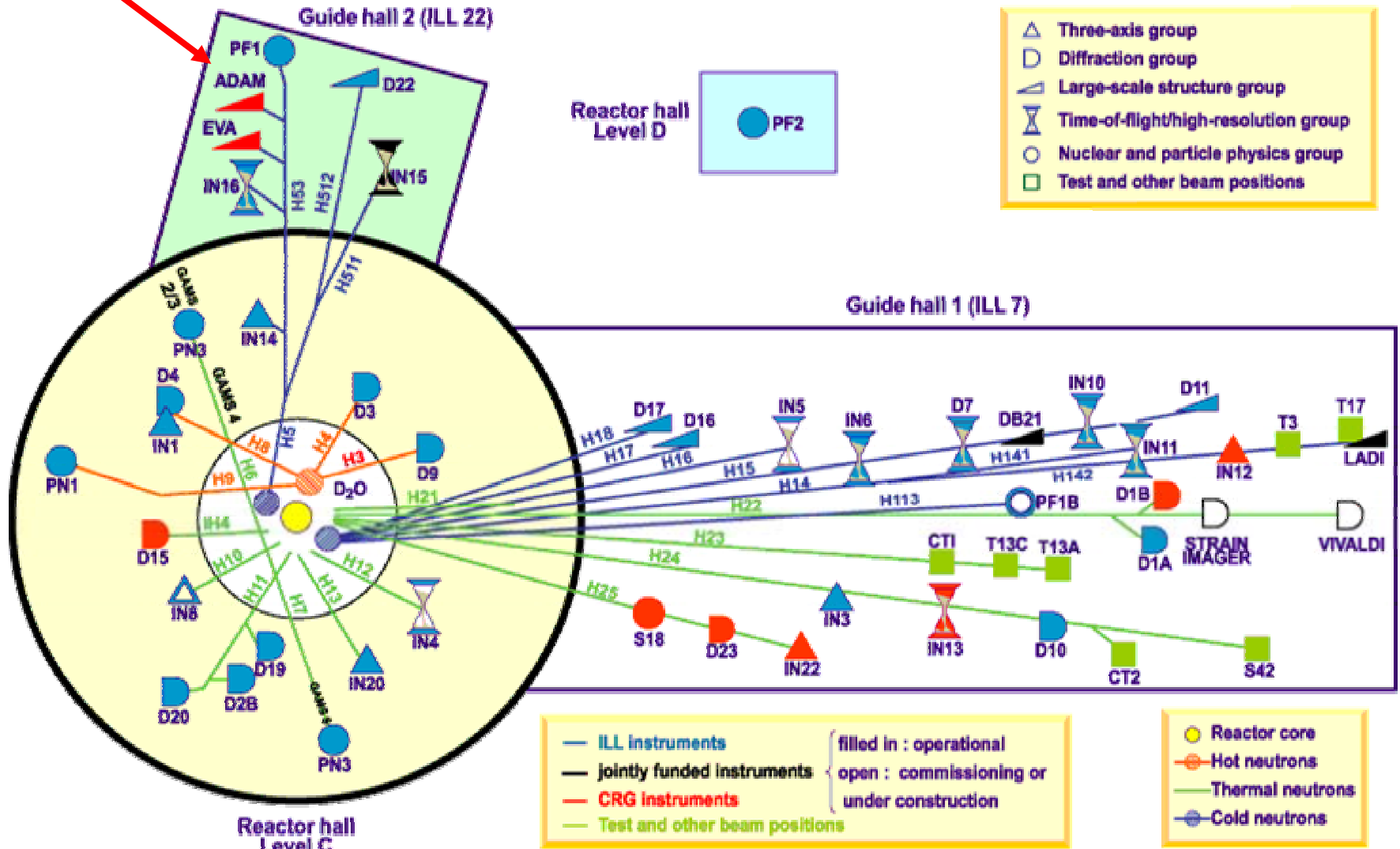


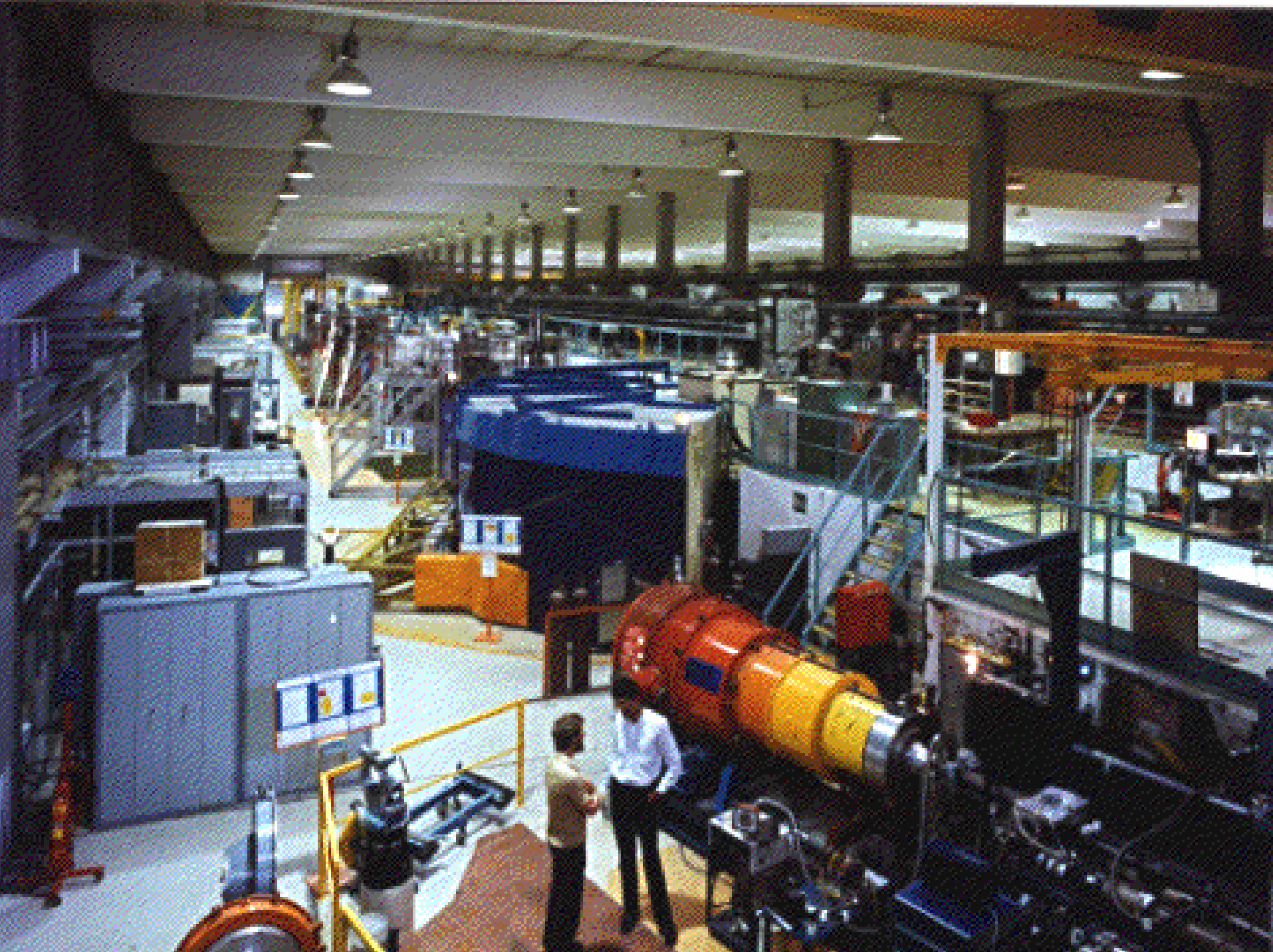
Blick ins Innere des Moderators für Neutronen

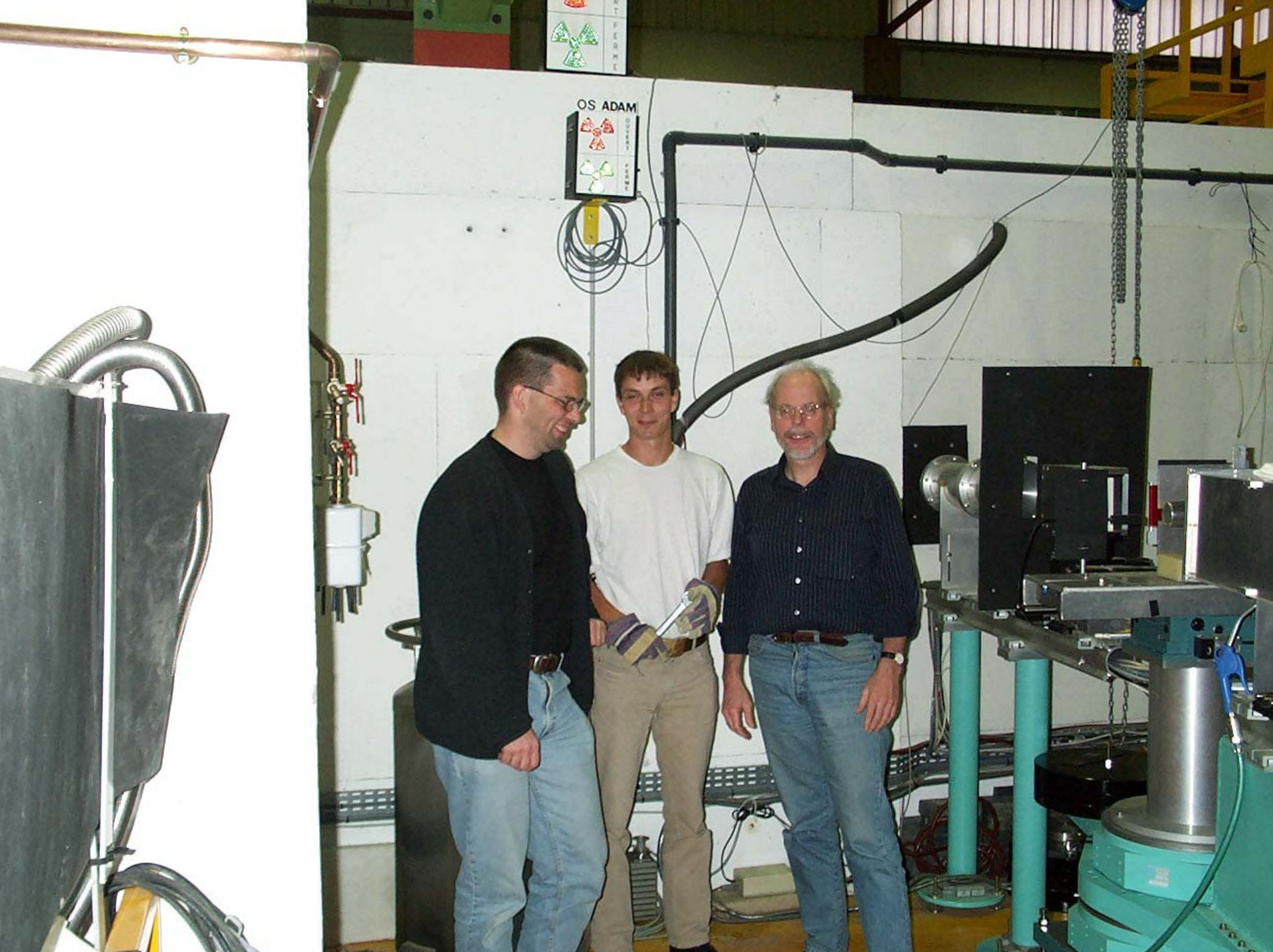


Forschungsinstrumente am ILL

ADAM







OS ADAM



Zusammenfassung

- Kerne sind aus Protonen und Neutronen aufgebaut
- Die Kerne werden durch eine sehr starke und kurzreichweitige Wechselwirkung zusammengehalten
- Die Wechselwirkung pro Nukleon ist für ^{58}Fe am grössten. Für kleine Kerne gewinnt man Energie aus Fusion, für grössere Kerne aus der Spaltung
- Kernfusion und Kernspaltung können militärisch und friedlich zur Energiegewinnung eingesetzt werden.