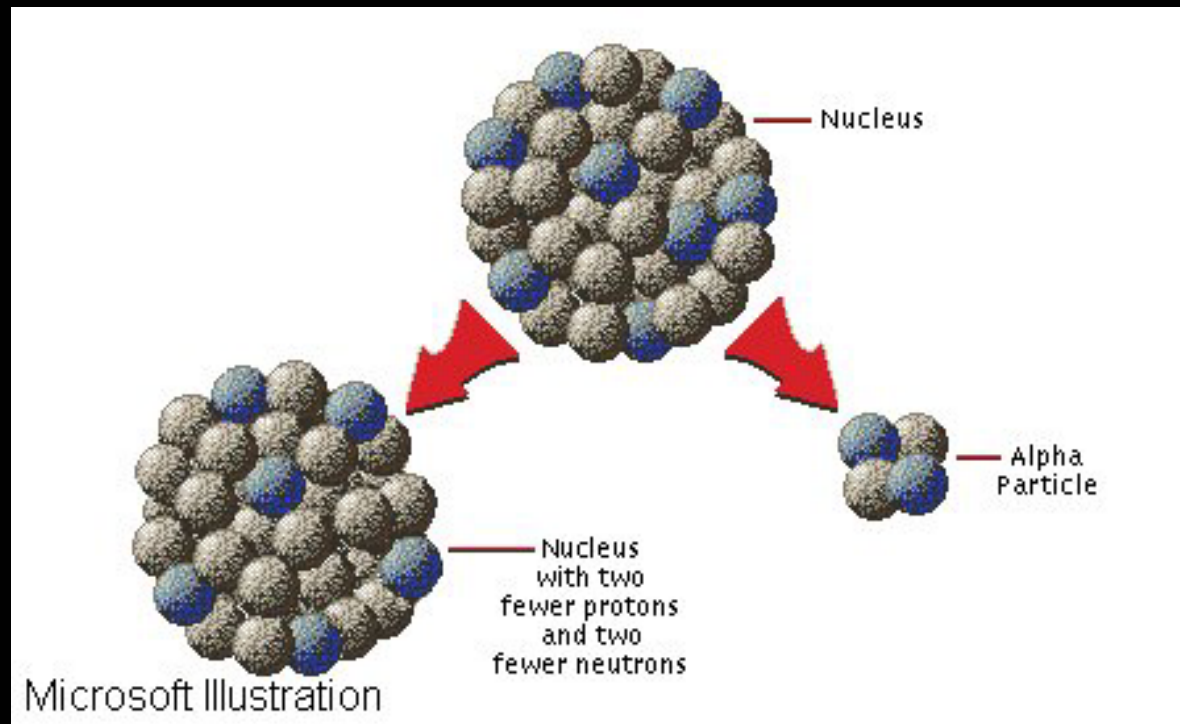


# 34. Lektion

# Kernzerfälle



**Lernziel:**

**Stabilität von Kernen ist an das Verhältnis von Protonen zu Neutronen geknüpft. Zu viele oder zu wenige Neutronen führen zum spontanen Zerfall.**

# Begriffe

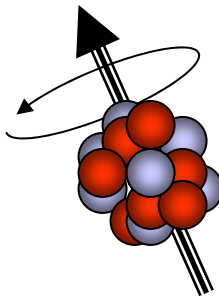
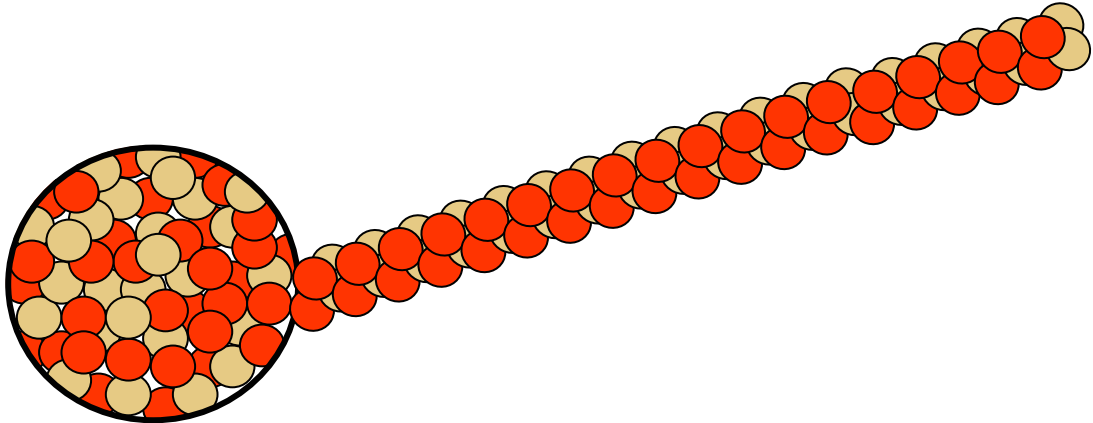
- Stabilität von Kernen
- Tal der Stabilität
- Spontaner Zerfall
- Induzierter Zerfall
- Neutronenüberschuss
- $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  - Strahlung

# Kernzerfälle

Kerne können entweder spontan oder induziert zerfallen:

- **Spontaner Zerfall** erfolgt, wenn ein Kern instabil ist. Der Kern geht dann spontan in einen niedrigeren Energiezustand mit höherer Bindungsenergie über.
- **Induzierter Zerfall** erfolgt nach Beschuss des Kerns mit Neutronen, Protonen,  $\alpha$ -Teilchen, Elektronen, Photonen, etc.

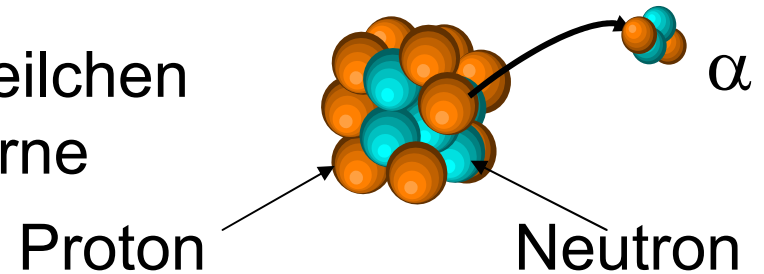
# Spontaner Zerfall



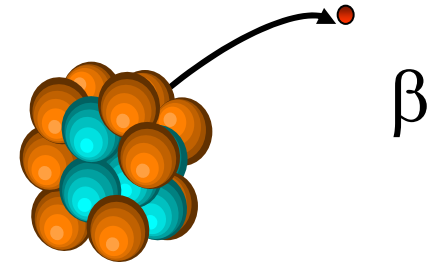
# Drei Arten des spontanen Kernzerfalls

Zerfall von instabilen Atomkernen durch Emission von Teilchen oder Strahlung

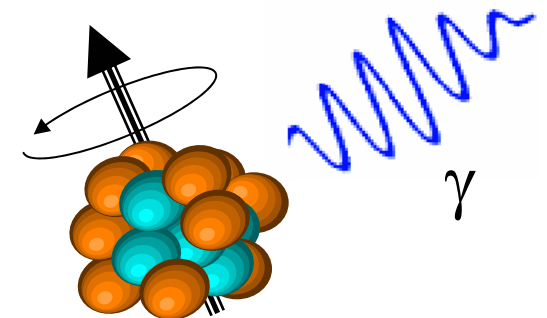
(a) Alpha-Teilchen  
bzw. He-Kerne



(b) Beta-Teilchen  
bzw. positive oder  
negative geladene  
Elektronen

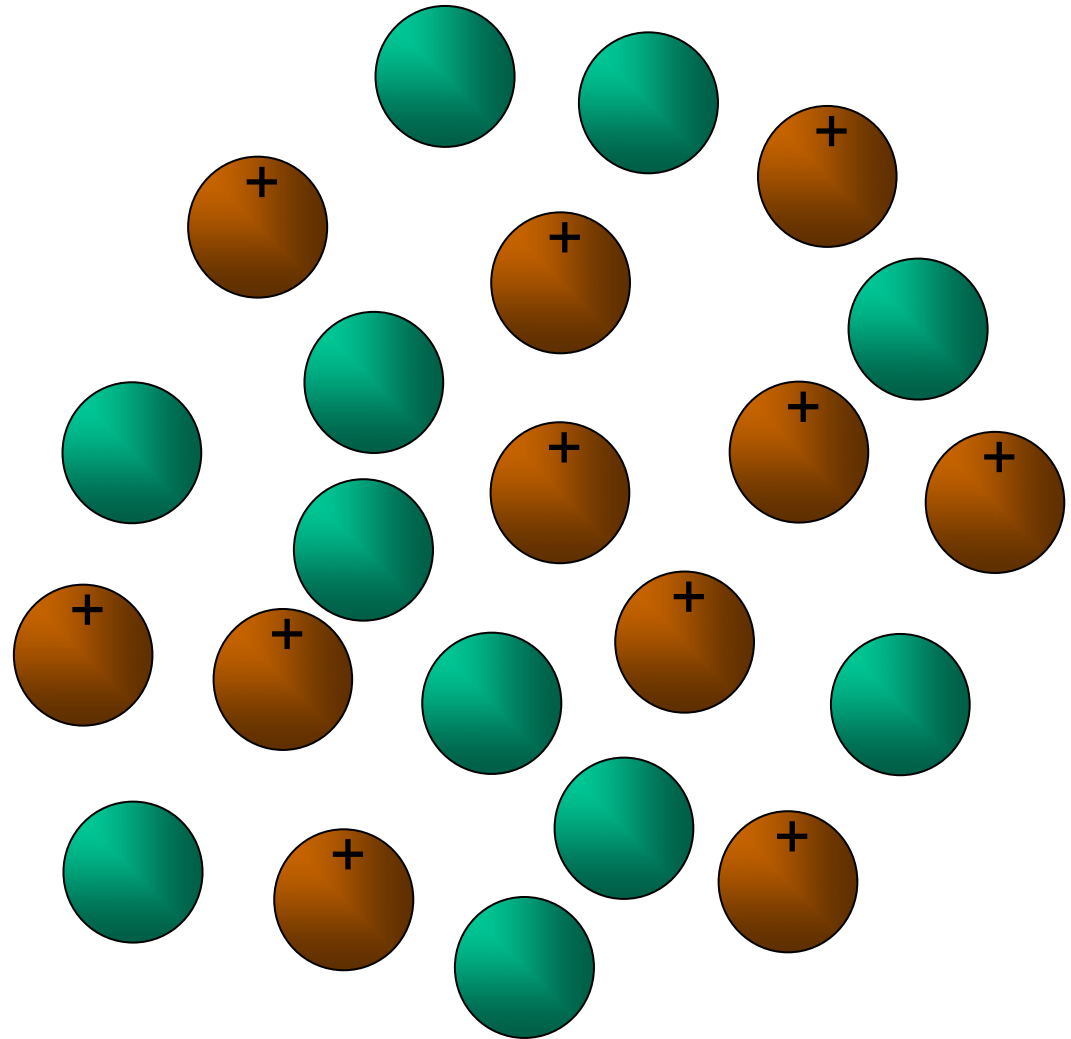


(g) Gamma-  
Quanten bzw.  
EM- Strahlung



Wann sind  
Kerne  
instabil?

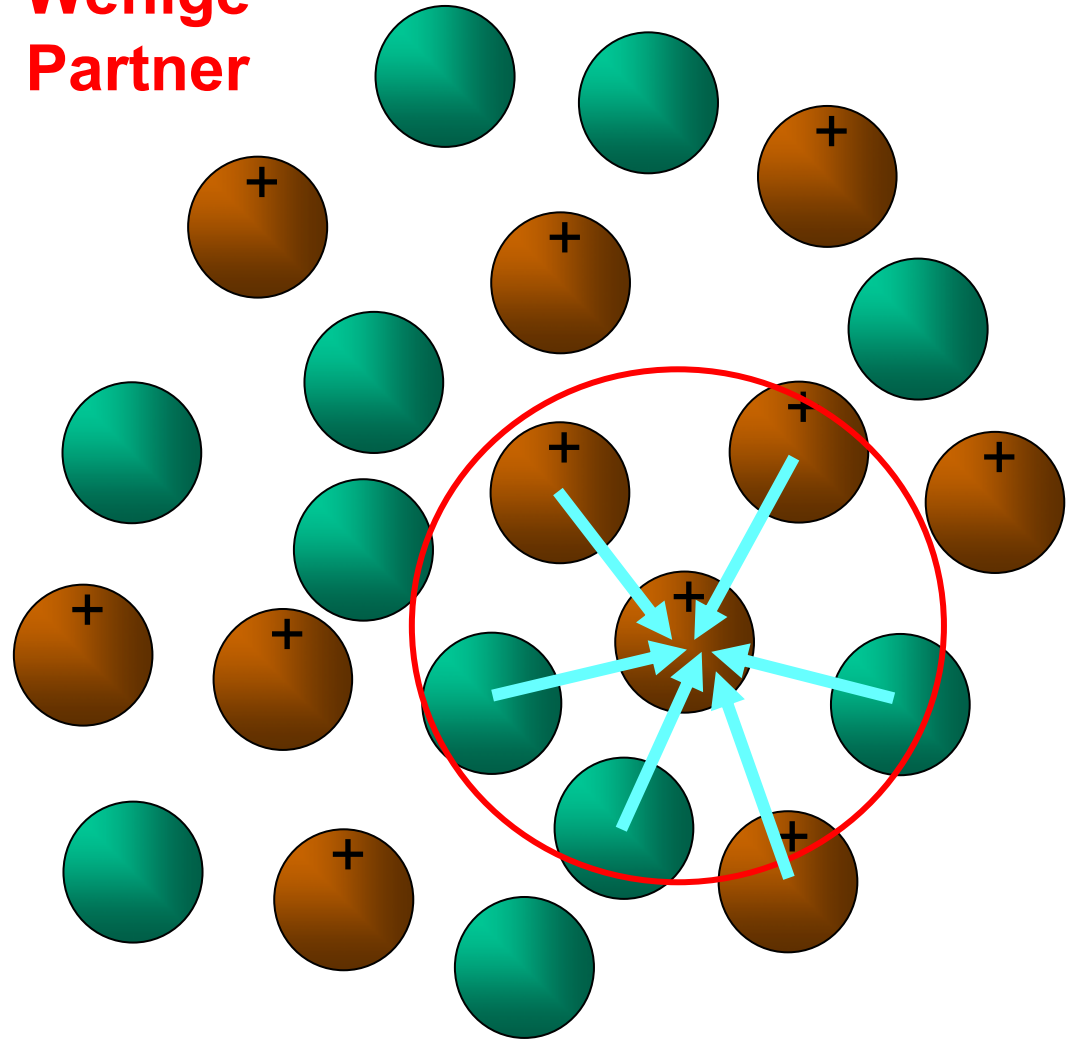
Beispiel: Atomkern  $Z=11$   $N=12$



Wann sind  
Kerne  
instabil?

Starke anziehende Kernkräfte:  
kurze Reichweite

Wenige  
Partner

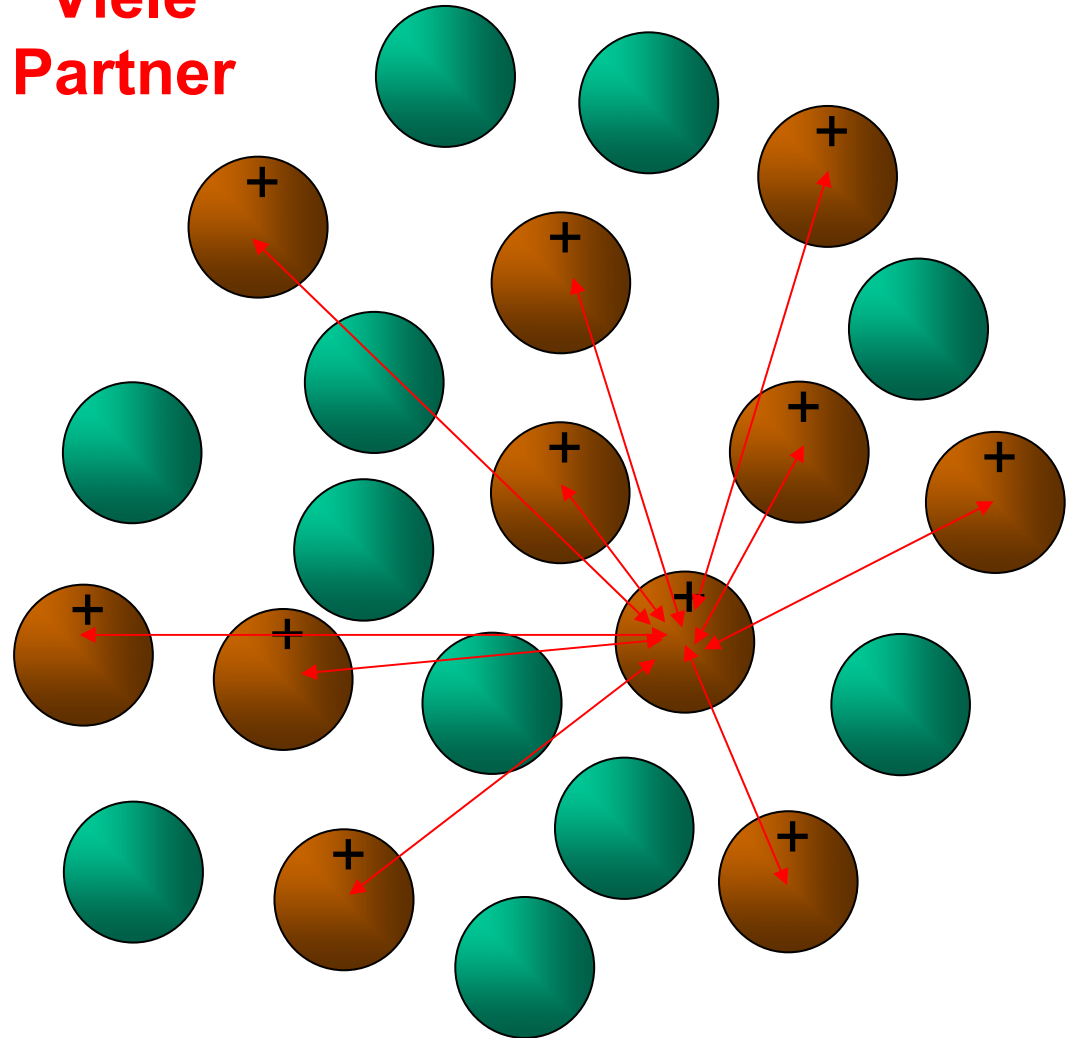




Wann sind  
Kerne  
instabil?

# Schwache abstoßende Ladungskräfte: lange Reichweite

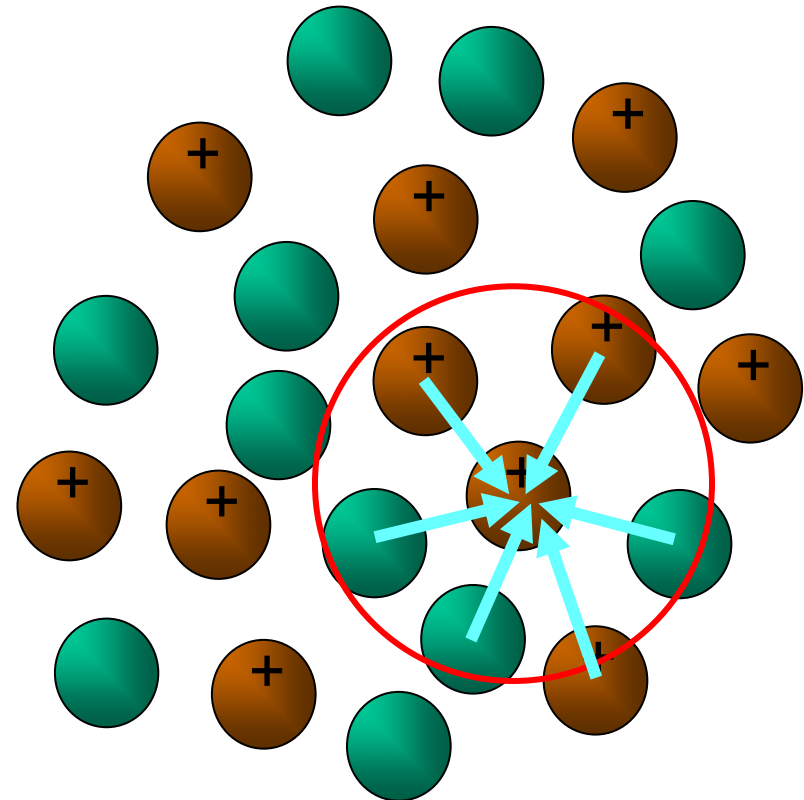
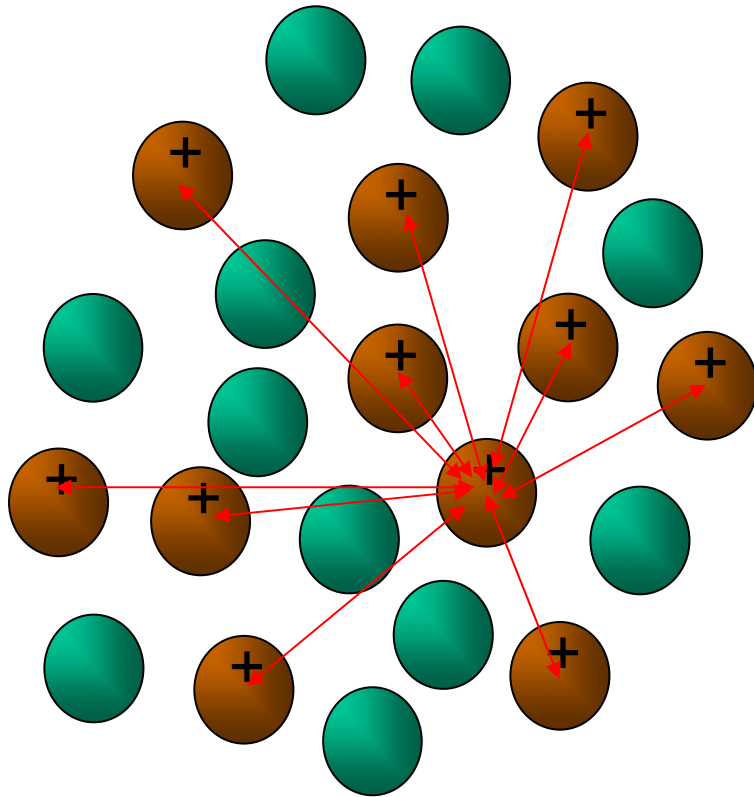
**Viele  
Partner**



# Gleichgewicht: Anziehung gegenüber Abstoßung

$$\text{Abstoßung} = Z \cdot Z$$

$$\text{Anziehung} = (Z+N) \cdot 7$$

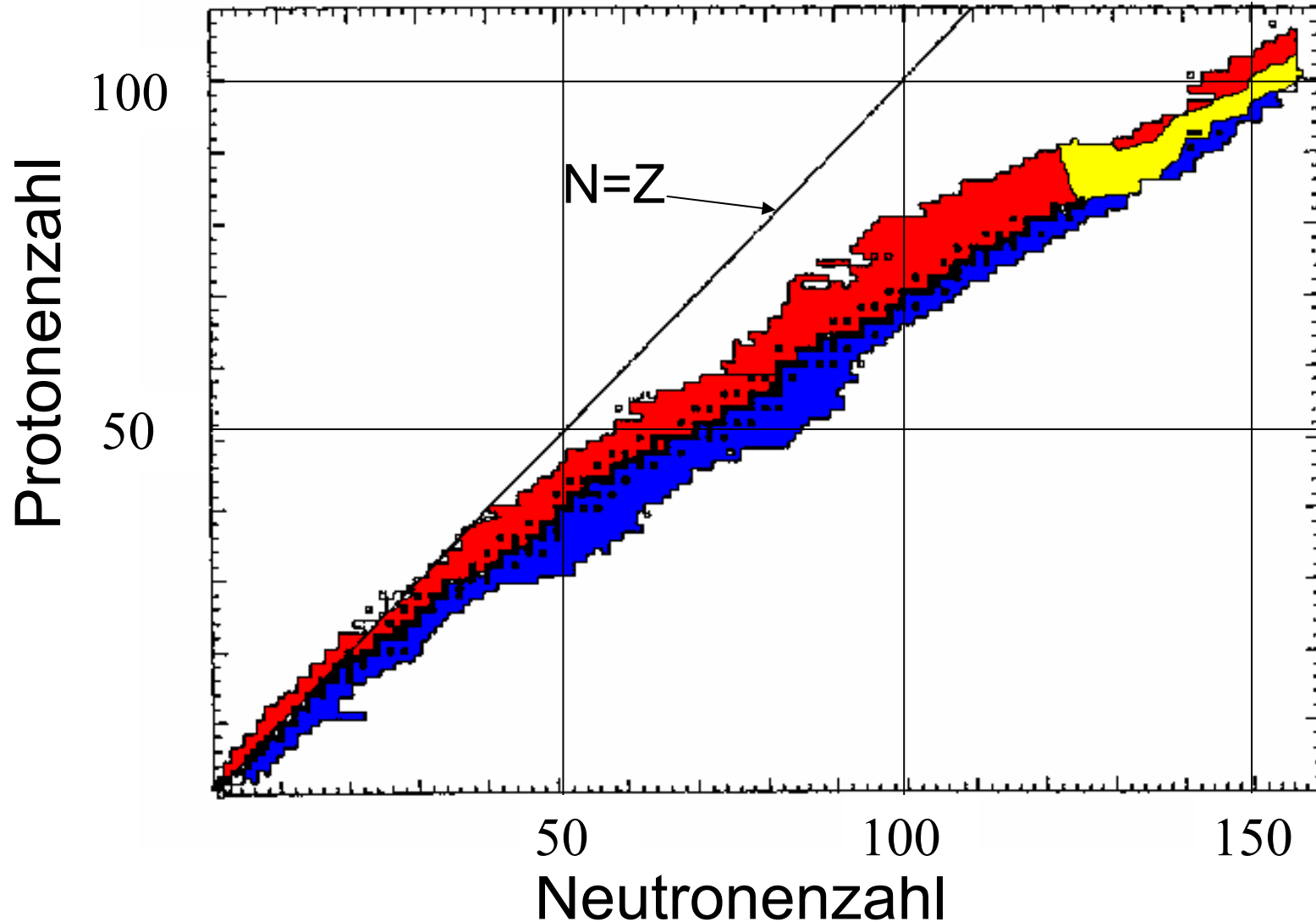


**Abweichung vom Gleichgewicht: Instabilität – radioaktiver Zerfall**



Für leichte Kerne ist  $N=Z$

Schwerere Kerne leiden unter Neutronüberschuss:  $N>Z$

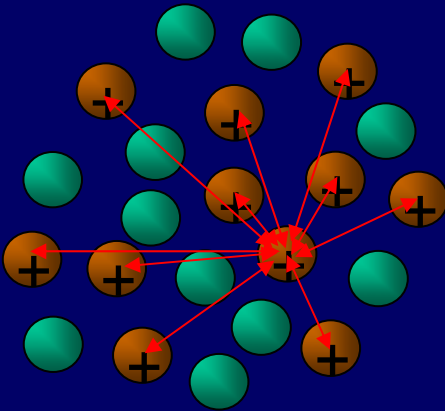
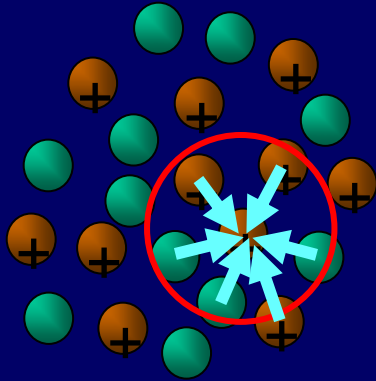


Jeder Kern hat eine optimale Grösse.

Leichte Kerne haben ungefähr genau so viele Protonen wie Neutronen

Schwere Kerne haben mehr Neutronen als Protonen

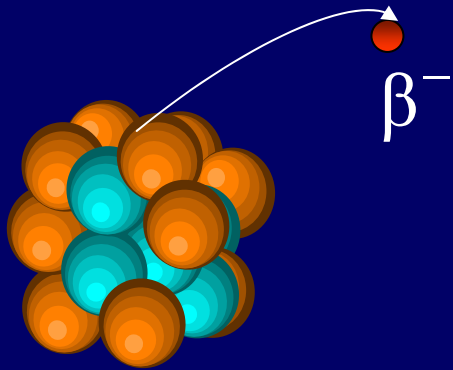
Abweichungen von der optimalen Protonen- und Neutronenzahl führt zum Zerfall





# $\beta^-$ -Zerfall

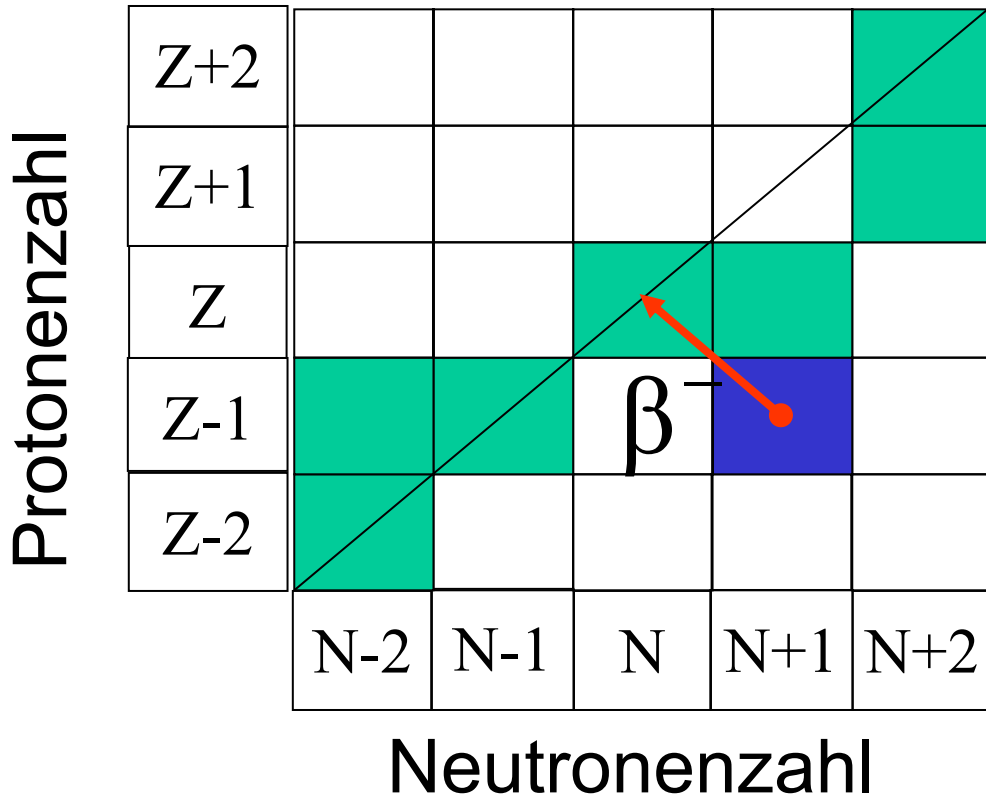
Kerne, die einen Neutronenüberschuß haben sind instabil. Im Kerninneren wandelt sich ein Neutron in ein Proton und ein Elektron um: Das Elektron wird als  $\beta^-$ -Elektron emittiert. Die Kernladungszahl nimmt um eins zu.



${}_1^1p$  = Proton

$\beta^-$  = negatives Positron  
= Elektron

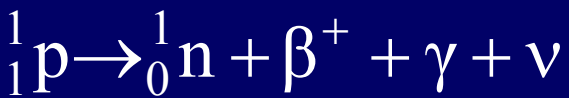
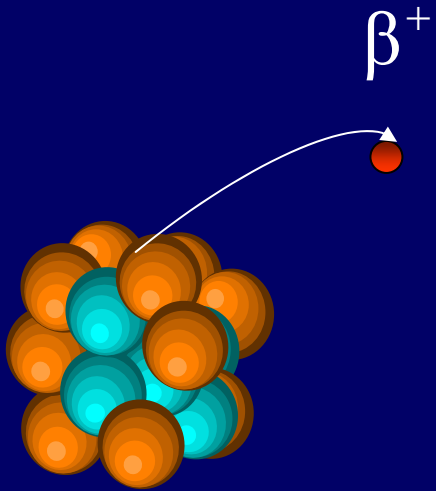
$\bar{\nu}$  = Antineutrino







# $\beta^+$ -Zerfall



Kerne, die einen Neutronenmangel haben sind instabil. Im Kerninneren wandelt sich ein Proton in ein Neutron und ein Positron um: Das Positron wird als positiv geladenes  $\beta^+$ -Elektron emittiert. Die Kernladungszahl nimmt um eins ab.

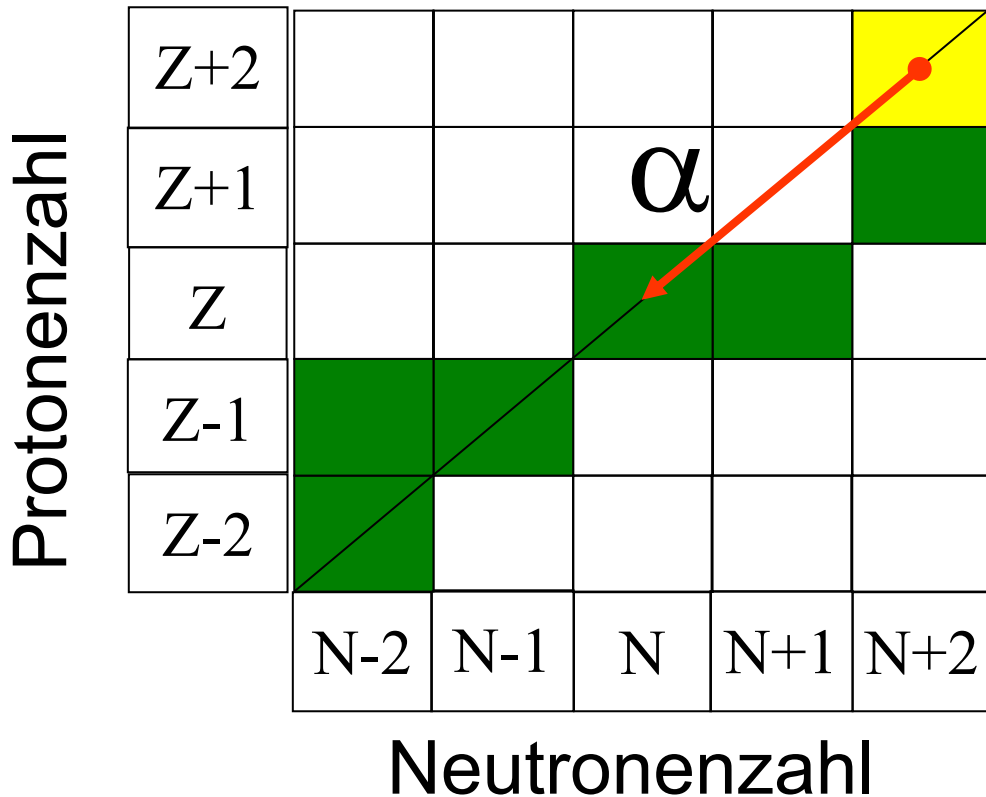
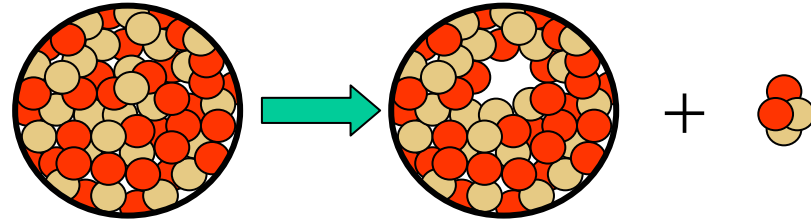
Protonenzahl

Z+2		$\beta^+$			
Z+1					
Z					
Z-1					
Z-2					
	N-2	N-1	N	N+1	N+2

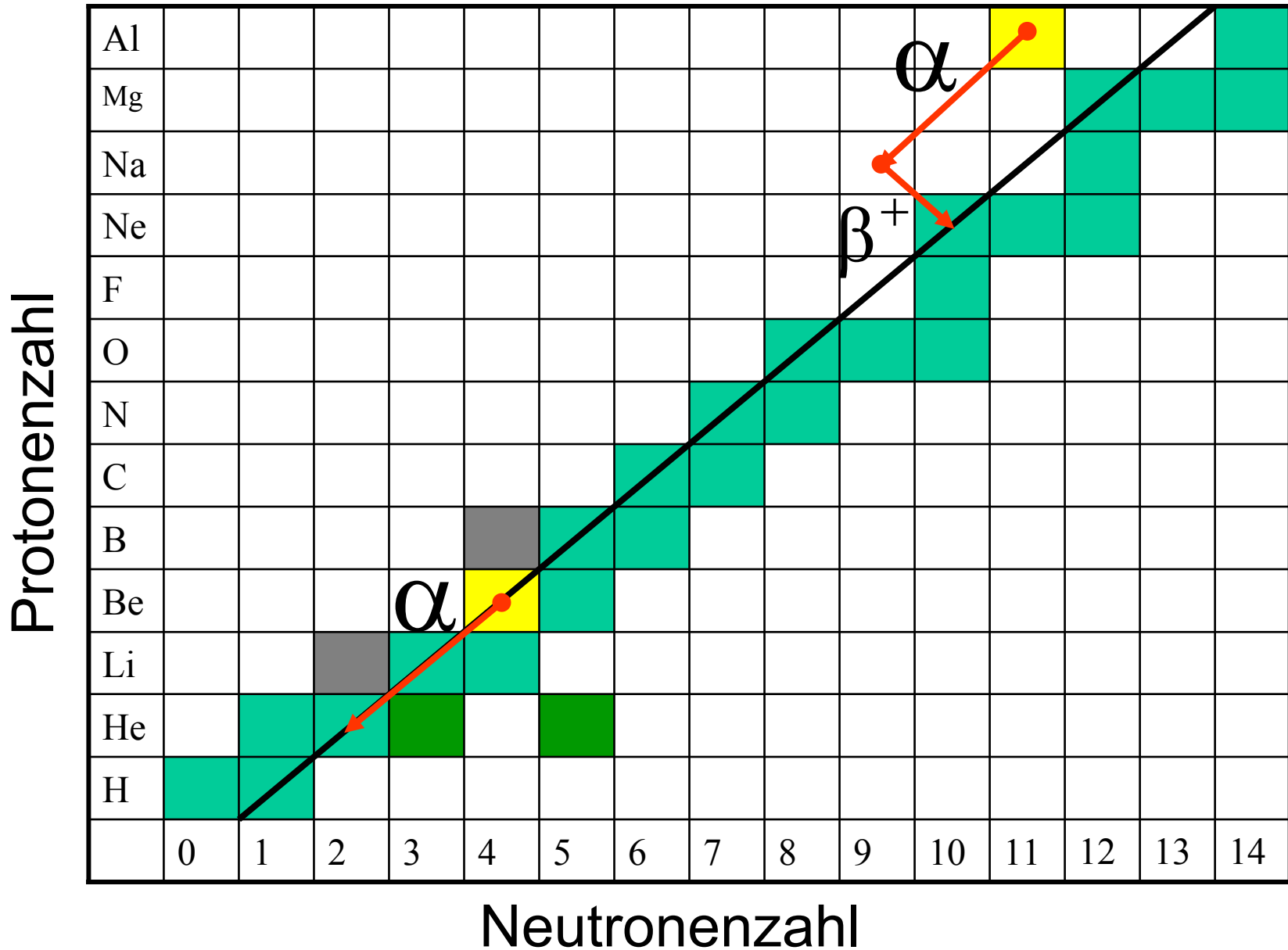
Neutronenzahl

# $\alpha$ -Strahlung

Manche Kerne emittieren spontan stabile  $\alpha$ -Teilchen (He-Kerne):

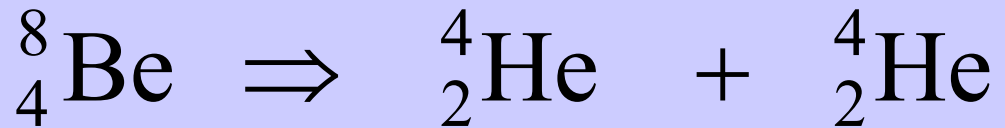
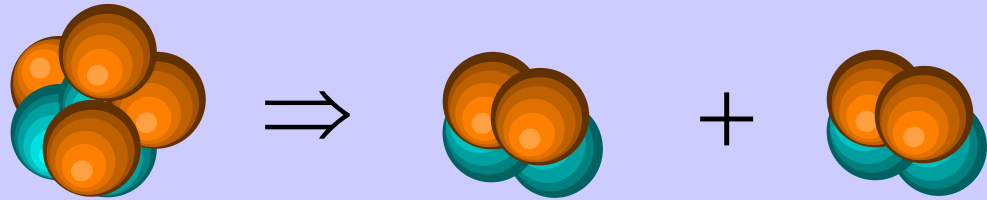


# Zerfall von leichten Kernen mit $\alpha$ -Teilchen



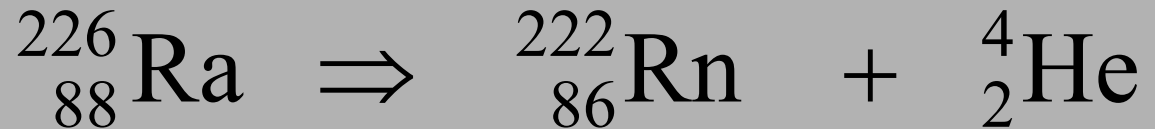
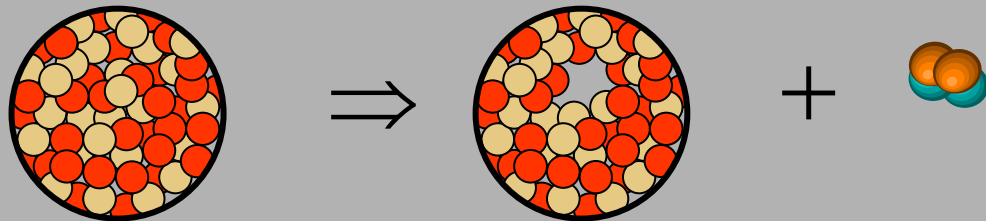
# Beispiele für $\alpha$ -Zerfälle

Alpha-Zerfall von Be-8



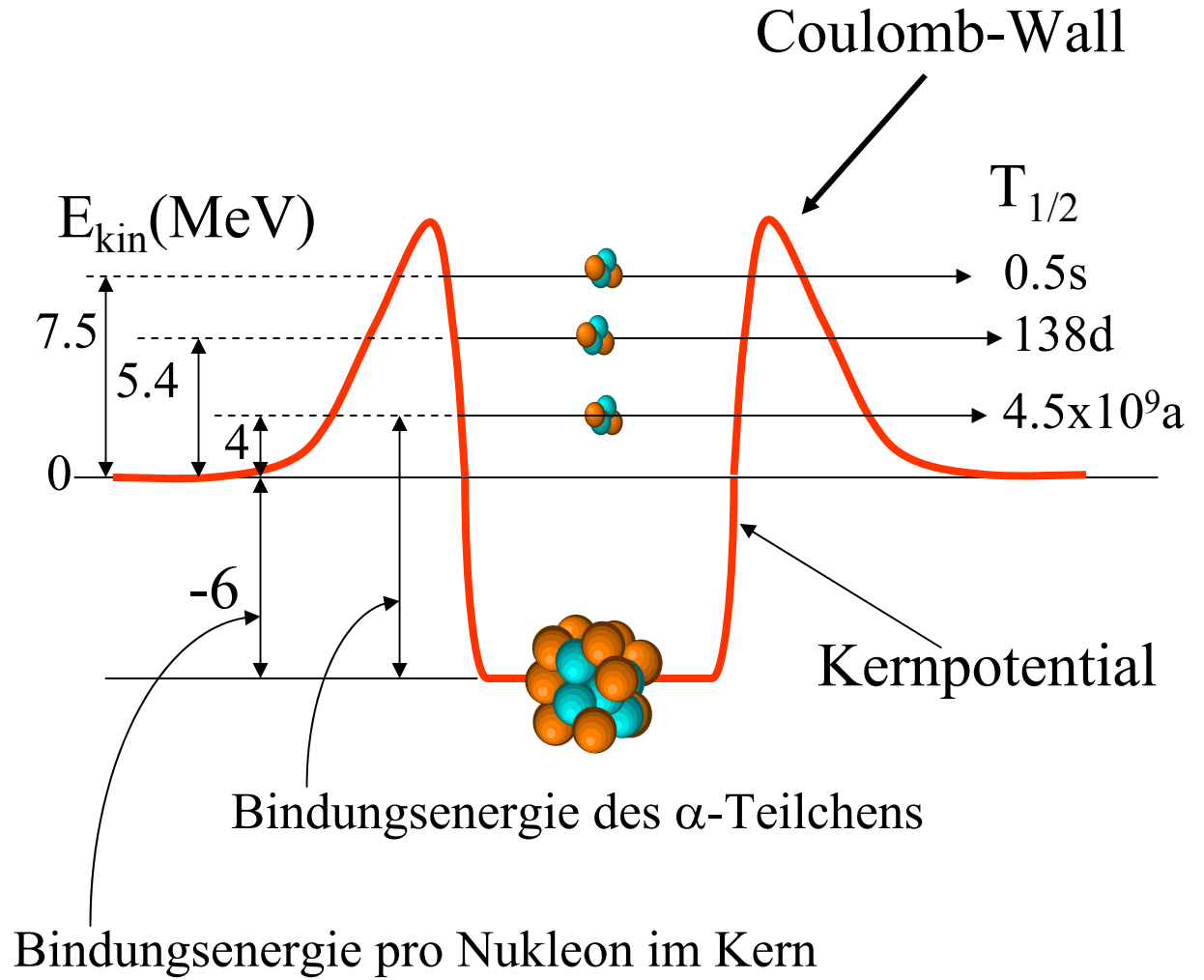
Halbwertszeit:  $3 \times 10^{-16}$  s

Alpha-Zerfall Radium in Radon:



Halbwertszeit:  $1,6 \times 10^3$  a

# Zusammenhang zwischen Energie der $\alpha$ -Teilchen und ihrer Halbwertszeit



Zusammenhang zwischen kinetischer Energie und Zerfallskonstante

$$\log E_{\alpha} = a + b \log \lambda$$

# Quiz:



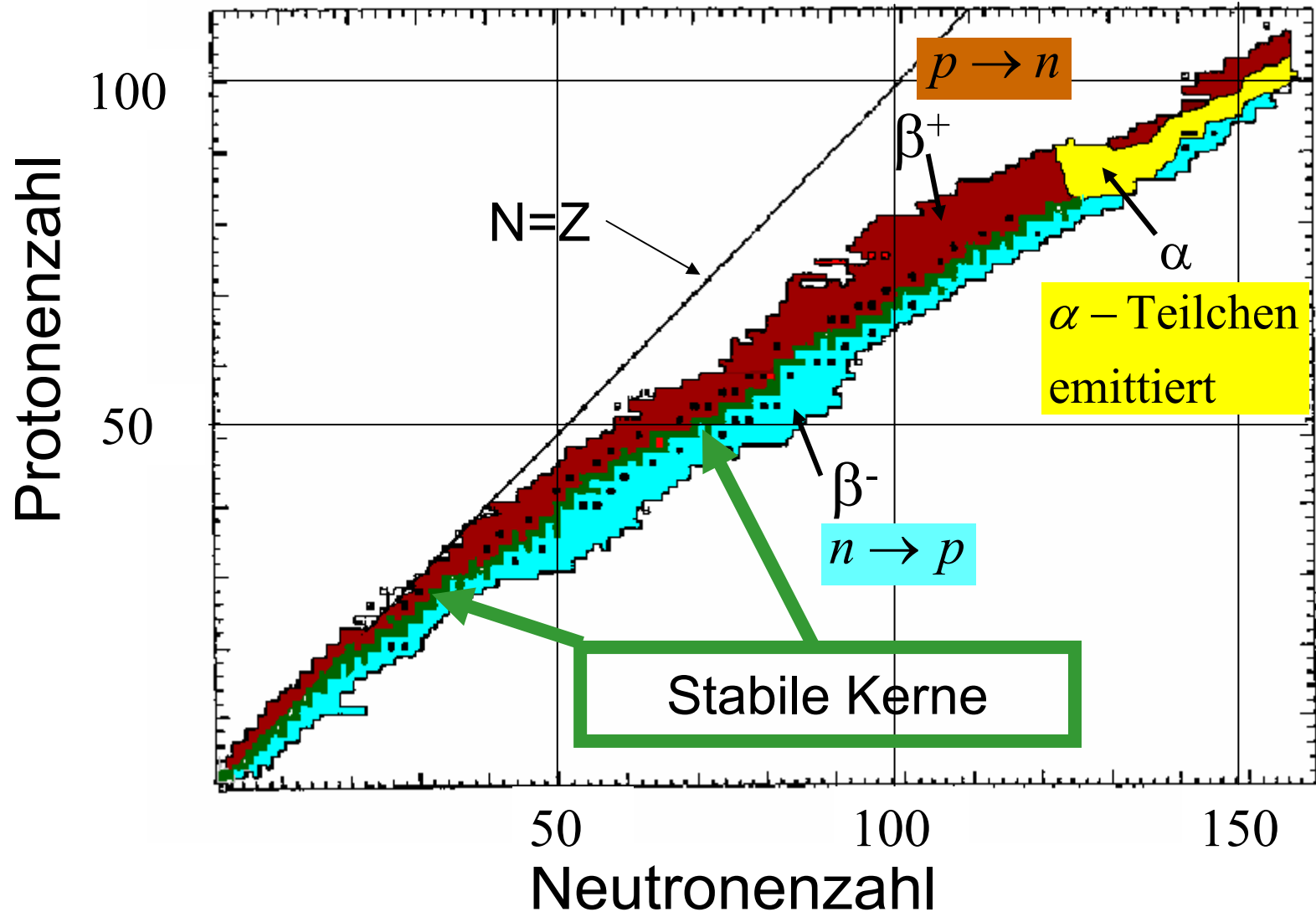
Beim Alpha-Zerfall wird die  
Massenzahl des Mutterkerns

- A um 2 größer
- B um 4 größer
- C nicht geändert
- D um 2 kleiner
- E um 4 kleiner

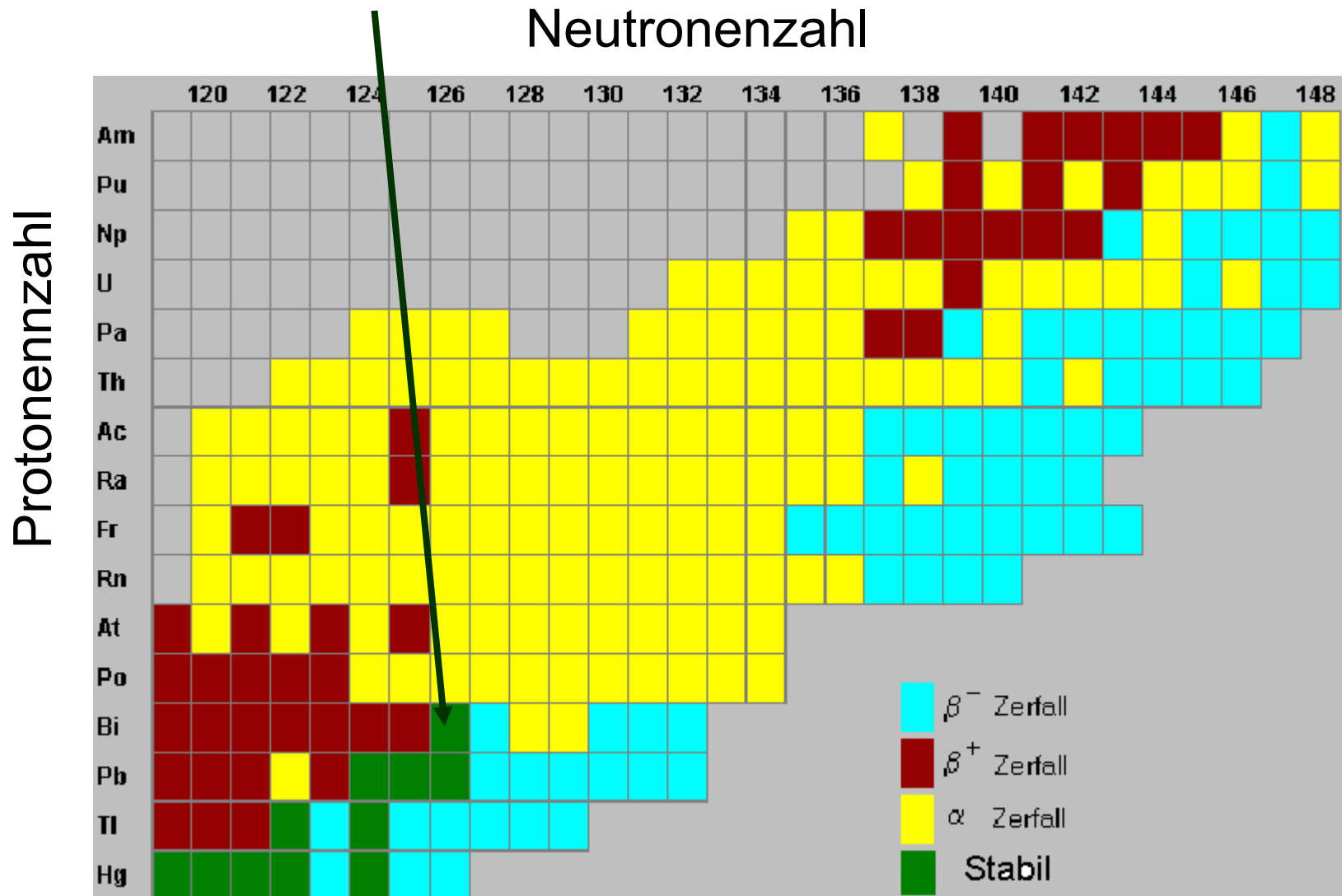
**Antwort E ist richtig!**

Leichte Kerne:  $N \approx Z$

Schwere Kerne:  $N > Z$



# Ende der Stabilität von Kernen...



...alle Kerne mit größerem Z oder N als Bi-209 zerfallen spontan, am häufigsten mit α-Zerfall

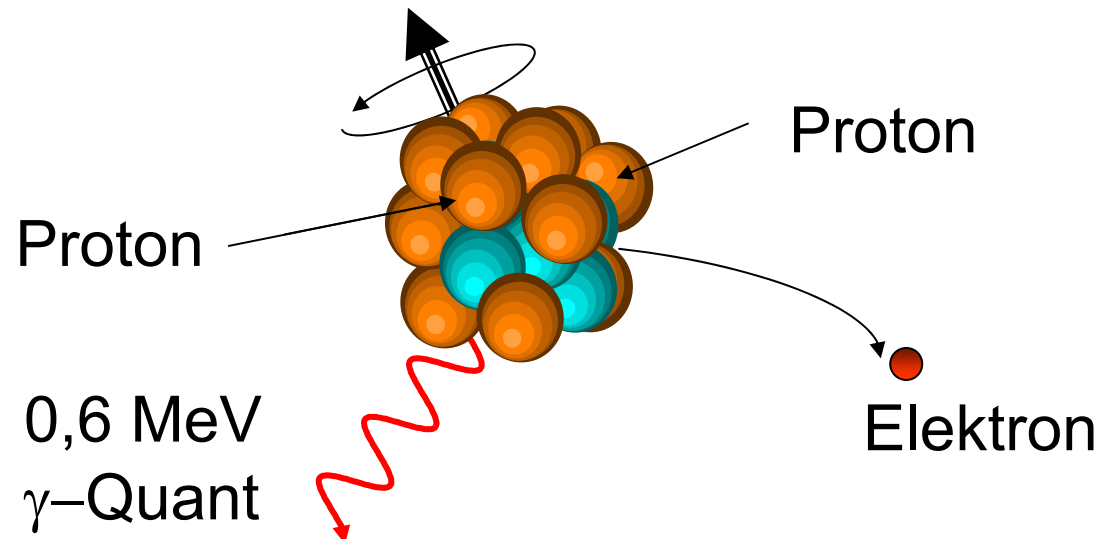


# $\gamma$ -Strahlung:

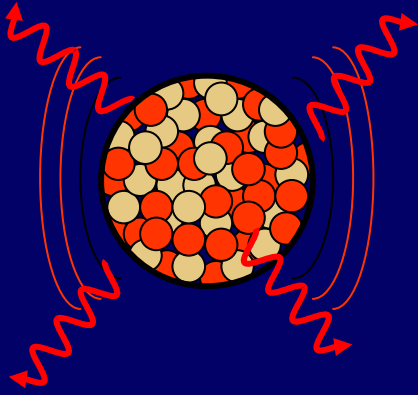
Nach  $\alpha$ - oder  $\beta$ - Emission bleibt der Kern häufig für sehr kurze Zeit in einem rotierenden Zustand.

Erst nach Aussenden von energiereicher elektromagnetischer Strahlung ( $\gamma$ -Quanten) kommt der radioaktive Kern zur Ruhe.

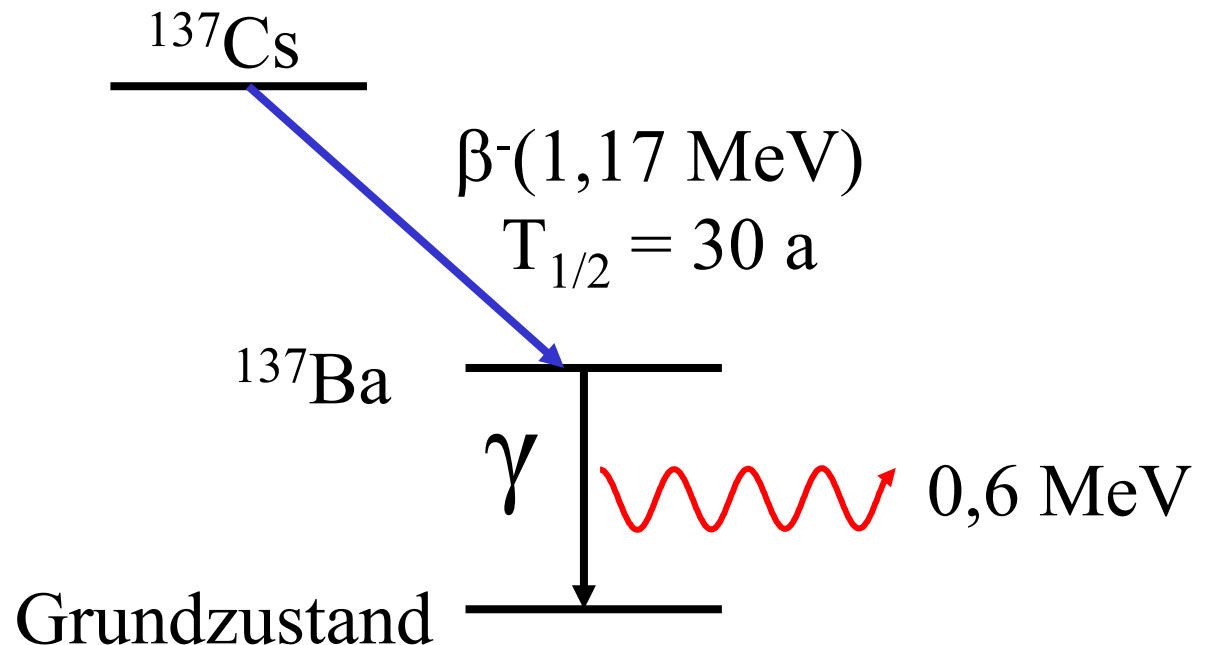
Beispiel  $^{137}\text{Cs}$  – Zerfall:



# $\gamma$ -Strahlung:



Nach  $\alpha$ - oder  $\beta$ - Emission bleibt der Kern häufig für sehr kurze Zeit in einem angeregten Zustand. Er fällt in den neuen Grundzustand durch Aussenden von elektromagnetischen Wellen, d.h.  $\gamma$ -Quanten. Beispiel  $^{137}\text{Cs}$  – Zerfall:



# Quiz:



Welche Aussage trifft nicht zu?

Beim Beta-minus-Zerfall eines radioaktiven Atomkerns wird die

- A Ordnungszahl um eins erhöht
- B Protonenzahl um eins erhöht
- C Neutronenzahl um eins erniedrigt
- D Nukleonenzahl um eins erniedrigt
- E Kernladungszahl um eins erhöht

**Antwort D ist richtig!**

# Zusammenfassung

- Unstabile Kerne wandeln sich durch Emission von  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  Strahlung in stabilere Kerne um
- Bei der  $\beta$ -Strahlung bleibt die Massenzahl erhalten aber die Ordnungszahl ändert sich, bei  $\alpha$  – Emission ändert sich die Massenzahl und die Kernladungszahl
- Schwere Kerne zerfallen in Zerfallsreihen mit vielen Zwischenstationen
- Kerne bleiben nach Emission von  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  Teilchen in angeregten Zuständen und fallen durch Emission von  $\gamma$  – Strahlung in einen neuen Grundzustand