

# Zusammenfassung für die 2. Technologieschulaufgabe

## Atomphysik und Atomkraftwerke

### Radioaktivität und Strahlungsarten

Radioaktivität ist die Fähigkeit bestimmter Kernarten, sich unter Aussendung von Strahlung umzuwandeln. Dies ist nicht durch äußere Einwirkungen beeinflussbar und wird als **radioaktiver Zerfall** bezeichnet.

Strahlung	$\alpha$ -Strahlung	$\beta$ -Strahlung	$\gamma$ -Strahlung
Art	Heliumkerne ${}^4_2\text{a} = {}^4_2\text{He}$	Elektron ${}^0_{-1}\beta = {}^0_{-1}e$	elektromagnetische Welle (Photon) ${}^0_0\gamma$
Kernumwandlung	${}^A_Z\text{K}_1 \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{K}_2 + {}^4_2\text{a}$	herausgeschleudertes Elektron entsteht bei Umwandlung von Neutron in Proton und Elektron ${}^A_Z\text{K}_1 \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{K}_2 + {}^0_{-1}\beta$	Kern geht lediglich aus einem angeregten in einen energieärmeren Zustand über
Reichweite in Luft	einige cm	einige cm	groß
Abschirmung	Blatt Papier	Metallbleche, Plexiglas	Bleiplatten
Durchdringungsvermögen	gering	größer	groß
Ionisationsvermögen	$10^5$	$10^2$	1
Geschwindigkeit	5 – 10 % Lichtgeschwindigkeit	bis nahe Lichtgeschwindigkeit	Lichtgeschwindigkeit
Auftreten	nur bei Kernen mit hoher Massenzahl ( $A > 200$ )	tritt bei Kernen mit relativen Neutronenüberschuss auf	üblicherweise Begleiterscheinung des $\alpha$ - oder $\beta$ -Zerfalls

### Bindungsenergie

Bindungsenergie ist der Energiebetrag, der beim Aufbau des Kerns aus seinen Bestandteilen frei wird und der umgekehrt zur Zerlegung des Kerns in die einzelnen Nukleonen aufgewendet werden muss. Dividiert man die Bindungsenergie des Kerns durch die Anzahl seiner Nukleonen, so erhält man die Bindungsenergie pro Nukleon.

Die bei Kernreaktionen freiwerdende Energie ist um einen Faktor von rund  $10^6$  größer als die bei chemischen Reaktionen.

### Massendefekt

Die Masse eines Nuklids ist stets kleiner als die Summe der Nukleonenmassen. Diese Differenz bezeichnet man als Massendefekt.

Berechnung des Massendefekts der Sonne pro Sekunde mithilfe der Solarkonstanten:

$$\Delta m_{\text{Sonne}} = \frac{E}{c^2} = \frac{0 \cdot \frac{S_0}{\Delta t}}{c^2} = \frac{4 r_{\text{Erdbahn}}^2 \cdot \pi \cdot \frac{S_0}{\Delta t}}{c^2}$$

Berechnung der Zeitdauer, die die Sonne benötigt, um den Jahresenergiebedarf der Erde zu decken:

$$\Delta t = \frac{E_{\text{PEV}}}{P_{\text{Sonne}}} = \frac{E_{\text{PEV}}}{A_{\text{Querschnitt Erde}} \cdot S_0} = \frac{E_{\text{PEV}}}{r_{\text{Erde}}^2 \cdot \pi \cdot S_0}$$

## Kernspaltung

### Der Angeregte Zustand

Fängt ein stabiler Kern ein Neutron ein, wird ihm ein bestimmter Energiebetrag - die sogenannte **Anregungsenergie** – zugeführt, die aus kinetischer Energie und Bindungsenergie des eingefangenen Neutrons (**Anlagerungsenergie**) besteht.

Für **thermische Neutronen** ( $E_{\text{kin}} < 1 \text{ eV}$ ) ist die zugeführte kinetische Energie vernachlässigbar gegenüber der Bindungsenergie.

Im angeregten Zustand kann der Kern die mannigfaltigsten Deformationsbewegungen ausführen. Bei Überschreitung der sogenannten **kritischen Energie** zerfällt der Kern in zwei Teile bzw. wird gespalten.

### Thermische und schnelle Spaltung

- Kerne wie  $^{235}\text{U}$ , deren kritische Energie kleiner als die Anlagerungsenergie (Bindungsenergie des eingefangenen Neutrons) ist, sind mit thermischen Neutronen spaltbar.
- Bei anderen Kernen wie  $^{238}\text{U}$  muss der fehlende Betrag als kinetische Energie des spaltenden Neutrons zugeführt werden.

### Spaltneutronen

Das Neutronen-Protonenverhältnis nimmt mit steigender Massenzahl zu. Bei der Spaltung eines schweren Kerns muss also mindestens ein Spaltbruchstück einen starken Neutronenüberschuss haben. Da beide Bruchstücke sich in hoch angeregtem Zustand befinden, ist die notwendige Energie für eine Emission von Partikeln vorhanden. Somit werden unmittelbar nach der Entstehung der Spaltbruchstücke Neutronen emittiert. **Im Mittel werden 2 bis 3 Neutronen pro thermischer Spaltung frei.**

## Reaktionen zwischen Neutronen und Atomkernen

### Wirkungsquerschnitt

Maß für die Wahrscheinlichkeit, mit der das Eintreten einer Kernreaktionen erwartet werden kann.

### Multiplikationsfaktor

- Verhältnis der Neutronenanzahlen in zwei aufeinanderfolgenden Generationen:

$$k = \frac{\text{Anzahl der Neutronen einer Generation}}{\text{Anzahl der Neutronen der vorhergehenden Generation}}$$

- Für  $k < 1$  erlischt die Kettenreaktion, für  $k = 1$  bleibt sie konstant und für  $k > 1$  schwillt sie fortwährend an.

### Moderator

- verlangsamt Neutronen durch elastische Stöße
- Wirkungsquerschnitt von U-235 nur hoch genug für kontinuierliche Kettenreaktion bei thermischer Spaltung, also mit langsamen Neutronen
- leichte Stoffe wie Wasser geeignet

### Regelung der Kettenreaktion

- Es muss sichergestellt werden, dass jeweils nur ein freiwerdendes Neutron eine weitere Spaltung herbeiführt, die restlichen freiwerdenden Neutronen müssen absorbiert werden.
- U-238 und Kerne von Spaltprodukten absorbieren Neutronen.
- Zur zusätzlichen Absorptionsregelung werden Materialien mit hoher Neigung zur Neutronenabsorption verwendet (z. B. Legierungen mit Bor/Indium/Cadmium/Silber).
- Zur Langzeitregelung werden auch sog. Reaktorgifte verwendet (z. B. Gadolinium, Dysprosium).

## Kernreaktoren

Vorrichtungen, in denen eine gesteuerte Kettenreaktion abläuft

Bei **Leichtwasserreaktoren** (Reaktoren, in denen leichtes Wasser als Kühlmittel und Moderator eingesetzt wird) wird zwischen Druck- und Siedewasserreaktoren unterschieden.

### **Druckwasserreaktor**

- Um Sieden zu verhindern wird Betriebsdruck im Hauptkühlkreis auf ca. 158 bar heraufgesetzt
- Wasser tritt mit ca. 288 °C in Reaktor ein und verlässt ihn mit ca. 316 °C
- Erhitztes Wasser gibt Wärme in Dampferzeugern an das Wasser eines Sekundärkreislaufes ab
- Wasser im Sekundärkreislaufes verdampft (mit dem Dampf kann Turbine angetrieben werden)
- Im Kondensator wird aus Turbine austretender Dampf wieder verflüssigt.
- Durch zweiten Wasserkreislauf wird erreicht, dass die im Reaktorkühlmittel auftretende radioaktive Stoffe nicht in die Turbine und den Kondensator gelangen.

### **Siedewasserreaktor**

- Wasser strömt von unten nach oben durch den Reaktorkern und führt dabei Wärme ab → ein Teil des Wassers verdampft
- Dampf wird direkt Turbine zugeführt
- Im Kondensator wird aus Turbine austretender Dampf wieder verflüssigt
- Dampf ist nicht frei von radioaktiven Verunreinigungen → Maschinenhaus muss in Sicherheitsabschirmung einbezogen sein

### **Begriffe zur Sicherheitstechnik**

Alle Schaltelemente und für den Betrieb nötigen Antriebe sind mehrfach ausgelegt.

**Redundanz:** mehrfaches Vorhandensein, z. B. nicht ein Ventil sondern mehrere parallel geschaltete

**Diversität:** Verwendung unterschiedlicher Ausführungen, z. B. hydraulischer Antrieb, Elektromotor und manueller Antrieb