

# Platzanleitung zur Versuchsdurchführung

## RM3: Neutronenaktivierung

### Aufgabenstellung

In diesem Experiment werden Proben mit Neutronen aus einer Amerizium-Beryllium (Am-Be)-Neutronenquelle bestrahlt. Die entstehenden Kerne sind  $\beta$ -Minus-Strahler. Die  $\beta$ -Strahlung wird mittels eines Szintillationsdetektors detektiert und die Zählrate in konstanten Zeitintervallen aufgezeichnet. Aus diesen Messungen werden die Halbwertszeiten und die erreichten Aktivitäten der aktivierten Proben bestimmt.

Das Experiment umfasst folgende Schritte:

1. **Detektoraufbau und Kalibrierung** mit einer bekannten  $\beta$ -Quelle ( $^{137}\text{Cs}$ ).
2. **Messung der thermischen Neutronenflussdichte** mittels Goldproben (eine abgeschirmt durch Kadmium während der Aktivierung, eine unabgeschirmt).
3. **Aktivierung weiterer Proben** (Al, Ag, V, Mn, NaCl) und Analyse ihrer zeitabhängigen  $\beta$ -Zählraten.

Ziel ist die Identifikation der Reaktionsprodukte durch Analyse der zeitabhängigen  $\beta$ -Strahlungsintensität.

### Detektoraufbau / Konfiguration / Messoberfläche

#### PC-Detektor-Verbindung

1. Überprüfen Sie die Verbindung von Detektor mit Messgerät (Signal und Spannung)
2. Auf dem Messgerät (Digitizer) finden Sie die IP-Adresse (z. B. 141.30.83.XXX, siehe Abb. 1)
3. Öffnen Sie Google Chrome und geben Sie die IP-Adresse des Detektors in die Adressleiste ein (siehe Abb. 2.)  
→ Dies öffnet die **Weboberfläche** des Detektors zur Konfiguration und Steuerung der Messungen.



Abb.1: Digitizer Det. 1  
Idle - 141.30.83.221

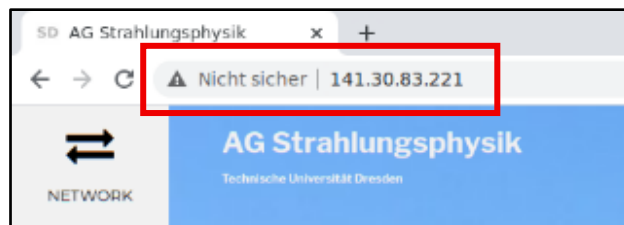
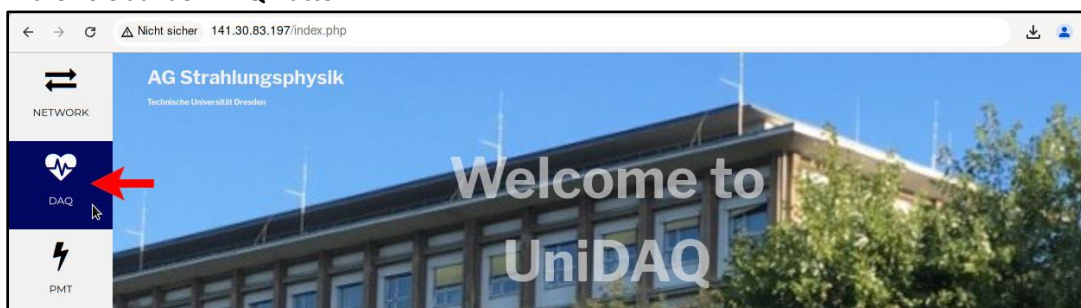


Abb.2: Chrome Weboberfläche, IP: 141.30.83.221

#### Detektorkonfiguration

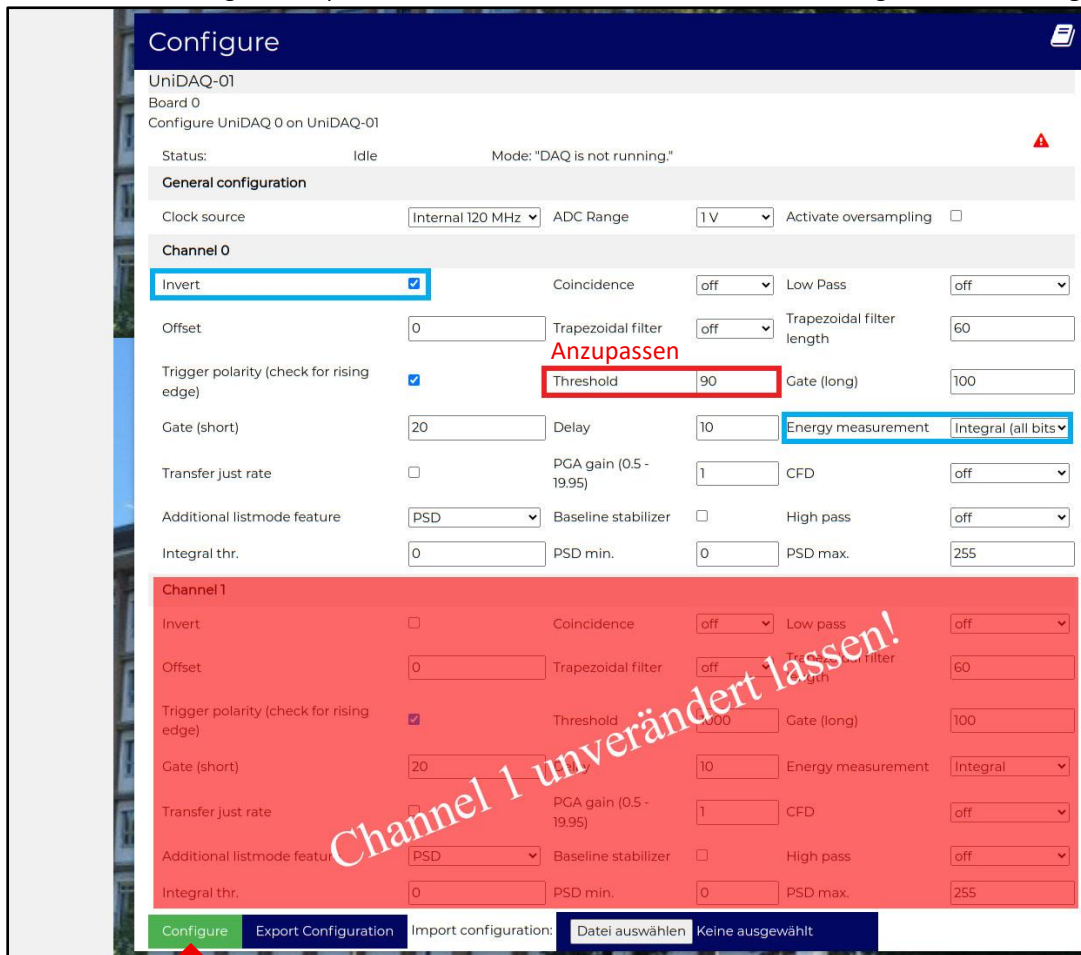
1. Klicken Sie auf den **DAQ-Button**.



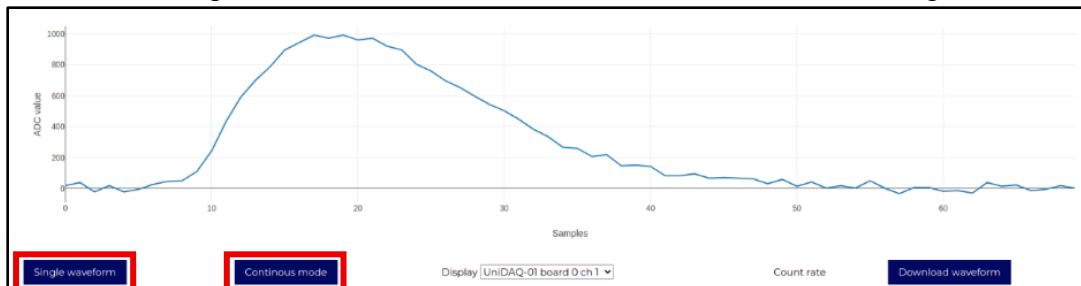
- Klicken Sie auf den **Control-Button**.



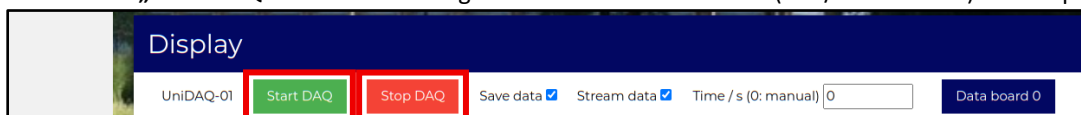
- Ändern Sie die Konfigurationsparameter, insbesondere den „Threshold“. Bestätigen sie mit „Configure“.



- Klicken Sie auf „single waveform“ oder „continuous mode“ um einzelne Pulse anzuzeigen und zu überprüfen.



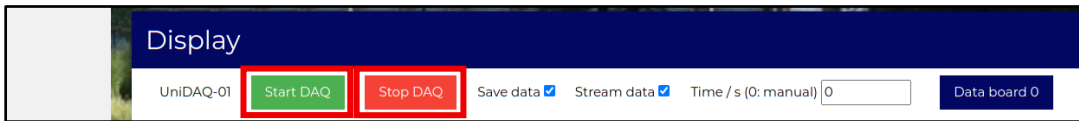
- Drücken Sie „Start DAQ“ um eine Messung zu starten und die Zählrate (mit / ohne Probe) zu überprüfen.



- Nach jeder Messung: Drücken Sie „Stop DAQ“ um die Messung zu beenden.
- Eventuell weitere Anpassungen der Konfigurationsparameter (Schritt 3).

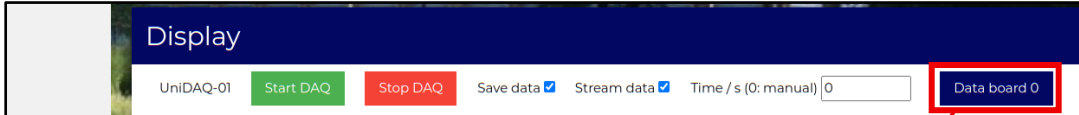
## Weitere Messungen durchführen

1. Drücken Sie „**Start DAQ**“ um eine Messung zu starten.



2. Drücken Sie „**Stop DAQ**“ um die Messung zu beenden.
3. Klicken Sie auf den „**Data board**“-Button → Download „**behalten**“ um Rohdaten (binär) zu speichern.

**Wichtig:** Dies ist unbedingt sofort nach jeder Messung durchführen, um Datenverlust zu vermeiden!



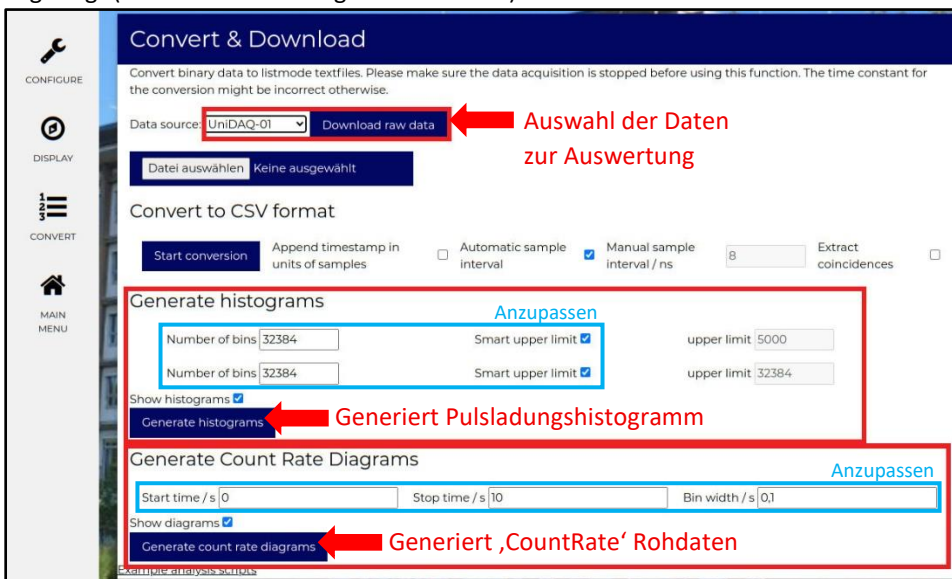
Hinweis: Benennen Sie die Daten sofort um, damit Sie den Überblick behalten!



## Daten exportieren (und in lesbare Rohdaten umwandeln)

1. Scrollen Sie zu „Convert & Download“.
2. Unter „Data source“ ist standardmäßig „**UniDAQ-01**“ eingetragen, was der letzten Messung entspricht  
Optional: „**Offline Datafile**“ auswählen und eine vorherige Messung laden, um diese erneut zu konvertieren.
3. Klicken Sie auf „**Generate count rate diagram**“.

Dies erzeugt eine „xxx\_countrate.txt“-Datei im Download-Ordner, welche mit einem zur Verfügung gestelltem Pythonscript ausgewertet werden kann. Zusätzlich wird Ihnen eine Vorschau des aktuellen Diagramms angezeigt (kann auch heruntergeladen werden).



## Datenformat

Die Rohdaten („xxx\_countrate.txt“-Datei) liegen in einem Text-Format vor, wobei Werte durch „;“ getrennt sind.

Spalten: 1) time/s

- 2) Zählrate Channel 0 (bereits in Ereignissen pro Sekunde)
- 3) Zählrate Channel 1 (unabhängig vom gewählten Binning)

```
#Sample interval: 16.6667 ns
#Start time: 0 s
#Stop time : 600 s
#Bin width : 0.1s
#Format:
#time/s (center);rate ch.0 / s^-1;rate ch.1 / s^-1
0.05;0;0
0.15000000000000002;0;0
0.25;0;0
0.35000000000000003;0;0
```

## Anleitung zur Datenanalyse

Die Messungen werden im **Downloads**-Ordner gespeichert und können nun ausgewertet werden. Hierfür können Sie ein Jupyter Notebook verwenden. Sie erreichen es unter:

<http://141.76.18.89:8000/>

Benutzername: praktikum1 / praktikum2 / praktikum3      Passwort: 00Siede.. (zwei Punkte am Ende)

Sie finden hier im Hauptordner „Auswertung“ ein Skript zur Darstellung der Rohdaten. Zusätzlich beinhaltet das Skript modifizierbare Funktionen zur Kurvenanpassung, die für das Praktikum empfohlen sind. Zur Benutzung:

1. Rohdaten („xxxx\_countrate.txt“-Datei erzeugen, siehe oben)
2. Erzeugte Textdatei in den Ordner hochladen
3. Skript anpassen (Dokumentation ist im Skript enthalten)

**Wichtig:** Bitte erzeugen Sie für Ihre Gruppe einen eigenen Ordner! Kopieren Sie das Python-Skript zur Auswertung in Ihren eigenen Ordner. Stellen Sie sicher, dass alle Messdaten in Ihren Ordner hochgeladen werden.

## Aufgabe 0: Detektorkalibrierung mit $^{137}\text{Cs}$ $\beta$ -Quelle

In dieser Aufgabe sollen Sie sicherstellen, dass Ihr Detektor korrekt konfiguriert ist, bevor Sie messen. Dazu erfolgt eine Kalibrierung mittels einer  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle, um das Detektorverhalten zu validieren und Einstellungen (Hochspannung, Threshold – siehe „**Detektorkonfiguration**“ oben!) für die folgenden Messungen zu optimieren.

### Kalibrierung

**Schritt 0) Einstellung Hochspannung:** Stellen Sie sicher, dass die angelegte Hochspannung bei 1200 V liegt.

**Schritt 1) Untergrundüberprüfung:** Stellen Sie sicher, dass die Zählrate des Detektors ohne Probe nahe Null liegt. Falls die Untergrundzählrate 2 Impulse pro Sekunde (cps) überschreitet:

**Erhöhen Sie die Triggerschwelle (Threshold)**

**Schritt 2) Messung mit Quelle:** Platzieren Sie die  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle und beobachten Sie das Pulshöhen-Histogramm. Wenn dieses zu komprimiert erscheint (z. B. unzureichende Auflösung):

**Verringern Sie die Triggerschwelle (Threshold)**

**Schritt 3) Iterative Optimierung:** Wiederholen Sie die Anpassungen bis:

- Die Untergrundzählrate minimal ist (<2 cps)
- Das Pulshöhen-Histogramm klar aufgelöst ist

Vergleichen Sie zur Einschätzung des Ergebnisses ihr Ergebnis mit dem zu erwartendem Beta-Spektrum.

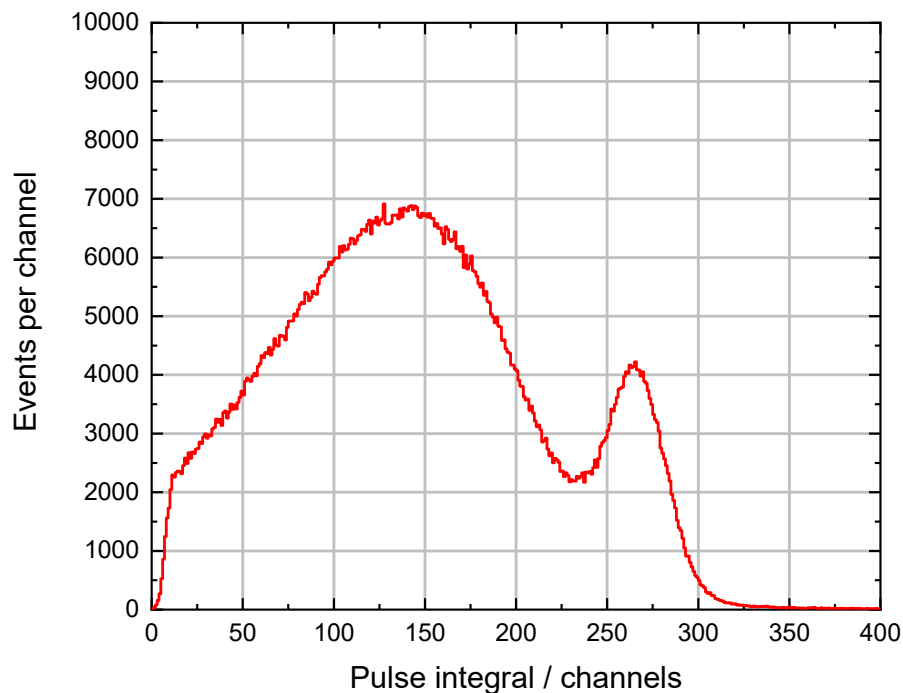
**Wichtig: Vorgehen zur Anpassung der Detektoreinstellungen (Detektorschwelle/Hochspannung):**

1. **Immer** zuerst die laufende Messung anhalten („**Stop DAQ**“ drücken)
2. Parameter in der Konfigurationsdatei anpassen
3. Änderungen übernehmen („**Configure**“ drücken)
4. Messung neu starten („**Start DAQ**“ drücken)

### Ins Protokoll

Im Protokoll müssen enthalten sein:

1. Detektorparameter: Angelegte **Hochspannung** und **Triggerschwelle (Threshold)**
  - **Begründen** Sie kurz Ihr Vorgehen zur Optimierung und Ihre gewählte Einstellung
2. Quellenmessungen:
  - Zählrate (cps)  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle (Vergleich mit/ohne Quelle)
  - Pulsladungshistogramm (Energiespektrum)
3. Vergleich mit dem bekannten  $\beta$ -Spektrum von  $^{137}\text{Cs}$  (siehe [Nuclidechart](#) Datenbank)

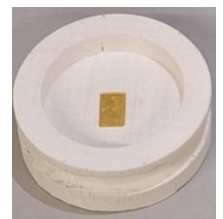


**Abb 3.: Beispiel-Pulsladungshistogramm der  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle.** Die Kanalnummern können aufgrund unterschiedlicher Hochspannungs- und Einstellungen variieren.

## Aufgabe 1: Messung der thermischen Neutronenflussdichte

Diese Aufgabe dient der Messung der thermischen Neutronenflussdichte. Dafür verwenden wir Gold, da es aufgrund seines großen Wirkungsquerschnitts besonders leicht zu aktivieren ist.

Obwohl Gold thermische Neutronen effizient einfängt, ist zu beachten, dass die Aktivierung sowohl durch thermische als auch durch energiereichere Neutronen erfolgt (erkennbar an Resonanzpeaks in der Wirkungsquerschnittskurve). Um den Beitrag der thermischen Neutronen zu isolieren, verwenden wir eine Differenzialmessung mit zwei identischen Rein-Gold-Proben:



1. Eine Cadmium-abgeschirmte Probe (Cadmium absorbiert alle Neutronen mit Energien  $< 0.5$  eV).
2. Eine unabgeschirmte Referenzprobe.

Beide Proben wurden bereits vor dem Versuch bis zur Sättigungsaktivität bestrahlt und können zum Praktikum entnommen werden.

### Durchführung

1. Platzieren Sie jede aktivierte Goldprobe auf dem Detektor.  
*Hinweis:* Achten Sie auf eine identische Positionierung bei beiden Messungen.
2. Messen Sie die  $\beta$ -Aktivität jeder Probe über einen Zeitraum von 10 Minuten.
3. Stellen Sie sicher, dass die Detektoren für beide Messungen einheitlich konfiguriert und positioniert sind.

### Daten für Ihre Auswertung

- Probenmasse: 1 g (für beide Proben)
- Molare Masse von Gold: 196,97 g/mol
- Thermisch gemittelter Wirkungsquerschnitt für die Reaktion  $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ :  $(98,65 \pm 0,09)$  b
- Sättigungsaktivität der unabgeschirmten Goldprobe (bestimmt durch Koinzidenzmessung):  $(57,4 \pm 0,2)$  kBq
- Kerneigenschaften von  $^{198}\text{Au}$  (zum Nachschlagen, [Nuclidechart](#) Datenbank):
  - Halbwertszeit (und Zerfallskonstante) des  $\beta$ -Zerfalls
  - Wahrscheinlichkeit der Elektronenemission
  - Maximale und mittlere  $\beta$ -Energie

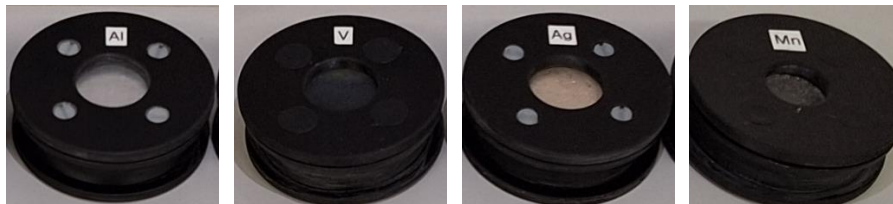
## Ins Protokoll

Berechnen und dokumentieren Sie in Ihrem Protokoll:

1. Die Detektoreffizienz für die Goldproben.
2. Die Anzahl der stabilen Goldatome.
3. Den Anteil der Aktivität, der spezifisch auf thermische Neutronen zurückzuführen ist.
4. Die abgeleitete thermische Neutronenflussdichte.
5. Die (gesamte) Neutronenflussdichte der (Am-Be)-Neutronenquelle.
6. (Optional) Vergleich der Aktivitätsmessungen zwischen der Ober- und Unterseite der unabgesch. Goldprobe.

Alle berechneten Werte müssen mit Unsicherheiten angegeben werden.

## Aufgabe 2: Zeitabhängigkeit und Detektoreffizienzen verschiedener Proben



In dieser Aufgabe untersuchen Sie, wie verschiedene Materialien auf Neutronenstrahlung reagieren, indem Sie deren  $\beta$ -Zerfall der Reaktionsprodukte über die Zeit hinweg messen. Ziel ist es, zu bestätigen, dass das beobachtete Muster den Zerfallsprodukten der zu erwartenden Nuklide zugeordnet werden kann.

Sie arbeiten mit folgenden Proben:

- 3,5 Gramm Aluminium (Legierung 7075, glatte Oberfläche), effektive molare Masse:  $M_{\text{Al,eff.}} = 29,7 \text{ g/mol}$
- 3,6 Gramm Aluminium (Legierung 7075, geriffelte Oberfläche), effektive molare Masse:  $M_{\text{Al,eff.}} = 29,7 \text{ g/mol}$ 
  - Hinweis zu Legierung 7075: ~90% Al, ~6% Zn, ~2% Mg, ~1.5% Cu, ~0.5 andere (Cr, Fe, Si, ...)
- 6,27 Gramm reines Silber,  $M_{\text{Ag}} = 107,87 \text{ g/mol}$
- 0,21 Gramm reines Vanadium,  $M_{\text{V}} = 50,94 \text{ g/mol}$
- 0,37 Gramm reines Mangan:  $M_{\text{Mn}} = 54,94 \text{ g/mol}$
- 0,5 Gramm Natriumchlorid (Kochsalz),  $M_{\text{NaCl}} = 58,44 \text{ g/mol}$
- Münze (Silberlegierung, Silber + Kupfer): 10,0 g Gesamtmasse, molare Masse:  $M_{\text{AgCu,eff.}} = 104,6 \text{ g/mol}$

## Durchführung

1. Wählen Sie mindestens zwei unterschiedliche Materialien.
2. Planen Sie Ihren Versuch:
  - Bestimmen Sie, welche Kernreaktionen bei jeder Probe auftreten werden (siehe [Nuclidechart](#) Datenbank).
  - Berechnen Sie, wie lange jede Probe exponiert werden muss, um 95% der maximalen Aktivität zu erreichen.
  - Entscheiden Sie, wie lange die Strahlung jeder Probe gemessen werden soll.
3. Experiment durchführen:
  - Bestrahlen Sie die Probe in der Neutronenquelle.
  - Wenn die Zielaktivität erreicht ist, entnehmen und platzieren Sie die Proben zügig auf dem Detektor.
  - Starten Sie die Messung sofort bei Entnahme der Probe

**Wichtig:** Der Moment der Entnahme aus der Neutronenquelle definiert ihr  $t_0$  (Zeitpunkt Null in der Messung).

**Starten Sie daher ihre Datenerfassung genau dann, wenn Sie die Probe aus der Neutronenquelle entfernen.**

Stimmen Sie das Vorgehen vorab in Ihrer Gruppe ab.

## Daten für Ihre Auswertung

Die Massen und Zusammensetzung der Proben sind oben angegeben. Ziel der Messung ist die Aufnahme der Zählrate über der Zeit. Für jede von Ihnen ausgewählte Probe recherchieren Sie bitte (siehe [Nuclidechart](#) sowie Poster vor Ort):

- Die spezifische Kernreaktion, die auftritt.
- Die mittlere Energie der emittierten  $\beta$ -Teilchen.
- Halbwertszeit, Emissionswahrscheinlichkeit und Wirkungsquerschnitt.

**Hinweis:** Überlegen Sie sich bereits im Vorhinein (oder während der Aktivierung), welche Ergebnisse Sie erwarten.

Berücksichtigen Sie dabei die obigen Parameter. Vergleichen Sie anschließend Ihre Erwartungen mit Ihren Messdaten.

## Ins Protokoll

Folgende Messungen, Berechnungen und Diskussionen sind im Protokoll zu dokumentieren:

- Zeitabhängigkeit der Zählrate. Diskutieren Sie die erhaltenen Fitparameter.
- Überprüfung, ob Ihre Messwerte mit den erwarteten Reaktionsprodukten übereinstimmen.  
*Hinweis:* Dies ist durch eine (oder zwei) Kurvenanpassungen zu erledigen und zu diskutieren.
- Erreichte Aktivität nach der Bestrahlung.  
*Hinweis:* Verwenden Sie für diese Berechnungen die in Aufgabe 1 ermittelte Neutronenflussdichte.
- Abschätzung der Detektoreffizienz.  
Bestimmen und dokumentieren Sie die Effizienz des Detektors für jede gemessene Probe.  
*Hinweis:* Hierfür können Sie die Extrapolation der angepassten Abklingkurve zum Nullpunkt Ihrer Messung nutzen (dies ergibt die hypothetische Zählrate zum Zeitpunkt, als die Probe entfernt wurde).

Hinweis: Alle angegebenen Werte sind mit einer geeigneten Unsicherheitsanalyse zu versehen.

## Hinweise für Ihre Diskussion

- Fassen Sie Ihre Ergebnisse zusammen
- Erstellen Sie eine Zusammenfassung der Detektoreffizienzen aller untersuchten Proben (inkl. Gold aus Aufgabe 1).  
Analysieren und diskutieren Sie, wie diese Effizienzen von folgenden Faktoren abhängen:
  - Probengeometrie
  - Mittlere  $\beta$ -Energie der Zerfallsprodukte
- Diskutieren Sie (Ursachen für und eventuell nicht berücksichtigte) Unsicherheiten in Ihrer Messung.