

Fachkudkurs bzw. Aktualisierungskurs zum Strahlenschutz

Sven Lübeck

Seminar für Ausbildung und Fortbildung der Lehrkräfte Esslingen (Gymnasium)

- I. Grundlegende Aspekte der Kernphysik
- II. Dosimetrie
- III. Messtechnik
- IV. Strahlenbelastung
- V. Rechtsvorschriften im Strahlenschutz
- VI. Anhang

I. Grundlegende Aspekte der Kernphysik

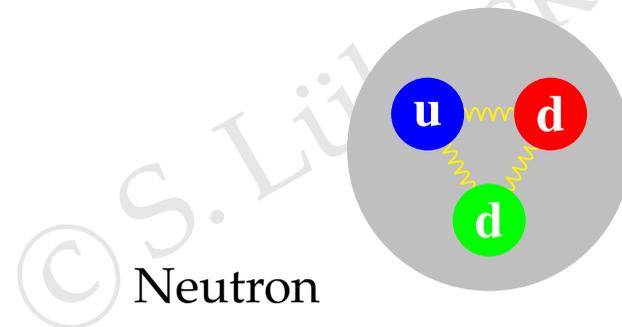
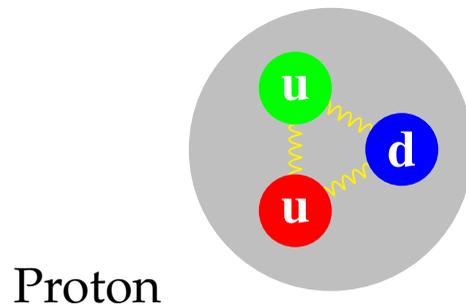
- I.1 Nukleonen, Quarks und Gluonen
- I.2 Kernumwandlungen
- I.3 Eigenschaften ionisierender Strahlung
- I.4 Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Materie

© S. Lübeck 2024

© S. Lübeck 2024

I.1 Quarks, Gluonen und Kerne

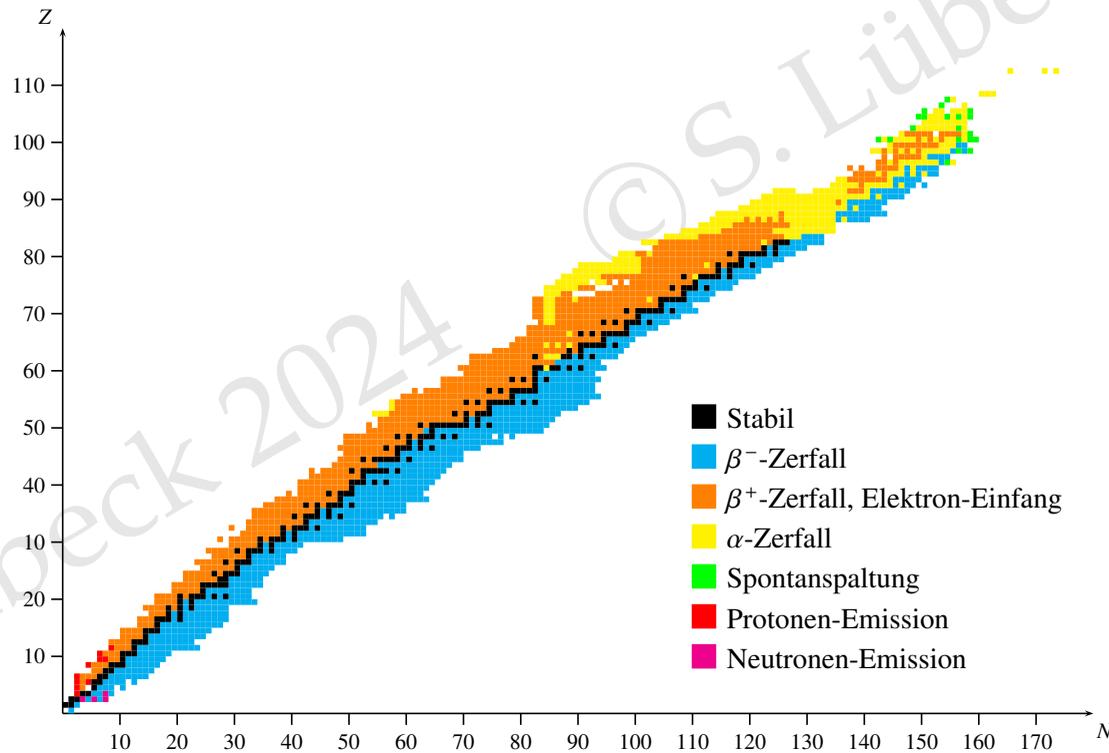
- Atomkerne sind aus Nukleonen (Protonen und Neutronen) aufgebaut.
- Die Nukleonen sind nicht elementar, sondern aus Quarks und Gluonen aufgebaut.



- Auf die Quarks und Gluonen wirken alle vier Grundkräfte, insb. auch die Starke Wechselwirkung (QCD). Diese hält de facto auch „den Kern zusammen“.
- Die Quarks sind elementare Teilchen, die Gluonen sind die Austauscheteilchen. Beide haben sogenannte Farbladung.
- Atomkerne sind also Vielteilchensysteme mit komplexer Wechselwirkung.
 - ⇒ Es gibt keine konsistente und umfassende Theorie des Atomkerns, sondern nur verschiedene Modellansätze für verschiedene Fragestellungen: Tröpfchenmodell, Schalenmodell, Fermigas-Modell,

I.1 Phänomenologisches zum Kern

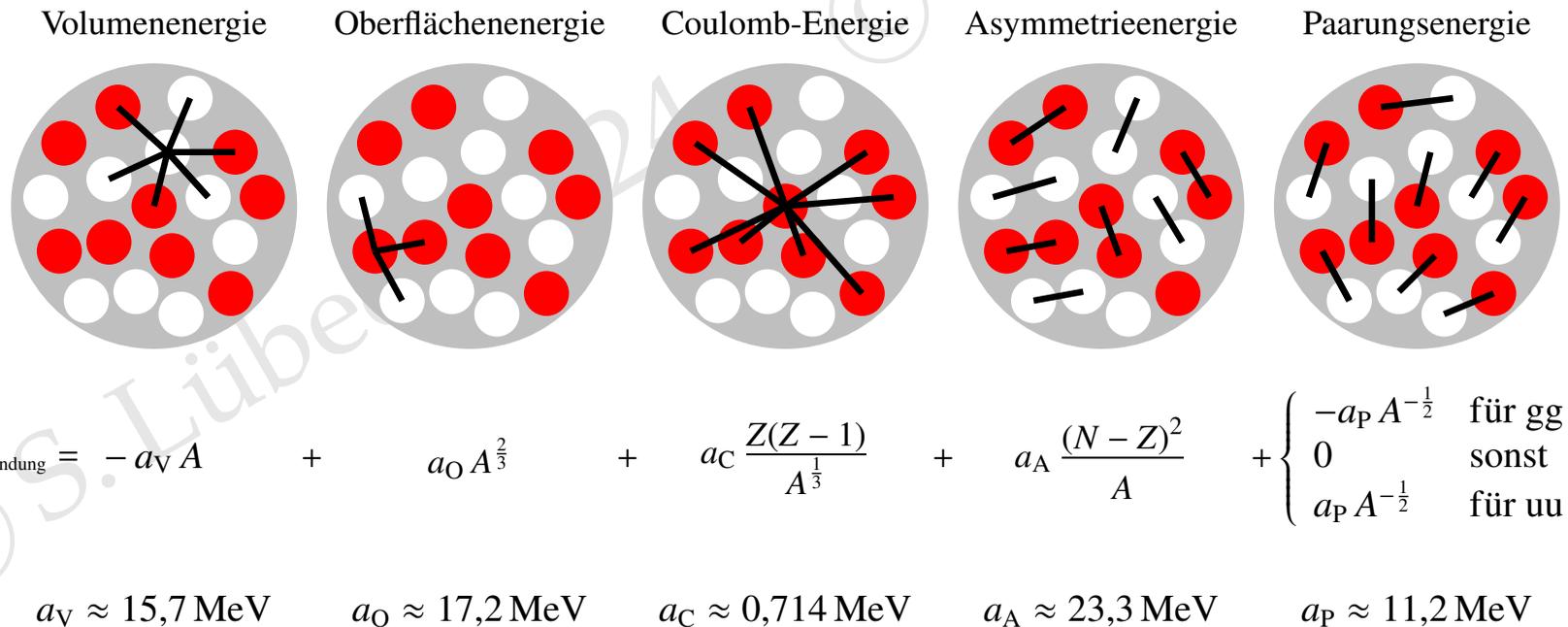
- Typischer Durchmesser der Atomkerne 10^{-15} m.
- Anzahl der Protonen Z , Anzahl der Neutronen N , Nukleonenzahl $A = Z + N$.
- Es gibt stabile und instabile Kerne (\rightarrow Nuklidkarte):



- Der Begriff „stabiler Kern“ ist Interpretation, z. B. galt ^{209}Bi mit $T_{1/2} = 2,0 \cdot 10^{19}$ a bis 2003 als stabil! (Aktuelle „direkte“ Nachweisgrenze ca. 10^{20} a)
- Freie Neutronen sind instabil ($T_{1/2} \approx 610$ s), freie Protonen gelten bis heute als stabil.

I.1 Tröpfchenmodell

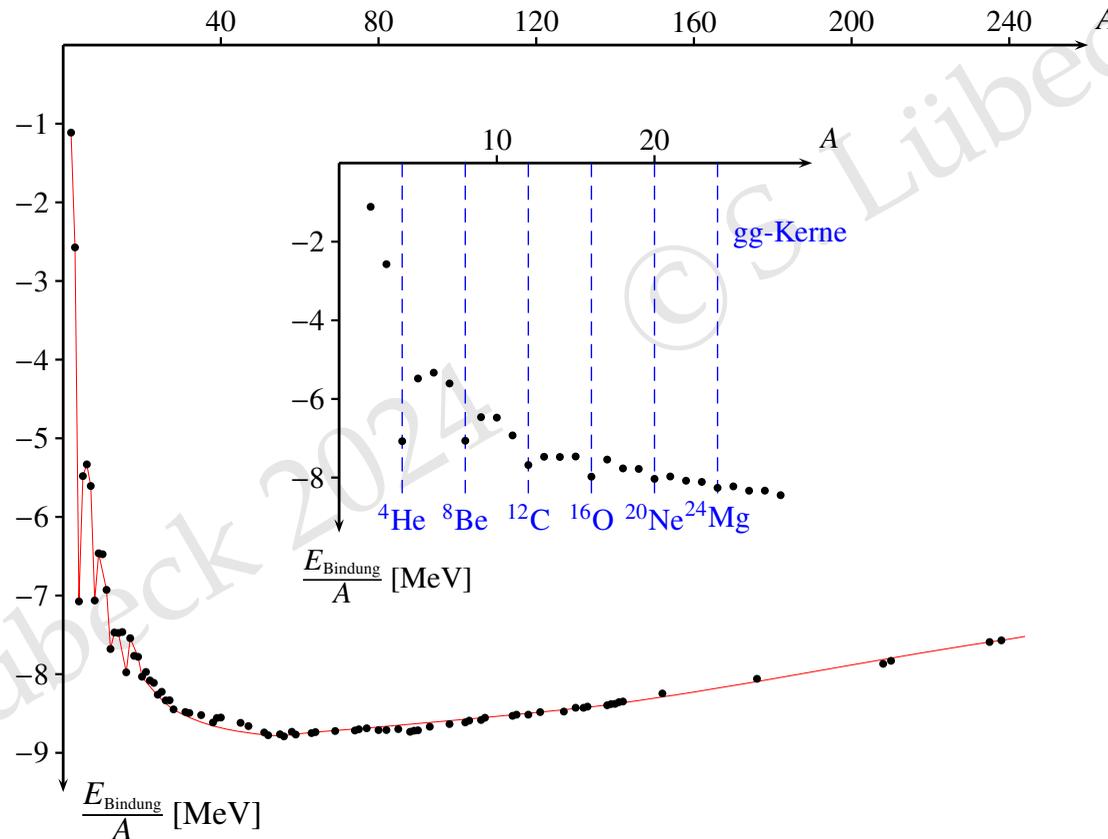
- 1932: Entdeckung des Neutrons; Heisenberg postuliert Aufbau der Kerne aus Neutronen und Protonen.
- Nukleonen (mit kurzreichweitiger Wechselwirkung) im Kern verhalten sich wie Flüssigkeitstropfen mit Volumen-, Oberflächen- und Coulombenergie (Gamow).
- Die rein quantenmechanisch begründbare Asymmetrie- und Paarungsenergie führt zur Bethe-Weizsäcker-Formel:



- Kernmassen können mit E_{Bindung} berechnet werden: $m_{\text{Kern}} = m_p Z + m_n N - \frac{E_{\text{Bindung}}}{c^2}$

I.1 Tröpfchenmodell: Bindungsenergie pro Nukleon

- Für $A > 40$ sind Abweichungen von realen Bindungsenergien kleiner als 1 %.
- Für $A < 30$ ist Bethe-Weizsäcker-Formel praktisch nicht anwendbar.



- Stabilität von Kernen kann aus Tröpfchenmodell abgeleitet werden.
- Tröpfchenmodell kann weitergehende Kerneigenschaften wie z. B. die Magischen Zahlen nicht erklären.

I.1 Schalenmodell: Magische Zahlen

- Kerne mit „magischen“ Protonen- bzw. Neutronenzahlen 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 sind besonders stabil bzw. langlebig.
- Häufigkeit von Kernen mit mag. Protonenzahl ist im Universum groß (He, O, Ca, Ni).
- Bindungsenergie pro Nukleon ist bei magischen Kernen größer.
- Wirkungsquerschnitt für Neutroneneinfang ist bei mag. Kernen besonders klein.
- Kerne mit magischer Protonen- bzw. Neutronenzahl haben besonders viele stabile Isotope.

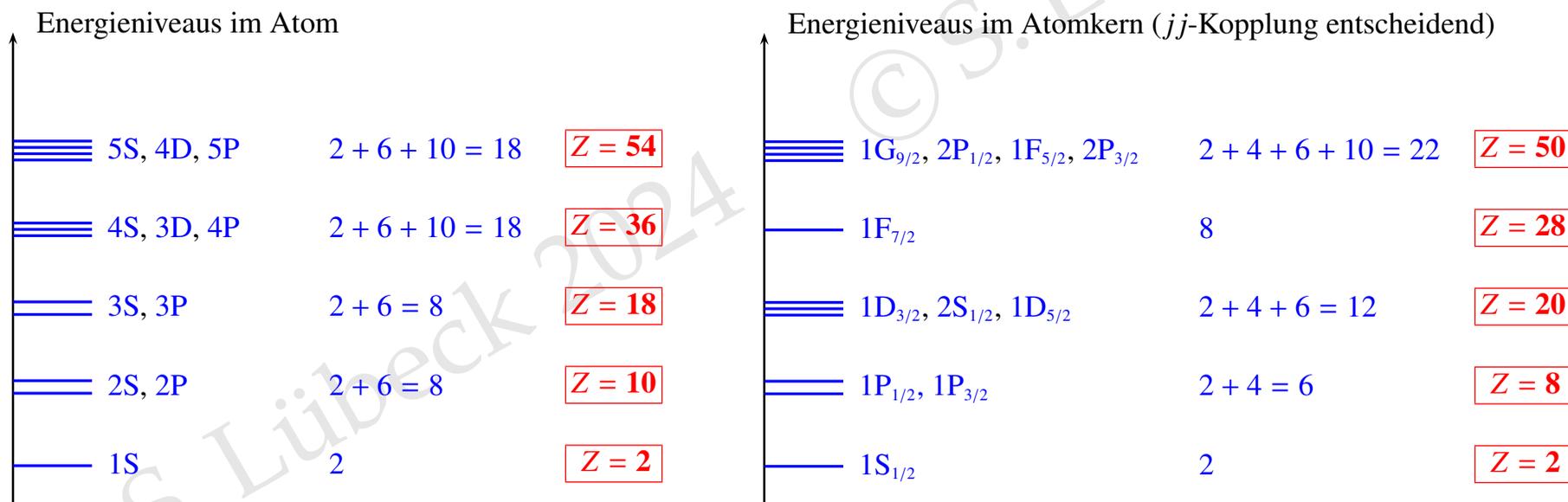
Beispiel Zinn mit $Z = 50$:

^{111}Sb	^{112}Sb	^{113}Sb	^{114}Sb	^{115}Sb	^{116}Sb	^{117}Sb	^{118}Sb	^{119}Sb	^{120}Sb	^{121}Sb	^{122}Sb	^{123}Sb	^{124}Sb	^{125}Sb	^{126}Sb	^{127}Sb
^{110}Sn	^{111}Sn	^{112}Sn	^{113}Sn	^{114}Sn	^{115}Sn	^{116}Sn	^{117}Sn	^{118}Sn	^{119}Sn	^{120}Sn	^{121}Sn	^{122}Sn	^{123}Sn	^{124}Sn	^{125}Sn	^{126}Sn
^{109}In	^{110}In	^{111}In	^{112}In	^{113}In	^{114}In	^{115}In	^{116}In	^{117}In	^{118}In	^{119}In	^{120}In	^{121}In	^{122}In	^{123}In	^{124}In	^{125}In

- Magische Zahlen sind Hinweis auf Schalenstruktur der Nukleonen im Kern (Analog zur Atomphysik 2, 10, 18, 36, 54, 86).

I.1 Schalenmodell

- In der theoretischen Beschreibung ein Einteilchen-Problem in einem zentralen Potenzial (analog zur Atomphysik).
- Im Gegensatz zur Erklärung der Magischen Zahlen in der Atomphysik ist für die Nukleonen die ausgeprägte Spin-Bahn-Wechselwirkung entscheidend (Maria Göppert-Mayer, Hans Jensen).



- Neben Magischen Zahlen können mithilfe des Schalenmodells die magnetischen Momente leichter Kerne abgeschätzt werden.

I.1 Zerfallsgesetz

- Angeregte oder instabile Kerne können spontan zerfallen, d. h. sie wandeln sich unter Energieabgabe um.
- Die Energieabgabe erfolgt im Allgemeinen durch **ionisierende Strahlung**.
- Ein einzelner instabiler Kern zerfällt zufällig mit der **Zerfallswahrscheinlichkeit** pro Zeit λ .

Die Mengenabnahme einer makroskopischen Anzahl von Ausgangskernen N_0 erfolgt nach dem Zerfallsgesetz:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-t/\tau} = N_0 2^{-t/T_{1/2}}$$

mit der **Lebensdauer** τ und der **Halbwertszeit** $T_{1/2}$.

Es gilt

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}.$$

Bei mehreren Zerfallskanälen gilt

$$\lambda_{\text{ges}} = \lambda_{\text{Kanal 1}} + \lambda_{\text{Kanal 2}} + \dots$$

I.1 Halbwertszeiten

- Die experimentell gemessenen Halbwertszeiten instabiler Kerne erstrecken sich über ca. **54 Größenordnungen**:

z. B. ${}^7\text{H}$: $T_{1/2} \approx 2,0 \cdot 10^{-23} \text{ s}$

${}^{128}\text{Te}$: $T_{1/2} \approx 6,0 \cdot 10^{31} \text{ s}$ ($\beta^- \beta^-$ -Zerfall)

.

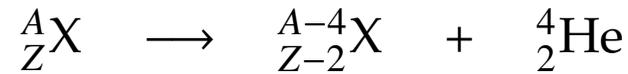
I.2 Kernumwandlungen: Übersicht

Beschränkung auf Kernumwandlungen, die spontan erfolgen: Radioaktiver Zerfall.

- α -Zerfall bei instabilen Kernen.
- β -Zerfälle (β^- , β^+ , Elektroneneinfang ε , ...) bei instabilen Kernen.
- γ -Zerfall bei angeregten Kernen.
- Weitere Umwandlungsprozesse angeregter oder instabiler Kerne (für diesen Kurs von geringerem Interesse):
 - **Innere Konversion** (γ -Emission)
Angeregter Kern überträgt Energie direkt auf Hüllelektron, welches Atom verlässt.
Beachte: Linienspektrum der Elektronen (\rightarrow kein β -Zerfall).
 - **Spontane Kernspaltung**
Relevanter Zerfallskanal für $Z \geq 90$ (Bsp. ^{241}Am mit ca. $10^{-10}\%$).
 - **Neutronenemission**
Typischerweise bei Kernen mit erheblichem Neutronenüberschuss
z. B. ^5He .
 - ... weitere exotische Zerfallsarten (z. B. ce , $2n$, $\beta^-\beta^-$, $\varepsilon\varepsilon$)

I.2 Kernumwandlungen: α -Zerfall

Schwerer instabiler Kern ($A > 170$ und $Z > 70$) zerfällt nach



- α -Teilchen hat hohe kinetische Energie ($4 \text{ MeV} \leq E_{\text{kin}} \leq 17 \text{ MeV}$).

- Monoenergetisches Spektrum

- Warum Helium-Kerne?

Grund ist enorme Bindungsenergie $28,3 \text{ MeV}$ (${}^2\text{H}$ nur $2,2 \text{ MeV}$)

- Einfachste Theorie nach Gamow (1928): einfacher Tunneleffekt

- Geiger-Nuttall-Regel: $\ln \lambda = -a_1 \frac{Z}{\sqrt{E}} + a_2$

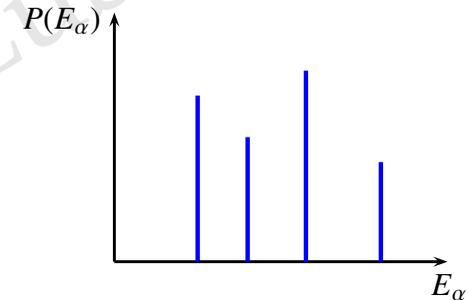
Je kürzer die Halbwertszeit, desto größer die Energie.

Beispiel: ${}^{232}\text{U}$ ca. $5,3 \text{ MeV}$, ${}^{238}\text{U}$ ca. $4,2 \text{ MeV}$,

- Reichweite in Luft: Zentimeter (bei ca. 100000 Ionisationen)

- Abschirmung: Blatt Papier absorbiert Strahlung vollständig.

- Typische Schulpräparate: ${}^{226}\text{Ra}$, ${}^{241}\text{Am}$



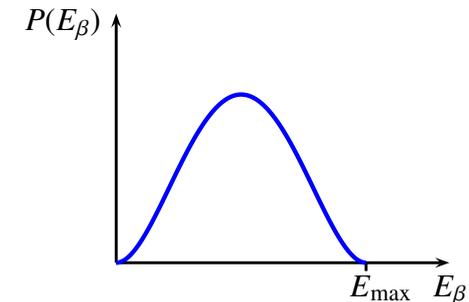
I.2 Kernumwandlungen: β -Zerfälle

Man unterscheidet drei verschiedene β -Zerfälle:



Alle drei Zerfälle beruhen auf Nukleonenumwandlung bzw. Quark-Umwandlungen $u \leftrightarrow d \dots$. Daher nur mit Theorie der Schwachen Wechselwirkung verständlich.

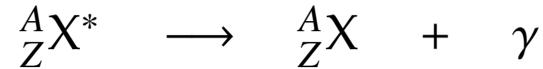
- Kontinuierliches Spektrum:
Typische Größenordnung von $E_{\max} \approx 2 \text{ MeV}$.



- Reichweite in Luft: ca. 1 m (bei ca. 100 Ionisierungen), (im Gewebe mm-Bereich)
- Abschirmung: Metallblech von einigen mm Dicke absorbiert Strahlung vollständig.
- Typische Schulpräparate für β^- : ${}^{90}\text{Sr}$, $({}^{137}\text{Cs})$, $({}^{60}\text{Co})$; für β^+ : ${}^{22}\text{Na}$.
- Interessant: Isotop ${}^{40}\text{K}$: β^- (ca. 89%) und Elektroneneinfang (ca. 11%).

I.2 Kernumwandlungen: γ -Zerfall

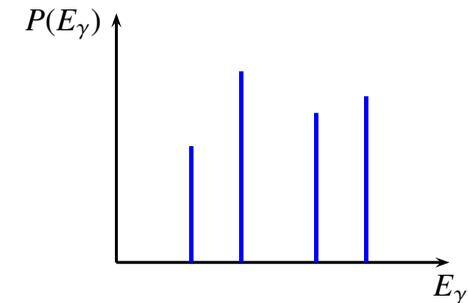
Angeregter Kern geht in Grundzustand über:



Tritt nach anderen Kernzerfällen bzw. -umwandlungen auf.

Angeregte Zustände können metastabil sein, mit Lebensdauern von Sekunden bis Jahren (Kernisomerie).

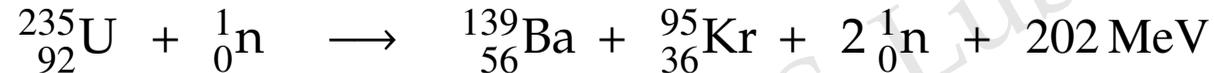
- Monoenergetisches Spektrum
Typische Energiewerte: $10 \text{ keV} \leq E_\gamma \leq 2 \text{ MeV}$.
- Reichweite in Luft: Kilometerbereich
- Abschirmung: Halbwertsdicke von 2 MeV Quanten in Blei ist ca. 1,3 cm.
- Typische Schulpräparate: ${}^{60}\text{Co}$, ${}^{137}\text{Cs}$, ${}^{241}\text{Am}$



I.2 Kernumwandlungen: Spaltung

Zu unterscheiden sind spontane Kernspaltung und Kernspaltungen aufgrund von Neutroneneinfang.

- Kernspaltung aufgrund von Neutroneneinfang
Grundlage der Kettenreaktion in Kernkraftwerken und Atombomben, z. B.



- Spontane Kernspaltung
Eine Form der Radioaktivität bei $Z \geq 90$, z. B.

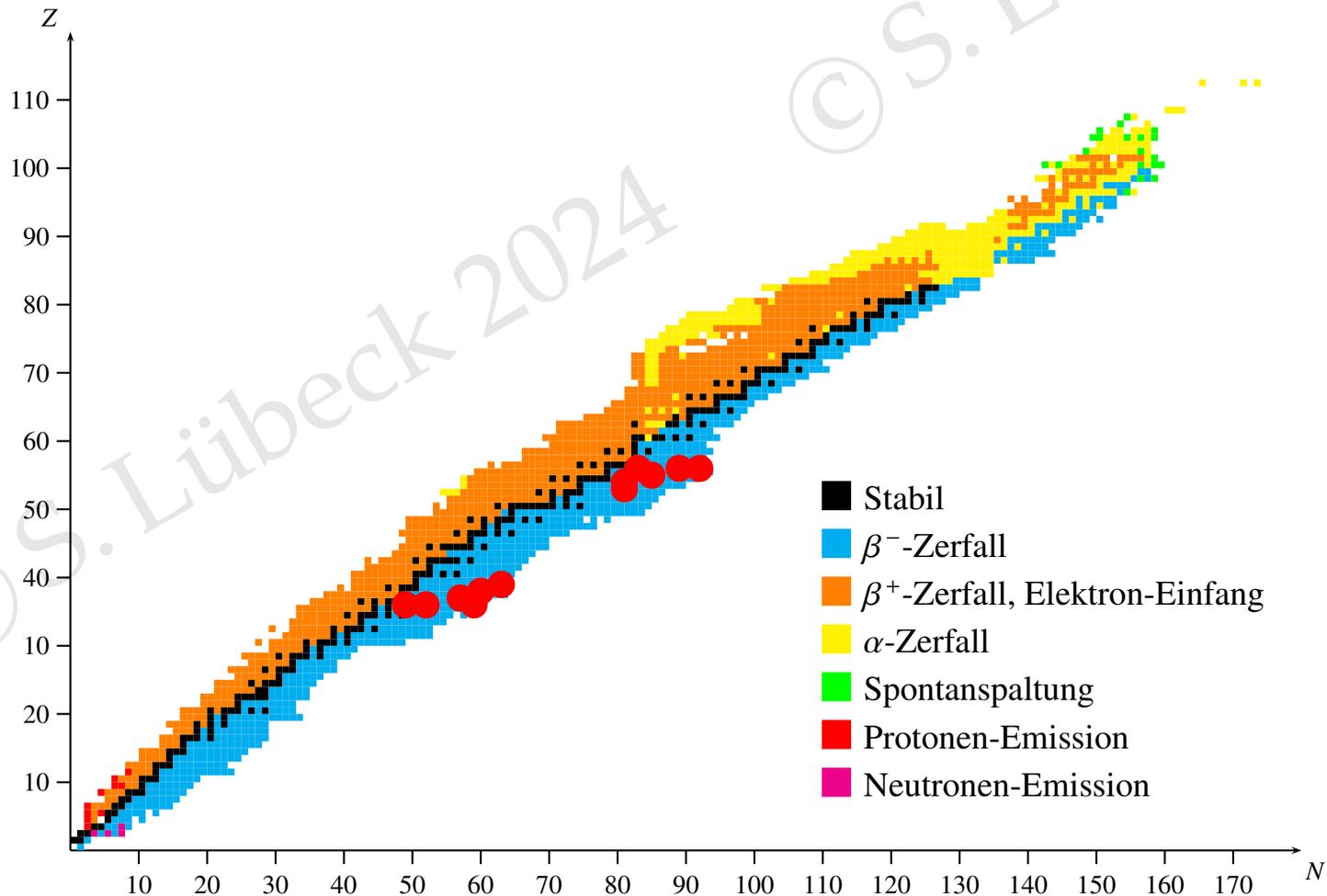


- Beide Spaltprozesse sind durch Tröpfchenmodell und Tunneleffekt beschreibbar (Niels Bohr und John Wheeler).
- Spaltprodukte sind asymmetrisch verteilt (zwei Maxima bei ca. $A \approx 90$ und $A \approx 140$).
Spaltprodukte haben Neutronenüberschuss (\longrightarrow zahlreiche β - und γ -Zerfälle).
- Typisches Schulpräparat mit spontaner Kernspaltung: ${}^{241}\text{Am}$

I.2 Kernumwandlungen: Spaltung

Die Spaltprodukte von Kernspaltungen haben einen Neutronenüberschuss. Daher handelt es sich in erster Linie um β - und γ -Strahler.

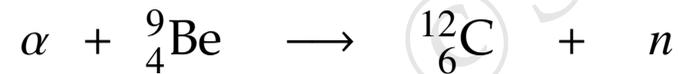
Beispiel: Typische Spaltprodukte einer neutroneninduzierten $^{235}_{92}\text{U}$ -Spaltung:



I.2 Kernumwandlungen: Neutronenaktivierung

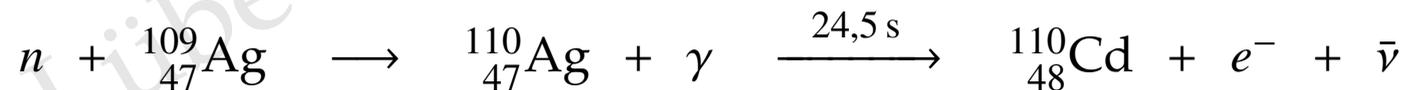
Radioaktive Nuklide werden durch Bestrahlung mit Neutronen künstlich erzeugt.

- Spallationsneutronenquellen
- Kernkraftwerke als Neutronenquellen
- Häufig erzeugt Neutronenquelle die Neutronen anhand einer (α, n) -Reaktion, z. B. „Be-Ra-Quelle“:



Ausbeute: ca. 10^{-4} Neutronen pro α -Teilchen

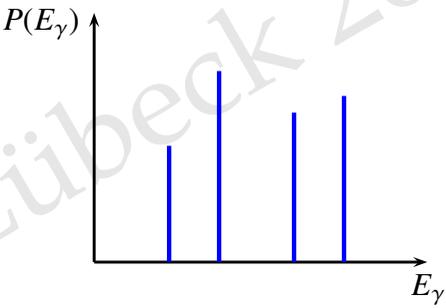
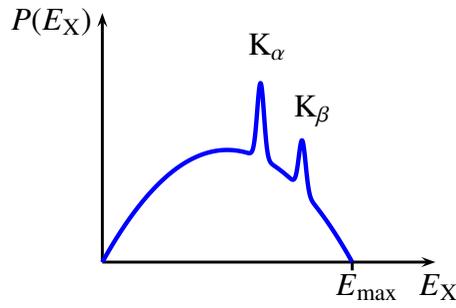
- Mit Neutronenquellen können kurzlebige Nuklide erzeugt werden, z. B.



- Neutronenquellen sind genehmigungsbedürftig, d. h. an allgemeinbildenden Schulen kaum mehr vorhanden.
- Typische Neutronenquellen an Schule und Universität:
Be-Am- oder Be-Ra-Quelle mit 100 MBq bzw. 370 MBq

I.2 Unterscheide γ -Strahlung und Röntgenstrahlung (X-Ray)

In beiden Fällen handelt es sich um elektromagnetische Strahlung (Photonen).

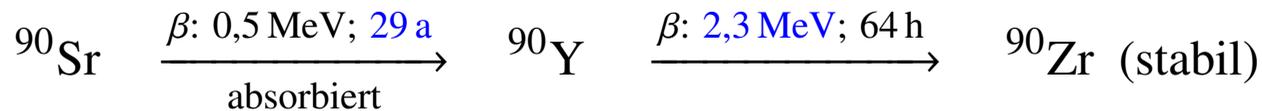
	γ -Strahlung	Röntgen-Strahlung
Energien	$E_\gamma > 200 \text{ keV}$	$100 \text{ eV} \leq E_X \leq 1 \text{ MeV}$
Ursache	Kern: angeregte Zustände	Atomhülle: Bremsstrahlung und charakteristische Linien
Spektrum	Linienspektrum 	Kontinuierliches Spektrum 

I.2 Beachte: Nicht jedes Präparat strahlt so wie erwartet

Aufgrund der Umhüllung weichen die Strahlungseigenschaften eines Präparats von denen der verbauten Nuklide ab.

Beispiele:

- Folgeprodukte einer Zerfallskette treten ebenfalls auf (z. B. ^{226}Ra).
→ ^{226}Ra -Präparat ist statt reinem α -Strahler ein α -, β -, γ -Strahler.
- Die Energie eines α -Teilchen wird durch die Umhüllung vermindert.
- ^{60}Co -Präparat ist entgegen den Daten der Nuklidkarte kein β - und γ -Strahler.
 β -Strahlung (0,31 MeV bzw. 1,5 MeV) wird durch Hülle vollständig absorbiert.
→ ^{60}Co -Präparat ist reiner γ -Strahler.
- ^{90}Sr ist ein β -Strahler mit 0,5 MeV und $T_{1/2} = 29$ a.

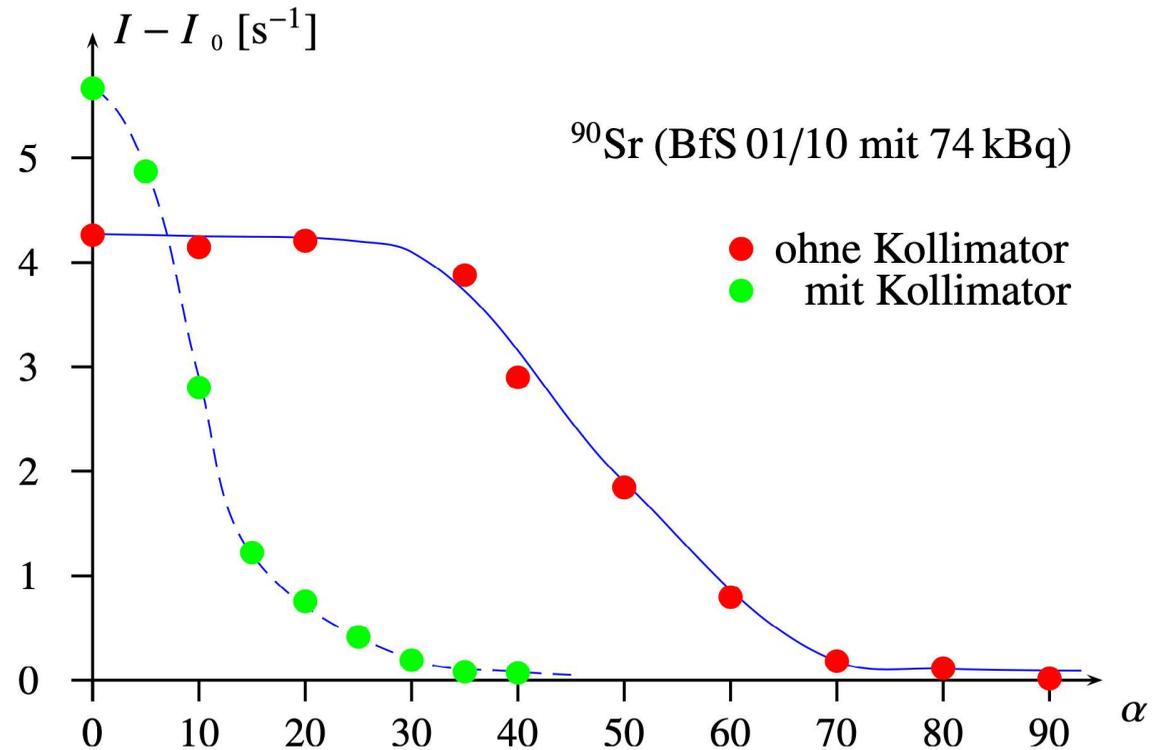


→ ^{90}Sr -Präparat strahlt mit Energie von ^{90}Y und der Halbwertszeit von ^{90}Sr .

I.2 Beachte: Abstrahlcharakteristik der Präparate

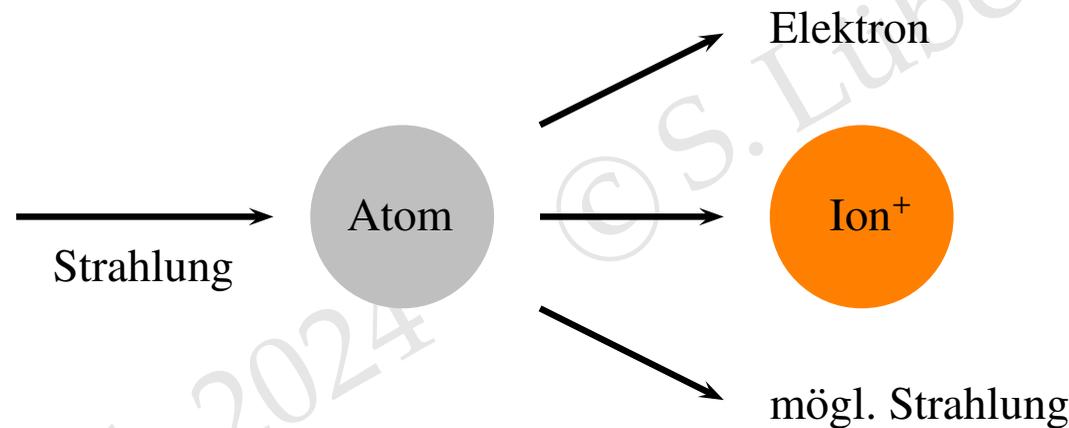
Für einige Experimente ist die Abstrahlcharakteristik der verwendeten Präparate relevant.

Beispiel: Strahlung des Präparats BfS 01/10 (^{90}Sr , vornehmlich β -Strahlung)



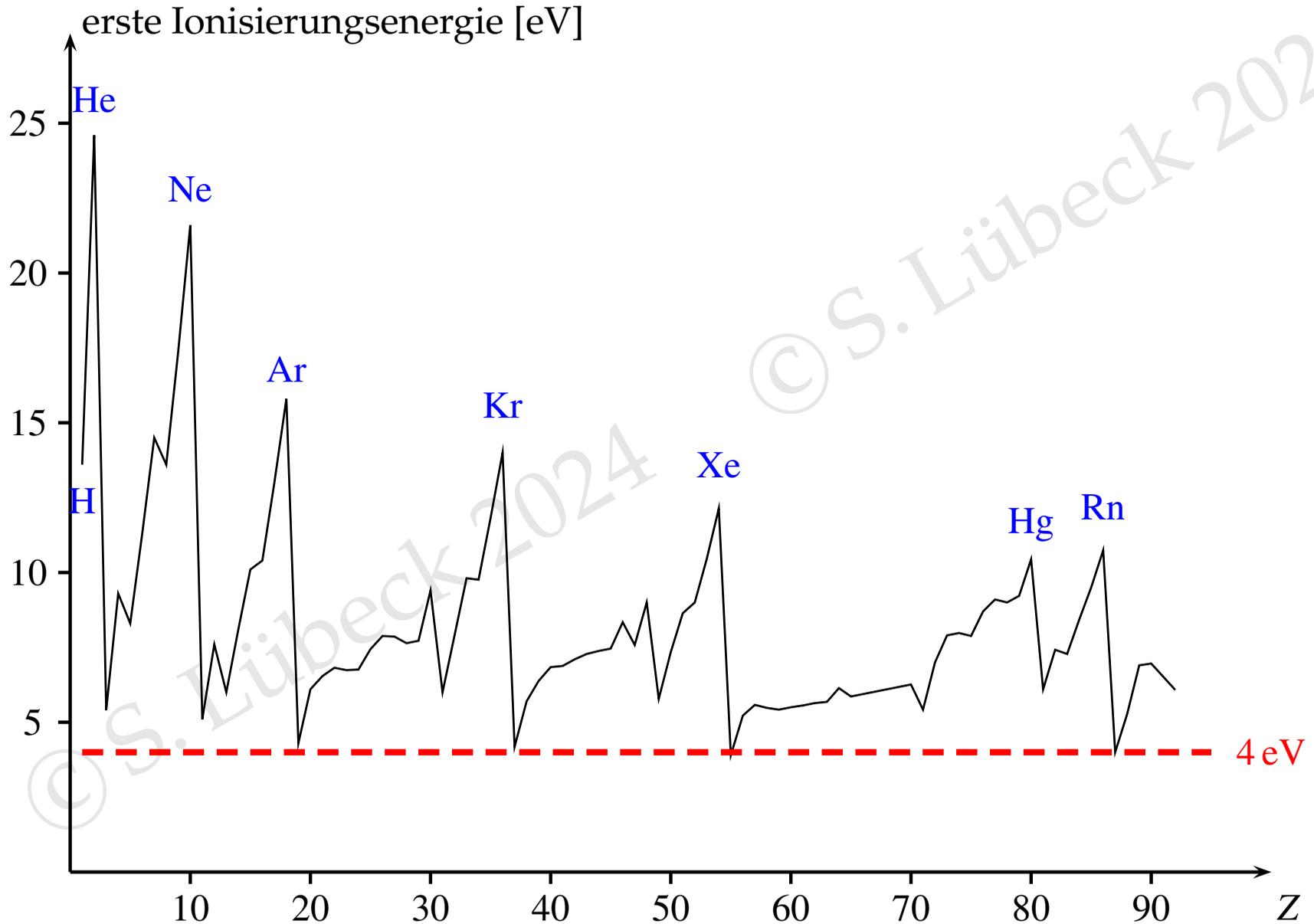
I.3 Eigenschaften ionisierender Strahlung

- Statt **radioaktiver Strahlung** müsste es präzise **ionisierende Strahlung** heißen.
- Ionisierende Strahlung: Sammelbegriff für Teilchen- bzw. elektromagnetische Strahlung, die beim Durchgang durch Materie ihre Energie durch Ionisation der Atome bzw. Moleküle abgibt.



- Zur Ionisation von Atomen sind Energien von mehr als ca. 4 eV nötig.
→ Neben α - und β -Strahlung wirken nur γ -, **Röntgen-** und **kurzwellige UV-**Strahlung ionisierend.
Neutronenstrahlung wirkt indirekt über Kernumwandlungen ionisierend.
- Biologisch schädliche Wirkung beruht auf Ionisationswirkung der Strahlung.
- Mehrfach Ionisationen sind die Regel, z. B. kann ein α -Zerfall Millionen Ionisationen hervorrufen (z. B. Nebelkammerspur).

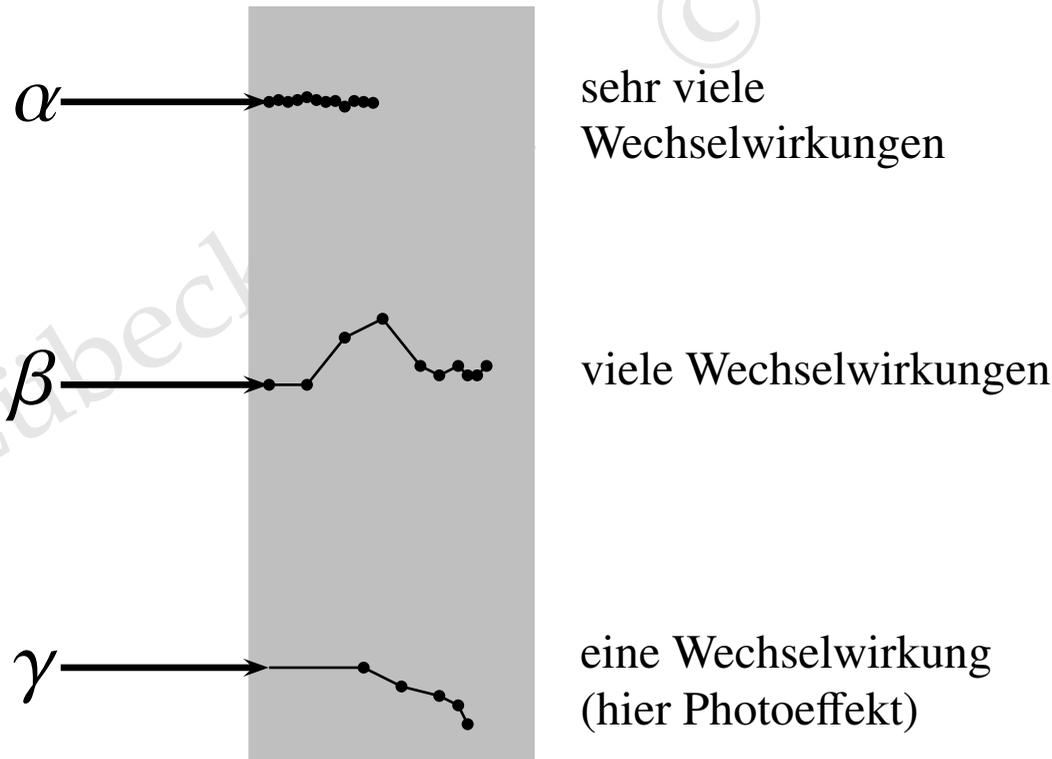
I.3 Ionisierungsenergien der Elemente



→ Zur Ionisation von Atomen sind Energien von mehr als ca. 4 eV nötig.

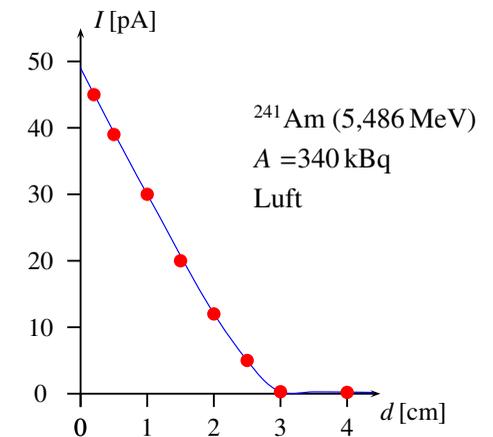
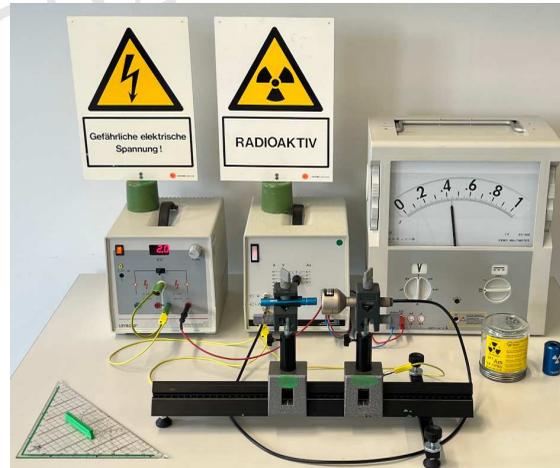
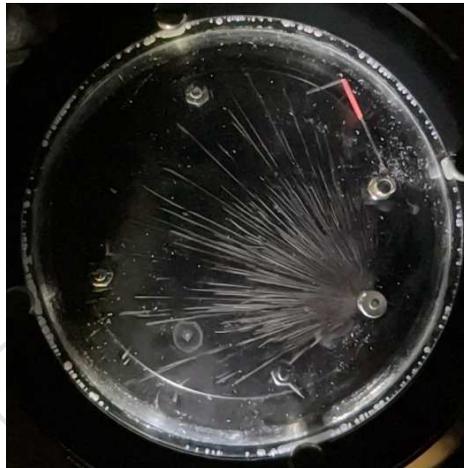
I.4 Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Materie

- Welche Wechselwirkung stattfindet hängt von der **Strahlungsart**, der **Energie der Strahlungsteilchen** und der **Materie** ab.
Häufig können mehrere Wechselwirkungen auftreten, von denen meist eine dominiert.
- Wissen um die Wechselwirkungen ist z. B. entscheidend für Tumorbehandlung.
- Im Folgenden zunächst Unterscheidung nach Strahlungsarten.



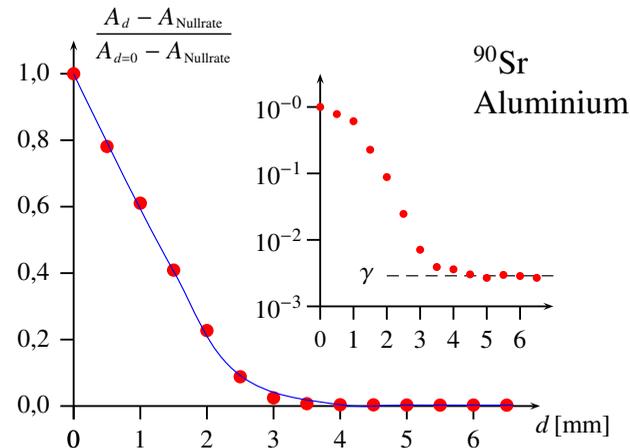
I.4 Wechselwirkung von α -Strahlung mit Materie

- Physikalischer Prozess: Coulomb-Wechselwirkung bewirkt direkte Ionisation entlang des Wegs.
- Pro Wechselwirkung geringer Energieverlust und geringe Streuung.
→ sehr viele Wechselwirkungen und damit sehr viele Ionen.
- Abschirmung: Reichweite von α -Strahlung in Luft nur einige Zentimeter, in Gewebe weniger als 0,1 mm.
→ ein Blatt Papier bzw. die obere Hautschicht reicht zur vollständigen Abschirmung aus.



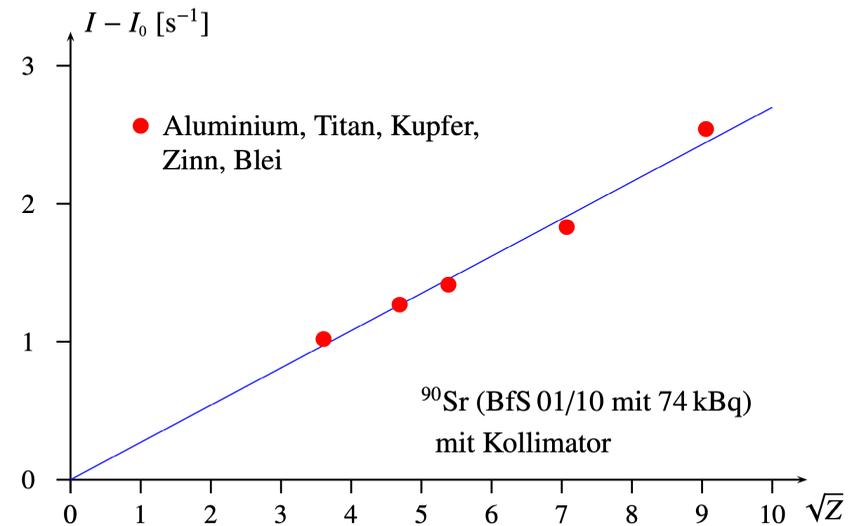
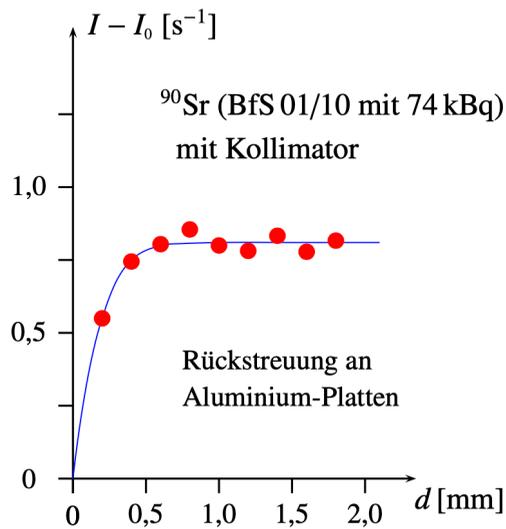
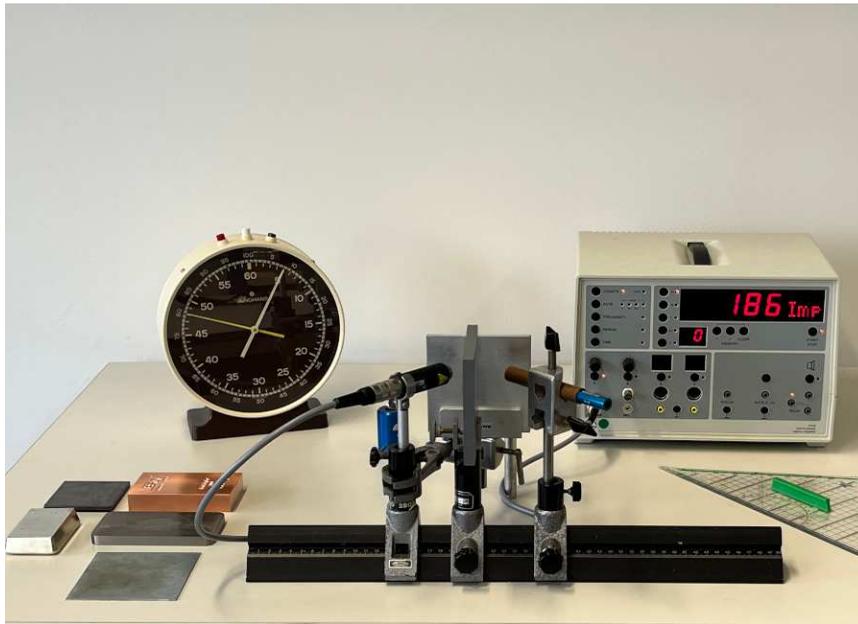
I.4 Wechselwirkung von β -Strahlung mit Materie

- Physikalischer Prozess: Coulomb-Wechselwirkung bewirkt direkte Ionisation entlang des Wegs.
- Pro Wechselwirkung beträchtlicher Energieverlust und starke Streuung.
→ viele Wechselwirkungen und damit viele Ionen.
- Abschirmung: Reichweite von β -Strahlung in Luft ca. 7 m bei 2 MeV, in Aluminium ca. 4 mm.
→ β -Strahlung kann nur weniger Millimeter in den Körper (Haut) eindringen (Ausnahme ist Auge).



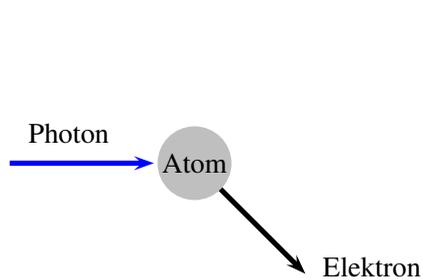
I.4 Wechselwirkung von β -Strahlung mit Materie

Rückstreuung von β -Strahlung an Materie:

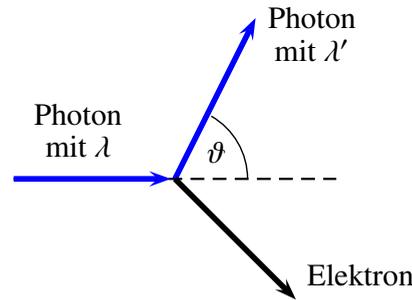


I.4 Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie

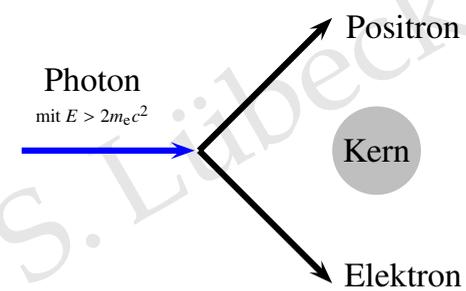
- Da Photonen elektrisch neutral sind, spielt Coulomb-Wechselwirkung keine Rolle. Physikalische Prozesse:



Photoeffekt,
niederenergetische
Photonen

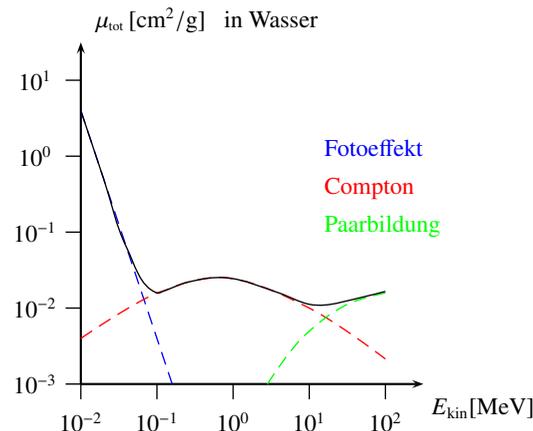


Compton-Effekt



Paarbildung,
hochenergetische
Photonen

- Wirkungsquerschnitt



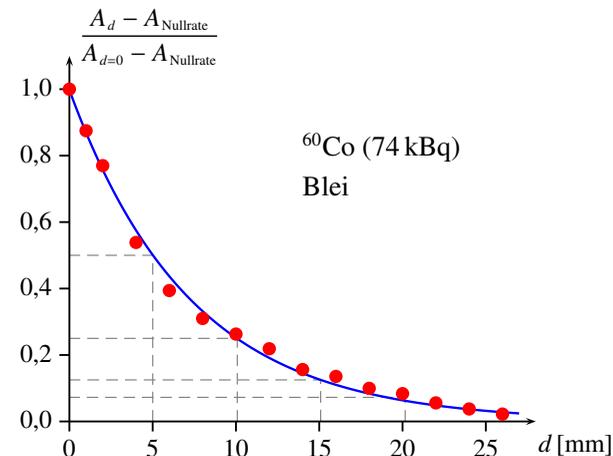
I.4 Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie

- Bei Photoeffekt und Paarbildung wird das Photon bei einer Wechselwirkung vernichtet.
→ „Alles oder Nichts-Wechselwirkungen“
- Alle Wechselwirkungen sind Zufallsereignisse, daher sind nur Wahrscheinlichkeitsaussagen über Reichweite der γ -Strahlung möglich. Abschirmung von γ -Strahlung ist daher nie vollständig.

→ Halbwertsdicke $x_{1/2}$: $N(x) = N_0 e^{-x/\mu}$ mit $x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$.

Beispiele: Halbwertsdicken bei γ -Strahlung von 1 MeV:

Stoff	Halbwertsdicke [cm]
Wasser	ca. 10 cm
Beton	ca. 5 cm
Eisen	ca. 1,5 cm
Blei	ca. 1 cm



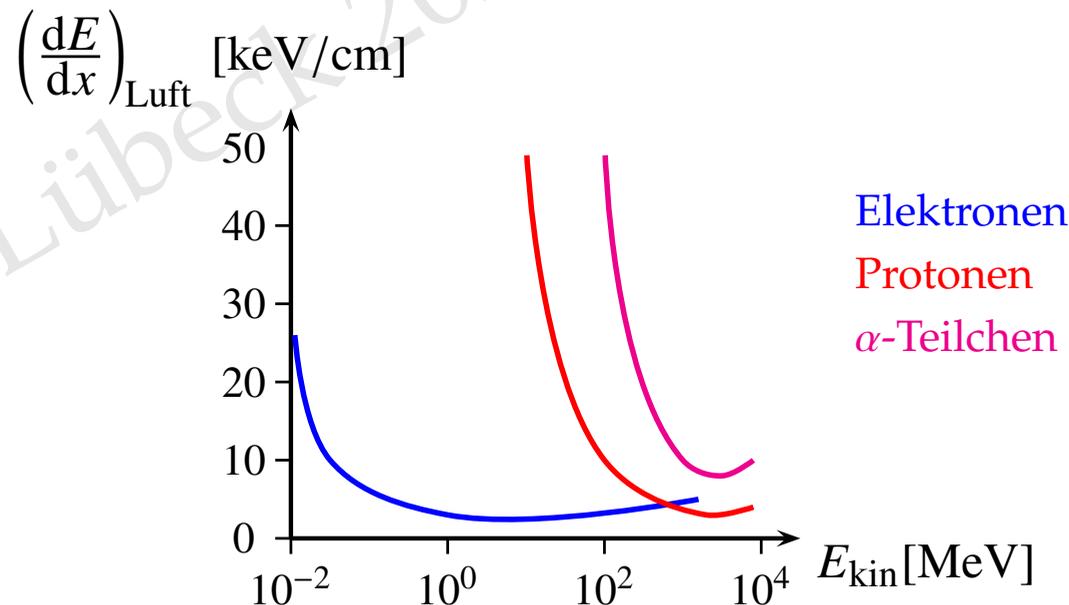
- Röntgenstrahlung mit 50 kV Betriebsspannung:
Abschwächungsfaktor ca. 100000 bei 1 mm Blei

I.4 Wechselwirkung mit Materie: Linearer Energietransfer (LET)

LET beschreibt wie viel Energie pro Längeneinheit an das ionisierte Material abgegeben wird:

$$\text{LET} = \frac{dE}{dx}$$

- LET ermöglicht durchgängige Beschreibung aller Strahlungsarten.
- Die unterschiedliche Ionisationsfähigkeit von α -, β - und γ -Strahlung kann berücksichtigt werden \rightarrow Strahlungswichtungsfaktoren w_R .
- Beispiel: LET in Luft



II. Dosimetrie

- Charakterisierung der Strahlungsquelle (neben $T_{1/2}$ und Energie)
 - II.1 Aktivität (Messgröße)
 - II.2 Spezifische Aktivität (Messgröße)
- Charakterisierung der Strahlungswirkung im Absorber
 - II.3 Energiedosis (Messgröße, [Gy])
 - II.4 Äquivalentdosis (berechnete Risikogröße, [Sv])
 - II.5 Effektive Dosis (berechnete Risikogröße, [Sv])
 - II.6 Folgedosis (berechnete Risikogröße, [Sv])

Hinzu kommt: $\text{Dosisleistung} = \frac{\text{Dosis}}{\text{Zeit}} \left[\frac{\text{Gy}}{\text{s}} \right]$ bzw. $\left[\frac{\text{Sv}}{\text{s}} \right]$

II.1 Aktivität

Die Aktivität einer radioaktiven Stoffmenge ist die Anzahl der Kernzerfälle pro Zeiteinheit:

$$A = \frac{\text{Anzahl der Kernumwandlungen}}{\text{Zeiteinheit}} \quad \text{Einheit : } [A] = 1 \text{ Bq (Becquerel)}$$

Veraltete Einheit Curie (Ci) ist bezogen auf 1 g Radium:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$$

Beachte: Pro Kernumwandlung können mehrere Teilchen (Quanten) emittiert werden.

Pro Radionuklid: Aktivität A ist proportional zur Teilchenanzahl N

$$A = \lambda N \quad (\lambda \text{ ist Zerfallswahrscheinlichkeit eines Kerns})$$

Mit Formel für Halbwertszeit $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ folgt: $A = \lambda N = \ln 2 \frac{N}{T_{1/2}}$

→ Aktivität eines Körpers bzw. Stoffes lässt sich berechnen.

Beispiele: Körpereigene Aktivität 4000 Bq, typisches Schulpräparat ^{226}Ra 3700 Bq, Gesamtaktivität der Erde 10^{26} Bq.

II.1 Aktivität

Geschätzte Aktivitätsfreisetzungen aufgrund von (Reaktor-)Unfällen:

Majak	1957	Tank-Explosion	$4,0 \cdot 10^{17}$ Bq	(11.000.000 Ci)
Leningrad	1975	partielle Kernschmelze	$5,6 \cdot 10^{16}$ Bq	(1.500.000 Ci)
Harrisburg	1979	partielle Kernschmelze	$1,7 \cdot 10^{15}$ Bq	(45.000 Ci)
Tschernobyl	1986	Reaktorexpllosion, Kernschmelze	$1,2 \cdot 10^{19}$ Bq	(320.000.000 Ci)
Fukushima	2011	Kernschmelzen, Explosionen	$< 10^{18}$ Bq	(< 27.000.000 Ci)

Seit 1945 wurde im Nuklearkomplex Majak durch zahlreiche Unfälle insgesamt eine größere Gesamtaktivität freigesetzt als bei der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl.

II.2 Spezifische Aktivität

Für Vergleiche geeigneter: Aktivität bezogen auf Stoffmenge $\frac{\text{Bq}}{\text{kg}}$, $\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$, $\frac{\text{Bq}}{\text{m}^2}$, ...

Beispiel	$T_{1/2}$	spez. Aktivität	Exposition: Tschernobyl → BRD
Kalium	$1,25 \cdot 10^9 \text{ a}$ (^{40}K)	ca. $31000 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}}$	(im Körper vorhanden, Dünger)
^{238}U	$4,47 \cdot 10^9 \text{ a}$	ca. $13 \frac{\text{MBq}}{\text{kg}}$	
^{239}Pu	24110 a	ca. $2,3 \frac{\text{TBq}}{\text{kg}}$	
^{137}Cs	ca. 30 a	ca. $3,3 \frac{\text{PBq}}{\text{kg}}$	ca. 230 g
^{131}I	ca. 8 d	ca. $4,6 \frac{\text{EBq}}{\text{kg}}$	ca. 0,7 g

II.3 Energiedosis

Merke: Dosis ist Maß für Wirkung von radioaktiven Strahlen.

Zur Beschreibung der biologischen Schäden ist Energiedosis D grundlegend:

$$D = \frac{\text{durch Körper absorbierte Energie des Strahlers}}{\text{Masse des Körpers}} \quad \text{Einheit : } [D] = 1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad (\text{Gray})$$

Veraltete Einheit rad (Roentgen absorbed dose)

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

Beachte: Energiedosis beschreibt reine Energiedeposition im Körper und macht keine Aussage bzgl. des biologischen Effekts der Strahlung.

Z. B. ionisieren Elektronen viel schwächer als α -Strahlen. D. h. die verschiedenen Strahlungsarten müssen bewertet bzw. gewichtet werden.

II.4 Äquivalentdosis

Die biologische Wirksamkeit einer Strahlung wird durch Bewertungsfaktoren q bzw. **Strahlungswichtungsfaktoren** w_R der jeweiligen Strahlungsart berücksichtigt

$$H = qD = w_R D \quad \text{Einheit : } [H] = 1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad (\text{Sievert})$$

Veraltete Einheit rem (Roentgen equivalent man) $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

Strahlungswichtungsfaktoren sind in StrlSchV₂₀₁₈ Anlage 18, Teil C aufgelistet.

$$w_{\text{Photonen}} = 1, w_{\text{Elektronen, Myonen}} = 1, w_{\text{Protonen}} = 2, w_{\text{Neutronen}} = 2,5 \text{ bis ca. } 20, w_{\alpha, \text{Kerne}} = 20$$

Bei verschiedenen Strahlungsarten:

$$H = \sum_R w_R D_R$$

Hintergrund: q ergibt sich aus LET (linear energy transfer): welche Energie gibt ein ionisierendes Teilchen pro Längeneinheit an das Material ab \rightarrow Ionisation pro Wegstrecke.

Problem: Organe sind für jede Strahlungsart verschieden empfindlich, z. B. ist die Haut unempfindlicher als die inneren Organe.

II.5 Effektive Dosis

Zur Berücksichtigung der Empfindlichkeit der verschiedenen Organe T gegenüber den verschiedenen Strahlungsarten benutzt man Gewebe-Wichtungsfaktoren w_T :

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad \text{Einheit : [E] = 1 Sv} \quad \left(\sum_T w_T = 1 \right)$$

Laut Strahlenschutz „besteht“ der Mensch aus 14 Organen:

Organ	Gewebe-Wichtungsfaktor
rotes Knochenmark, Dickdarm, Lunge, Magen, Brust	jeweils 0,12
Keimdrüsen	0,08
Blase, Leber, Speiseröhre, Schilddrüse	jeweils 0,04
Haut, Knochenoberfläche, Gehirn, Speicheldrüsen	jeweils 0,01
andere Organe und Gewebe	0,12

Nach 2013/59/Euratom bzw. StrlSchV₂₀₁₈ Anlage 18, Teil C;

Ursprünglich festgelegt von Internationaler Strahlenschutzkommission ICRP 2007;

Grundlegend sind vor allem empirische Werte von Hiroshima und Nagasaki.

Beachte: **Wichtigster Dosisbegriff, im Allgemeinen beziehen sich alle Aussagen darauf.**

Merke: **$P(\text{„Tod innerhalb von 30 Tagen bei 4 Sv“}) = 50\%$ „letale Dosis“.**

II.6 Folgedosis

Folgedosis: Dosis die eine Person aufgrund der Inkorporation radioaktiver Stoffe während der **Verweildauer** τ des Nuklids im Körper erhält.

Für jedes Organ/Gewebe gilt:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt$$

Falls mehrere Organe betroffen sind gilt für die effektive Dosis:

$$E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau) = \sum_T w_T \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt$$

III. Messtechnik

Die Strahlenwirkungen auf einen Körper sind nicht direkt messbar. Daher bestimmt man die Wirkung (anhand geeigneter physikalischer Effekte) auf ein geeignetes Probenmaterial. Diese Wirkung ist zur gesuchten Energiedosis im Gewebe proportional.

Ausgenutzte physikalische Effekte: Erzeugung beweglicher Ladungsträger in Gasen bzw. Halbleitern, Schwärzung von Filmemulsionen, Szintillationen, Bildung von Luminiszenz-Zentren, Trübung von Gläsern und Kristallpulver.

III.1 Gasgefüllte Detektoren

III.2 Ionisationskammer

III.3 Proportionalitätszählrohr

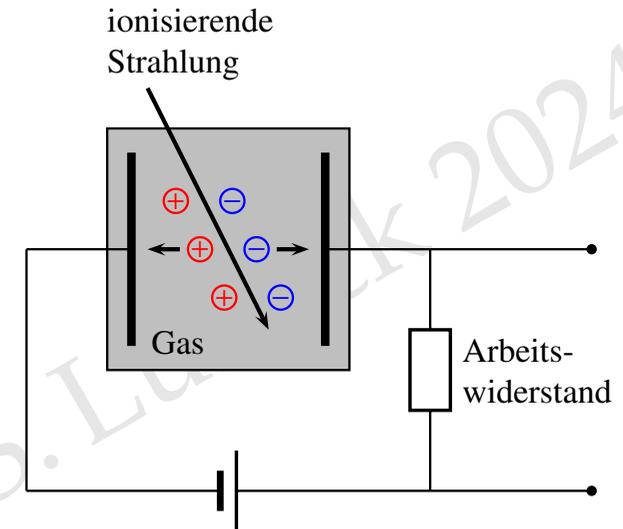
III.4 Geiger-Müller-Zählrohr

III.5 Halbleiterdetektoren

III.6 Strahlenschutzmessgeräte

III.1 Gasgefüllte Detektoren

Grundlegendes Prinzip: Einfallende Strahlung erzeugt durch Ionisation im gasgefüllten Kammer-
volumen Elektronen und Ionen (bei einatomigen Gasen), die in einem konstanten elektrischen Feld
„eingesammelt“ werden.

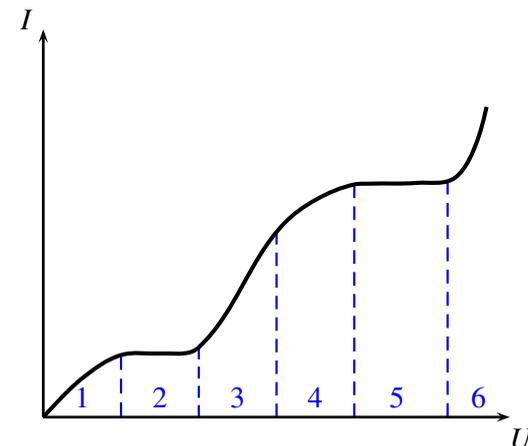


Je nach Beschaltung und Spannung ergeben sich primäre und sekundäre Prozesse und der Aufbau kann zur Messung der **Ionendosisleistung** (Strommessung), zur **Impulsmessung** (Nachweis einzelner Teilchen) oder als **Dosimeter** verwendet werden.

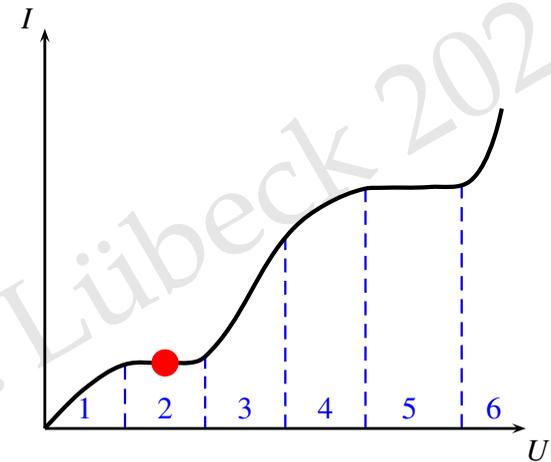
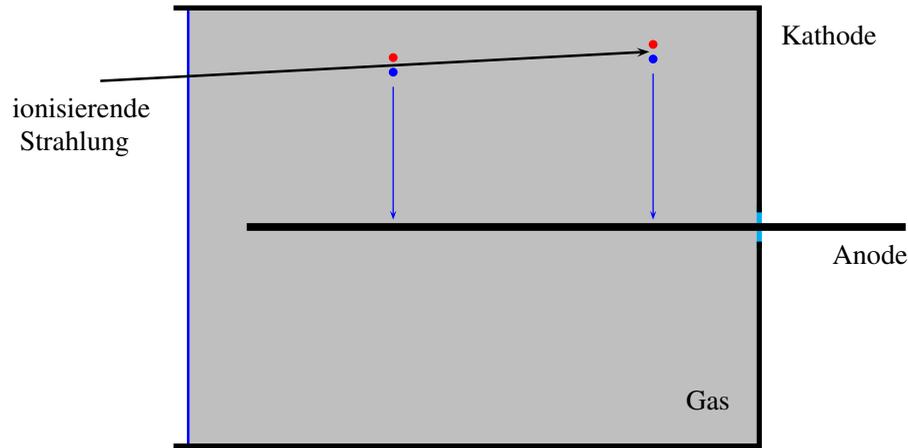
Spannung bestimmt Anwendungsbereich:

1. Rekombinationsbereich
2. Sättigungsbereich (**Ionisationskammer**)
3. Proportionalitätsbereich (**Prop.-zählrohr**)
4. Eingeschränkter Prop.-bereich
5. Auslösebereich (**Geiger-Müller-Zählrohr**)
6. Glimmbereich (selbst. Entladung)

Schematische Kennlinie eines Zählrohrs



III.2 Ionisationskammer

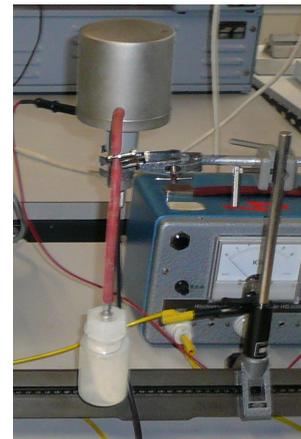


Betrieb erfolgt im Sättigungsbereich. Die Rekombination ist vernachlässigbar, d. h. alle erzeugten Ladungsträger werden aufgesammelt.

Ionendosisleistung kann bei Verwendung als Stromkammer gemessen werden. Geringe Ladungsmengen ergeben extrem kleine Ströme (weniger als 50 pA).

Typische Schulexperimente:

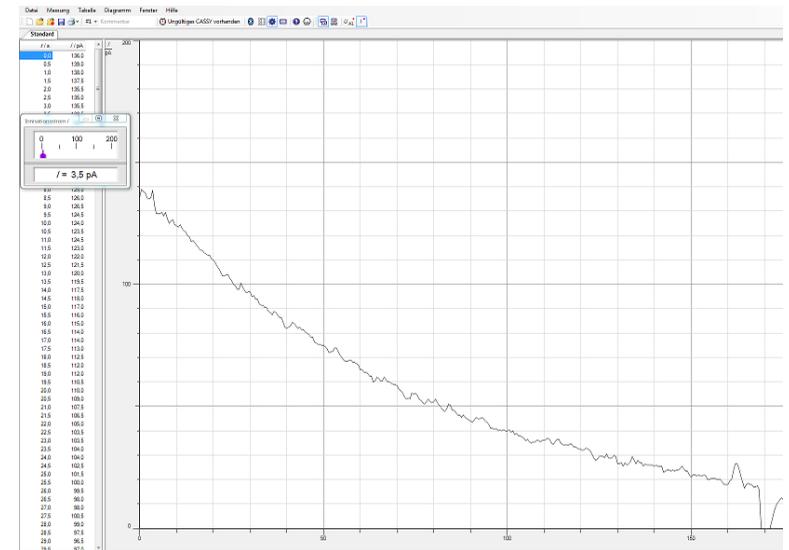
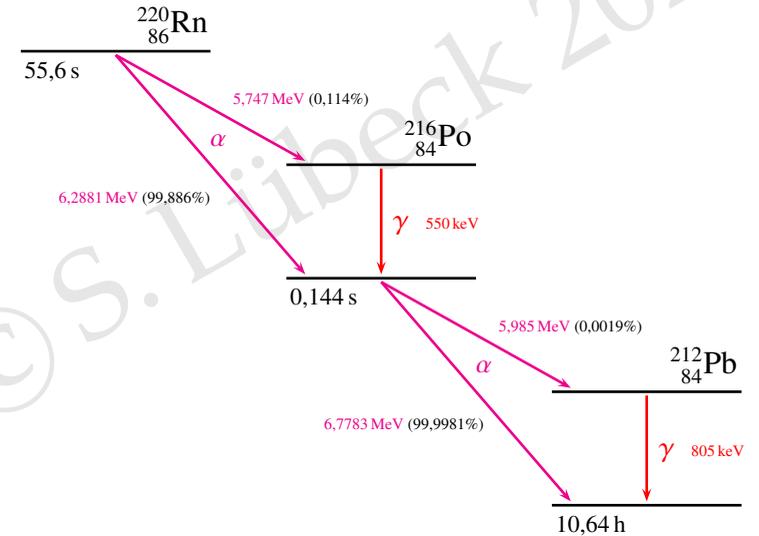
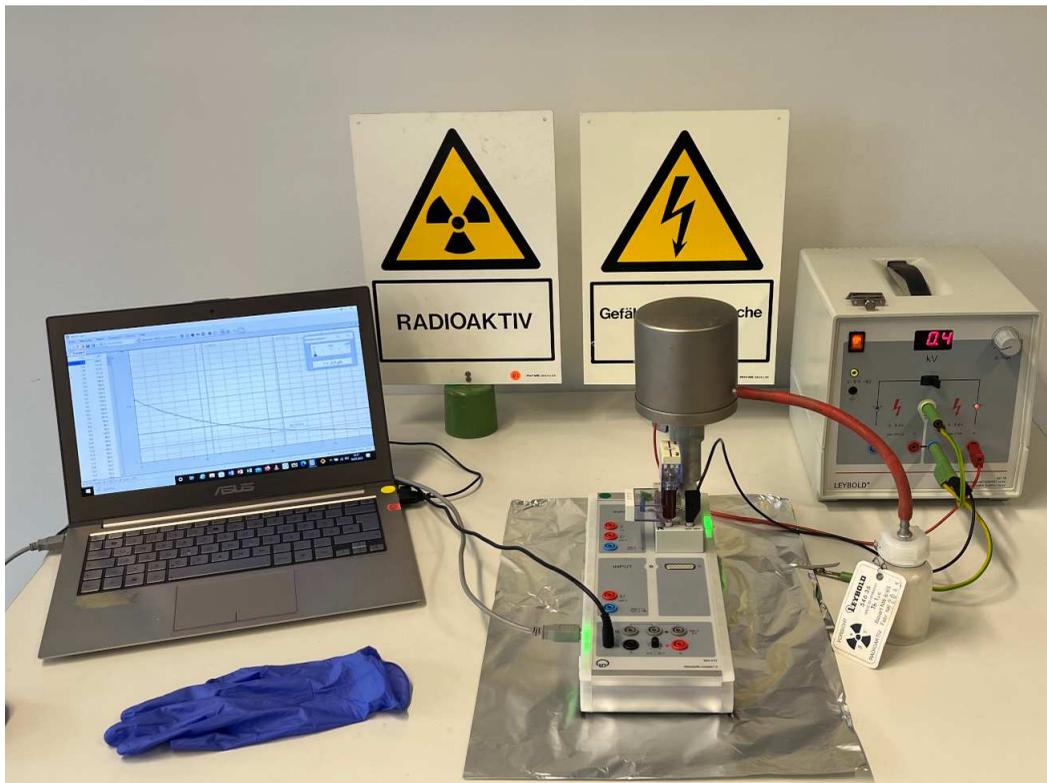
- Messung der Halbwertszeit von ^{220}Rn mit Thoron-Isotopengenerator.
- Messung der Reichweite von α -Strahlung.



III.2 Ionisationskammer

Messung der Halbwertszeit von ^{220}Rn mit Thoron-Isotopengenerator.

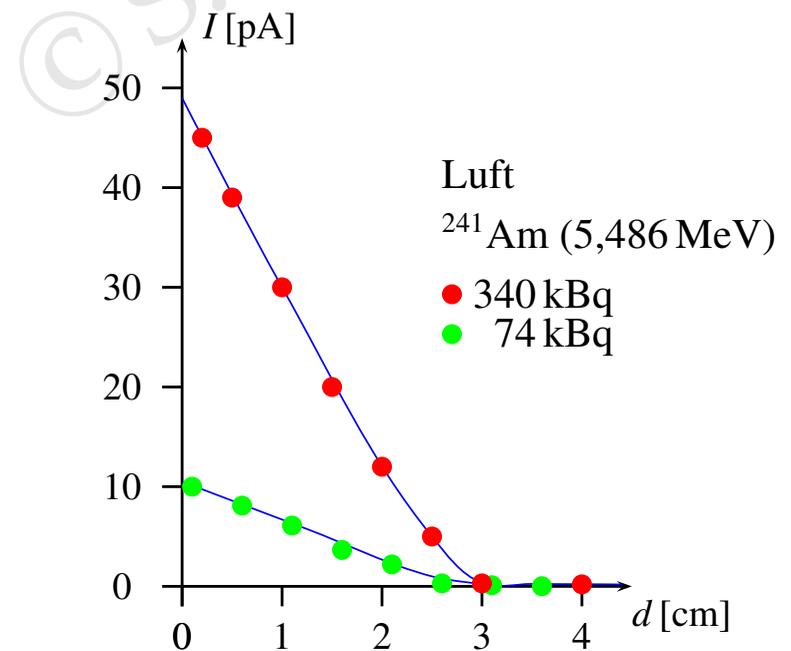
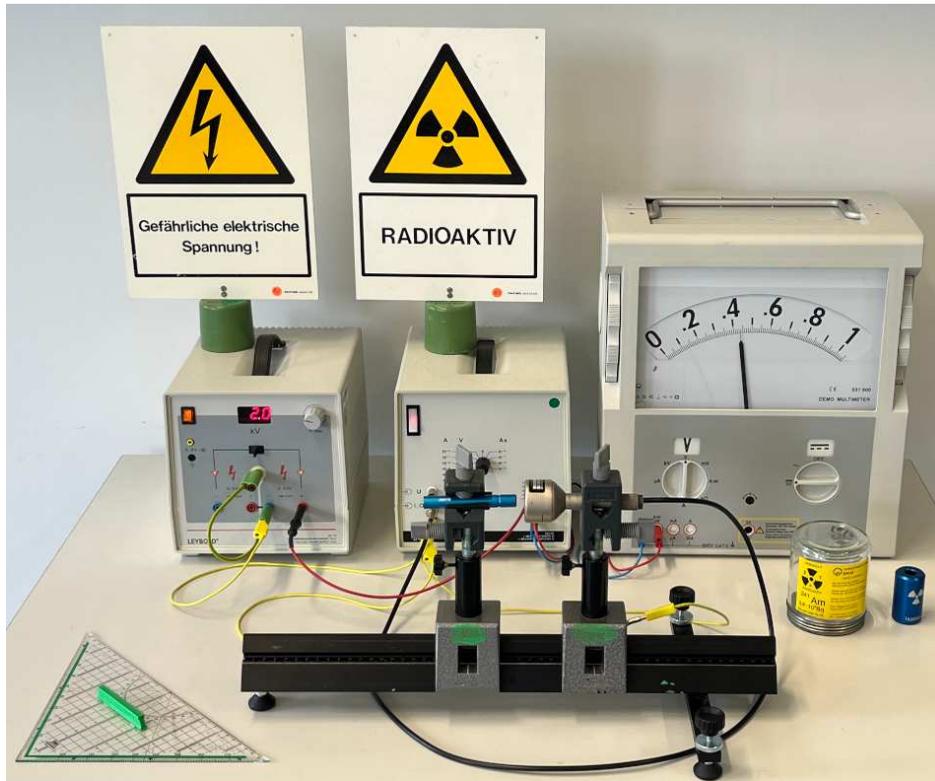
Aufgrund der extrem geringen Ströme (ca. 50 pA) ist ein sorgfältiger Aufbau notwendig.



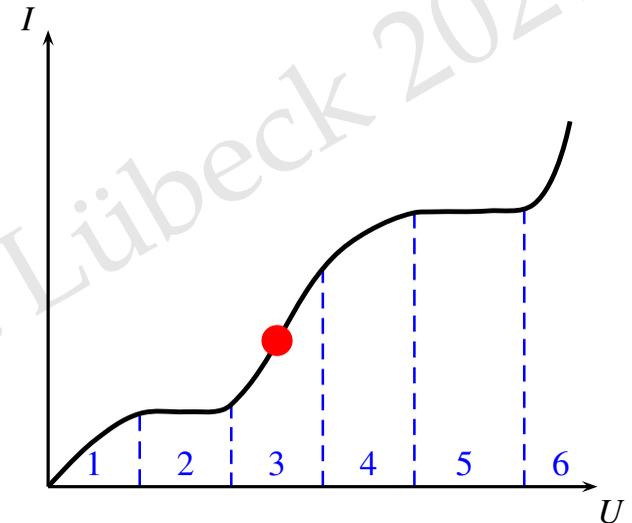
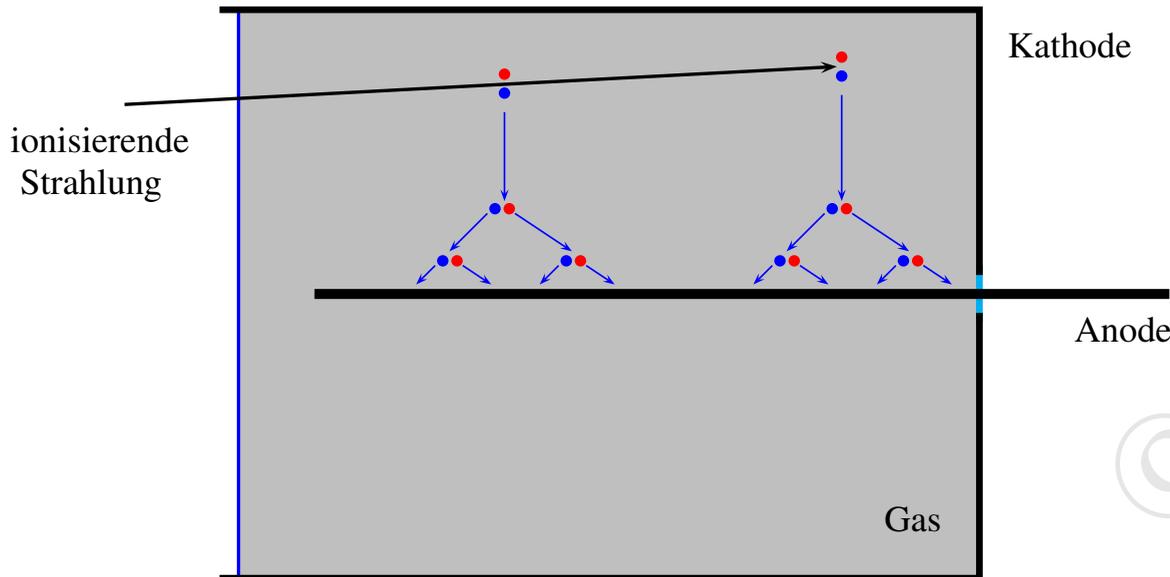
III.2 Ionisationskammer

Messung der Reichweite von α -Strahlung in Luft.

Aufgrund der extrem geringen Ströme (weniger als 50 pA) ist ein sorgfältiger Aufbau notwendig.



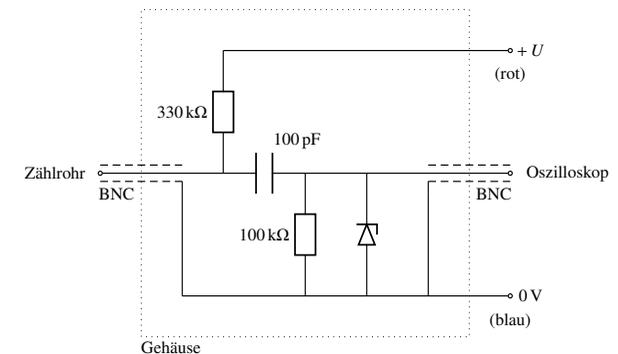
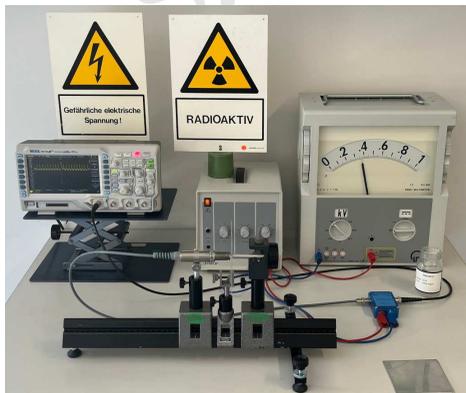
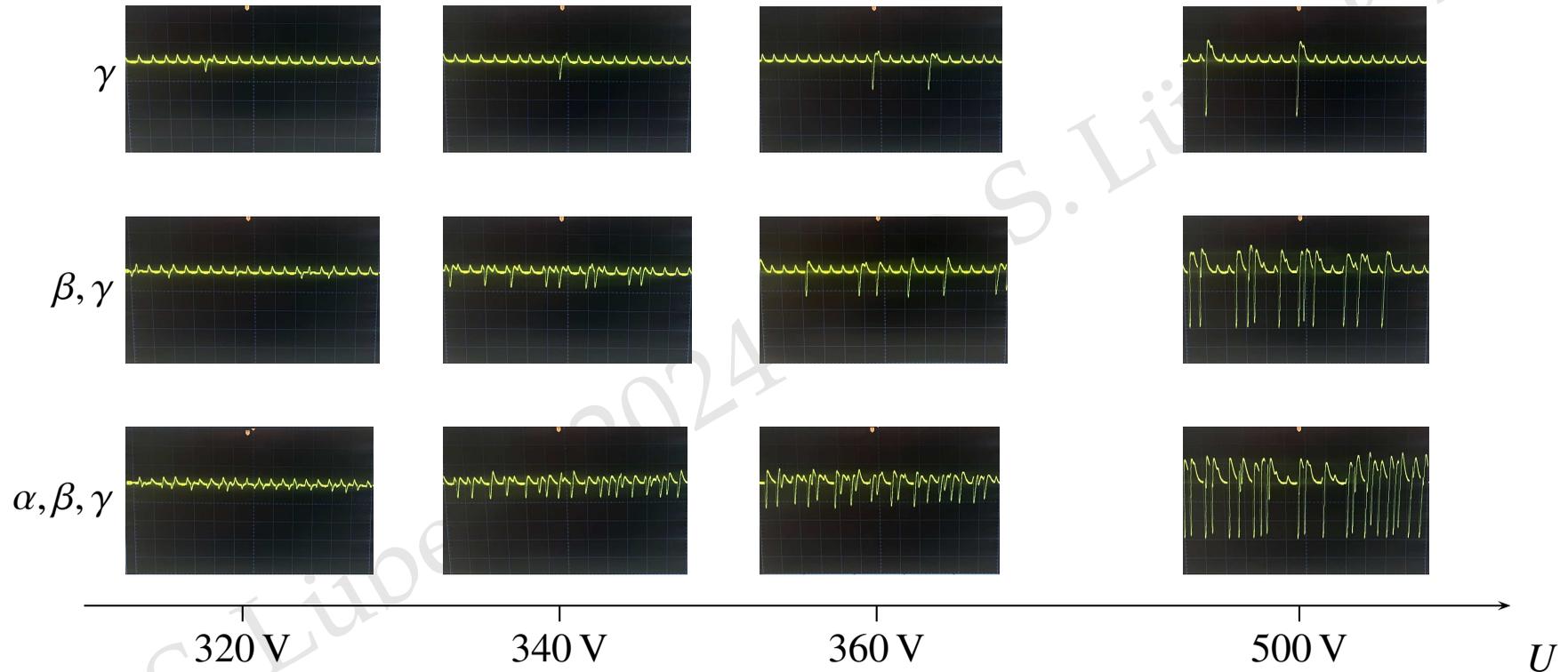
III.3 Proportionalitätszählrohr



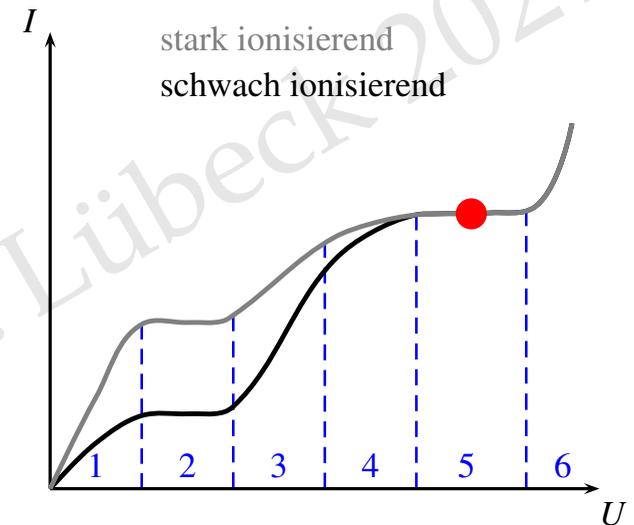
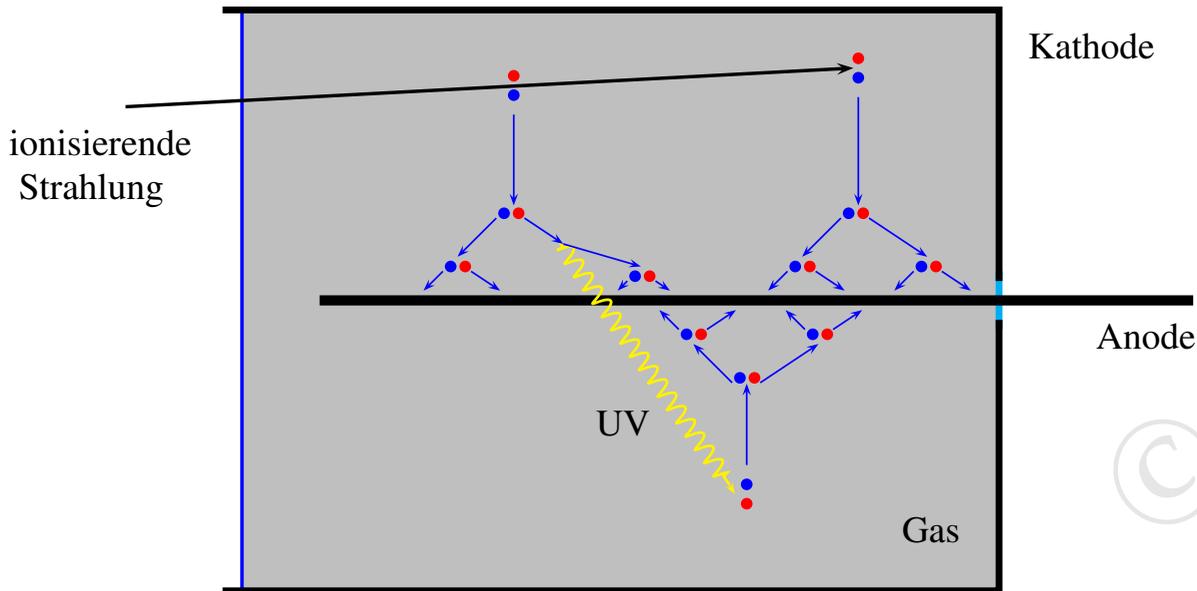
- Nahe am Draht erzeugen beschleunigte Elektronen weitere Elektronenlawinen
→ „Gasverstärkung“ bei $\Delta E_{\text{Übertrag zwischen Stößen}} > \Delta E_{\text{Ionisation}}$ (Faktor 10^4).
- Stromimpuls ist proportional zur Energie, Teilchenenergien können bestimmt werden (z. B. sind α - und β -Strahlung unterscheidbar).
- Anspruchsvolle Elektronik (Impulsverstärkung, Spannungsstabilität).
- Anwendung in Hochenergiephysik (Violdraht-Proportionalkammer) sowie in Kontrollbereichen als Hand-Fuß-Monitore.
- Umsetzung in der Schule: Geiger-Müller-Zählrohr mit herabgesetzter Spannung kann zwischen Strahlungsarten unterschieden werden (siehe nächste Seite).

III.3 Proportionalitätszählrohr

Geiger-Müller-Zählrohr als Proportionalitätszählrohr mit sogenannter „NEVA-Zählrohrkupplung“ und regelbarer Spannung:



III.4 Geiger-Müller-Zählrohr

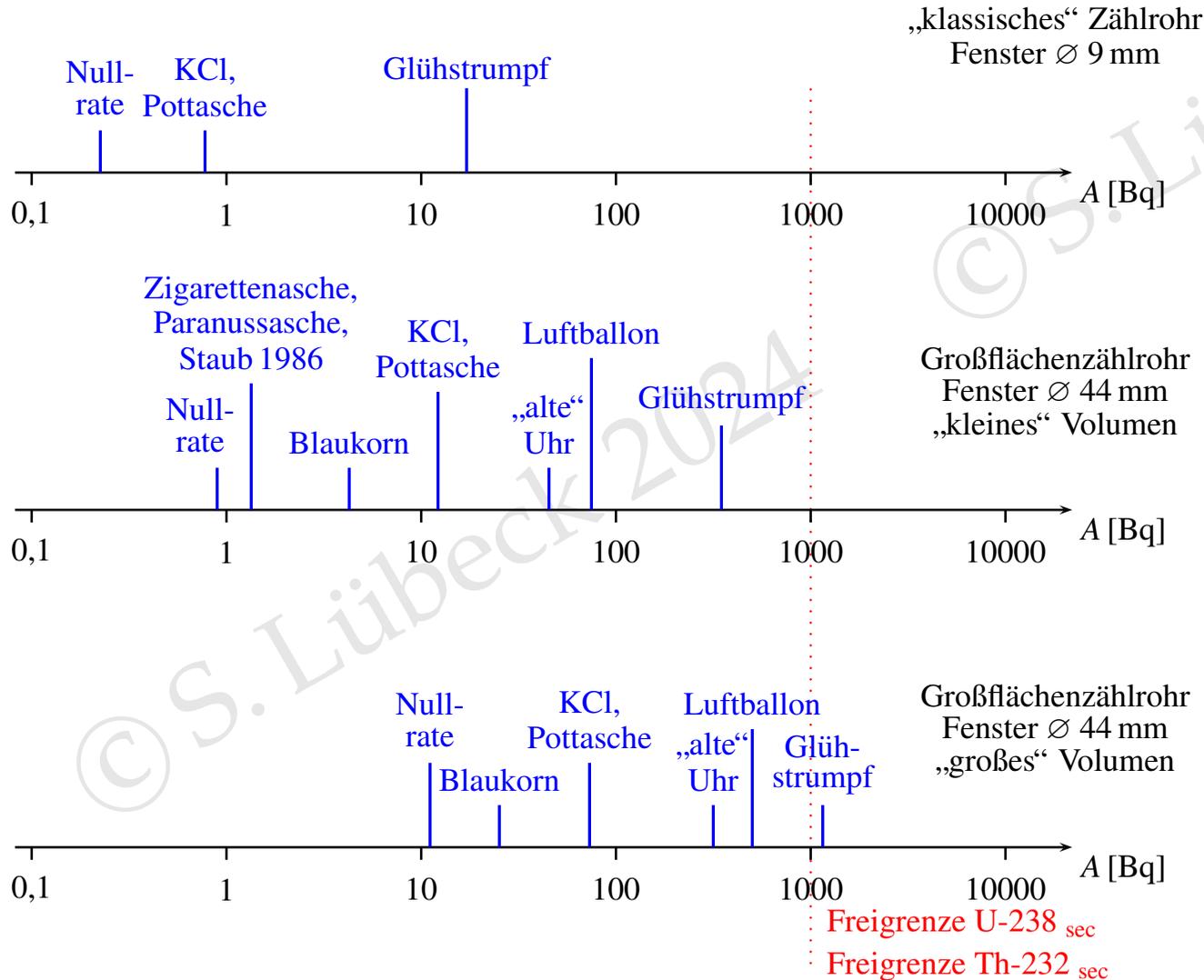


- „gezündete“ Gasentladungen (Faktor ca. 10^9), UV-Strahlung erzeugt Lawinen im ganzen Zählrohr.
- Relativ lange „Totzeit“.
- Stromimpulse sind von einheitlicher Größe und können direkt mittels Lautsprecher hörbar gemacht werden.
- Unterschiedliche Strahlungsarten können nicht unterschieden werden. „Nur“ geeignet zum Zählen der Impulse.
- Schön aber teuer: „neue“ Großflächenzählrohre.



III.4 Geiger-Müller-Zählrohr

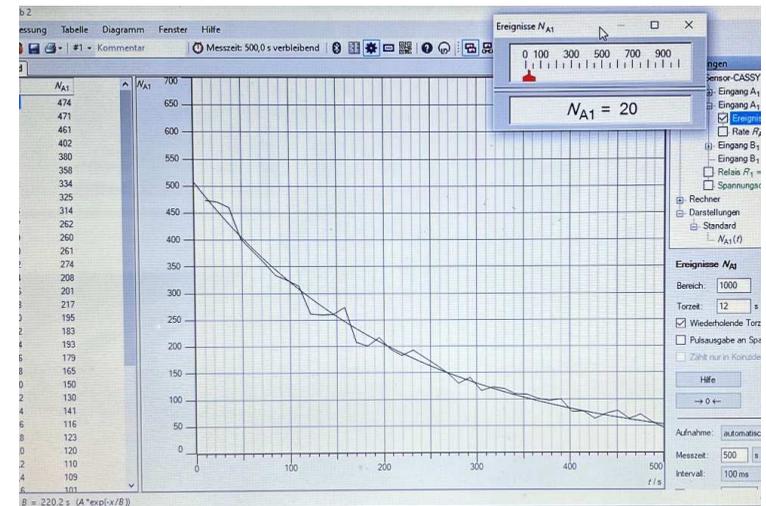
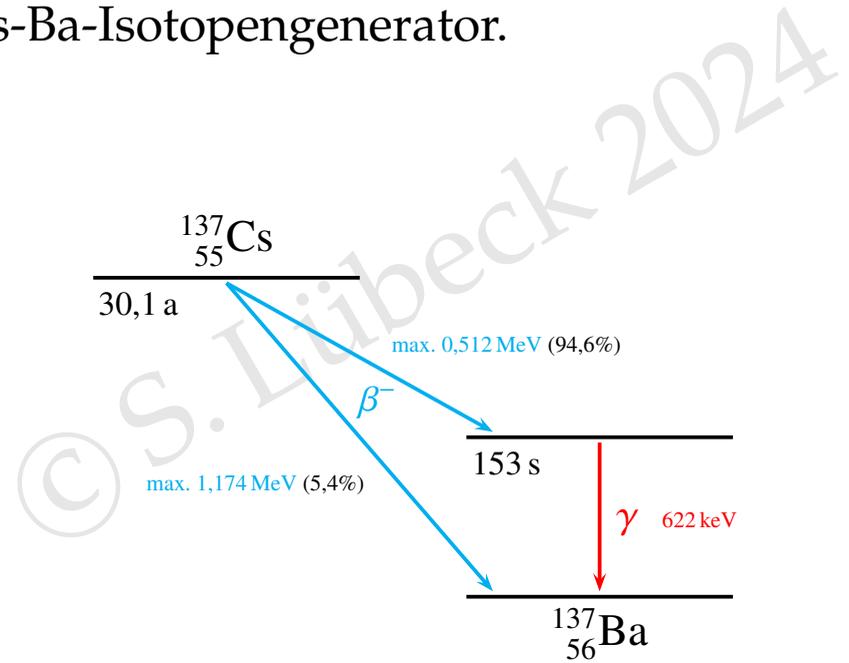
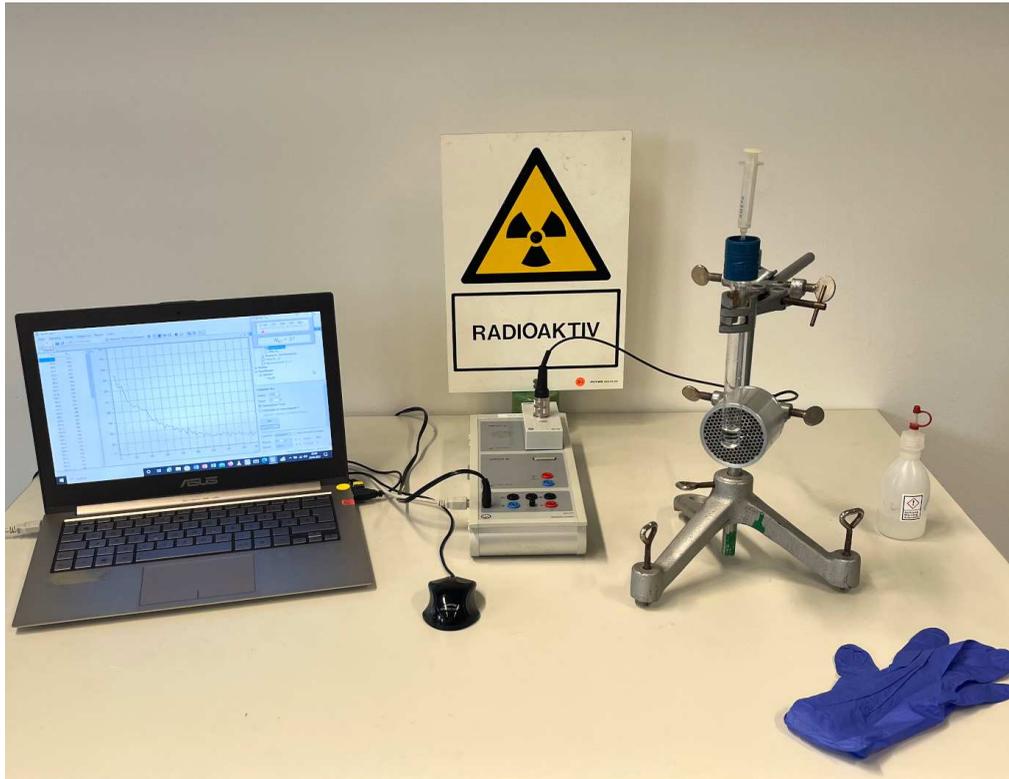
Empfindlichkeit verschiedener Geiger-Müller-Zählrohre:



III.4 Geiger-Müller-Zählrohr

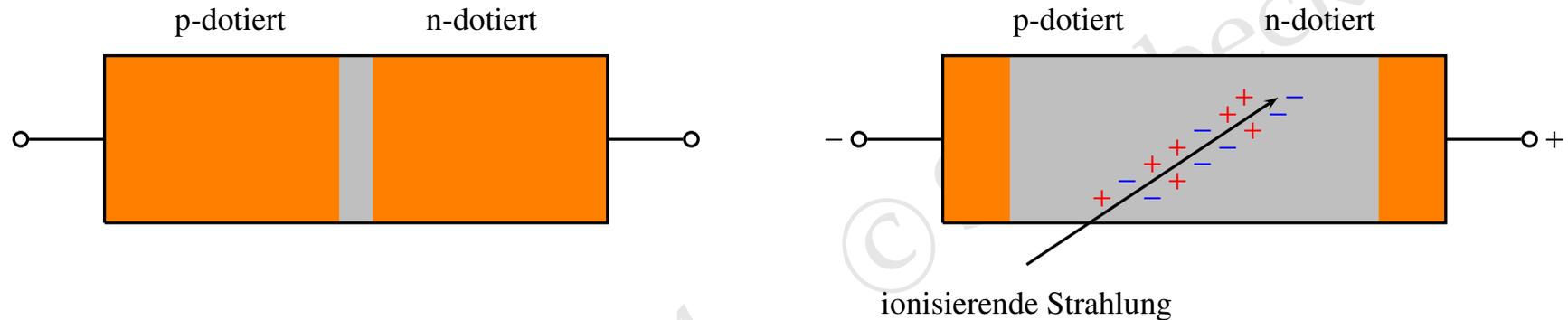
Messung der Halbwertszeit von $^{137}\text{Ba}(m)$ mit Cs-Ba-Isotopengenerator.

Das Barium wird mithilfe einer verdünnten Salzsäurelösung (Elutionslösung) aus dem Generator herausgelöst (H290, H315 beachten).



III.5 Halbleiterdetektoren

- De facto handelt es sich um Diode in Sperrrichtungsbetrieb. Einfallende Strahlung erzeugt freie Ladungsträger (Elektron-Loch-Paare).

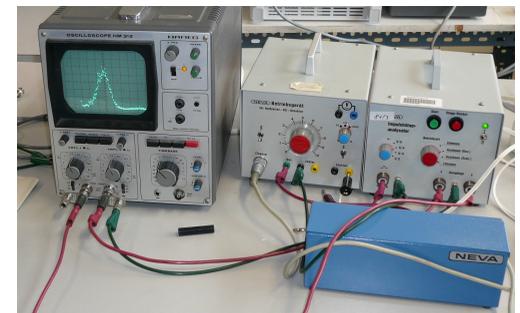
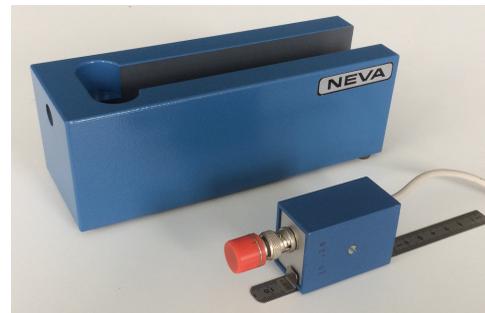


- Vergleich mit gasgefüllten Detektoren:

- $E_{\text{Ionisation, Gas}} \approx 20 \text{ eV}$ ist größer als $E_{\text{Elektron-Loch-Paar}} \approx 3 \text{ eV}$
- $\rho_{\text{Gas}} \ll \rho_{\text{Halbleiter}}$

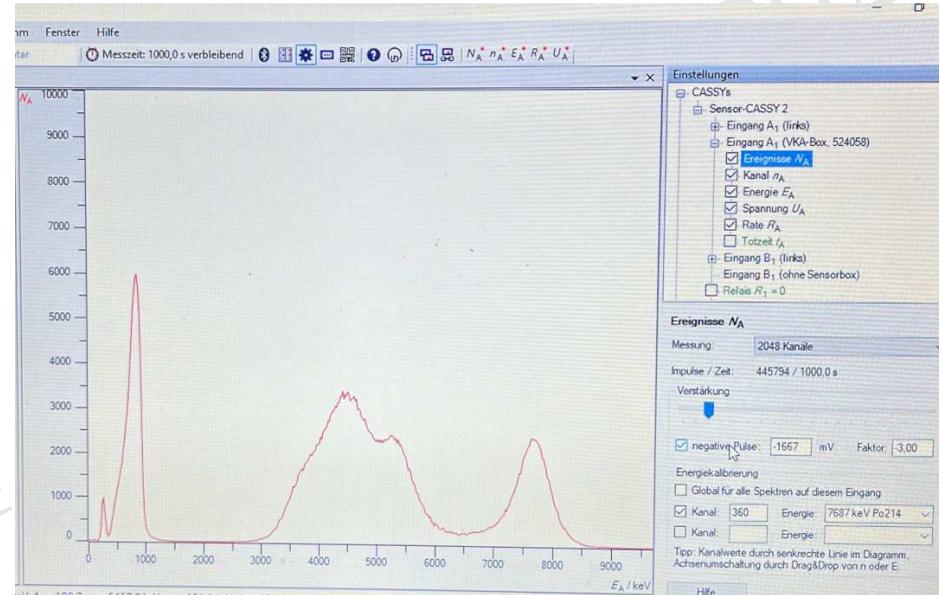
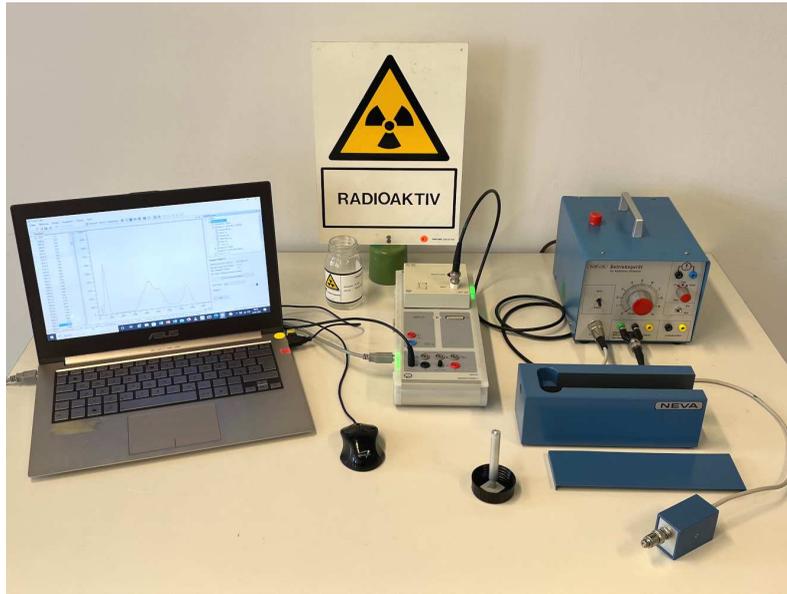
→ Hohes Energie- und Ortsauflösungsvermögen des Halbleiterdetektors.

- Typisches Schulexperiment: Messung eines α -Spektrums



III.5 Halbleiterdetektoren

Messung des Energiespektrums der α -Strahlung eines ^{226}Ra -Präparats:



Neben der Energie der α -Strahlung von ^{226}Ra mit 4,784 MeV können die Energien der Strahlung weiterer Kerne der Zerfallsreihe beobachtet werden

$$^{210}\text{Po} (5,305 \text{ MeV}), ^{222}\text{Rn} (5,490 \text{ MeV}), ^{218}\text{Po} (6,002 \text{ MeV}), ^{214}\text{Po} (7,687 \text{ MeV})$$

Die Abdeckung des Präparats und des Detektors sowie ein eventuell vorhandenes Medium (hier Luft) verbreitern und verschieben das ursprüngliche Linienspektrum.

Unterhalb von ca. 1 – 2 MeV spiegeln die Messergebnisse lediglich Artefakte des Messgeräts wider (u. a. Abdeckung des Detektors, Licht- und Infrarot-Empfindlichkeit).

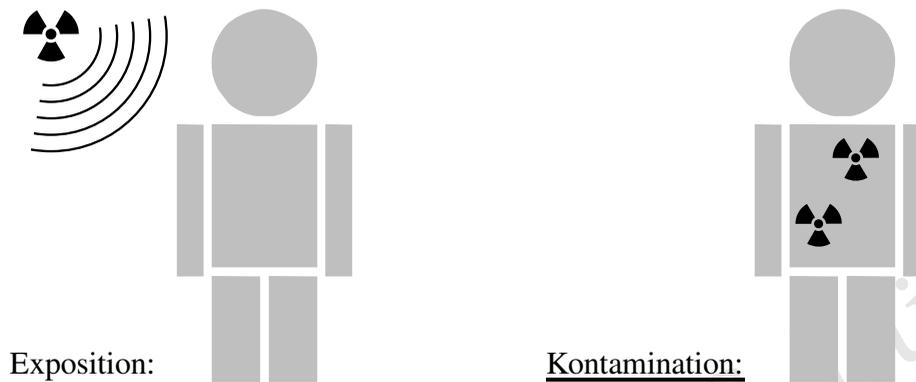
Das verwendete Halbleiter-Material hängt von der Strahlungsart ab.

III.6 Strahlenschutzmessgeräte

- Dosimeter—Personendosimeter
 - Füllhalterdosimeter (Prinzip der Ionisationskammer)
 - Filmdosimeter (Schwärzung von Filmen)
 - Thermoluminiszenzdosimeter (nach Anregung durch ionisierende Strahlung wird bei Erwärmen Licht ausgesendet).
 - Digitale Dosimeter (elektronische Sensoren, Dosiswarngeräte)
- Dosisleistungsmessgeräte (Prinzip: Gasgefüllte Detektoren)
 - Kontaminationszähler



IV. Strahlenbelastung



Die Strahlungswirkung bzw. Strahlenbelastung hängt ab von der **Strahlenart**, der **zeitlichen Dosisverteilung**, der **räumlichen Dosisverteilung**, der **Strahlungsempfindlichkeit des Individuums** und weiteren **Milieufaktoren**.

IV.1 Strahlenbelastung durch natürliche Radioaktivität

- Vertiefung: „Radon im Keller“

IV.2 Zivilisationsbedingte Strahlenbelastung

- Vertiefung: Medizinisch bedingte Strahlenbelastung

IV.3 Strahlenbelastung im Schulunterricht

IV.4 „Fünf A-Regel“ bzw. „ALARA“

IV.5 Biologische Strahlenbelastung

IV.1 Strahlenbelastung durch natürliche Radioaktivität: ca. $2,2 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

- Radionuklide im menschlichen Körper $0,26 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

Nuklid	betroffenes Organ	Aktivität	eff. Dosis pro Jahr
^{40}K	Ganzkörper	4000 Bq	$0,17 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$
^{14}C	Ganzkörper	3000 Bq	$0,015 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$
U, Th, ...	Knochen, Milz, Nieren	85 Bq	$0,075 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

- Radon und Zerfallsprodukte in Gebäuden $1,1 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

Betroffenes Organ ist die Lunge.
Starke Schwankungen in Gebäuden.

- Kosmische Strahlung $0,3 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

(ca. $1,2 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$ in 2000 m Höhe, Flug F↔NY ca. 0,1 mSv)

- Terrestische Strahlung $0,5 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

Primordiale Isotope: ^{40}K (ca. 34%), ^{238}U (ca. 26%), ^{232}Th (ca. 40%)

Regionale Schwankungen: Menzenschwand $18 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$... Ramsar $450 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

Tipp: Smartphone-App die aktuelle Daten von BfS-Messpunkten ausliest

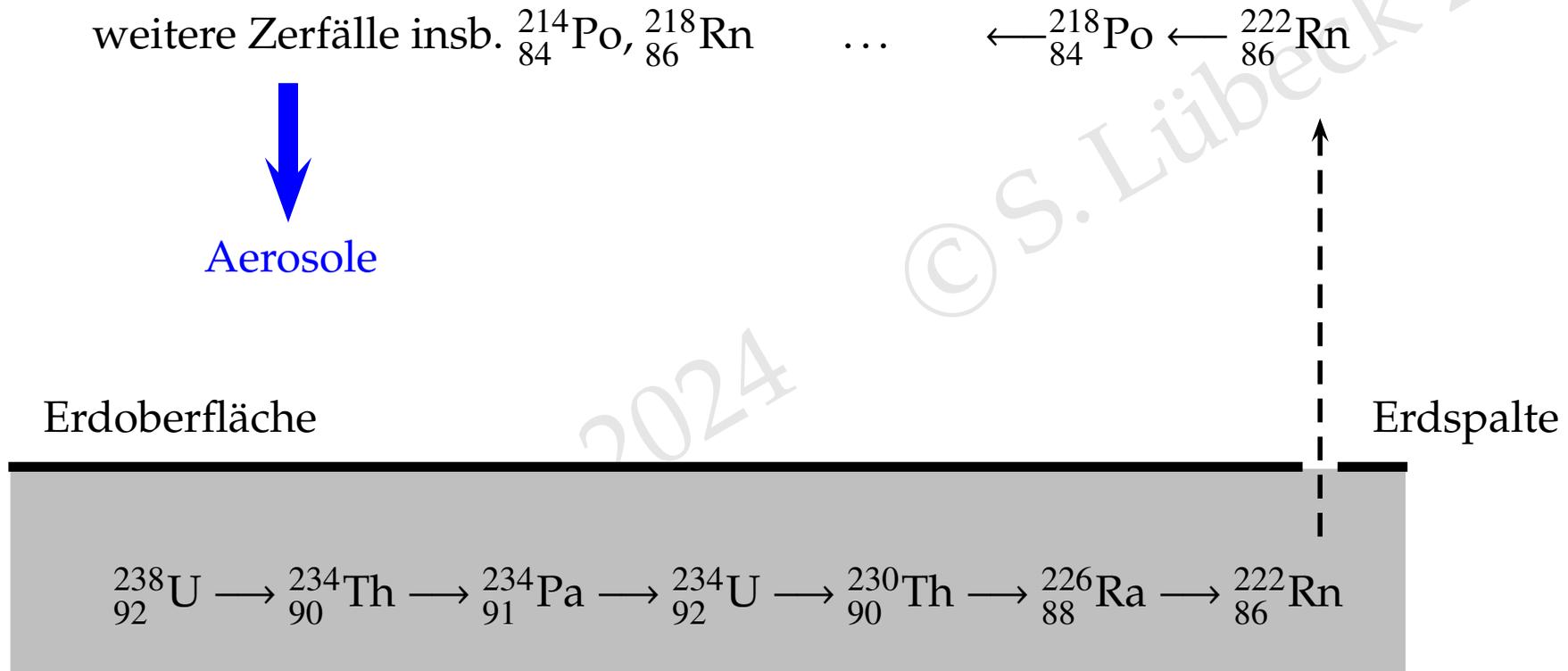
© S. Lübeck 2024

© S. Lübeck 2024

• Siehe auch App *endlagersuche* vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung.

Vertiefung: Strahlenbelastung durch Edelgas ^{222}Rn in Gebäuden

Ursprung ist Zerfall des primordialen ^{238}U im Boden:



Problematisch ist nicht Edelgas Radon sondern Tochternuklide (häufig α -Strahler).

Mittlere Belastung in Deutschland $1,1 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

Schlechte Lüftung in Häusern Faktor 5, im Bergbau Faktor 100.

Gesetzliche Regelung in Deutschland erst mit Einführung des StrlSchG₂₀₁₇ (Referenzwert: $300 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$).

Vertiefung: Strahlenbelastung durch Edelgas ^{222}Rn in Gebäuden

Nach StrlSchG₂₀₁₇ soll Referenzwert $300 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ erreicht werden.

© S. Lübeck 2024

© S. Lübeck 2024

Vertiefung: Eigene Radon-Messungen

Verlässliche Messungen können nur von Fachleuten mit geeichten Messgeräten durchgeführt werden.

Im Handel werden mehrere Radon-Messgeräte unterschiedlicher Qualität zu unterschiedlichen Preisen angeboten.

Beispiel: Radon-Messungen in den privaten Räumen
des ZSL-Strahlenschutzreferenten.

1. Etage:	$18 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$	
Erdgeschoss:	$44 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$	
Keller:	$271 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$	$\text{max. } 432 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$
.		Arbeitszimmer!

Vertiefung: Radon-Messungen im Grundwasser

Aus dem Boden entnommenes Wasser enthält Radon und seine Folgeprodukte.

Bei Trinkwasser ist der Effekt häufig gering (ca. $2 \frac{\text{Bq}}{\text{l}}$), bei Quellwasser kann er beeindruckend sein.

Das Wasser nach Entnahme (ca. 2-3 Liter) schnell filtern, bevor das Radon ausgast.

Das Wasser sollte mit einem Büchner-Trichter aus Porzellan und Glasfaserfilter gefiltert werden. Keine Wasserstrahlpumpe verwenden.

Vor der Messung muss der Glasfaserfilter getrocknet werden (z. B. auf einer Heizplatte).

Tipp: Geeignet ist frisch gefallener Schnee.



Vertiefung: Zwei Radonisotope sind relevant

Alle Isotope des Radons ($Z = 86$) sind radioaktiv.

^{222}Rn (9%)

$T_{1/2} \approx 3,8 \text{ d}$

Uran-Radium-Reihe: $^{238}_{92}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow ^{230}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow \dots$

„Keller-Isotop“

^{220}Rn (90%)

$T_{1/2} \approx 56 \text{ s}$

Thorium-Reihe: $^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow \dots \rightarrow ^{224}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{220}_{86}\text{Rn} \rightarrow ^{216}_{84}\text{Po} \rightarrow \dots$

historischer Name „Thoron“

Häufigkeit von ^{232}Th ist 100%.

Glühstrümpfe, Thoron-Generator für Halbwertszeitmessung

(ca. 9 g Thoriumsalz), Lehmhäuser.

IV.2 Zivilisationsbedingte Strahlenbelastung: ca. $2,0 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

- Störungsfreier Betrieb der KKW
(Kohlekraftwerke geben wesentlich mehr ab.) $0,01 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$
- Kernwaffentests $0,01 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$
- Haushalt, Forschung, Technik $0,01 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$
Leuchtstoffe, Feuermelder (^{241}Am), Füllstandsanzeiger, Dünger, etc.
- Tschernobyl 1986 $0,01 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$
Im Folgejahr ca. $0,5 \text{ mSv}$; Isotope in Nahrungskette ^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr
- Rauchen
Schwer abzuschätzen; Ursache vor allem ^{210}Po ; 25 Raucherjahre mit 1 Päckchen pro Tag ergibt ca. $1 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$; Bodenbelastung aber entscheidend.
- Medizin $1,9 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$
Ergebnis ca. 50% der mittleren Strahlenbelastung in Deutschland.

Vertiefung: Medizinisch bedingte Strahlenbelastung

Ionisierende Strahlen werden zur Therapie und Diagnose eingesetzt.

● Diagnose:

Wesentliche Ursache: **Röntgendiagnostik** (Deutschland: eine Aufnahme pro Jahr).

Beispiele:

Untersuchung	Belastung [mSv]
Thorax	0,14
Thoraxdurchleuchtung	0,98
Extremitäten	0,06
Abdomen	1,1
Mammographie	1,0
Zahnmedizin	0,004

Beachte: Strahlenbelastung pro Untersuchung nimmt ab, Anzahl der Untersuchungen nimmt aber stark zu.

● Therapie:

Geringe Strahlenbelastung, da **wenigen** Personen nur **kurzeitig** hohe Dosen verabreicht werden.

Vergleich der Strahlenbelastungen und Grenzwerte

natürlich ca. $2,2 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

zivilisatorisch ca. $2 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

⇒ Durchschnittlich in Deutschland ca. $4,2 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

Grenzwerte für weitere effektive Dosen pro Jahr

siehe 2013/59/Euratom Artikel 12 (2)

- Einzelperson der Bevölkerung: $1 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$ StrlSchG₂₀₁₇ § 80 (1)
- Beruflich strahlenexponierte Personen: max. $20 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$ StrlSchG₂₀₁₇ § 78 (1)
(z. B. Flugbegleiter, Ärzte etc.)
- Einsatzkräfte pro Einsatz (z. B. Feuerwehr): 100 mSv
- Einsatzkräfte im gesamten Leben (z. B. Feuerwehr): 250 mSv
- NASA-Astronauten im gesamten Leben: 400 mSv (Mars-Flug ca. 2-4 Sv)

Beachte: Bei Lehrern und Schülern handelt es sich um „Einzelpersonen der Bevölkerung“.

Strahlenbelastung nach einem Reaktorunfall (11.3.11): Beispiel Kawauchi

Kawauchi: Gemeinde in Präfektur Fukushima (ca. 3000 Einwohner, ca. 25 km von den Reaktoren entfernt).

- Bevölkerung mit Jodtabletten versorgt (ab 14. März)
- Evakuierung von Kawauchi (16.3.11) bei $10 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ (ca. $90 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$)
- Schrittweise Aufhebung der Evakuierung ab September 2012
- Typische aktuelle Strahlenbelastung (Messung vom März 2013): $0,26 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$
- Dekontaminationskosten mehr als 30000 € pro Einwohner (z. B. 5 cm Abtragung der Äcker, Gebäudereinigungen, Aufkauf von Reis etc.)
- Auswirkungen auf die Bevölkerung nach WHO-Studie (März 2013):
In den folgenden Jahrzehnten ist mit einigen tausend zusätzlichen krebserkrankten (vor allem Schilddrüse, Leukämie, Brustkrebs) Todesfällen zu rechnen
— bei ca. 10 Millionen Krebstoten im selben Zeitraum.
- Auswirkungen im Pazifik scheinen vernachlässigbar (Stand Januar 2015):
Z. B. zusätzliche Aktivität weniger als $5 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ (typ. Trinkwasser-Grenzwert: $10 \frac{\text{kBq}}{\text{m}^3}$).

Strahlenbelastung nach Reaktorkatastrophe von Tschernobyl

Explosion des Reaktors am 26. April 1986 um 01:23:44 Uhr.

Situation am Vormittag des 26. April auf dem Werksgelände und in Prypjat:

Um Gebäude und auf
der Turbinenhalle

$$1 \frac{\text{Sv}}{\text{h}} \text{ bis } 5 \frac{\text{Sv}}{\text{h}}$$

Im Hubschrauber
oberhalb des Reaktors

$$\text{ca. } 10 \frac{\text{Sv}}{\text{h}}$$

Im Reaktorgebäude:

$$\text{ca. } 150 \frac{\text{Sv}}{\text{h}}$$

Im Stadtgebiet von Prypjat (ca. 4 km vom Reaktor entfernt): $10 \frac{\text{mSv}}{\text{h}}$ bis $50 \frac{\text{mSv}}{\text{h}}$

Strahlenbelastung nach Reaktorkatastrophe von Tschernobyl

Die Bevölkerung von Prypjat (ca. 50000 Einwohner) wurde im Verlauf des 26. Aprils über die Katastrophe im Kernkraftwerk nicht informiert. Stattdessen fand unter anderem ein Laufwettbewerb bei einer Strahlenbelastung von $10 \frac{\text{mSv}}{\text{h}}$ bis $50 \frac{\text{mSv}}{\text{h}}$ statt.

Zum Vergleich: in Fukushima erfolgte die Evakuierung der Bevölkerung bei $10 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$.
Die Evakuierung von Prypjat erfolgte am Mittag des 27. Aprils.

Strahlenbelastung in der Raumfahrt: Beispiel Mars-Mission

In der bemannten Raumfahrt muss die Strahlenbelastung berücksichtigt werden.

Zum Vergleich: $8,77 \frac{\text{mSv}}{\text{a}} \approx 1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ (für grobe Abschätzung $10 \frac{\text{mSv}}{\text{a}} \approx 1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$)

- Beispiel: Marsexpedition
 - Mission **Mars Science Laboratory** mit Rover Curiosity (2011-2012)
Messgerät: **Radiation assessment detector** (RAD)
 - Durchschnittliche Strahlenbelastung während des Flugs: ca. $77 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$
 - Durchschnittliche Strahlenbelastung auf Marsoberfläche: ca. $26 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$
 - Daraus ergibt sich Strahlenbelastung bei einem Marsflug: mindestens 2 Sv
Starke Sonnenaktivitäten sind dabei nicht berücksichtigt.
- Strahlenbelastung außerhalb des van-Allen-Gürtels bei starken Sonnenaktivitäten:
ca. $10 \frac{\text{Sv}}{\text{d}}$
- Empirie bestätigt Auswirkungen der Strahlenbelastung für NASA-Astronauten:
48 von 295 untersuchten Astronauten wiesen Augenlinsentrübung (Katarakt) auf.
Quelle: F. A. Cucinotta et al., *Space Radiation and Cataracts in Astronauts* (2001)

IV.3 Strahlenbelastung im Schulunterricht ($1 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$ - Grenze)

Anforderung an bauartzugelassene Vorrichtungen nach StrlSchV₂₀₁₈ § 16 (1):

„...die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,1 Meter von der berührbaren Oberfläche der Vorrichtung $1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ bei normalen Betriebsbedingungen nicht überschreitet ...“

Beispiel:

Ein Schüler wird vorschriftswidrig jede Stunde für 45 Minuten mit einem Präparat aus 10 cm bestrahlt:

Strahlenbelastung bei 38 Wochen Unterricht: $0,057 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$

Fazit: Bei sachgerechter Durchführung der Experimente im Physik-Unterricht bleibt man allein aufgrund der beschränkten Experimentierzeit weit unter den vom StrlSchG₂₀₁₇ gegebenen Grenzwert für die effektive Dosis von $1 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$.

IV.4 „Fünf A-Regel“

Folgende Regeln sind grundsätzlich zu befolgen, um die Strahlenbelastung bei allen Tätigkeiten zu minimieren:

- Abstand erhöhen.
- Aufenthaltsdauer verkürzen.
- Aktivität vermindern.
- Abschirmung verstärken.
- Aufnahme in den Körper vermeiden.

Diese Regeln spiegeln sich in StrlSchG₂₀₁₇ wider:

- §6 Rechtfertigung: „...Abwägung ...Nutzen ...“
- §8 Vermeidung...Dosisreduzierung: „...jede unnötige Exposition ...vermeiden.“
- §9 Dosisbegrenzung: „...Dosisgrenzwerte nicht überschritten werden ...“

Englische Literatur: [ALARA-Prinzip](#) (as low as reasonably achievable).

IV.5 Biologische Strahlenbelastung

- Ein Mensch hat ca. 10^{13} Zellen mit zahlreichen Aufgaben in verschiedenen Organen und Geweben.
- Zellen arbeiten in einem höchst komplexen Netz molekularer Signale, welche sowohl innerhalb einer Zelle wirken als auch auf Zellen in anderen Organen.
- \Rightarrow Ionisierende Strahlen können durch Veränderung der Zellfunktionen den ganzen Körper beeinflussen.

IV.5 Biologische Strahlenbelastung („Strahlenschäden“)

- **Frühschäden** (nicht stochastisch)
Treten unmittelbar nach Bestrahlung auf, Wirkung ist proportional zur Dosis.
Es gibt unterhalb einer Schwellendosis keine bleibende Schädigung:
 - Dosis von **1 Sv**
→ ausgeprägte Strahlenkrankheit, Erholung aber fast sicher.
 - „letale“ Dosis **4 Sv**
→ Überlebenschance 50 %.
 - Dosis von **7 Sv**
→ Sterblichkeit praktisch 100 %.
- **Spätschäden** (stochastisch)
Typisch sind Krebserkrankungen nach einer Latenzzeit.
Wahrscheinlichkeit des Auftretens hängt von Dosis ab.
Beispiel: Krebsrisiko pro absorbiertes Dosis von 10 mSv ist $5 \cdot 10^{-4}$.
- **Genetische Schäden** (stochastisch)
Strahlenschäden in Keimzellen erzeugen Mutationen.

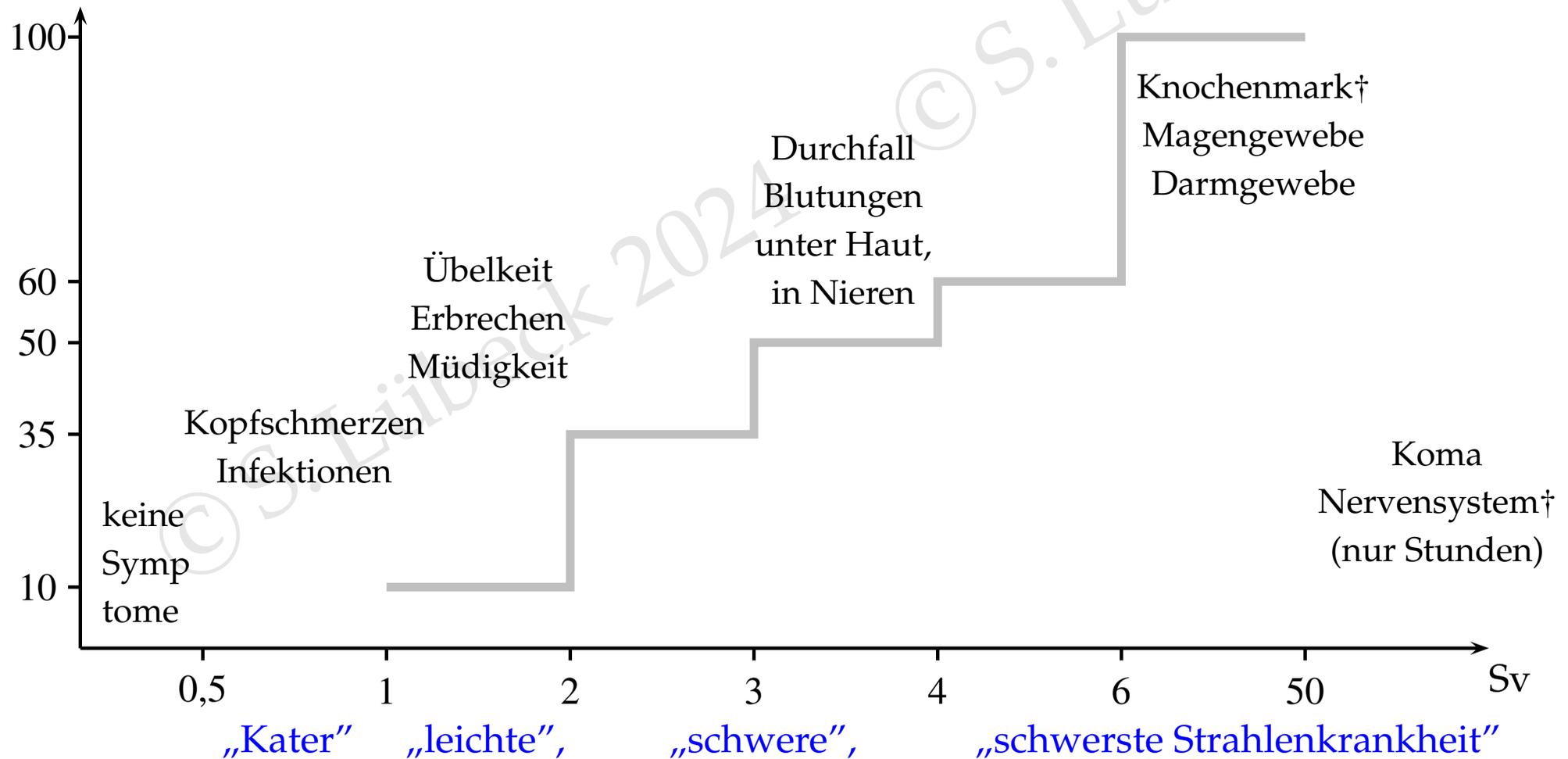
Bem: Die Auswirkung niedriger Dosen ist höchst umstritten.

IV.5 Biologische Strahlenbelastung (Überblick Strahlenkrankheit)

Vereinfachter Überblick der Strahlenkrankheit nach kurzzeitiger Bestrahlung

Grundsätzlich: Je größer die Dosis, desto stärker, schneller und langwieriger ist der Krankheitsverlauf und desto größer ist Sterblichkeitsrate.

Sterblichkeit nach 30 d [%]

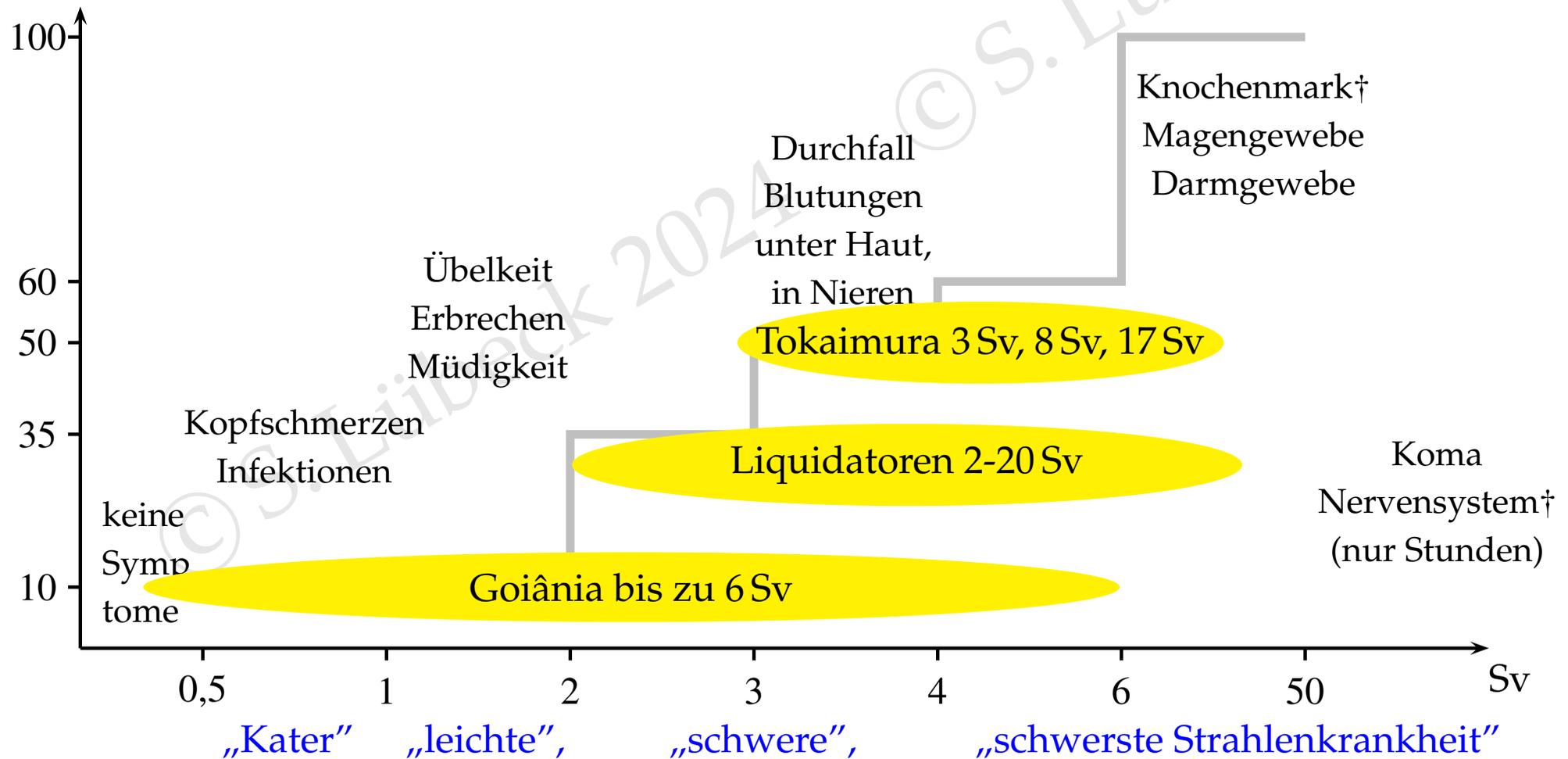


IV.5 Biologische Strahlenbelastung: Beispiele von Unfällen

Beispiele von Strahlenbelastungen bei Unfällen:

Tschernobyl (April 1986), Wiederaufbereitungsanlage Tokaimura (September 1999),
Goiânia-Brasilien (September 1987, Nuklearmedizin, ^{137}Cs mit $10\text{ Ci}=370\text{ GBq}$).

Sterblichkeit nach 30 d [%]



IV.5 Biologische Strahlenbelastung (einige Daten)

Einige Zahlenwerte zur Einordnung bzw. Abschätzung

- Allein aufgrund der kosmischen Strahlung wird jede Zelle mindestens einmal pro Jahr getroffen (6 keV).
- Pro Zigarette werden ca. 500000 chemische Bindungen zerstört (Polonium-Zerfall: ca. 5 MeV).
- Zellen verfügen über effektive Reparaturmechanismen.
 - Einzelbruch-Reparatur dauert zwischen 5 min und 1 h.
 - Doppelbruch-Reparatur dauert zwischen 30 min und mehreren Stunden.Problematisch sind Zellteilungen während der Reparatur.
- Verschiedene Lebewesen sind verschieden strahlenresistent.

Lebewesen	Mensch	Hamster	Spinnen	Micrococcus Radiophilus
Letale Dosis [Sv]	4	10	1000	30000

V. Rechtsvorschriften im Strahlenschutz

- V.1 Involvierte Rechtsnormen (Überblick)
- V.2 Strahlenschutzgesetz und Strahlenschutzverordnung
- V.3 Röntgeneinrichtungen und Störstrahler

© S. Lübeck 2024

© S. Lübeck 2024

V.1 Involvierte Rechtsnormen (Überblick)

Aktuelle Struktur des Strahlenschutzrechts nach EU-Richtlinie 2013/59/Euratom:

- **Euratom** (Europäische Atomgemeinschaft 1957)

EU-Kommission erarbeitet strahlenschutzspezifische Richtlinien, die nach Anhörung durch EU-Parlament und durch EU-Ministerrat bindend sind und in nationales Recht umgesetzt werden müssen.

- **AtG** (Atomgesetz 1960)

- Klassifizierung in Kernbrennstoffe und sonstige radioaktive Stoffe.

- AtG ist Grundlage verschiedener Rechtsnormen, insb.

- **Strahlenschutzgesetz (StrlSchG₂₀₁₇)**

StrlSchG ist Grundlage verschiedener (konkretisierender) Rechtsverordnungen, insb.

- **Strahlenschutzverordnung (StrlSchV₂₀₁₈)**
- Technische Richtlinien

Das StrlSchG₂₀₁₇ und die StrlSchV₂₀₁₈ ersetzen seit 31.12.2018 die „alten“ Verordnungen StrlSchV 2001, StrlSchV 1989, StrlSchV 1976, StrlSchV 1965 sowie RöV 2003, RöV 1987, RöV 1973, RöV 1941.

V.2 Strahlenschutzgesetz und Strahlenschutzverordnung

- V.2.1 Grundsätze des Strahlenschutzes
- V.2.2 Tätigkeiten
- V.2.3 Geschlossenes und offenes Präparat
- V.2.4 Freigrenzen (FG)
- V.2.5 Genehmigungsbedürftig und -frei
- V.2.6 Anzeigebedürftig und -frei
- V.2.7 Bauartzulassungen (BAZ)
- V.2.8 Dichtheitsprüfung
- V.2.9 Strahlenschutzverantwortlicher (SSV)
- V.2.10 Strahlenschutzbeauftragter (SSB)
- V.2.11 Experimente in der Schule

Juristische Fachbegriffe \longleftrightarrow Sammlungs-Jargon



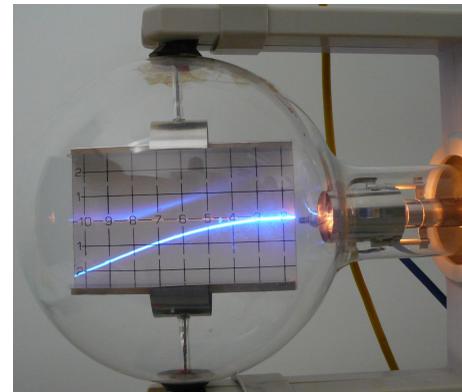
Vorrichtung mit sonstigen
radioaktiven Stoffen,
ggf. mit BAZ

Strahler



Schulröntgen-
einrichtung
mit BAZ

Röntgenröhre



Störstrahler
falls $U > 5 \text{ kV}$

Elektronenröhren

Umgang, Tätigkeit \longleftrightarrow Experimentieren
geplante Expositionssituation \longleftrightarrow Unterricht

V.2. Überblick der Kontrollstruktur

Struktur der behördlichen Kontrolle nach 2013/59/Euratom und StrlSchG₂₀₁₇:

- **Genehmigung**
Prüfung durch Behörde, Auflagen
Schule: Neutronenquellen, Isotopengeneratoren etc.
- **Anzeige**
Vereinfachte Prüfung (z. B. Fachkunde, Röhre, Prüffristen)
Schule: Schulröntgenröhren
- **Anmeldung**
Nur Mitteilung an Behörde, keine Prüfung.
- **Freistellung**
Genehmigungs- und anzeigefrei
Schule: BAZ-Vorrichtungen mit sonstigen radioaktiven Stoffen
- **Außerhalb des Anwendungsgebiets des StrlSchG**
Schule: z. B. Strahler unterhalb der FG, Elektronenröhre mit $U \leq 5 \text{ kV}$

V.2. Überblick über Expositionen

Expositionssituationen nach 2013/59/Euratom und StrlSchG₂₀₁₇:

- **geplante Expositionssituation**
bisherige Tätigkeiten und Arbeiten, fliegendes Personal, **Unterricht und Lehre**
- **bestehende Expositionssituation**
Radon, Baustoffe, Altlasten, Folgen von Notfällen
- **Notfall Expositionssituation**
Unfälle, Havarie in KKW, Anschlag etc.

V.2.1 Grundsätze des Strahlenschutzes

10 Grundsätze nach 2009/71/EURATOM (nach IAEA):

- Verantwortlichkeit
- Aufsichtspflicht der Regierung
- Leitung und Management der Sicherheit
- Notwendigkeit und Rechtfertigung
Keine Strahlenrisiken ohne einen daraus resultierenden Nutzen.
- Optimierung des Strahlenschutzes
Risiken so niedrig wie möglich.
- Begrenzung und Überwachung individueller Dosisgrenzwerte
Strahlendosis von Einzelpersonen soll Grenzwerte nicht überschreiten.
- Schutz der heutigen und zukünftigen Generationen
- Prävention von Unfällen
- Vorbereitung und Durchführung von Notfallmaßnahmen
- Schutz vor bestehenden oder unregulierten Strahlungsrisiken

Ziel: Strahlenexpositionen, Kontaminationen oder Inkorporationen zu vermeiden bzw. so gering wie möglich zu halten.

V.2.2 Tätigkeiten und Arbeit — nach StrlSchV₂₀₀₁

Bis 2018 wurde gemäß StrlSchV₂₀₀₁ § 3 (1) unterschieden zwischen

● Tätigkeit

- zielgerichtete Nutzung radioaktiver Eigenschaften
- Handlungen bei denen die radioaktiven Eigenschaften im Mittelpunkt stehen und genutzt werden
- Beispiele: Nuklearmedizin, Werkstoffprüfungen, KKW, **Aktivitätsmessung eines Minerals im Physik-Unterricht**

● Arbeit

- keine zielgerichtete Nutzung radioaktiver Eigenschaften
- Beispiele: Chemie des Uran, Bergbau, Flugpersonal, **Betrachtung eines radioaktiven Minerals im Geographie-Unterricht**

Mit StrlSchG₂₀₁₇ wurde diese Unterscheidung aufgehoben.

V.2.2 Tätigkeiten nach StrlSchG₂₀₁₇

Begriffsbestimmung nach 2013/59/Euratom und StrlSchG₂₀₁₇:

● Tätigkeit nach 2013/59/Euratom Artikel 4 (65)

Eine menschliche Betätigung, die die Exposition von Personen gegenüber Strahlung aus einer Strahlungsquelle erhöhen kann und als geplante Expositionssituation behandelt wird.

● Tätigkeit StrlSchG₂₀₁₇ § 4 (1)

- Tätigkeit ist der Umgang nach StrlSchG₂₀₁₇ § 5 (39)

- Betrieb ... von Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern

● Umgang nach StrlSchG₂₀₁₇ § 5 (39)

Umgang ist die ... Lagerung ... Verwendung ...

- ... von künstlich erzeugten radioaktiven Stoffen

- ... von natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen aufgrund ihrer Radioaktivität ...

Mit anderen Worten: Tätigkeiten sind u. a. die Lagerung und der Betrieb (Experimente) von Strahlern, Präparaten, Schulröntgenröhren und Störstrahlern im Unterricht und in der Vorbereitung.

V.2.3 Geschlossenes und offenes Präparat

Sinn: Kein Inkorporationsrisiko bei umschlossenen Präparaten.
In StrlSchG₂₀₁₇ § 5 (34), (35) werden folgende Begriffe definiert:

● Offene radioaktive Stoffe:

Alle radioaktiven Stoffe mit Ausnahme der umschlossenen radioaktiven Stoffe.

- Glühstrümpfe, Uranylacetat, Mineralien, Cs/Ba-Isotopengenerator, Thoron-Isotopengenerator, Uhren, Urangläser(?), ...

● Umschlossene radioaktive Stoffe:

Radioaktive Stoffe, die ständig von einer allseitig dichten, festen, nicht zerstörungsfrei zu öffnenden, inaktiven Hülle umschlossen oder in festen inaktiven Stoffen ständig so eingebettet sind, dass bei üblicher betriebsmäßiger Beanspruchung ein Austritt radioaktiver Stoffe mit Sicherheit verhindert wird.



V.2.4 Freigrenzen: Radioaktive Stoffe im Sinne des Gesetzes

Atomgesetz §2 (1): Radioaktive Stoffe (...) im Sinne dieses Gesetzes sind alle Stoffe, die ein Radionuklid oder mehrere Radionuklide enthalten und deren Aktivität oder spezifische Aktivität im Zusammenhang mit der Kernenergie oder dem Strahlenschutz nach den Regelungen dieses Gesetz oder einer auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnung nicht außer Acht gelassen werden kann.

Also: „Radioaktiv im juristischen Sinne“ ist was physikalisch strahlt und juristisch als radioaktiv betrachtet wird.

→ Welche Stoffe sind physikalisch aber nicht juristisch radioaktiv?

Atomgesetz §2 (2): Die Aktivität ...eines Stoffes kann im Sinne des Absatzes 1 Satz 1 außer Acht gelassen werden, wenn dieser nach einer auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnung

1. festgelegte Freigrenzen unterschreitet. ...

Gleichlautende Aussagen in StrlSchG₂₀₁₇ §3 (1) und (2).

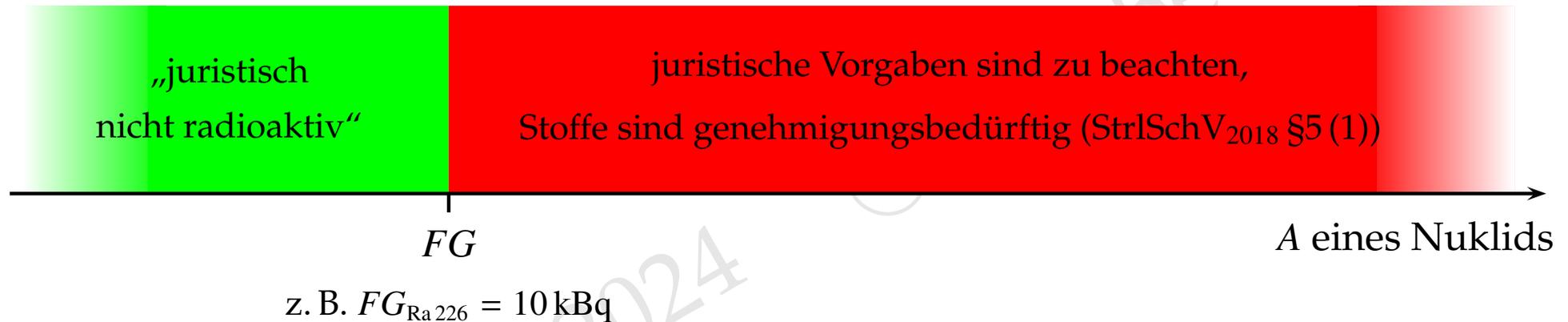
Freigrenzen sind durch 2013/59/Euratom festgelegt, stimmen mit Grenzwerten der IAEA überein und werden in StrlSchV₂₀₁₈ zitiert.

V.2.4 Freigrenzen: Überblick über juristische Begriffe und Zusammenhänge

Relevante Begriffe: Freigrenze (FG), Bauartzulassung (BAZ), genehmigungsbedürftig.

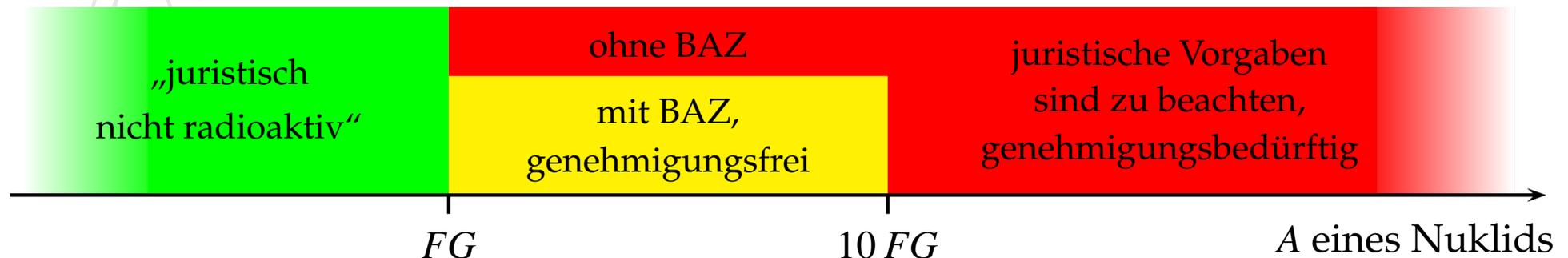
Grundlegende Regel:

Atomgesetz §2 (2): „... Aktivität kann außer Acht gelassen werden ... wenn ...“

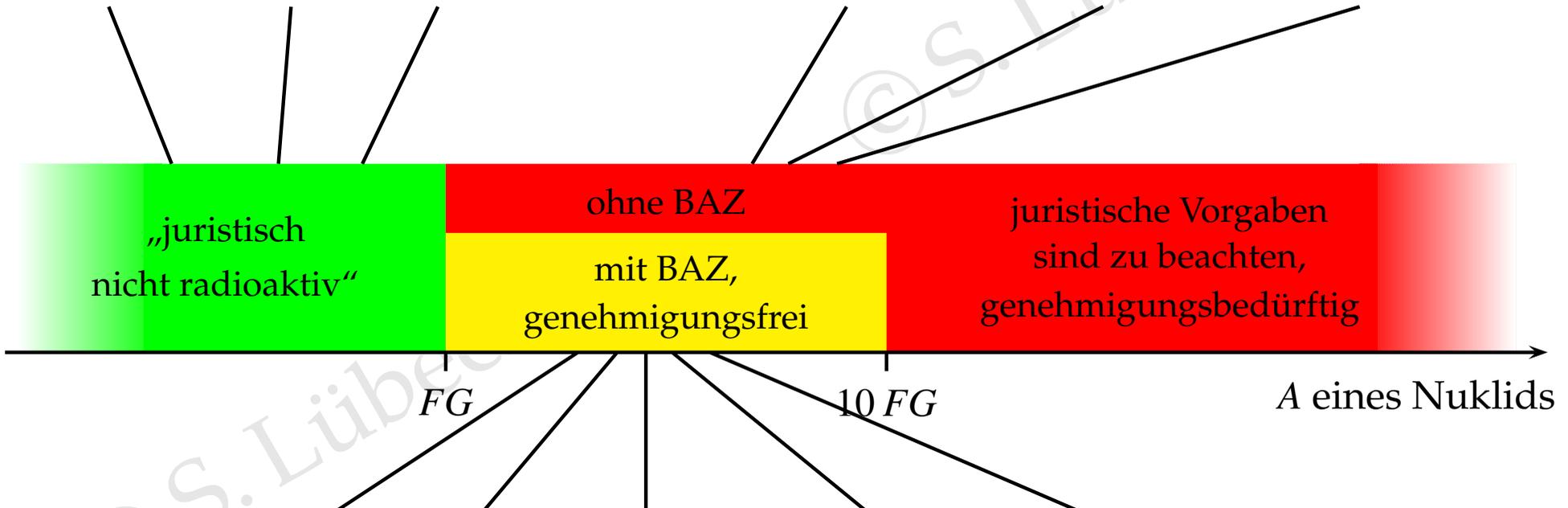
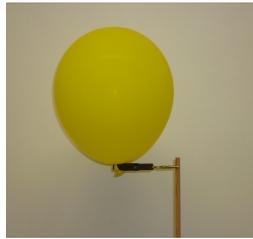


Ausnahme von der Regel: Bauartzulassungen nach StrlSchG₂₀₁₇ §45 (1)

Radioaktive Präparate mit besonderer, sicherer Bauart sind genehmigungsfrei (StrlSchV₂₀₁₈ §5 (1))



V.2.4 Freigrenzen: Einordnung der Schulpräparate



V.2.4 Freigrenzen: Vergleich alte und neue Rechtsvorschriften

Freigrenzen einiger schultypischer Präparate (siehe StrlSchV₂₀₁₈ Anlage 4 Tabelle 1):

Isotop	StrlSchV ₁₉₈₉ [kBq]	StrlSchV ₂₀₀₁ [kBq]	StrlSchV ₂₀₁₈ [kBq]	Auswirkungen
²²⁶ Ra	5	10	10	
²² Na	500	1000	1000	
⁶⁰ Co	50	100	100	
⁸⁵ Kr	5000	10	10	kein β -Spektrum
⁹⁰ Sr	50	10	10	
¹³⁷ Cs	500	10	10	beachten
²⁴¹ Am	5	10	10	
²³⁸ U	5000	1	1	Mineralien? Uranylacetat?

V.2.4 Freigrenzen: Summenformel

Man kann nicht beliebig viele Freigrenzen-Präparate kaufen (StrlSchV₂₀₁₈ Anlage 4):

- Sind n Präparate an einer Schule im Umlauf, so wird die Summenregel angewendet:

$$\frac{A_1}{FG_1} + \frac{A_2}{FG_2} + \dots + \frac{A_n}{FG_n} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{FG_i}$$

- Gilt

$$\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{FG_i} \leq 1$$

so ist der Umgang genehmigungsfrei (siehe StrlSchV₂₀₁₈ § 5 (1) bzw. Anlage 3 Teil B)

- Beispiel: ^{226}Ra ($A = 5 \text{ kBq}$, $FG = 10 \text{ kBq}$) und ^{60}Co ($A = 74 \text{ kBq}$, $FG = 100 \text{ kBq}$)

- Genehmigungsfrei sind zwei ^{226}Ra -Strahler.

- Nicht Genehmigungsfrei sind ein ^{226}Ra - und ^{60}Co -Strahler.

- Bauartzugelassene Präparate brauchen nicht berücksichtigt werden.

V.2.4 Freigrenzen: Beispiel uranhaltige Mineralien

- Freigrenze für ^{238}U nach StrlSchV 1989: **5000 kBq**

Praktisch waren Mineralien mit Massen im Kilogrammereich erlaubt.

- Freigrenze für ^{238}U seit StrlSchV₂₀₀₁: **1 kBq**

Spezifische Aktivität von ^{238}U : $12 \frac{\text{MBq}}{\text{kg}}$

→ Mineral darf nur ca. 0,08 g Uran enthalten

→ Gesamtmasse des „Steins“ im Grammbereich



(ca. 5 cm, 35 g)

Aufgrund der Freigrenze war der Umgang mit uranhaltigen Mineralien, Gläsern etc. nach StrlSchV₂₀₀₁ damit genehmigungsbedürftig.

- Seit StrlSchV₂₀₁₈ gilt neben den Freigrenzen die „Sonderregel“:

Der Umgang mit natürlichen radioaktiven Stoffen zum Zwecke der Nutzung der Radioaktivität zu Lehr- und Ausbildungszwecken ist **genehmigungsfrei**, wenn die Ortsdosisleistung des jeweiligen Stoffes $1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ in 10 cm Abstand von der berührbaren Oberfläche nicht überschreitet.

nach StrlSchV₂₀₁₈ § 5 (1) und Anlage 3 Teil B

V.2.4 Freigrenzen: Mineralien

Beliebt aber von eher geringen fachdidaktischem Wert sind Mineraliensammlungen.

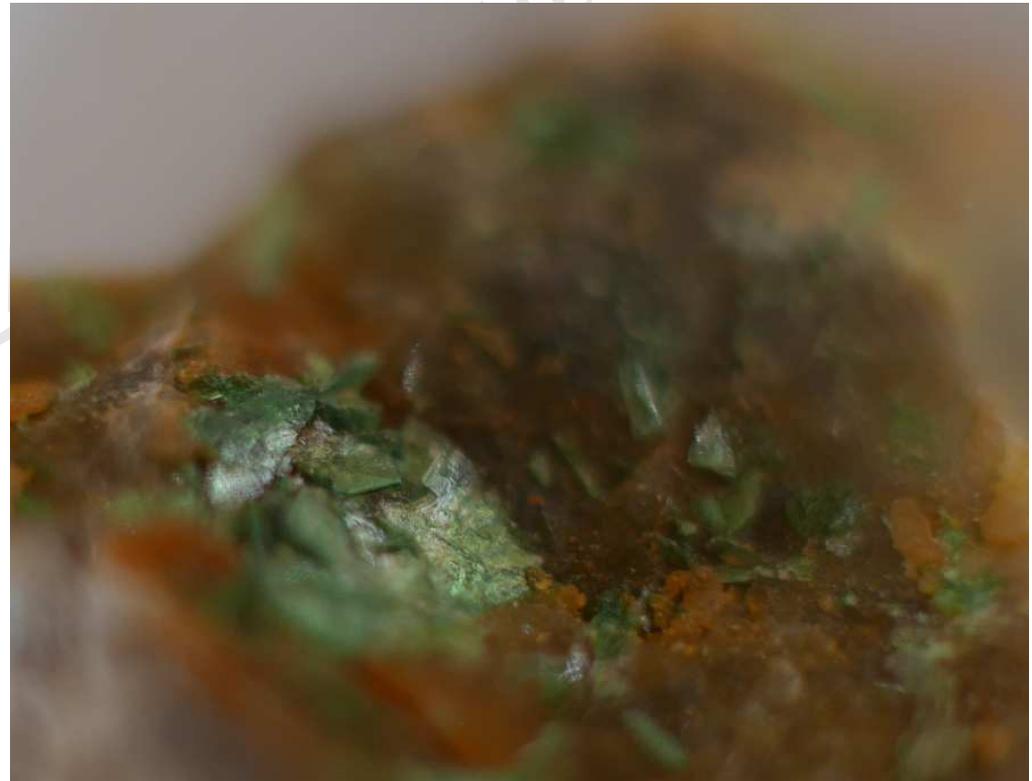


Problematisch sind die mit den Mineralien verbundenen Strahlenbelastungen, die nur ansatzweise abgeschätzt werden können.

V.2.4 Freigrenzen: Mineralien

Häufig sind die uran- bzw. thoriumhaltigen Mineralien (mit ihren markanten Kristallstrukturen) auf einem Muttergestein aufgewachsen.

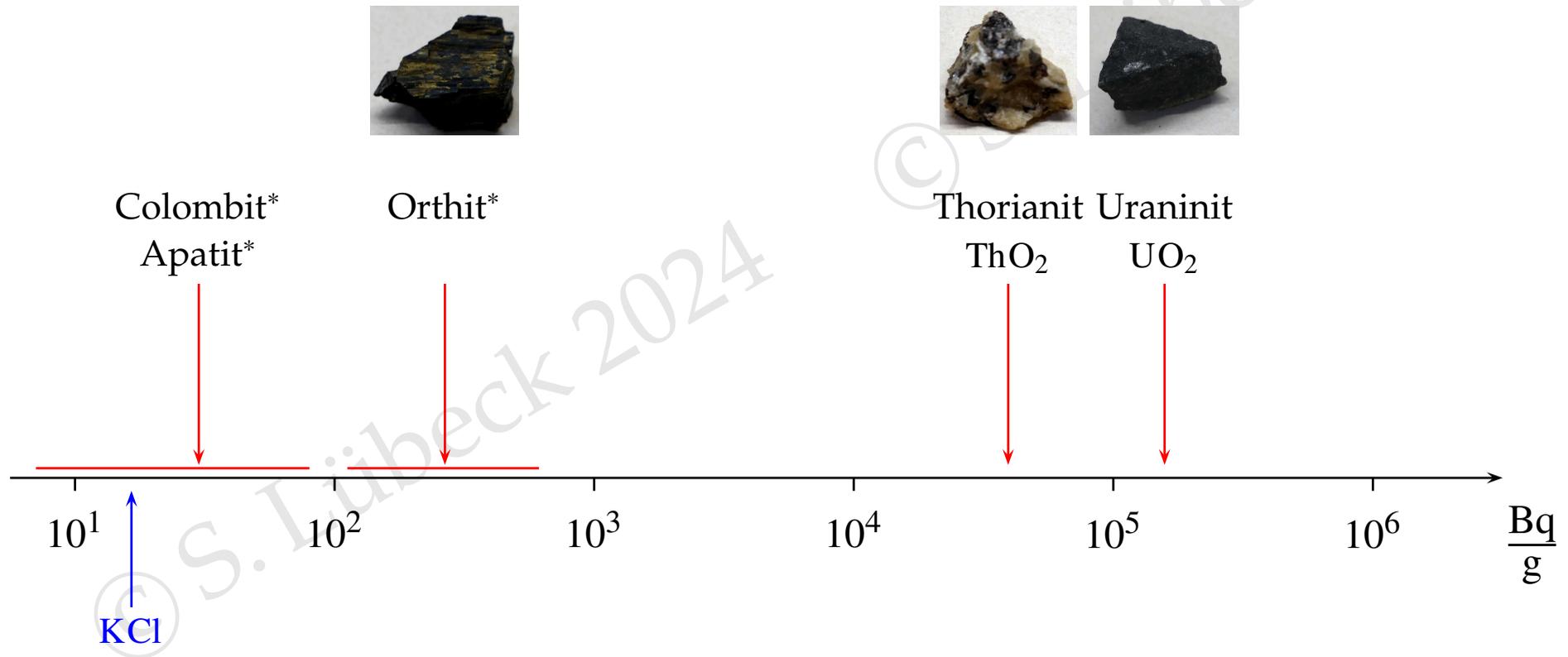
Zum Beispiel das grünliche Torbenit mit ca. $85,6 \frac{\text{kBq}}{\text{g}}$



Problematisch ist, dass sich die feinen Kristallstrukturen bei Berührungen bzw. mechanischen Belastungen leicht vom Muttergestein lösen. Daher entsprechende Schutzmaßnahmen ergreifen.

V.2.4 Freigrenzen: Mineralien

Die Strahlenbelastung von Mineralien varriert enorm und kann im Einzelfall mit einfachen Dosismetern nur in Ansätzen abgeschätzt werden.



* Mineralien mit uran- bzw. thoriumhaltigen Einlagerungen.

Zum Vergleich: abgebrannte Kernbrennstoffe ca. $1,8 \cdot 10^{10} \frac{\text{Bq}}{\text{g}}$

V.2.4 Freigrenzen: Beispiel Uranylacetat

Uranylacetat wird zur Titration bzw. Indikation in der analytischen Chemie benutzt.



- Nach StrlSchV 1989 waren 10 g Uranylacetat erlaubt.
- Freigrenze für ^{238}U seit StrlSchV₂₀₀₁: **1 kBq**
10 g Uranylacetat enthalten ca. 5,6 g Uran.
Bei einer spezifischen Aktivität von ca. $12 \frac{\text{MBq}}{\text{kg}}$ ergibt sich

Aktivität: **67 kBq**

Nach StrlSchV₂₀₀₁ war aufgrund der Freigrenze der Umgang mit 10 g Uranylacetat genehmigungsbedürftig.

- Seit StrlSchV₂₀₁₈ gilt für Uranverbindungen die „Sonderregel“:
Der Umgang mit abgereichertem Uran in Form von Uranylverbindungen zu chemisch-analytischen oder zu chemisch-präparativen Zwecken mit einer Gesamtmasse des Urans von bis zu 30 Gramm ist **genehmigungsfrei**.
nach StrlSchV₂₀₁₈ § 5 (1) und Anlage 3 Teil B



V.2.4 Freigrenzen: Beispiel thoriumhaltige Gasglühstrümpfe

- Um die Hitzebeständigkeit von Glühstrümpfen in Gaslampen zu erhöhen, werden sie mit Salzen beschichtet — geeignet und preiswert sind Thoriumsalze.
- Freigrenze für ^{232}Th nach StrlSchV 1989: **50 kBq**
Glühstrümpfe waren an Schulen weitverbreitet.
- Freigrenze für ^{232}Th seit StrlSchV₂₀₀₁: **1 kBq**
Aktivitätsmessungen von Glühstrümpfen liegen oberhalb der Freigrenze (mindestens 2-fache FG).
Aufgrund der Freigrenze ist der Umgang mit thoriumhaltigen Glühstrümpfen genehmigungsbedürftig.
- Freigrenze und Rechtslage für ^{232}Th haben sich mit StrlSchG₂₀₁₇ nicht verändert.
- Bemerkung: Nach StrlSchG₂₀₁₇ § 39 ist Zusatz von Thorium in Gasglühstrümpfen unzulässig (außer zur Beleuchtung öffentlicher Straßen).



V.2.4 Freigrenzen: Beispiel Uhren mit Radium oder Schmuck

- „Uhren“ mit Radium-Leuchtziffern oder glasierter Schmuck liegen häufig weit oberhalb der Freigrenzen.

Daher wäre der Umgang mit Uhren, Schmuck etc. genehmigungsbedürftig.



- Übergangsregelung StrlSchG₂₀₁₇ §218:
Genehmigungsfreier Umgang mit Geräten, keramischen Gegenständen, Porzellan- und anderen Glaswaren ... Glaswaren oder elektronischen Bauteilen sowie sonstigen Produkten

Genehmigungsfrei ist der Umgang falls

- Geräte etc., die vor dem 1. April 1977 beschafft worden sind und nach StrlSchV₁₉₆₅ §11 genehmigungsfrei waren.
- Sonstige Produkte, die vor dem 1. August 2001 erworben wurden und die Anforderungen von StrlSchV₁₉₈₉ Anlage III Teil A Nummer 5, 6, 7 entsprechen.

V.2.4 Freigrenzen: Beispiel Uhr mit Radium in Sammlung (StrlSchV₁₉₆₅)

Die Schule hat die Uhr vor dem 1. April 1977 beschafft.

Über die Beschaffung gibt es nach über 30 Jahren leider keine Unterlagen mehr (siehe StrlSchG₂₀₁₇ § 70).

- Übergangsregelung StrlSchG₂₀₁₇ § 218 verweist auf StrlSchV₁₉₆₅ § 11
- Nach StrlSchV₁₉₆₅ § 11 war Umgang genehmigungsfrei, falls
 - die radioaktiven Leuchtfarben festhaften
 - die Leuchtfarbe als radioaktiven Stoff nur Radium enthält
 - die Leuchtfarbe berührungssicher abgedeckt sind und die Dosisleistung der nicht abgedeckten Strahlung in 10 cm Abstand $1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ nicht überschreitet (0,1 millirem pro Stunde im Original).



V.2.4 Freigrenzen: Beispiel Urangläser

Spezielle Gläser mit Uranoxidverbindungen als Farbstoff (häufig mit fluoreszierender Wirkung).

- Der Urangehalt der Gläser liegt üblicherweise oberhalb der Freigrenzen.

Daher wäre der Umgang mit Uhren, Schmuck etc. genehmigungsbedürftig.

- Übergangsregelung StrlSchG₂₀₁₇ § 218 verweist auf StrlSchV₁₉₆₅ § 11 wonach der Umgang mit uranhaltigen Glaswaren genehmigungsfrei ist, falls
 - Glaswaren vor dem 1. April 1977 beschafft wurden und
 - der Gewichtsanteil des natürlichen Urans oder des an ^{235}U und ^{234}U verarmten Urans weniger als 10% beträgt.

Vergleichbare Regelung für uranhaltige Porzellanwaren und für uranhaltige glasierte Keramiken.

V.2.5 Genehmigungsbedürftig und -frei

- Nach StrlSchG₂₀₁₇ § 12 (1) bedarf einer Genehmigung, wer
 - ... mit sonstigen radioaktiven Stoffen umgeht ...
 - ... eine Röntgeneinrichtung betreibt ...
 - ... einen Störstrahler betreibt ...

ausgenommen, es ist nach StrlSchV₂₀₁₈ genehmigungsfrei bzw. es ist eine Anzeige ausreichend. **Zur Zeit in BW: keine Genehmigungen mehr für allgemeinbildende Schulen.**

- Genehmigungsfrei ist nach

- StrlSchV₂₀₁₈ § 5 (1) Anlage 3 Teil B und C
 - 1. Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen, falls $A \leq FG$
 - 4. Verwendung von BAZ-Vorrichtungen nach StrlSchG₂₀₁₇ § 45 (1)
 - 1. Vorrichtung die sonstige radioaktive Stoffe enthält
 - 6. Röntgeneinrichtung als Schulröntgeneinrichtung
 - 5. Lagerung von BAZ-Vorrichtungen nach StrlSchG₂₀₁₇ § 45 (1), falls $A_{\text{ges}} \leq 1000 FG$
 - 8. Umgang mit natürlichen radioaktiven Stoffen in der Lehre, falls $E \leq 1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ in 10 cm Abstand
 - 9. Umgang mit Uranylverbindungen zur chemischen Analyse, falls $m_{\text{Uran}} \leq 30 \text{ g}$
- StrlSchG₂₀₁₇ § 5 (37) Betrieb von Elektronen-Beschleunigungsröhren mit $U \leq 5 \text{ kV}$

V.2.6 Anzeigebedürftig und -frei

Definition von „Anzeige“ 2013/59/Euratom Artikel 4 (86):

Die von der zuständigen Behörde in Form eines Bescheids erteilte oder nach nationalem Recht im Wege eines vereinfachten Verfahrens gegebene Erlaubnis zur Durchführung einer Tätigkeit im Einklang mit den nationalen Rechtsvorschriften oder nach den Vorgaben einer zuständigen Behörde für diese Tätigkeitsart oder -kategorie.

● **BAZ-Vorrichtungen mit sonstigen radioaktiven Stoffen**

Nach StrlSchG₂₀₁₇ § 45 (1), § 48 bedürfen BAZ-Vorrichtungen mit sonstigen radioaktiven Stoffen keiner Genehmigung und keiner Anzeige.

● **Schulröntgeneinrichtung**

Nach StrlSchG₂₀₁₇ § 19 (1) [siehe auch StrlSchG₂₀₁₇ § 48]: Wer beabsichtigt, eine ... Schulröntgeneinrichtung zu betreiben, hat dies der zuständigen Behörde spätestens vier Wochen vor dem beabsichtigten Beginn schriftlich **anzuzeigen**

...

Nach Ablauf dieser Frist darf der Anzeigende die Röntgeneinrichtung in betreiben, es sei denn, die zuständige Behörde hat das ... untersagt.

V.2.7 Bauartzulassungen (BAZ)

Nach StrlSchG₂₀₁₇ §45 (1) können Hersteller BAZ beantragen, für

- 1. ... **sonstige radioaktive Stoffe**, falls die Vorrichtung (siehe StrlSchV₂₀₁₈ §16)
 - umschlossen berührungssicher abgedeckt ist
 - die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,1 m von der berührbaren Oberfläche der Vorrichtung $1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ bei normalen Betriebsbedingungen nicht überschreitet
 - sicherer Einschluss der radioaktiven Stoffe beim bestimmungsmäßigen Betrieb gewährleistet ist
 - keine weiteren Dichtheitsprüfungen als in StrlSchV₂₀₁₈ §25 (4) festgelegten erforderlich sind
 - $A \leq 10 \text{ FG}$ (nach StrlSchV₁₉₈₉ galt $A \leq 100 \text{ FG}$)

- 6. ... **Schulröntgeneinrichtung** falls (siehe StrlSchV₂₀₁₈ §21,22)
 - Schutzgehäuse umschließt Röntgenröhre und Gegenstand vollständig
 - die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,1 m von der berührbaren Oberfläche des Schutzgehäuses $3 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ bei maximalen Betriebsbedingungen nicht überschreitet
 - zwei unabhängige Sicherheitseinrichtungen sicherstellen, dass Röntgenröhre nur bei geschlossenen Schutzgehäuse betrieben werden kann
 - die vom Hersteller angegebenen Betriebsbedingungen nicht überschritten werden können (insb. Spannung)

V.2.7 Bauartzulassungen— Verfahren

- StrlSchG₂₀₁₇ § 46 (4): ...keine Bedenken gegen die Zuverlässigkeit des Herstellers
- StrlSchG₂₀₁₇ § 46 (5): Die BAZ wird auf längstens zehn Jahre befristet. Sie kann auf Antrag jeweils maximal um zehn Jahre verlängert werden.
- StrlSchG₂₀₁₇ § 48: BAZ Vorrichtung darf
 - bei einer Bauart ... [mit sonstigen radioaktiven Stoffen] ... genehmigungsfrei und anzeigefrei verwendet werden
 - bei einer Bauart ... [für Schulröntgenröhren] ... nach Voraussetzungen ... für anzeigebedürftigen Betrieb ... betrieben werden
- StrlSchG₂₀₁₇ § 48: Bauartzugelassene Vorrichtungen dürfen nach Ablauf der Frist der Bauartzulassung weiter betrieben werden.
- StrlSchG₂₀₁₇ § 172: Behörde bestimmt Sachvollständigen für
 - Prüfung von Röntgeneinrichtungen
 - Dichtheitsprüfungen für bauartzugelassene Vorrichtungen mit radioaktiven Stoffen
- StrlSchG₂₀₁₇ § 47: BAZ sind schriftlich zu erteilen.
- StrlSchG₂₀₁₇ § 185, 187: BfS und PTB sind zuständig für BAZ.

V.2.7 Bauartzulassungen: Zulassungsschein

- StrlSchG₂₀₁₇ § 47: ...erteilt die Zulassungsbehörde einen Zulassungsschein ...

Der Zulassungsschein beschreibt Merkmale der Vorrichtung, deren zugelassenen Gebrauch, Auflagen und Befristungen für Inhaber, Bauartzeichen und Anforderungen für die Rückführung an Zulassungsinhaber.

- StrlSchV₂₀₁₈ § 25 (1) Der Inhaber einer bauartzugelassenen Vorrichtung hat einen Abdruck des Zulassungsscheins ... bei der Vorrichtung bereit zuhalten.



Köln, den 11.11.1981

Bescheinigung
(Muß vom Geräteinhaber verwahrt werden)

Wir bestätigen, daß das Am-241-Präparat, Kat.-Nr. 559 82 den Merkmalen der Bauartzulassung

NW 76/76

entspricht. Eine Kopie der Bauartzulassung ist beigelegt.

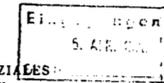
Das Gerät wurde einer Qualitätskontrolle unterzogen und als einwandfrei befunden.

LEYBOLD-HERAEUS GMBH
i. V. [Signature]
(Dr. Hund) (Kunz)

Prüfvermerk:
Fabr.-Nr.: TC 54
Prüf-Protokoll-Nr.: 05/10
Köln, den 31. 01. 84

WCS

DER MINISTER
FÜR ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALLESSEN
DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN



Postanschrift: 4 Düsseldorf 1 - Postfach 1114

Firma
Leybold Heraeus GmbH
& Co KG,
Bonner Straße 504
5000 Köln 51 (Bayental)

DÜSSELDORF, 1. April 1976

FERNRUF 8151 BEI DURCHWAHL 811

III/3 - 8950.15
GESCH.-ZEICHEN (Bei Antwort bitte angeben)

Zulassung NW 76/76

Auf Grund von § 9 der Zweiten Strahlenschutzverordnung vom 18. Juli 1964 (BGBl. I S. 500), geändert durch Verordnung vom 12. August 1965 (BGBl. I S. 759) wird nach Prüfung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Prüfungsschein Nr. 6.32 - 3534 vom 13.2. 1976) auf Antrag vom 24.3. 1976 - WPE-Dr. Idbg/Hn - die Bauart folgender Vorrichtung mit umschlossenen radioaktiven Stoffen zugelassen:

Gegenstand: Schulpräparat Type Kat.-Nr. 559 82

Antragsteller und Hersteller: Leybold Heraeus GmbH & Co KG., Bonner Straße 504, 5000 Köln 51 (Bayental)

Radioaktiver Stoff: Americium-241

Aktivität: 9 µCi

Typenbezeichnung der Folie: AMM. 5

Hersteller: Radiochemical Centre Amersham, Buckinghamshire, England

Verwendungszweck: Durchführung von Versuchen im physikalisch-naturwissenschaftlichen Unterricht an Schulen

V.2.7 Bauartzulassungen: Pflichten

Pflichten des Inhabers einer bauartzugelassenen Vorrichtung nach StrlSchV₂₀₁₈ § 25:

- § 25 (1) ... bei der Vorrichtung sind bereitzuhalten: Abdruck des Zulassungsscheins, Betriebsanleitung, ggf. Befunde der Dichtheitsprüfung.
- § 25 (2) Keine **Änderung an Vorrichtung** vornehmen, die für den Strahlenschutz wesentliche Merkmale betreffen.
- § 25 (3) Unverzügliche Stilllegung einer BAZ-Vorrichtung,
 - falls **Bauartzulassung widerrufen** wird
Z. B.: Widerruf der BAZ BW/8/65 II am 6.3.1987 (²²⁶Ra-Strahlerstifte).
 - falls Vorrichtung nicht mehr den Angaben des Zulassungsscheins entspricht
- § 25 (4) Alle 10 Jahre **Dichtheit und Unversehrtheit** der Vorrichtung von Sachverständigen prüfen lassen.
Abweichende Regelungen (de facto Verkürzungen) sind möglich.
- § 25 (5) **Rückgabe** an Inhaber der BAZ nach Beendigung der Nutzung.
- StrlSchV₂₀₁₈ § 167 (1): **Mitteilung an Behörde** bei Abhandenkommen von BAZ-Vorrichtungen

V.2.7 Bauartzulassungen: „Bestandsschutz“

Für den Schulalltag häufig entscheidende Bestimmungen nach StrlSchG₂₀₁₇ § 208:

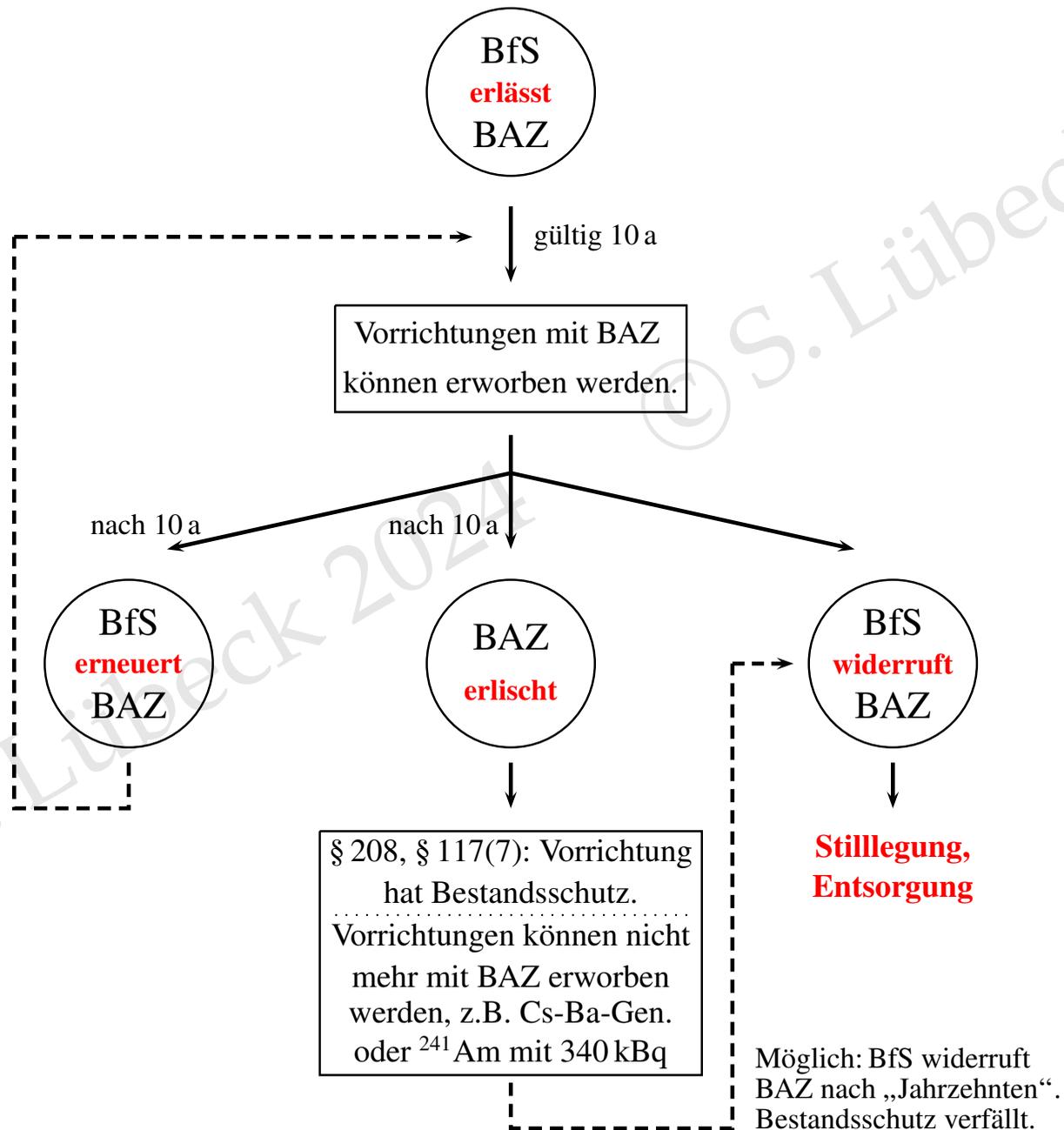
- § 208 (1): BAZ die am 31.12.2018 gültig waren:
... gelten bis zum Ablauf der Zulassungsfrist fort.
- § 208 (2): Vorrichtungen deren BAZ vor 31.12.2018 ausgelaufen waren, die aber nach StrlSchV₂₀₀₁ oder nach RöV₂₀₀₃ weiterbetrieben werden durften:
... dürfen entsprechend StrlSchG₂₀₁₇ § 48 weiter betrieben werden.
- § 208 (3): Für Verwendung und Lagerung von Vorrichtungen mit BAZ nach StrlSchV₁₉₈₉ (oder älter) die vor 1.8.2001 zugelassen worden sind:
... diverse Bestimmungen von StrlSchV₁₉₈₉ gelten fort
- § 208 (4): Vorrichtungen mit BAZ nach StrlSchV₁₉₈₉ die vor 1.8.2001 ausgelaufen sind:
... dürfen weiter betrieben werden, falls sie nach StrlSchV₂₀₀₁ § 117 (7) weiterbetrieben worden sind

StrlSchV₂₀₀₁ § 117 (7) elendig langer Paragraph mit vielen Details.

Relevant für Isotopen-Generatoren und ²⁴¹Am-Präparat mit 340 kBq.

V.2.7 Bauartzulassungen: Schematische Übersicht

„Lebenslauf“ einer BAZ:



V.2.7 Bauartzulassungen: „Aktuelle“ BAZ

Momentan (Stand 2014) sind folgende BAZ nach StrlSchV₂₀₀₁ „im Umlauf“:

- Nds 151/90 (Nuclitec) erloschen am 30.11.2010
 ^{137}Cs -Isotopengenerator, fünfmal geändert, zuletzt 2009.
- Nds 151/97 bzw. NdS 152/97 (ELWE) erloschen am 30.9.2007
 ^{226}Ra mit max. 60 kBq, einmal geändert, zuletzt 2005.
- Nds 002/99 (Nuclitec) erloschen am 31.10.2009
Strahlerstifte (^{241}Am , ^{90}Sr , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{60}Co) mit jeweils 74 kBq
und Mischpräparat (^{241}Am , ^{90}Sr , ^{137}Cs), dreimal geändert, zuletzt 2009.
- BfS 01/10 (Nuclitec) **gültig bis 12.2.2020, verlängert am 18.2.2020**
umfasst Strahlerstifte ^{90}Sr bis 45 kBq, ^{241}Am bis 81,4 kBq, ^{137}Cs bis 74 kBq,
 ^{22}Na bis 74 kBq
und Mischpräparat mit ^{90}Sr bis 5,28 kBq, ^{241}Am bis 5,28 kBq, ^{137}Cs bis 74 kBq

V.2.7 Bauartzulassungen: Begrenzung der Anzahl

Man kann nicht beliebig viele Präparate mit BAZ kaufen und lagern.

● StrlSchV₂₀₁₈ Anlage 3 Teil B:

Genehmigungsfrei ... ist die

- (4) Verwendung von Vorrichtungen mit BAZ nach StrlSchG₂₀₁₇ §45 (1)...
- (5) Lagerung von Vorrichtungen mit BAZ nach StrlSchG₂₀₁₇ §45 (1)
...sofern die Gesamtaktivität ... das **1000-fache** der Freigrenzen ... nicht überschreitet.

● Beispiel: FG von ²⁴¹Am ist 10 kBq → 10 MBq ist genehmigungsfrei

Leybold Präparat (BAZ BfS 01/10) mit 74 kBq → 135 Präparate

V.2.7 Bauartzulassungen: Beispiel ^{241}Am -Strahler mit 340 kBq

Legendärer „starker“ Strahler: BAZ NW 76/76.

- Ursprüngliche BAZ nach StrlSchV₁₉₇₆.
- $\text{FG}_{2001} = \text{FG}_{2018} = 10 \text{ kBq}$
- Aktivitätsgrenze für BAZ seit StrlSchV₂₀₀₁ ist zehnfache FG (also bis 100 kBq), Präparat erhält seit StrlSchV₂₀₀₁ keine BAZ.
- „Bestandsschutz“ nach StrlSchG₂₀₁₇ § 208 (4) für Altgeräte.
- Neukauf wäre genehmigungspflichtig.
- Daher bietet Lehrmittelhandel „neuen“ ^{241}Am -Strahler mit 74 kBq und neuer BAZ an (BfS 01/10).



V.2.7 Bauartzulassungen: Thoron-Isotopengenerator

Beispiel: BAZ NW 6/65 nach StrlSchV₁₉₈₉ mit $1 \mu\text{Ci} = 37 \text{ kBq}$.

- Auch Thoron-Emanator genannt.
- ca. 12 g Thoriumsalz
- Aktivität überschreitet FG₂₀₁₈ erheblich.
- Keine BAZ seit StrlSchV₂₀₀₁ möglich, da **offenes** Präparat.
- Wäre nach StrlSchG₂₀₁₇ genehmigungsbedürftig.
- „Bestandsschutz“ nach StrlSchG₂₀₁₇ § 208 (4) für Altgeräte.
Beachte: Umgang ist genehmigungsfrei aber anzeigebedürftig.
- Präparat fällt bei Prüfungen häufig negativ auf, z. B. Risse im Schlauch oder Flasche, abgelöste Plombe etc.
- Daher wird Thoron-Generator seit Jahren nicht mehr angeboten.



V.2.7 Bauartzulassungen: ^{137}Cs - ^{137}Ba (m)-Isotopengenerator

Beispiel: BAZ Nds 151/90 nach StrlSchV₁₉₈₉ mit 370 kBq (HCl-Elutionslösung).

- Elutionslösung H290, H315
- Vorläufer-BAZ: Nds 101/79 (Phywe)
- Aktivität überschreitet $\text{FG}_{2018} = 10 \text{ kBq}$ erheblich.
- Alte BAZ ist erloschen.
- Keine BAZ seit StrlSchV₂₀₀₁ möglich, da **offenes** Präparat.
- Präparat kann nach wie vor gekauft werden.
Es ist nach StrlSchV₂₀₁₈ aber **genehmigungsbedürftig**.
Genehmigung wird in Baden-Württemberg für allgemeinbildende Schulen nicht mehr erteilt.
- „Bestandsschutz“ nach StrlSchG₂₀₁₇ § 208 (4) für Altgeräte.
Beachte: Umgang ist genehmigungsfrei, aber anzeigebedürftig.
- Beachte Verlängerung der BAZ von 2000: In der Betriebsanleitung muss aufgeführt werden: „... Überprüfung der Vorrichtung **auf äußerliche Kontamination nach einer Frist von fünf Jahren**“ durch **Erwerber der Vorrichtung**.



V.2.7 Bauartzulassungen: NW 229/81: Eine „juristische Kuriosität“

NW 228/81 bzw. NW 229/81 sind bauartzugelassene Präparate unterhalb der FG.

- $A = 3,3 \text{ kBq}$, also $A < FG_{1989}$ und $A < FG_{2001} = FG_{2018}$.
- „Sinn“: Nach StrlSchV₁₉₇₆ waren mehr als 100 BAZ-Präparate statt einem FG-Präparat möglich.
- BAZ nach StrlSchV₁₉₇₆, nach StrlSchV₁₉₈₉ „erneuert“. Seit StrlSchV₂₀₀₁ ist BAZ-Präparat mit $A < FG$ nicht mehr möglich.
- „Bestandsschutz“ nach StrlSchG₂₀₁₇ § 208.
- Wichtig: Nach StrlSchV₂₀₁₈ § 185 besteht aufgrund der geringen Aktivität keine Pflicht zur Dichtheitsprüfung.
- Unabhängig von der Aktivität handelt es sich juristisch um ein BAZ-Präparat mit den entsprechenden Pflichten, insb. Stilllegung bei Widerruf, Bestandsmeldung, Stilllegung bei Beschädigung.
- Angeblicher „Zaubertrick“: Aufkleber abziehen. Dahinter steht Illusion: BAZ-Präparat wird FG-Präparat.

Beachte aber: **Eine vorsätzliche Beschädigung der BAZ, sowie eine Nichtstilllegung nach einer (vorsätzlichen oder fahrlässigen) Beschädigung der BAZ ist eine Ordnungswidrigkeit. \Rightarrow „Zaubertrick“ ist ordnungswidrig.**



V.2.7 Bauartzulassungen: Nebelkammerpräparate BW/49/87 und BW/50/87

^{226}Ra -Präparate für Nebelkammer von Neva mit BAZ nach StrlSchV₁₉₇₆.

- BW/49/87
 - 60 kBq, also $A > FG_{2018}$
 - „Bestandsschutz“ nach StrlSchG₂₀₁₇ § 208 (4) für Altgeräte.
 - Dichtheitsprüfung alle 10 Jahre
- BW/50/87
 - 3,7 kBq, also $A < FG_{2018}$, das Präparat ist ebenso eine juristische Kuriosität wie NW 229/81
 - „Bestandsschutz“ nach StrlSchG₂₀₁₇ § 208 (4) für Altgeräte.
 - Nach StrlSchV₂₀₁₈ § 185 besteht keine Pflicht zur Dichtheitsprüfung.
- Nicht in Nebelkammer lagern.
- Vorgänger-BAZ BW/8/65/II und BW/9/65/II wurden 1987 widerrufen.



BW/50/87

BW/49/87

V.2.7 Bauartzulassungen: BfS 01/10

BAZ nach StrlSchV₂₀₀₁. Zur Zeit die einzige aktuelle BAZ für Strahlerstifte (**BAZ verlängert am 18.2.2020, gültig bis 11.2.2030**). Hersteller der BAZ ist die Firma Nuclitec. Die „verwirrende“ Nutzungsbegrenzung von 10a der ursprünglichen BAZ wurde 2017 in einer Ergänzung aufgehoben.

Die BAZ umfasst Strahlerstifte mit

- ^{90}Sr mit bis zu 45 kBq
(β -Strahler)
- ^{241}Am mit bis zu 81,4 kBq
(α - und γ -Strahler)
- ^{137}Cs mit bis zu 74 kBq
(β - und γ -Strahler)
- ^{22}Na mit bis zu 74 kBq
(β^+ - und γ -Strahler)
- Mischpräparat mit
 - ^{90}Sr mit bis zu 5,28 kBq
 - ^{241}Am mit bis zu 5,28 kBq
 - ^{137}Cs mit bis zu 74 kBq



V.2.7 Bauartzulassungen: BAZ- oder FG-Präparate kaufen?

Welche Vor- und Nachteile haben BAZ- und FG-Präparate aus Sicht der Schule?
Was passiert bei möglicher neuer StrlSchV mit reduzierten FG?

	Vorteil	Nachteil
FG-Präparat	anzeigefrei genehmigungsfrei keine Dichtheitsprüfungen	Unsicherheit bei Änderung der FG (→ genehm.-pflichtig) Anzahl begrenzt Aktivität begrenzt (Exp.?)
BAZ-Präparat	anzeigefrei genehmigungsfrei Entsorgung durch Hersteller Bestandsschutz	regelmäßige Dichtheitsprüf. teurer als FG-Präparate

V.2.7 Bauartzulassungen: Beispiel für Neukauf

Um schultypische Experimente durchzuführen sind z.B. folgende Präparate notwendig:

Experiment	Präparat	Art	Bemerkung
α -Strahlung	^{241}Am (74 kBq)	BAZ	α -, γ -Strahler
β -Strahlung	^{90}Sr (45 kBq)	BAZ	
γ -Strahlung	^{60}Co (74 kBq)	FG	β absorbiert ca. 75 % Summenformel
β^+ -Strahlung	^{22}Na (74 kBq)	BAZ	$T_{1/2} \approx 2,6$ a
Nebelkammer	^{226}Ra	BAZ oder FG	besser BAZ
$T_{1/2}$ -Bestimmung	$^{137}\text{Cs}/^{137}\text{Ba}$ (m)	Genehmigung	in Baden-Würt. nicht möglich

V.2.7 Bauartzulassungen: Beispiel eines Widerrufs

Nach StrlSchV₂₀₁₈ § 26 erfolgt Bekanntmachung des Widerrufs im Bundesanzeiger.



MINISTERIUM FÜR KULTUS UND SPORT
BADEN-WÜRTTEMBERG

Ministerium für Kultus und Sport Baden-Württemberg
Postfach 480 · 7000 Stuttgart 1

An die
Oberschulämter Stuttgart

Karlsruhe
Freiburg
Tübingen

Oberschulamt
Stuttgart

18. Feb. 1987

Haupt-Registrator

Stuttgart, den 17. Februar 1987

Durchwahl (07 11) 8003- 2859

Vermittlung (07 11) 8003-1

Aktenzeichen: 4675/2
(Bitte bei Antwort angeben)

E i l t s e h r !

Betr.: Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV);
hier: Widerruf der Bauartzulassung Nr. BW/8/65/II für
einen Strahlerstift zum Unterricht in Schulen

Beil.: Bekanntmachung des Gewerbeaufsichtsamts Stuttgart
vom 16. Februar 1987

Bei Strahlenschutzrevisionen in Schulen wurden in mehreren Fällen
schadhafte Vorrichtungen mit einem umschlossenen radioaktiven Stoff
(Strahlerstift) der Firma Neva, Geislingen/Steige, vorgefunden, bei
denen sich das eingeklebte, umschlossene Radium-226-Präparat infolge
der Alterung und Zerstörung der Klebestellen gelöst hat und aus der
Bohrung herausgefallen ist. Diese Geräte sind daher hinsichtlich
des Strahlenschutzes nicht als sicher anzusehen. Deshalb wurde vom
Gewerbeaufsichtsamt Stuttgart mit Datum vom 16. Februar 1987 die
Bauartzulassung widerrufen (siehe beiliegende Bekanntmachung).

Da nicht ausgeschlossen werden kann, daß sich derartige Vorkommnisse
an diesem Gerätetyp wiederholen, sind die öffentlichen Schulen zu
unterrichten, daß

1. diese Geräte, deren Bauart widerrufen worden ist, ab sofort
nicht weiter verwendet werden dürfen;



OBERSCHULAMT STUTTGART

4672/2-1/Eh

Aktenzeichen (Bitte bei Antwort angeben)

Oberschulamt Stuttgart · Postfach 5040 · 7000 Stuttgart 1

27. Feb. 1987

9920

An die

Staatlichen Schulämter
Gymnasien

Beruflichen Schulen

(einschließlich Privatschulen)

im Oberschulamtsbezirk Stuttgart

Stuttgart, den 25. Februar 1987

Fernsprecher 3851
(07 11) 2050-

- Durchwahl -

→ Herr. W. von d. B. bitte
um Prüfung u. Bericht.
27.2.87

E i l t s e h r !

Betr.: Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV);
hier: Widerruf der Bauartzulassung
Nr. BW/8/65/II für einen
Strahlerstift zum Unterricht in Schulen

Beil.: Schreiben des Ministeriums für Kultus und Sport
Baden-Württemberg vom 17.2.1987 - Az.:4675/2-
Bekanntmachung des Gewerbeaufsichtsamts
Stuttgart vom 16.2.1987 - Z 5208/Re/Vg-

Für die Staatlichen Schulämter:

Mehrfertigungen des Erlasses mit Anlagen
an GHS, HS, RS, So.

Das Oberschulamt gibt den Schulen die o.a. Schreiben zur
Kenntnis. Es ist sicherzustellen, daß Strahlerstifte der
Fa.Neva, Geislingen/Steige an Schulen ab sofort nicht weiter-
verwendet werden dürfen.

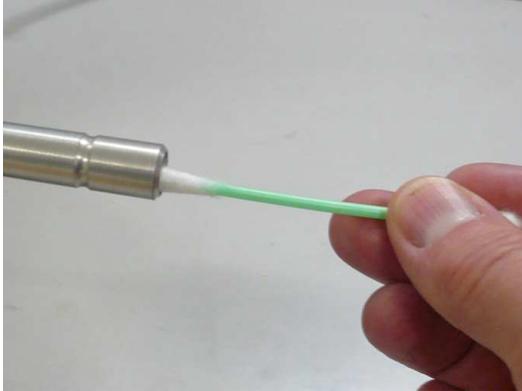
Schulen, an denen solche Geräte vorhanden sind, teilen dies
unverzüglich dem Oberschulamt schriftlich mit, Fehlanzeige
ist erforderlich.

Im Idealfall werden die Schulen vom RP, dieses vom Ministerium informiert.

V.2.8 Dichtheitsprüfung—Überblick

Umschlossene radioaktive Stoffe sind regelmäßig auf Dichtheit und Unversehrtheit der Umhüllung zu prüfen. Detailliert beschrieben in DIN 25426 Teil 4.

● Wischprüfung,



Tauchprüfung,



Emanationsprüfung



● Kriterien für eine Undichtheit (Beispiele):

- 20 Bq bei Wisch- und 200 Bq bei Tauchprüfungen
- Emanationsprüfung mit „Kohlepatrone“ von ^{226}Ra Strahlern bei zwölf Stunden Einschlusszeit (^{222}Rn ist entscheidend)
- DIN 25426: $A > 200$ Bq bedeutet „undicht“ → Stilllegung
- zusätzliche Vorgabe des Umweltministeriums BW:
 - $A < 10$ Bq: „alles in Ordnung“
 - $10 \text{ Bq} < A < 20$ Bq: „im Auge behalten“, verkürzte Prüffrist, z. B. 2 Jahre
 - etc.

V.2.8 Dichtheitsprüfung: Beispiel einer TÜV-Messung

lfd. Nr.	Nuklid	Aktivität [Bq]	Bezugszeitpunkt	Kennzeichen Nr.	Hersteller (H) bzw. Lieferant (L)	Verwendungszweck	Verwendungsort
163	Am-241	3,4 E5	1995	EO926 / NW76/76	Isotrak	Schulpräparat	Physiksaal
164	Sr-90	74 E3	2001	HV213 / Nds002/99	Isotrak	Schulpräparat	Physiksaal
165	Cs-137	74 E3	2001	GR127 / Nds002/99	Isotrak	Schulpräparat	Physiksaal
166	Ra-226	60 E3	1988	BF692 / BW49/87	NEVA	Schulpräparat	Physiksaal
167	Ra-226	3,7 E3	1988	BF644 / BW50/87	NEVA	Schulpräparat	Physiksaal

Datum der Probenahme: 23.02.2010

Datum der Prüfung (Auswertung): 23.02.2010

lfd. Nr.	Sichtprüfung	Prüfmethode ¹⁾	Messmethode ²⁾	abgelöste Aktivität [Bq]	Messunsicherheit ⁴⁾ [±-Bq]	Prüfristen ³⁾ Bemerkungen
163	i.O.	WS	N	-	-	P10
164	i.O.	WS	A	-	-	-
165	i.O.	WS	A	-	-	-
166	i.O.	E	N	-	-	-
167	i.O.	E	N	-	-	-

Wischprüfung bei ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs und ⁹⁰Sr

Emanationsprüfung bei ²²⁶Ra

1) WS = Wischprüfung unmittelbar am Strahler

WE = Wischprüfung an einer Ersatzfläche

T = Tauchprüfung

E = Emanationsprüfung

2) G = Gammaskpektrometrie

A = Alpha-Beta-Low-Level-Messung

F = Flüssigszintillation

N = NaJ Bohrlochkristall

3) Prüfristen:

P1/2 = halbjährlich

P1 = jährlich

P2 = 2jährlich

P10 = 10jährlich

4) 3-fache Standardmessunsicherheit

Keine abgelöste Aktivität → Prüfrist 10 Jahre. Aber Verkürzung der Prüfrist ist möglich, z. B. auf {0,5 a; 1 a; 2 a}

V.2.8 Dichtheitsprüfung: Beispiel TÜV-Messung mit abgelöster Aktivität

lfd. Nr.	Nuklid	Aktivität [Bq]	Bezugszeitpunkt	Kennzeichen Nr.	Hersteller (H) bzw. Lieferant (L)	Verwendungszweck	Verwendungsort
152	Ra-226	60 E03	-	BF480/ BW49/87	NEVA 7107	Physikunterricht	Physiksaal
153	Ra-226	333 E03	-	AB22/ NW7/65	Leybold 54645	Physikunterricht	Physiksaal

Datum der Probenahme: 14.05.2018

Datum der Prüfung (Auswertung): 15.05.2018

lfd. Nr.	Sichtprüfung	Prüfmethode ¹⁾	Messmethode ²⁾	abgelöste Aktivität [Bq]	Messunsicherheit ⁴⁾ [± Bq]	Prüffristen ³⁾ Bemerkungen
152	i.O.	E	N	35	6	P2
153	i.O.	E	N	12	2	P2

1) WS = Wischprüfung unmittelbar am Strahler

2) G = Gammaskopie

3) Prüffristen:

4) 3-fache Standardmessunsicherheit

WE = Wischprüfung an einer Ersatzfläche

A = Alpha-Beta-Low-Level-Messung

P1/2 = halbjährlich

P10 = 10jährlich

P1 = jährlich

T = Tauchprüfung

F = Flüssigszintillation

P2 = 2jährlich

E = Emanationsprüfung

N = NaJ Bohrochkristall

P3 = 3jährlich

Emanationsprüfung bei ^{226}Ra

Von 10 Jahren wurde die Prüffrist aufgrund der abgelösten Aktivität auf **2 Jahre** verkürzt.

V.2.8 Dichtheitsprüfung—Rechtlich

- StrlSchG₂₀₁₇ § 172 (1): Die zuständige Behörde bestimmt Sachverständige für ...
...bauartzugelassene Vorrichtungen, die radioaktive Stoffe enthalten.

(In unserem Fall z. B. der TÜV.)

- StrlSchV₂₀₁₈ §89 (1): ... Unversehrtheit und Dichtheit der Umhüllung bei umschlossenen radioaktiven Stoffen ... [oberhalb] der Freigrenze ... geprüft werden ...

Die Behörde kann anordnen, dass und in welchen Zeitabständen die Prüfung durch ... einen Sachverständigen durchzuführen ist.

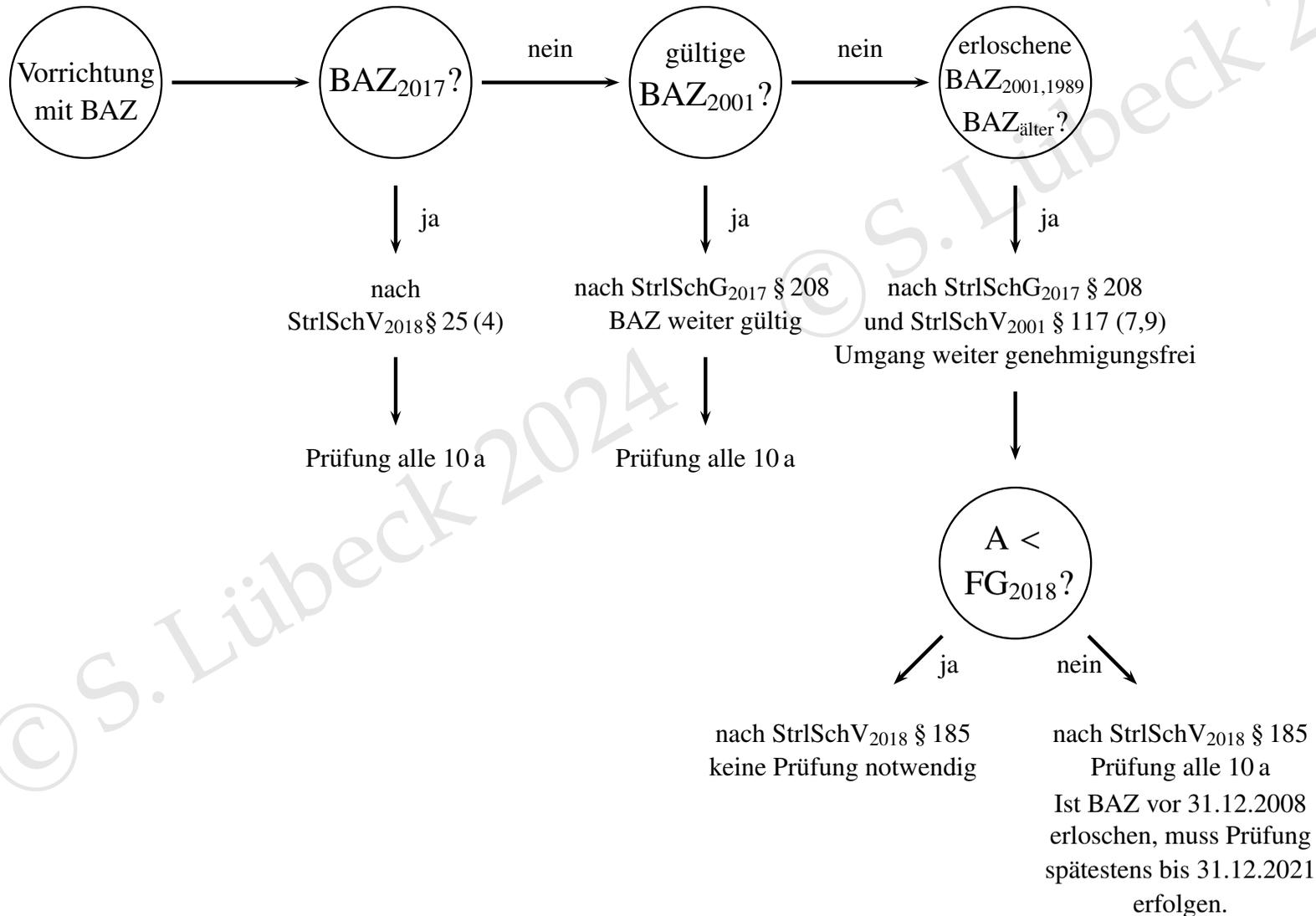
(→ Zeitabstände können „flexibel“ geändert werden, z. B. von 10 a nach 2 a, bei erhöhter abgelöster Aktivität, siehe StrlSchV₂₀₁₈ §25 (4)).

- StrlSchV₂₀₁₈ §89 (1): ... der Prüfbericht [ist] der zuständigen Behörde auf Verlangen [vorzulegen].

- StrlSchV₂₀₁₈ §185: „Übergangsvorschrift“ für Altgeräte mit Stichtagsregelung (31.12.2021).

V.2.8 Dichtheitsprüfung: Präparate mit älterer BAZ

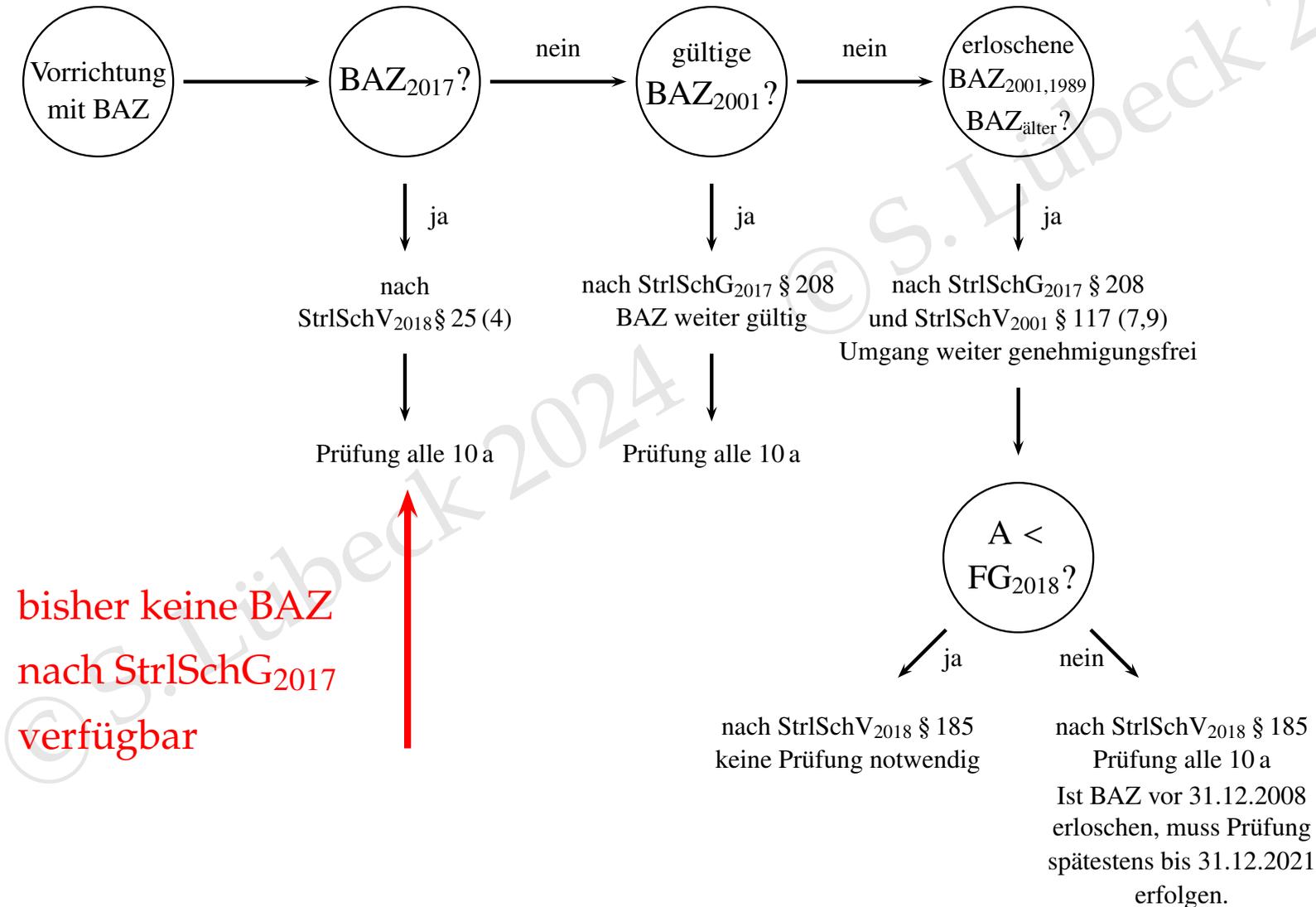
Übergangsvorschriften für den Umgang und die Prüfungen auf Dichtheit und Unversehrtheit:



Beachte aber: Verkürzte Fristen (z. B. 2 a) können für auffällige Präparate angeordnet werden.

V.2.8 Dichtheitsprüfung: Präparate mit älterer BAZ

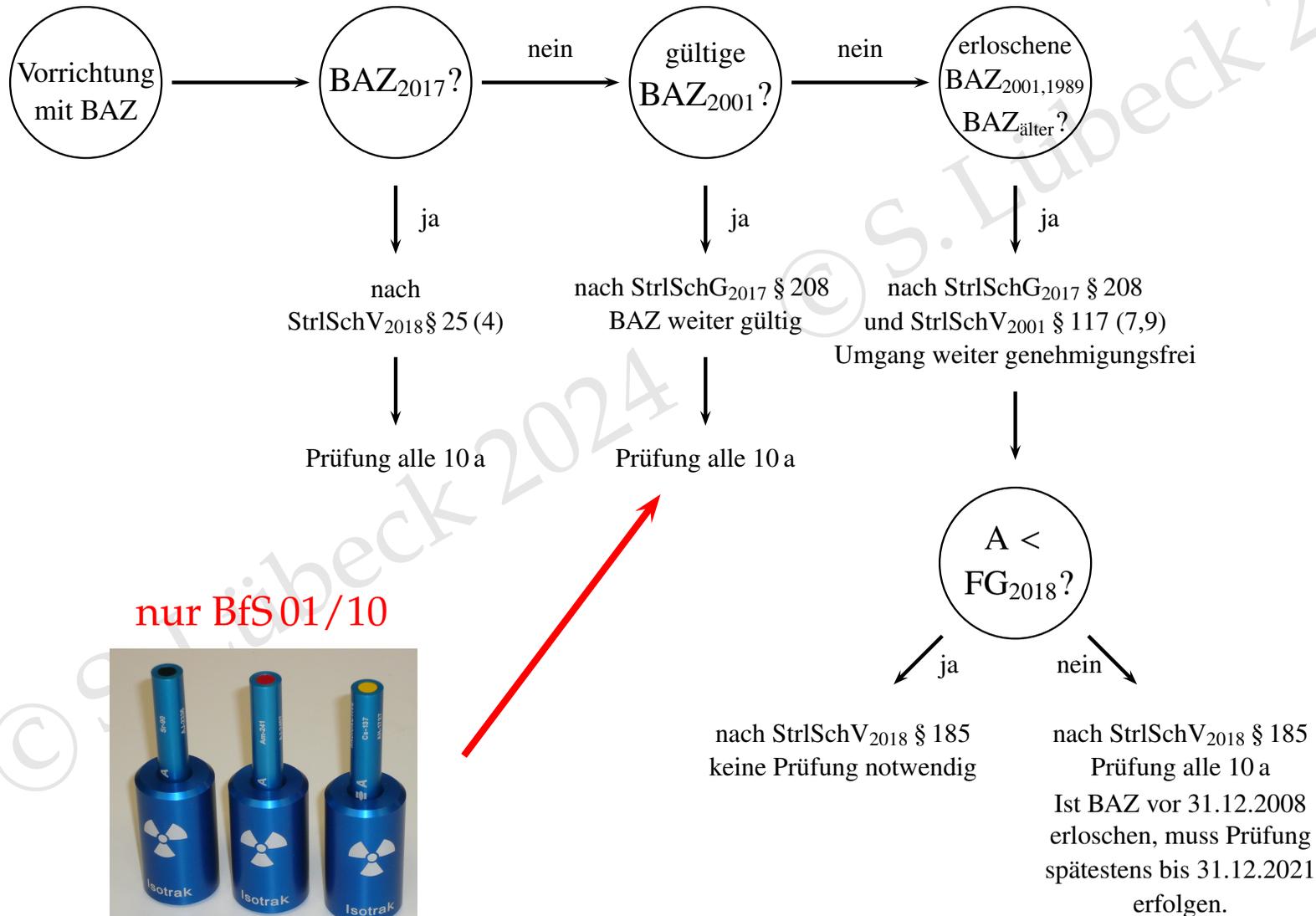
Übergangsvorschriften für den Umgang und die Prüfungen auf Dichtheit und Unversehrtheit:



Beachte aber: Verkürzte Fristen (z. B. 2 a) können für auffällige Präparate angeordnet werden.

V.2.8 Dichtheitsprüfung: Präparate mit älterer BAZ

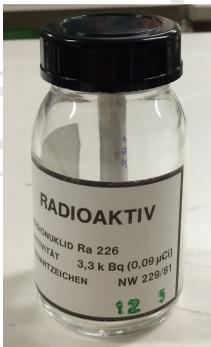
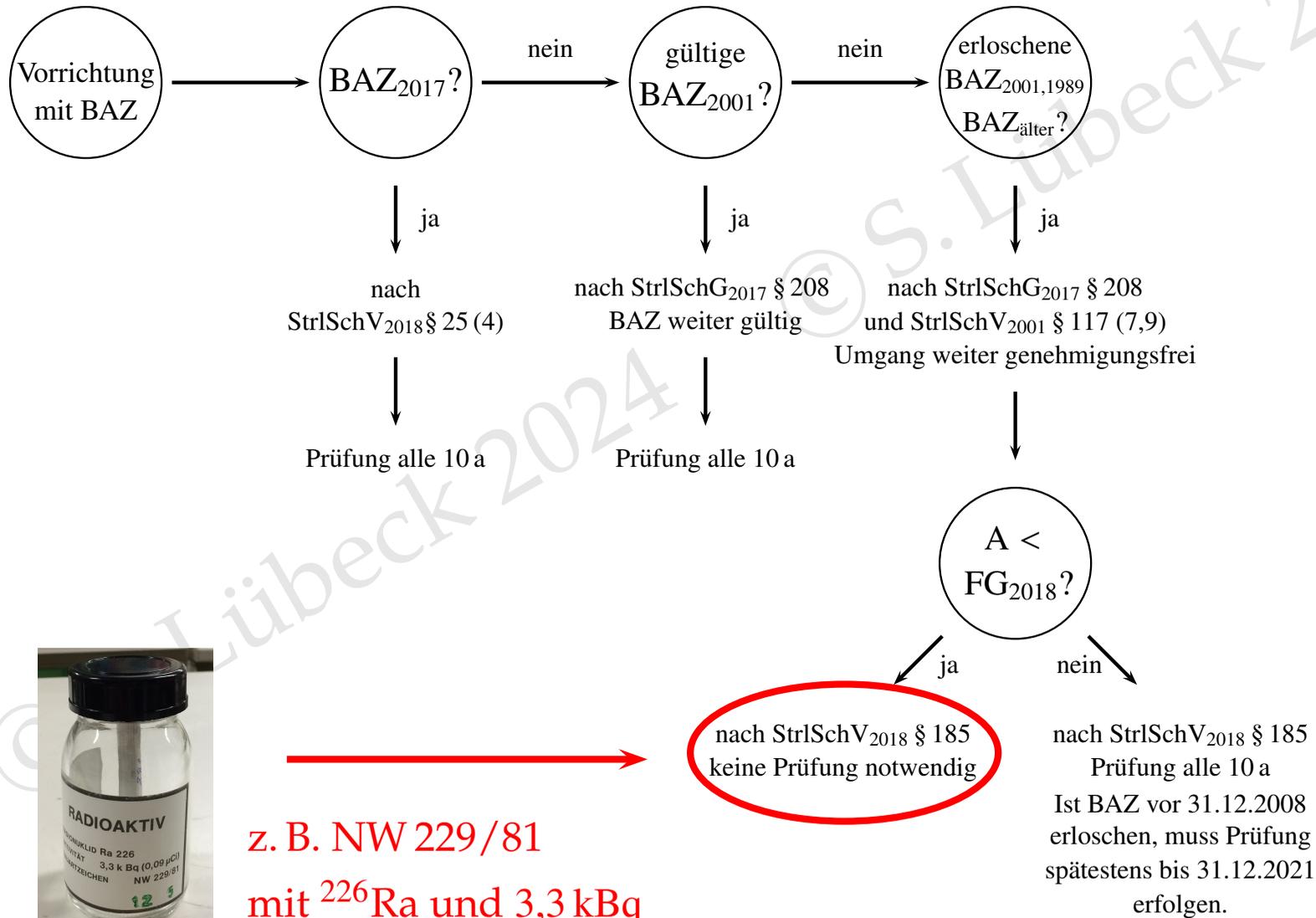
Übergangsvorschriften für den Umgang und die Prüfungen auf Dichtheit und Unversehrtheit:



Beachte aber: Verkürzte Fristen (z. B. 2 a) können für auffällige Präparate angeordnet werden.

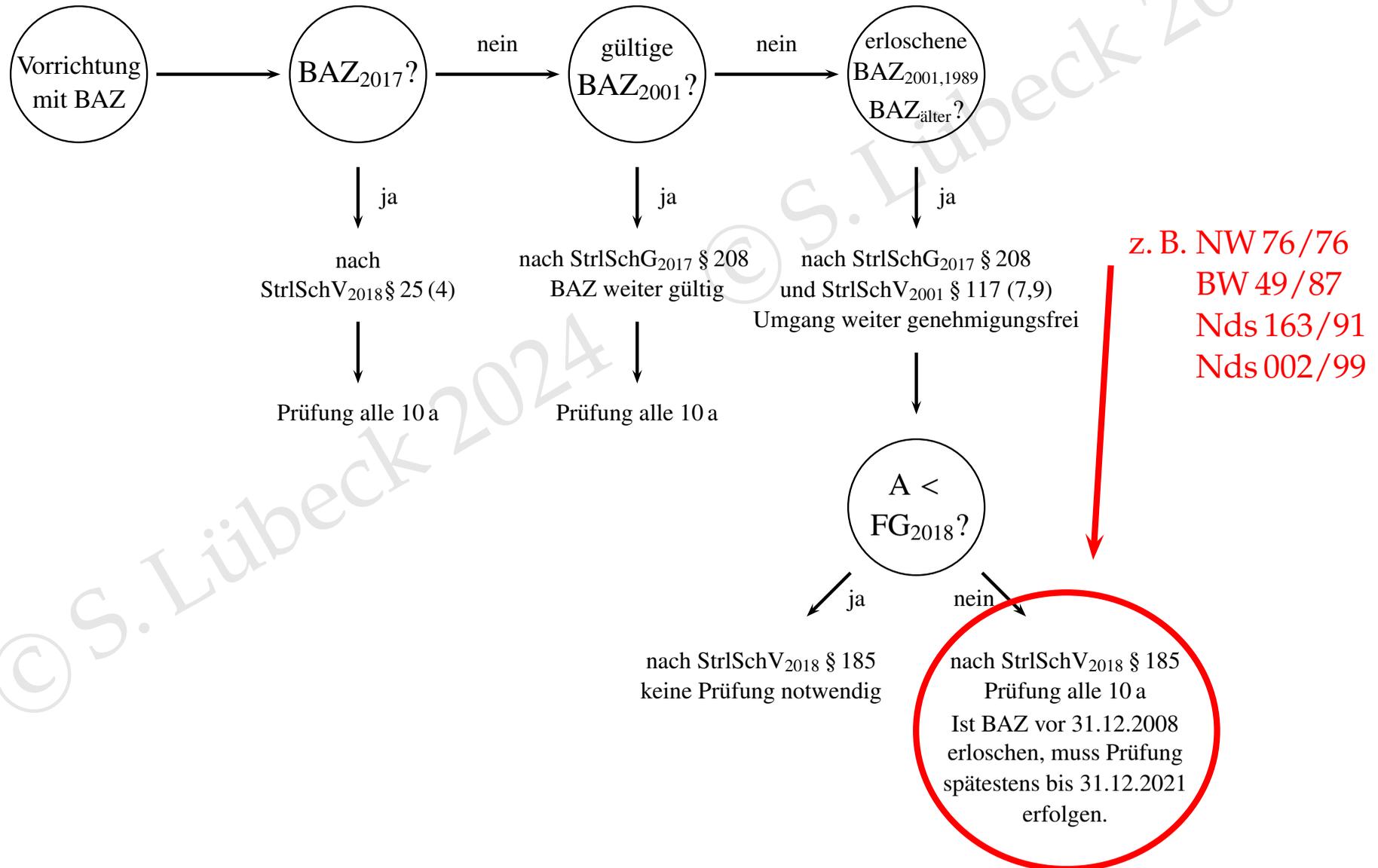
V.2.8 Dichtheitsprüfung: Präparate mit älterer BAZ

Übergangsvorschriften für den Umgang und die Prüfungen auf Dichtheit und Unversehrtheit:



V.2.8 Dichtheitsprüfung: Präparate mit älterer BAZ

Übergangsvorschriften für den Umgang und die Prüfungen auf Dichtheit und Unversehrtheit:



Beachte aber: Verkürzte Fristen (z. B. 2 a) können für auffällige Präparate angeordnet werden.

V.2.9 Strahlenschutzverantwortlicher (SSV)

Strahlenschutzverantwortlicher ist der Schulleiter bzw. die Schulleiterin in der Vertretung des Schulträgers (siehe StrlSchG₂₀₁₇ § 69 (2)).

- StrlSchG₂₀₁₇ § 69 (1): SSV ist, wer nach StrlSchG bzw. nach StrlSchV eine Anzeige zu erstatten hat oder einer/keiner Genehmigung bedarf.
- StrlSchG₂₀₁₇ § 70: SSV bestellt **Strahlenschutzbeauftragten (SSB)**:
 - (1): SSV bestellt schriftlich und unverzüglich die zur Gewährleistung des Strahlenschutzes **erforderliche Anzahl von SSB**. SSV bleibt aber rechtlich verantwortlich.
 - (2): SSV hat bei Bestellung des SSB dessen Aufgaben schriftlich festzulegen.
 - (3): SSB muss Fachkunde besitzen und zuverlässig sein.
 - (4): SSV muss zuständiger Behörde die Bestellung zum SSB und die Aufgabenbereiche des SSB schriftlich mitteilen.
 - (5): SSB darf bei Erfüllung seiner Pflichten nicht von SSV behindert, SSB darf nicht benachteiligt (z. B. gekündigt) werden.

V.2.9 Strahlenschutzverantwortlicher (SSV)

- StrlSchG₂₀₁₇ § 71: Zusammenarbeit von SSV und SSB
 - (1): SSV hat SSB unverzüglich über alle relevanten Verwaltungsakte zu unterrichten.
 - (2): SSB muss SSV unverzüglich über alle Mängel bzgl. des Strahlenschutzes mitteilen und Maßnahmen zur Behebung vorschlagen (ggf. muss SSV eine Ablehnung des Vorschlags schriftlich festhalten und Behörde informieren. Unterbleibt Mitteilung an Behörde kann SSB diese direkt informieren).
 - (3): SSV und SSB müssen Personal- bzw. Betriebsrat über „wichtige Angelegenheiten zum Strahlenschutz“ unterrichten
- StrlSchV₂₀₁₈ § 45: Strahlenschutzanweisung
SSV hat dafür zu sorgen, dass eine Strahlenschutzanweisung erstellt wird.
Beachte: Strahlenschutzanweisung kann Bestandteil sonstiger (z. B. arbeitsschutzrechtlich) erforderlicher Betriebsanweisungen sein.
Mit der Erstellung der Betriebsanweisungen ist Pflicht zur Strahlenschutzanweisung erfüllt.
- StrlSchV₂₀₁₈ § 46: SSV hat dafür zu sorgen, dass StrlSchG₂₀₁₇ und StrlSchV₂₀₁₈ zur Einsicht ständig verfügbar gehalten werden.

V.2.10 Strahlenschutzbeauftragter: Aufgaben des SSB (Teil I)

Nach StrlSchG₂₀₁₇ § 70, 71, 72 hat ein SSB dafür zu sorgen, dass die Vorschriften des Strahlenschutzes in seinem Entscheidungsbereich eingehalten werden, insbesondere hat er folgende Aufgaben und Pflichten aufgrund von StrlSchG₂₀₁₇, StrlSchV₂₀₁₈ und RiSU 2013:

- StrlSchV₂₀₁₈ § 43: Der SSB hat für die Einhaltung der dem SSV ... zugewiesenen Pflichten zu sorgen, soweit ihm die entsprechenden Aufgaben und Befugnisse nach StrlSchG₂₀₁₇ § 70 (2) übertragen wurde.
- StrlSchV₂₀₁₈ § 71 (2): Der SSB teilt SSV unverzüglich alle Strahlenschutz betreffende Mängel mit.
- StrlSchV₂₀₁₈ § 48 (1): Pflicht zur **Aktualisierung** der Fachkunde alle 5 Jahre.
- StrlSchV₂₀₁₈ § 63: Pflicht zur **Unterweisung** aller tätig werdenden Personen.
- StrlSchV₂₀₁₈ § 25 (1), 46, 97: Pflicht zur **Bereithaltung von Unterlagen**, insb.
 - Abdruck von StrlSchG₂₀₁₇ und StrlSchV₂₀₁₈
 - Zulassungsschein der Schulröntgenröhre
 - Betriebsanleitungen von Schulröntgenröhren und BAZ-Vorrichtungen
 - Prüfberichte (Schulröntgenröhre, Dichtheitsprüfungen)
 - Aufbewahrungsdauer: 30 Jahre

V.2.10 Strahlenschutzbeauftragter: Aufgaben des SSB (Teil II)

- StrlSchV₂₀₁₈ § 85: **Buchführung** und **Bestandsmitteilung**
- StrlSchV₂₀₁₈ § 87 (1): Vorschriftsmäßige **Lagerung** von radioaktiven Stoffen.
- StrlSchV₂₀₁₈ § 92 (3): **Kennzeichnung** von radioaktiven Stoffen und Schutzbehältern
- StrlSchV₂₀₁₈ § 25 (4), StrlSchV₂₀₁₈ § 88 (4): Einhaltung der **Prüffristen** (alle 10 Jahre Dichtheitsprüfung, alle 5 Jahre Röntgenröhre)
- StrlSchV₂₀₁₈ § 25 (3): Stilllegung von BAZ-Vorrichtungen bei **Widerruf**
- StrlSchV₂₀₁₈ § 25 (5): **Rückgabe bei Beendigung** der Nutzung von BAZ-Vorrichtungen
- StrlSchV₂₀₁₈ § 25 (5): sachgerechte **Entsorgung** radioaktiver Stoffe (z. B. Rückgabe an Inhaber der BAZ oder Entsorgung über Landessammelstelle)
- StrlSchV₂₀₁₈ § 167 (1): **Mitteilung an Behörde** bei Abhandenkommen von BAZ-Vorrichtungen

V.2.10 Strahlenschutzbeauftragter: Wann muss SSB bestellt werden?

Nach StrlSchG₂₀₁₇, StrlSchV₂₀₁₈ und GUV-SI 8070 muss ein SSB bestellt werden bei

- genehmigungsbedürftigen Umgang mit offenen und umschlossenen radioaktiven Stoffen,
- bei anzeigebedürftigen Umgang,
- genehmigungsfreien Umgang mit umschlossenen radioaktiven Stoffen mit BAZ, die vor dem 1.8.2001 erteilt worden ist.

Sonderregelung in Baden-Württemberg: Beim Umgang mit radioaktiven Stoffen an Schulen sind grundsätzlich SSB zu bestellen (Fürsorgepflicht).

1. Hinweis: „Umgang mit radioaktiven Stoffen“ beinhaltet auch Experimente mit Präparaten unterhalb der FG (z. B. Radon-Versuche, Pottasche etc.). Darüber hinaus ergibt sich aus Bildungsplan 2016, dass mit radioaktiven Stoffen „umgegangen“ werden muss.
2. Hinweis: Ein SSB muss bestellt werden, falls Störstrahler (z. B. Elektronen-, ablenkröhre, -beugungsröhre) oder Schulröntgenröhren vorhanden sind.

⇒ Schulen (insb. HS, WRS, GMS, RS, G) in Baden-Württemberg benötigen einen SSB.

V.2.10 Strahlenschutzbeauftragter: Mitteilung der Bestellung

Beispiel einer Bestellungsmitteilung eines SSB nach StrlSchG₂₀₁₇ § 70:

An das Regierungspräsidium, Referat 54.4

Hiermit teile ich gemäß StrlSchG₂₀₁₇ § 70 (2) und (4) die Bestellung der folgenden Lehrkräfte als Strahlenschutzbeauftragte nach StrlSchG₂₀₁₇ § 70 (1) mit:

1. Frau/Herr XXX wurde am (Datum) zum Strahlenschutzbeauftragten bestellt. Folgende Aufgaben und Befugnisse wurden übertragen:
(siehe Muster der Bestellung zum Strahlenschutzbeauftragten)
2. Frau/Herr XXX (weitere können folgen)
Folgende Aufgaben und Befugnisse wurden übertragen:

Die folgenden Lehrkräfte sind als Strahlenschutzbeauftragte ausgeschieden:

1. Frau/Herr XXX
Bisheriger Entscheidungsbereich:

Ort, Datum, Unterschrift des Strahlenschutzverantwortlichen

Anlagen: Die Fachkundebescheinigungen bzw. Bescheinigungen der Aktualisierungen der genannten Lehrkräfte liegen diesem Schreiben bei.

V.2.10 Strahlenschutzbeauftragter: Lagerung und Kennzeichnung

Lagerung und Kennzeichnung radioaktiver Stoffe nach StrlSchV₂₀₁₈:

- StrlSchV₂₀₁₈ § 89 (1): ... dass radioaktive Stoffe, deren Aktivität die Freigrenze ... überschreitet, gegen Abhandenkommen, missbräuchliche Verwendung und den Zugriff durch unbefugte Personen **gesichert** werden ...

Dieser Punkt muss Gegenstand der Strahlenschutzanweisung bzw. der Betriebsanweisung sein.

Beachte: Nur Präparate dürfen im Schutzbehälter gelagert werden.

Beachte: Lagerung im Schutzbehälter soll gegen Abhandenkommen etc. schützen, nicht „gegen die Strahlung“.

- StrlSchV₂₀₁₈ § 92 (3): Schutzbehälter muss **gekennzeichnet** sein (u. a. Schrank mit Bild aus Anlage 10, Liste der Radionuklide mit Aktivität am Abfüllungstag, Name des SSV und SSB).



V.2.10 Strahlenschutzbeauftragter: Buchführung und Mitteilung

- Nach StrlSchV₂₀₁₈ § 85 (1) hat der SSV dafür zu sorgen (damit muss der SSB es machen), dass der zuständigen Behörde
 - 1. die Gewinnung, die Erzeugung, der Erwerb, die Abgabe oder den sonstigen Verbleib von radioaktiven Stoffen innerhalb eines Monats mitgeteilt wird,
 - 2. über die Gewinnung, die Erzeugung, der Erwerb, die Abgabe oder den sonstigen Verbleib von radioaktiven Stoffen Buch geführt wird,
(Pflicht zur Buchführung)
 - 3. der Bestand an radioaktiven Stoffen mit $T_{1/2} > 100$ d am Ende eines Kalenderjahres bis zum 31. Januar des folgenden Jahres mitgeteilt wird.
(Pflicht zur Bestandsmeldung)
 - Satz 1 gilt nicht für Tätigkeiten, die nach § 5 Absatz 1 keiner Genehmigung bedürfen.
- Nach StrlSchV₂₀₁₈ § 85 (3) müssen Unterlagen **30 Jahre** aufbewahrt werden.

→ SSB macht Buchführung und sendet jedes Jahr im Januar eine Bestandsmeldung

V.2.10 Strahlenschutzbeauftragter: Bestandsmitteilung

Beispiel einer Bestandsmitteilung nach StrlSchV₂₀₁₈ § 85 (1):

An das
RP Stuttgart
Referat 54.4 Strahlenschutz
Postfach 800709
70507 Stuttgart

über die Schulleitung

Esslingen, der 1.1.2025

Jährliche Bestandsmitteilung nach StrlSchV₂₀₁₈ § 85 (1)

- Der nachfolgend aufgeführte Bestand an radioaktiven Stoffen war an unserer Schule am 31.12.2024 vorhanden.
- Nachfolgende radioaktive Stoffe sind von unserer Schule am ???.?.2024 erworben worden.
- Nachfolgende radioaktive Stoffe sind von unserer Schule am ???.?.2024 abgegeben worden.

Nr.	Nuklid	A [kBq]	FG [kBq]	BAZ	Zugang
1	²⁴¹ Am	340	10	NW 76/76	31.2.1999
2	...	...	...	...	...

V.2.10 Strahlenschutzbeauftragter: Buchführung

Beispiel einer Buchführung nach StrlSchV₂₀₁₈ § 85 (1):

Nr.	Nuklid	A [kBq]	FG [kBq]	BAZ	Dicht.-prüf.	Zugang	Abgang
1	²⁴¹ Am	340	10	NW 76/76	31.2.2009	31.2.1999	...
2	...	...	...	...	...	...	...

Des Weiteren ...

Datum	Überprüfung durch SSB	Unterschrift
1.1.2024	<input checked="" type="checkbox"/> Überprüft auf Vollständigkeit <input checked="" type="checkbox"/> Überprüft auf Unversehrtheit <input checked="" type="checkbox"/> Bestandsmeldung an RP <input checked="" type="checkbox"/> Unterweisung der Fachkollegen/-kolleginnen	<i>A. Zweistein</i>
1.1.2025	<input type="checkbox"/> Überprüft auf Vollständigkeit <input type="checkbox"/> Überprüft auf Unversehrtheit <input type="checkbox"/> Bestandsmeldung an RP <input type="checkbox"/> Unterweisung der Fachkollegen/-kolleginnen	

V.2.10 Strahlenschutzbeauftragter: Unterweisung

Neben Unterweisungen zu elektrischen, optischen etc. Gefährdungen müssen Unterweisungen gegenüber Gefährdungen durch ionisierende Strahlen durchgeführt werden.

- Nach StrlSchV₂₀₁₈ § 63 (1) hat der SSV dafür zu sorgen (damit muss der SSB es machen), dass Personen vor Aufnahme der Tätigkeit **unterwiesen** werden, die im Rahmen einer **anzeigebedürftigen** ... Tätigkeit tätig werden. Die Unterweisung muss jährlich wiederholt werden.

Damit Schulröntgenröhre. Nach RiSU 2013 bzw. GUV-SI 8070 sind darüber hinaus Einweisungen für BAZ-Vorrichtungen etc. notwendig.

Die Unterweisung hat Informationen zu umfassen über

- Strahlenschutzgrundsätze, Vorschriften des Strahlenschutzes
- (2) Unterweisung umfasst Arbeitsmethoden, mögliche Gefahren, anzuwendende Schutzmaßnahmen, Strahlenschutzanweisung. Unterweisung kann Bestandteil sonstiger Unterweisungen sein (z. B. nach Arbeitsschutzrecht).
- (3) Form und Sprache der Unterweisung muss verständlich sein, Unterweisung muss mündlich erfolgen.
- (5) Die Unterweisung ist schriftlich festzuhalten und von den unterwiesenen Personen zu unterzeichnen.

V.2.11 Experimente in der Schule

Nach StrlSchG₂₀₁₇, StrlSchV₂₀₁₈, GUV-SI 8070 und RiSU 2013 gilt

● Experimente durch Lehrer

- Lehrer können schulübliche Experimente mit radioaktiven Stoffen (offen oder umschlossenen) unterhalb der Freigrenze oder mit BAZ-Vorrichtungen (nach dem 1.8.2001 zugelassen) auch ohne Bestellung zum SSB durchführen.
Beachte: Einweisung durch SSB ist erforderlich.
- Experimente mit BAZ-Vorrichtungen, die vor 1.8.2001 zugelassen wurden, nur durch den SSB.
Insb. Experimente mit offenen Isotopengeneratoren (Cs-Ba bzw. Thoron) nur durch SSB.

● Schülerexperimente

(RiSU 8.8: **Unterweisung durch SSB**)

- Mit offenen radioaktiven Stoffen unterhalb der FG, falls SSB Aufsicht unmittelbar führt.
- Mit umschlossenen rad. Stoffen unterhalb der FG, falls in Strahlenschutz unterwiesene Lehrkraft unmittelbar Aufsicht führt (siehe RiSU 8.10.2).
- Mitwirkung bei umschlossenen BAZ-Vorrichtungen (zugelassen vor 1.8.2001) nur unter unmittelbarer Aufsicht eines SSB (siehe RiSU 8.10.3).

V.2.11 Experimente in der Schule

Entscheidend ist aber: RiSU 8.8 Unterweisung, Fassung 2013:

*Jede Lehrkraft sowie Schülerinnen und Schüler, die bei Experimenten mitwirken, müssen vor dem tatsächlichen Umgang mit radioaktiven Stoffen über die Arbeitsmethoden, die möglichen Gefahren und die anzuwendenden Sicherheits- und Schutzmaßnahmen unterwiesen werden (in Anlehnung an § 38 StrlSchV). Die Unterweisung bezieht sich auch auf die für die jeweilige Tätigkeit wesentlichen Inhalte der Strahlenschutzverordnung, ggf. der Genehmigung und der Strahlenschutzanweisung. Inhalte der Bauartzulassungen und Betriebsanleitungen sind ebenfalls Teil der Unterweisung. Die Unterweisung wird jährlich wiederholt, sofern die Lehrkraft, Schülerinnen und Schüler im Rahmen dieser Strahlenschutzanweisung weiterhin tätig ist. **Für die Unterweisung ist der Strahlenschutzbeauftragte zuständig.** Über den Inhalt und den Zeitpunkt der Unterweisungen sind Aufzeichnungen zu führen und von den unterwiesenen Lehrkräften, **Schülerinnen und Schüler zu unterzeichnen.** Die Aufzeichnungen sind fünf Jahre aufzubewahren.*

Im Unterrichtsalltag ist damit eine Mitwirkung der SuS bei Experimenten unmöglich.

V.3 Röntgeneinrichtungen und Störstrahler

V.3.1 Physikalische Grundlagen

V.3.2 Anwendungsbereich und Begriffe

V.3.3 Störstrahler

V.3.4 Schulröntgeneinrichtungen

V.3.5 Experimente in der Schule

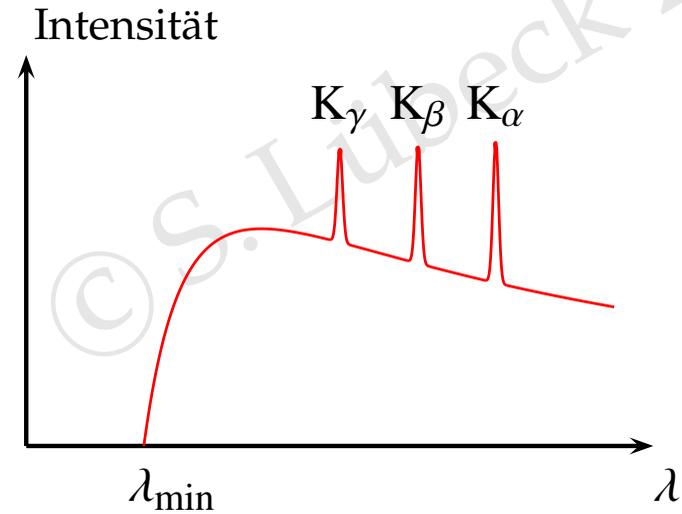
© S. Lübeck 2024

© S. Lübeck 2024

V.3.1 Physikalische Grundlagen Röntgenstrahlung



Bremsspektrum mit charakteristischer Strahlung (K_α, K_β, \dots)



Duane-Hunt:
$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}$$

Kramers:
$$I(\lambda) = I_0 Z \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\min}} - 1 \right) \frac{1}{\lambda^2}$$

Typ. Anodenmaterial: Fe, Cu, Mo, Ag, W, Au;

V.3.2 Anwendungsbereich und Begriffe

● StrlSchG₂₀₁₇ § 5: Sonstige Begriffsbestimmungen

● (30) Röntgeneinrichtung:

Zweck ist die Erzeugung von Röntgenstrahlung.
(nicht an allgemeinbildenden Schulen)

● Schulröntgeneinrichtung:

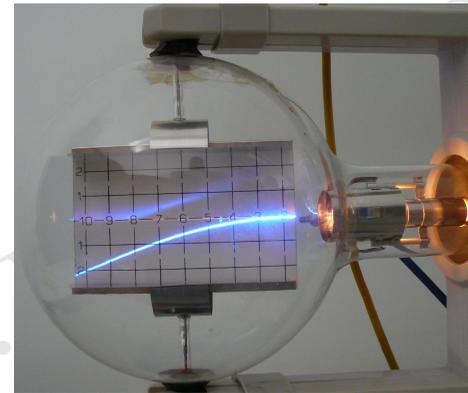
Schulröntgeneinrichtung ist nach StrlSchV₂₀₁₈ § 22 eine Röntgeneinrichtung mit besonderen Schutzvorrichtungen (sogenanntes Vollschutzgerät)

● (37) Störstrahler

$U > 5 \text{ kV}$, Zweck ist nicht die Erzeugung von Röntgenstrahlung, durch Beschleunigung von Elektronen wird Röntgenstrahlung aber erzeugt.
(daher Elektronenröhren nur mit $U \leq 5 \text{ kV}$ betreiben)

V.3.3 Störstrahler

- Beispiele von Störstrahlern in der Schule:
 - Elektronenablenkungsröhren
 - Elektronenbeugungsrohre
 - Fernsehgeräte mit Braunscher Röhre
 - Schattenkreuzröhren
 - Gasentladungsröhren



- Rechtlich:

Nach StrlSchG₂₀₁₇ § 5 (37) keine juristischen Einschränkungen solange die Beschleunigungsspannung 5 kV nicht überschreitet.

V.3.4 Schulröntgeneinrichtungen

Schulröntgeneinrichtungen haben BAZ, sind genehmigungsfrei aber anzeigebedürftig.

- StrlSchV₂₀₁₈ § 82 (1): An allgemeinbildenden Schulen dürfen nur Schulröntgeneinrichtungen betrieben werden.

Nach StrlSchG₂₀₁₇ § 45 (1) ist damit eine BAZ verbunden. Technische Anforderungen sind in StrlSchV₂₀₁₈ § 22 beschrieben.

- Nach StrlSchV₂₀₁₈ § 5 (1) Anlage 3 Teil B ist die Verwendung einer Schulröntgeneinrichtung nach StrlSchG₂₀₁₇ § 45 (1) genehmigungsfrei.

- StrlSchG₂₀₁₇ § 19 (1) [siehe auch StrlSchG₂₀₁₇ § 48]: Wer beabsichtigt, ... eine Schulröntgeneinrichtung zu betreiben, hat dies der zuständigen Behörde spätestens **4 Wochen** vor dem beabsichtigten Beginn schriftlich anzuzeigen Nach Ablauf dieser Frist darf der Anzeigende die Röntgeneinrichtung betreiben, es sei denn, die zuständige Behörde hat das ... untersagt.

Nach StrlSchG₂₀₁₇ § 19 (4) ist der Anzeige der Zulassungsschein beizufügen.

- Bestandsschutz für Altgeräte nach StrlSchG₂₀₁₇ § 208:



V.3.4 Schulröntgeneinrichtungen: Beispiel einer Anzeige

Beispiel einer Anzeige einer Schulröntgeneinrichtung nach StrlSchG₂₀₁₇ § 19 (1):



Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung
(Gymnasien) Esslingen

Staatl. Seminar für Didaktik und Lehrerbildung (Gymnasien),
Flandernstr. 103, 73732 Esslingen

An das
Regierungspräsidium Stuttgart
Referat 54.4
Abteilung Strahlenschutz
Ruppmannstr. 21

70565 Stuttgart

Telefon 0711/397 4

und 0711/397 4

Telefax 0711/397 4

Email: poststelle@Seminar-GYM-Es.kv.bwl.de

Esslingen, den 09.07.2009

Anzeige der Inbetriebnahme einer Röntgeneinrichtung gemäß § 4 (3) RöV

Sehr geehrte Damen und Herren,

als Strahlenschutzverantwortliche des Staatlichen Seminars für Didaktik und Lehrerbildung (Gymnasien) Esslingen zeige ich Ihnen die geplante Inbetriebnahme des Röntgengeräts und der Röntgenröhren der Firma Leybold (Katalog-Nr. 554 800 und 554 861 ff) mit Bauartzulassung BfS 05/07 V/Sch RöV an.

Vier Wochen nach der Anzeige kann die Schulröntgeneinrichtung in Betrieb genommen werden.

Beachte StrlSchG₂₀₁₇ § 200 (2): Eine Anzeige des Betriebs ... einer Schulröntgeneinrichtung, die vor dem 31.12.2018 erfolgt ist, gilt als Anzeige nach StrlSchG₂₀₁₇ § 19 fort.

V.3.4 Schulröntgeneinrichtungen: Pflichten des Inhabers

Wartung, Prüfung und Stilllegung bei Widerruf, Beendigung des Betriebs:

- StrlSchV₂₀₁₈ § 25 (1): Abdruck des Zulassungsscheins und Bedienungsanleitung bei der Vorrichtung bereithalten.
- StrlSchV₂₀₁₈ § 25 (2): Keine Änderungen an BAZ dürfen vorgenommen werden.
- StrlSchV₂₀₁₈ § 25 (3): Unverzüglich Betrieb der BAZ-Vorrichtung einstellen,
 1. falls der **Widerruf** der BAZ ... bekannt gemacht wurde.
 2. falls die Vorrichtung nicht mehr den Angaben des Zulassungsscheins entspricht.

StrlSchV₂₀₁₈ § 26: Bekanntmachung des Widerrufs erfolgt im Bundesanzeiger.

- StrlSchV₂₀₁₈ § 88 (4): Der SSV hat dafür zu sorgen, dass
 1. Röntgeneinrichtungen mindestens alle **5 Jahren** durch einen ... Sachverständigen insbesondere auf sicherheitstechnische Funktion, Sicherheit und Strahlenschutz geprüft werden und
 2. der Prüfbericht der zuständigen Behörde auf Verlangen vorgelegt wird.

(Sachverständiger ist TÜV).

- StrlSchG₂₀₁₇ § 21: Beendigung des angezeigten Betriebs einer Röntgeneinrichtung muss der zuständigen Behörde unverzüglich mitgeteilt werden.



V.3.4 Schulröntgeneinrichtungen: Beispiel eines Widerrufs

Bekanntgabe im **Bundesanzeiger** (hier Nr. 141 Seite 3330, 22. Sep. 2009):

Bundesamt für Strahlenschutz

Bekanntmachung

gemäß § 11 der Röntgenverordnung

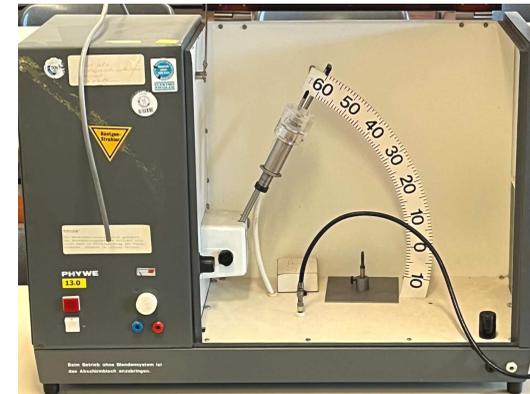
Einstellung des Betriebs der Schulröntgeneinrichtungen mit den Bauartzeichen Nds. 38 und Nds. 39

Vom 27. August 2009

Auf Grund des § 8 Absatz 5 und des § 11 der Röntgenverordnung (RöV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I S. 604) sowie § 41 Absatz 3 Satz 1 und § 41 Absatz 4 des Verwaltungsverfahrensgesetzes (VwVfG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 2003 (BGBl. I S. 102), das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 17. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2586) geändert worden ist, macht das Bundesamt für Strahlenschutz bekannt:

1. Beim Betrieb von Schulröntgeneinrichtungen 09052.93 der Phywe Systeme GmbH & Co. KG (ehemals Phywe AG), 37070 Göttingen, mit dem Bauartzeichen Nds. 38, ist ein ausreichender Schutz vor Strahlenschäden nicht gewährleistet. Diese Vorrichtungen dürfen nicht weiter betrieben werden. Gemäß § 12 Absatz 3 Nr. 1 RöV ist der Betrieb unverzüglich einzustellen.

Aus Gründen des Strahlenschutzes ist der Betrieb von Schulröntgeneinrichtungen 09052.93 der PHYWE Systeme GmbH & Co. KG (ehemals Phywe AG), 37070 Göttingen, mit dem Bauartzeichen Nds. 39 spätestens bis zum 1. Juli 2010 gemäß § 12 Absatz 3 Nr. 1 RöV einzustellen.



Stilllegung einer Schulröntgeneinrichtung: z. B. Netzkabel durchschneiden, Röntgenröhre herausnehmen und Gehäuse wie Elektroschrott entsorgen.

V.3.5 Experimente in der Schule

Nach StrlSchV₂₀₁₈ § 82 (1,2) und GUV-SI 8070

- Experimente durch Lehrer
 - Alle Lehrer können bei Einhaltung der 5 kV Grenze Elektronenröhren, Gasentladungsröhren (und andere „Störstrahler“) verwenden.
Beachte: Unterweisung durch SSB ist erforderlich. Unterweisung ist jährlich zu wiederholen und schriftlich festzuhalten.
 - Alle Lehrer können Schulröntgeneinrichtungen in Demonstrationsexperimenten verwenden.
Beachte: Unterweisung durch SSB ist nach StrlSchV₂₀₁₈ § 63 erforderlich, ist jährlich zu wiederholen und schriftlich festzuhalten.
- Mitwirkung von Schülern (beachte: nicht Schülerexperimente)
 - StrlSchV₂₀₁₈ §82 (2) Schulröntgeneinrichtungen dürfen wenn Schüler mitwirken nur in Anwesenheit und unter Aufsicht einer Lehrkraft mit Fachkunde betrieben werden.

VI. Anhang

VI.1 Literatur

VI.2 Nützliche Internetadressen

VI.3 Adressen von Behörden

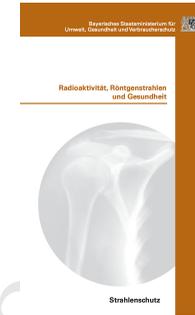
VI.4 Adressen von Sachverständigen

VI.5 Adressen — Entsorgung von radioaktiven Stoffen

VI.6 Zurückgezogene Bauartzulassungen

VI.1 Literatur

-
- Radioaktivität, Röntgenstrahlen und Gesundheit, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, (als Pdf-Datei abrufbar, siehe www.zukunftsmministerium.bayern.de)
- Karlsruher Nuklidkarte (zur Zeit 11. Auflage 2022)
- Strahlenschutzgesetz 2017, Strahlenschutzverordnung 2018
- DIN 25426 (Dichtheitsprüfung)
- Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht („RiSU“, Fassung 21.09.2023)
Beachte: Die RiSU ist nicht in allen Bundesländern rechtsverbindlich.
- Vorschriften der Gesetzlichen Unfallversicherungen (insb. GUV 8070)



VI.2 Nützliche Internetadressen

• www.gesetze-im-internet.de

Service Seite des Bundesministerium der Justiz
PDF-Dateien der StrlSchV und RöV.

.

© S. Lübeck 2024

© S. Lübeck 2024

VI.2 Nützliche Internetadressen

Informationen auf den Internetseiten der Fachschaft Physik des

Seminars für Ausbildung und Fortbildung der Lehrkräfte Esslingen (Gymnasium)

unter

<https://gym-es.seminare-bw.de/,Lde/Startseite/Ausbildung/Materialien+zum+Download>

unter anderem

- Betriebsanweisungen nach ArbSchG für das Arbeiten mit
 - radioaktiven Präparaten unterhalb der Freigrenze
 - bauartzugelassenen radioaktiven Präparaten
 - Schulröntgeneinrichtungen



- Gefährdungsbeurteilungen zu zahlreichen Experimenten



- Folien zu Strahlenschutzkursen



VI.6 Zurückgezogene Bauartzulassungen

- Strahlerstifte zur Nebelkammer der Firma Neva bzw. Phywe (Widerruf 1987)
 - BAZ-Nr.: **BW/8/65/II**, mit 1,3 μCi
 - BAZ-Nr.: **BW/9/65/II**, mit 0,1 μCi (3,7 kBq)

Beide Zulassungen wurden widerrufen, Geräte mussten stillgelegt werden. (Strahlerplättchen löste sich aus Halterung).

- Schulröntgengeräte der Firma Leybold
 - BAZ-Nr.: **NW 54/75**, Katalog-Nummer 55461 (Widerruf 1989)
Zulassung ist widerrufen. Gerät konnte aber nach Umbau durch die Firma Leybold unter der neuen BAZ-Nummer NW557/89Rö erneut zugelassen werden.
 - BAZ-Nr.: **NW 10/67**, Katalog-Nummer 54470 (Widerruf 1991)
BAZ wurde widerrufen und nicht erneuert. Ein Umbau und eine Neuzulassung war nicht möglich.

- Schulröntgengeräte der Firma Phywe (Widerruf 2009)
 - BAZ-Nr.: **Nds. 38**, Katalog-Nummer 09052.93
 - BAZ-Nr.: **Nds. 39**, Katalog-Nummer 09052.93

Beide Zulassungen wurden widerrufen. Geräte mussten stillgelegt werden.