

Wie funktionieren Dosimeter?

05.11.2022

SVMTR / ASTRM @ USZ

Miha Furlan

Inhalt

► Technologien

- Filmdosimetrie
- Thermoluminescence TLD
- Optically stimulated luminescence OSL
- Direct Ion Storage DIS

► Messtechnik und Messunsicherheiten

- Dosis, Energie und Winkelbestimmung
- Linearität, Messbereich, Nachweisgrenze
- äussere Unsicherheitsfaktoren

Personendosimetrie für externe Strahlenexposition

▶ Passive Dosimeter

- Akkumulation der Dosis während einer Überwachungsperiode
- ALARA, Optimierung, Sensibilisierung, Langzeitschäden

▶ Elektronische (aktive) Dosimeter

- Echtzeitmessung im Hochdosisbereich
- Alarmfunktion, Live-Dosimetrie...



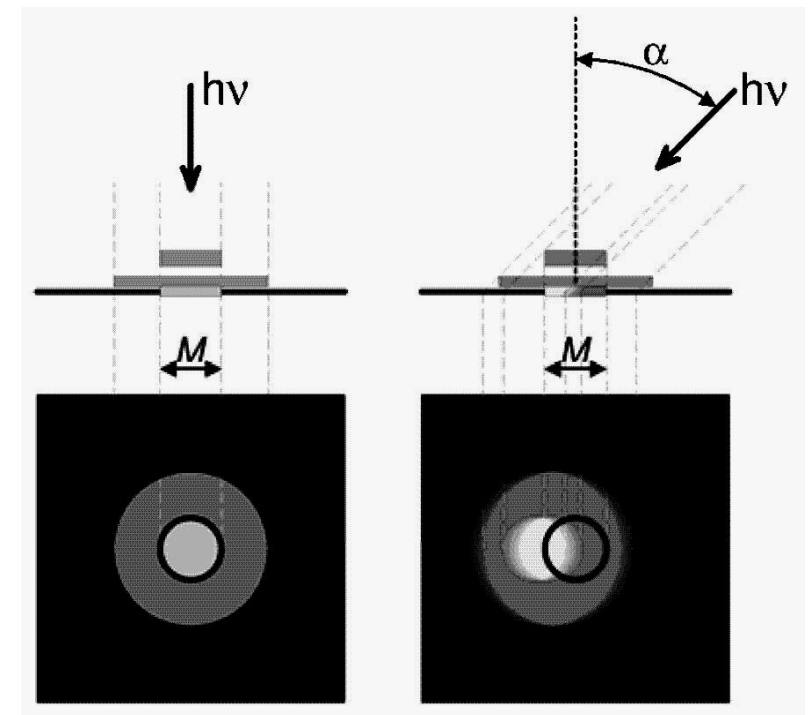
- Ganzkörperdosis
- Extremitätendosis
- Augenlinsendosis



Filmdosimetrie

► Schwärzung eines photographischen Films

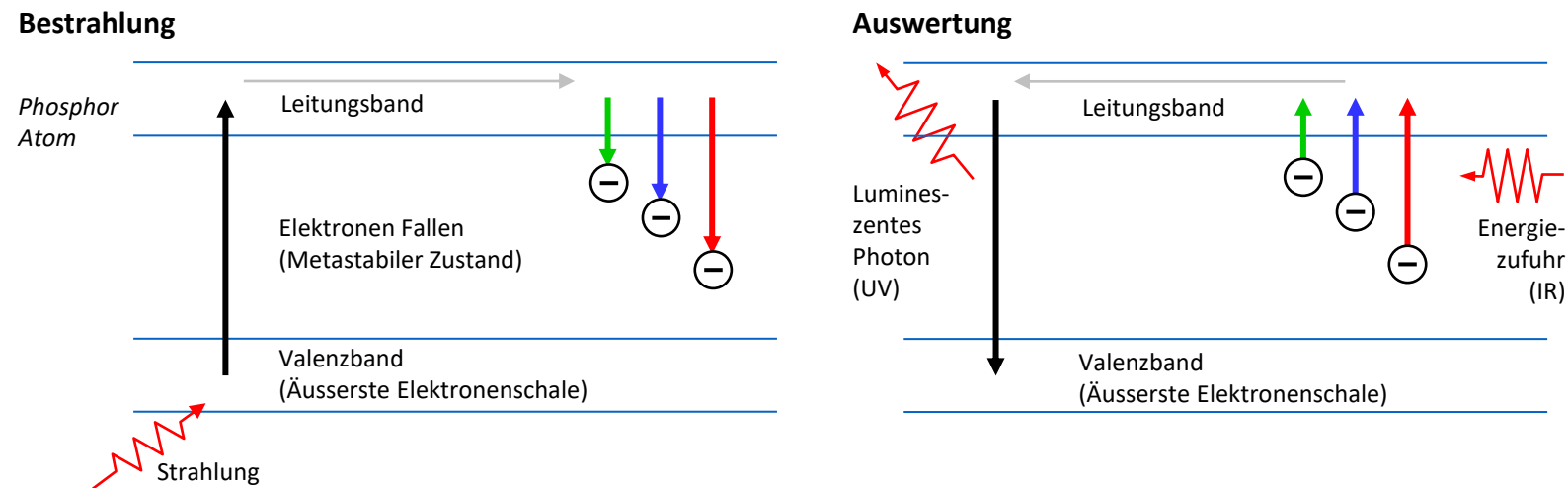
- Vorteile: Filme (waren) günstig, lange Lagerung nach Entwicklung möglich.
- Nachteile: chemische Entwicklung, schlechte Empfindlichkeit, der Filmmarkt ist eingebrochen.
- Interessante Anwendung: Schattenbildung mit Filtern.



Lumineszenz

► Prinzip

- Bestrahlung: angeregte Elektronen gehen von Valenzband über Leitungsband in metastabilen Zustand (traps = Fallen).
- Auswertung: durch äussere Anregung gehen metastabile Elektronen über Leitungsband in Valenzband zurück.



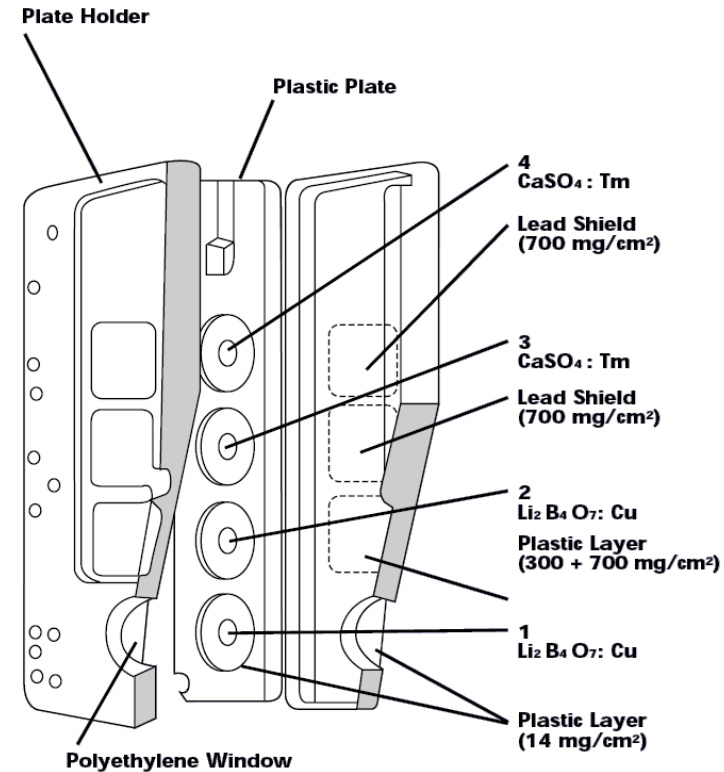
Thermolumineszenz TLD

► TLD Aufbau

- mehrere Detektorelemente, z.B. $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, CaSO_4 , LiF , CaD_2
- Filter im Gehäuse, z.B. Blei, Zinn, Alu, PTFE, Membran

► Auswertung

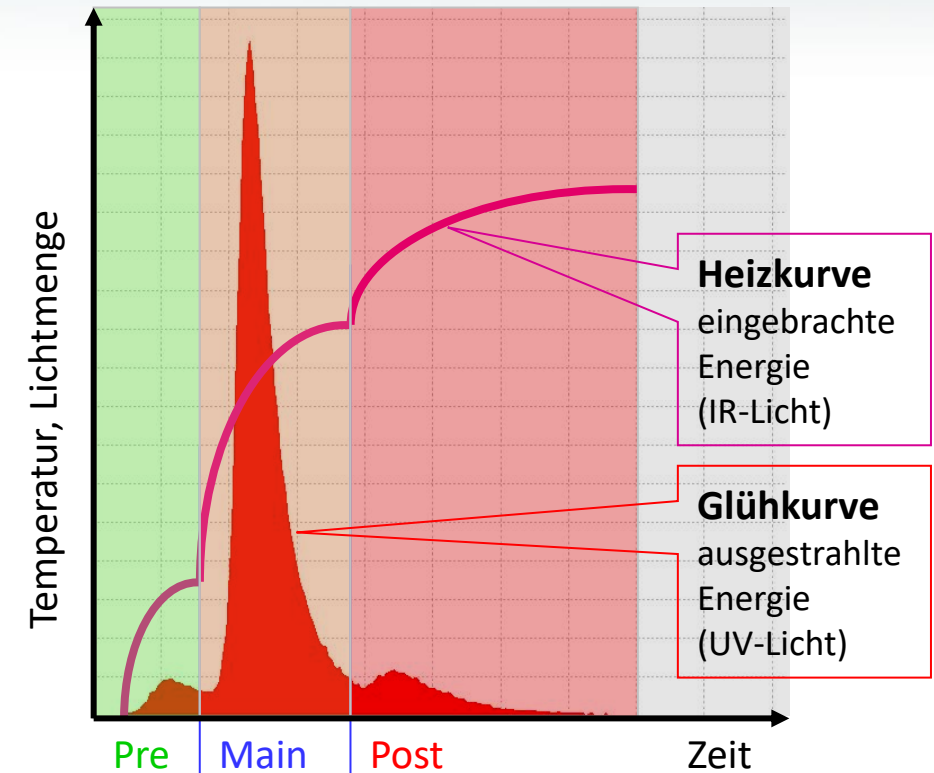
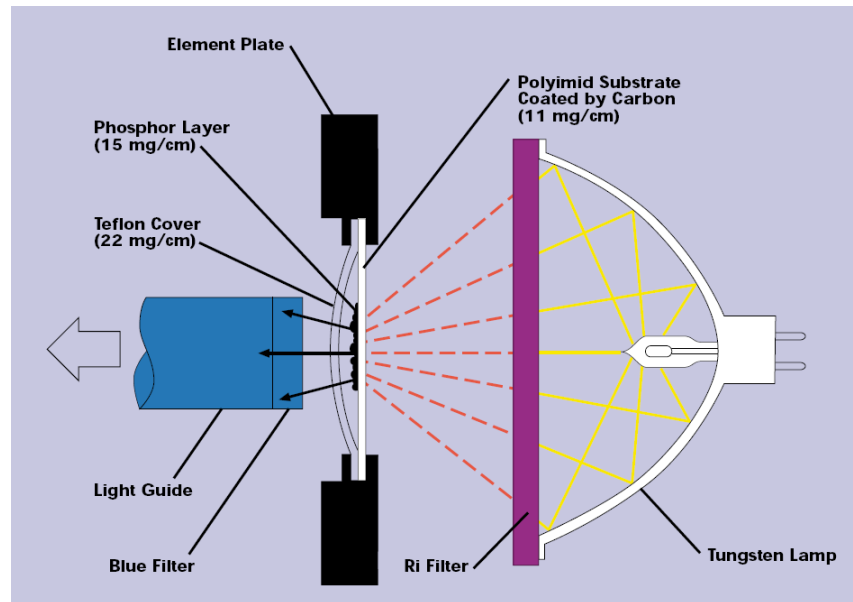
- Verhältnisse von Element-Filter-Kombinationen



Auswertung TLD

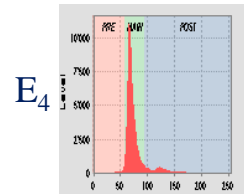
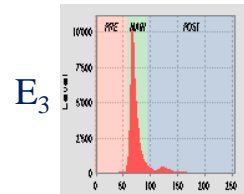
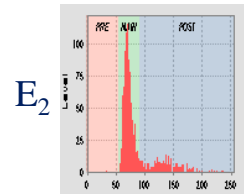
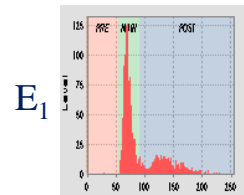
► Prinzip

- Thermische Stimulation auf typisch 300-400°C mit
 - Infrarot-Blitz
 - Gasheizung



**für Dosisbestimmung
relevantes Messintervall**
Integral unter Glühkurve ist
proportional zum Dosiswert

Algorithmus zur Bestimmung von Energie und Einstrahlwinkel



Element-
werte

Elektron (β)

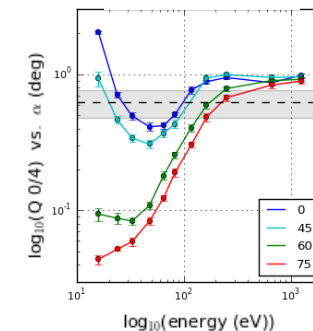
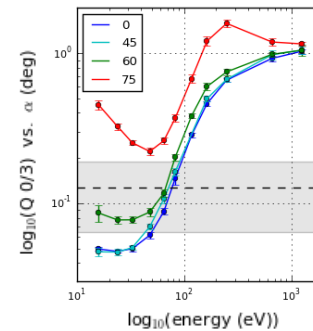
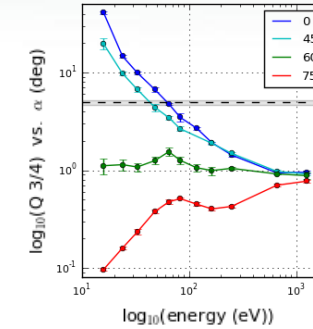
Photon (γ)

Element-
quotienten

$$E_3/E_4$$

$$E_1/E_3$$

$$E_1/E_4$$

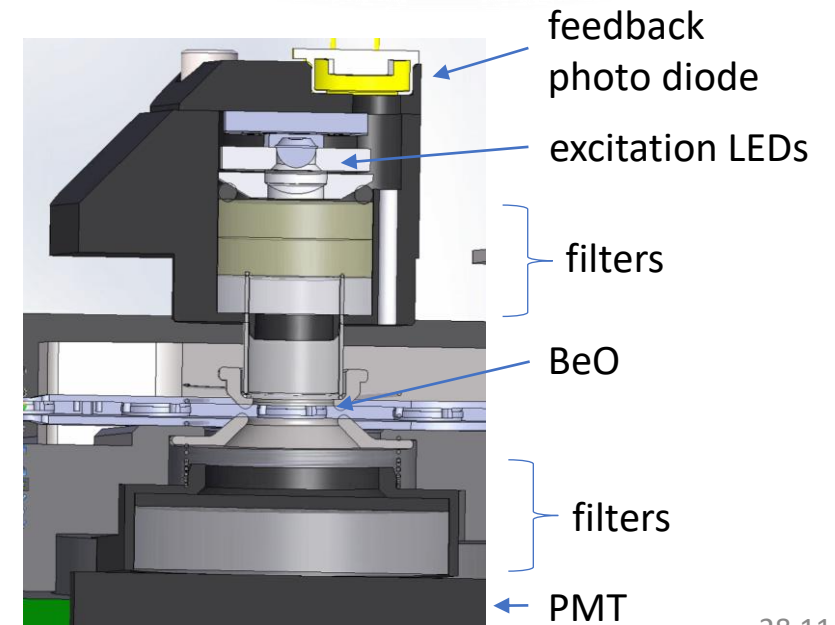
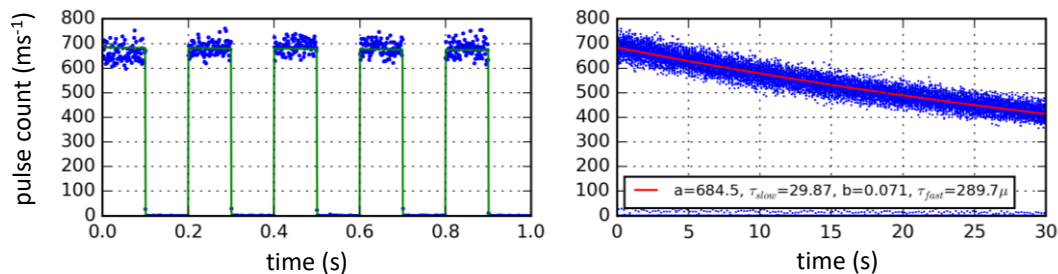


mittlere Energie
Winkel
Korrekturfaktor

Optically stimulated luminescence OSL

▶ OSL Dosimeterprinzip

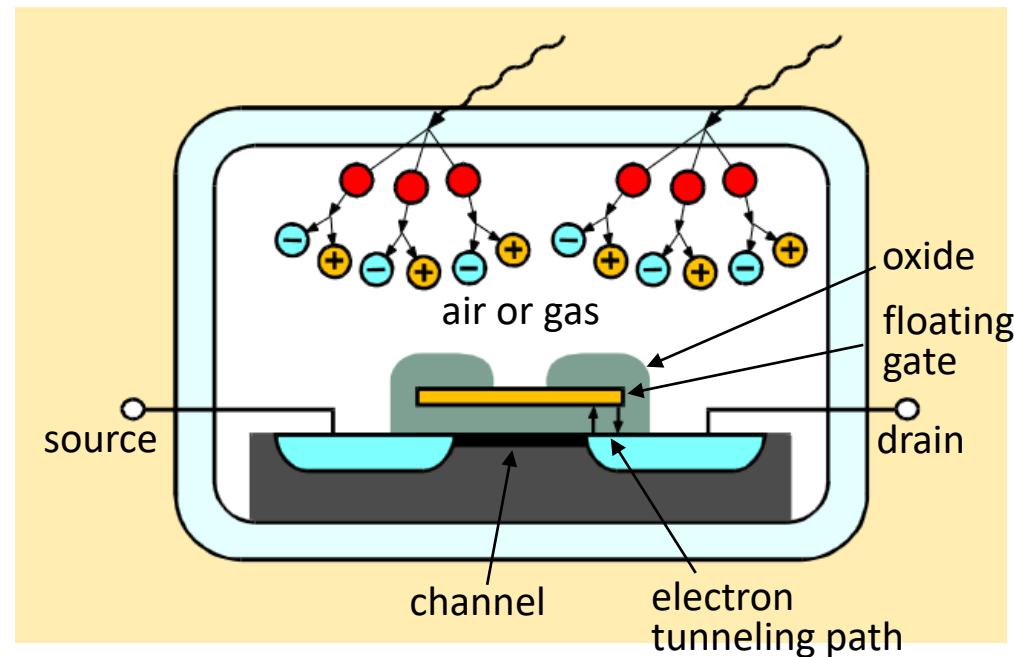
- Ionisierende Strahlung regt Valenzelektronen an, die in der Kristallstruktur gefangen bleiben (metastabile Zustände).
- OSL Materialien: Al_2O_3 , BeO
- Die Anregung zum Auslesen erfolgt mittels genau definierten Lichts (Intensität, Dauer, Wellenlänge).
 - nur ein Teil der angeregten Zustände wird zurückgesetzt
 - gepulste und wiederholte Messung möglich



Messmethoden : Direct Ion Storage DIS

► Prinzip einer MOSFET memory cell

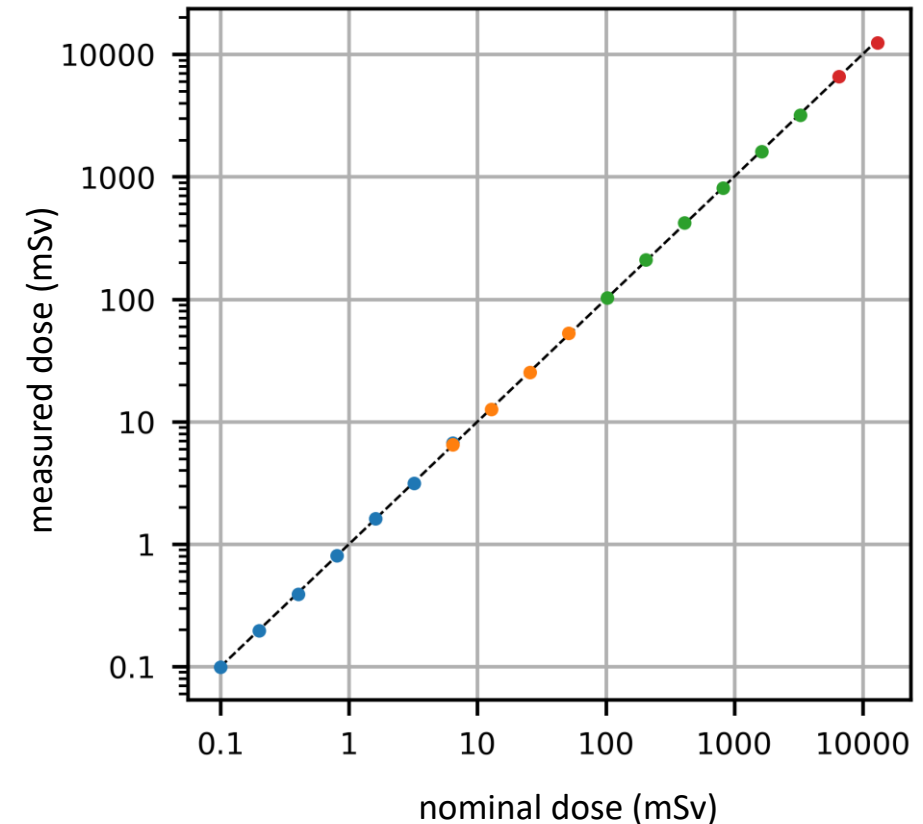
- Anstelle eines Control Gates werden durch ionisierende Strahlung Elektron-Ion Paare im Gas erzeugt.
- Ein elektrisches Feld um das Floating Gate führt zu einem effizienten Transfer der Ladungsträger.



Instrumentelle Unsicherheiten: Linearität

► Linearität über Dosisbereich

- Das OSL Dosimetriesystem “Dosimeter + Reader” ist linear über erstaunliche 7 Größenordnungen bis 10 Sv.
- Oberhalb von 10 Sv zeigen die Dosimeter eine Sättigung.
- Die Reader müssen in mehreren Bereichen umgeschaltet werden, um mit der enormen Signalspanne der Dosimeter fertig zu werden (farbige Punkte im Plot).



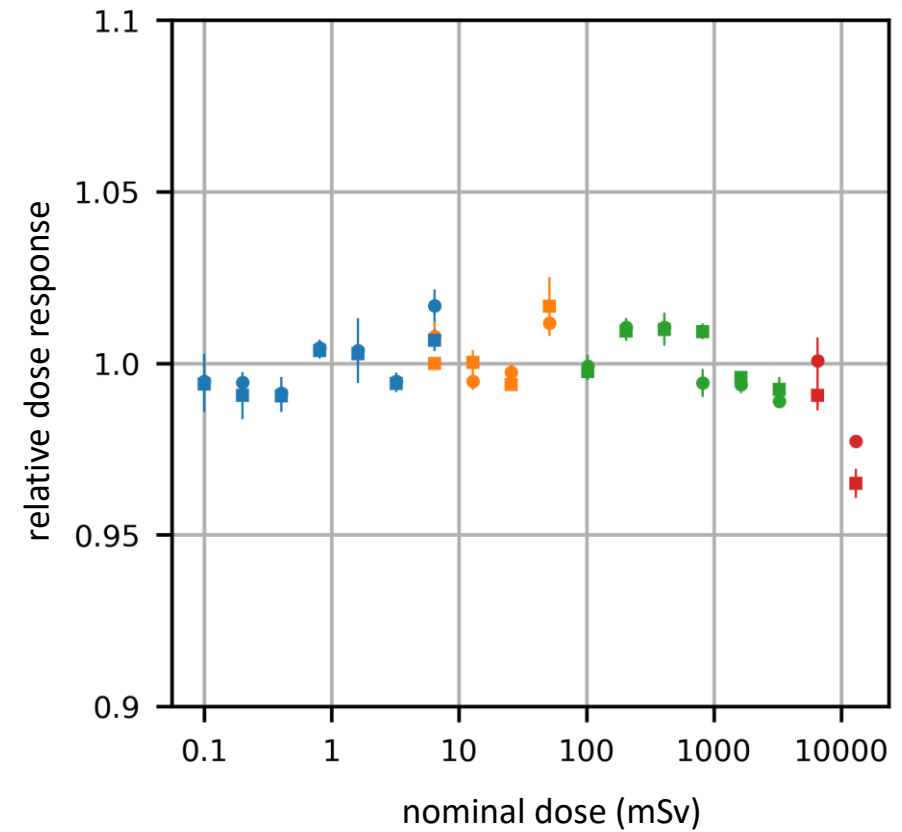
Instrumentelle Unsicherheiten : Variation und Reproduzierbarkeit

► Variationskoeffizient

- Der Variationskoeffizient ist $< 5\%$ über den gesamten Dosismessbereich > 1 mSv (Streuung der relativen Dosisresponse).

► Reproduzierbarkeit

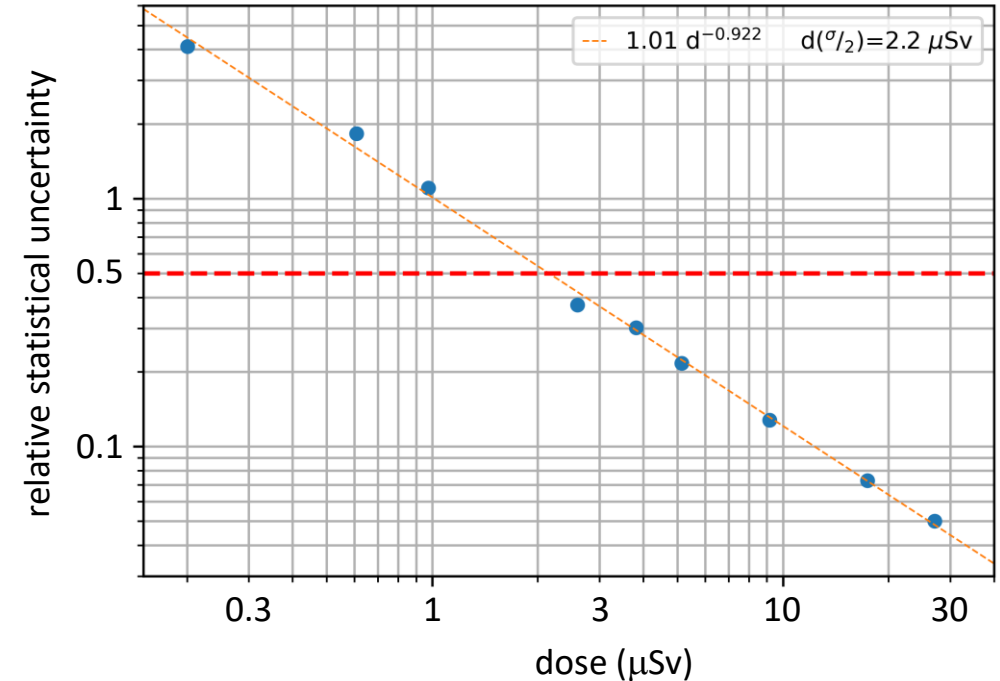
- Die Reproduzierbarkeit (wiederholte Messung) liegt bei $< 1\%$ (entspricht den Fehlerbalken im Plot).



Instrumentelle Unsicherheiten : untere Nachweisgrenze

► Untere Nachweisgrenze

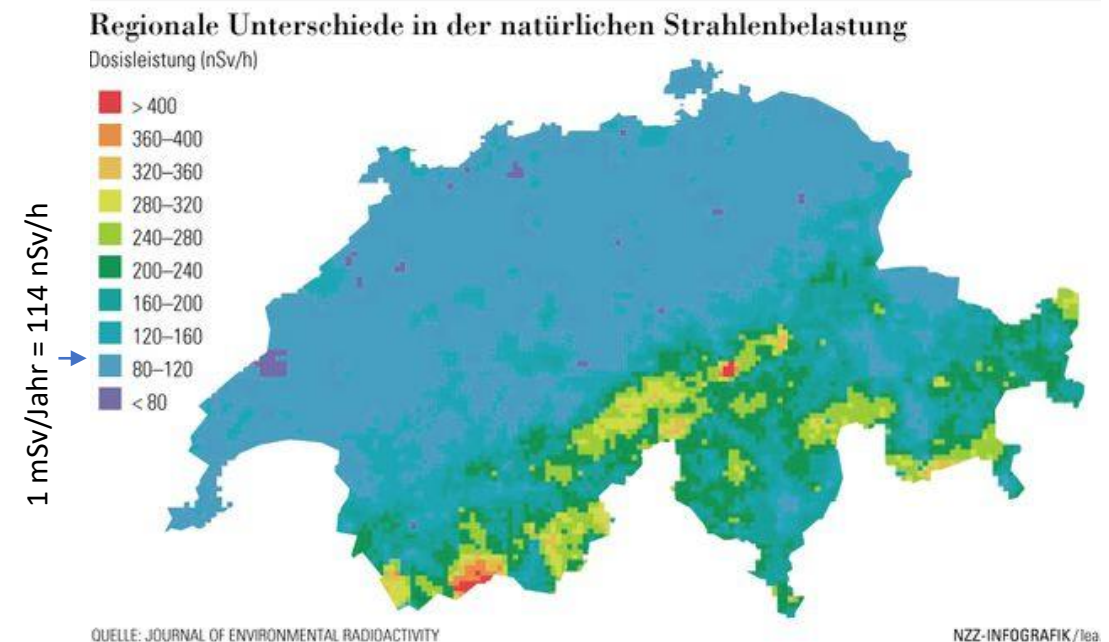
- Messung von Niedrigdosen durch Exposition in konstanter Untergrundstrahlung.
- Die untere Nachweisgrenze liegt (grob) beim Dosiswert, der eine statistische Messunsicherheit von 50% zeigt (Entscheidungsschwelle).
- Im vorliegenden System liegt die untere Nachweisgrenze bei $2.2 \mu\text{Sv}$.



Unsicherheiten bei Personendosimetrie : natürliche Untergrundstrahlung

► Natürliche Untergrundstrahlung

- 1 mSv/Jahr aus kosmischer und terrestrischer (äusserer) Strahlung und aus Einnahme (innere Strahlung).
- Aus unseren Daten in der Schweiz leiten wir typisch $2 \pm 0.4 \mu\text{Sv}/\text{Tag}$ ab.
- Für eine 1-monatigen Überwachungsperiode (effektive Exposition von 60 Tagen) ergibt sich eine Nachweisgrenze (2σ confidence level) von $48 \mu\text{Sv}$. Das erlaubt gerade noch eine Rundung auf 0.1 mSv.



Zusammenfassung

▶ Personendosimetrie

- Passive Dosimeter eignen sich zur periodischen Überwachung von strahlenexponiertem Personal
 - messtechnisch hochstehend
 - robust und sehr einfach anwendbar
- Hauptunsicherheiten bei der Bestimmung einer Personendosis :
 - Untergrundstrahlung
 - Tragweise, Schutzmittel, versehentliche Bestrahlung...

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit



dosilab