



Strahlenschutzaspekte bei nuklearmedizinischer Therapie

L. Berschneider, Dr. D. Schmidt

Universitätsklinikum Regensburg, Abteilung für Nuklearmedizin

01.07.2022

STATISTIKEN BFS

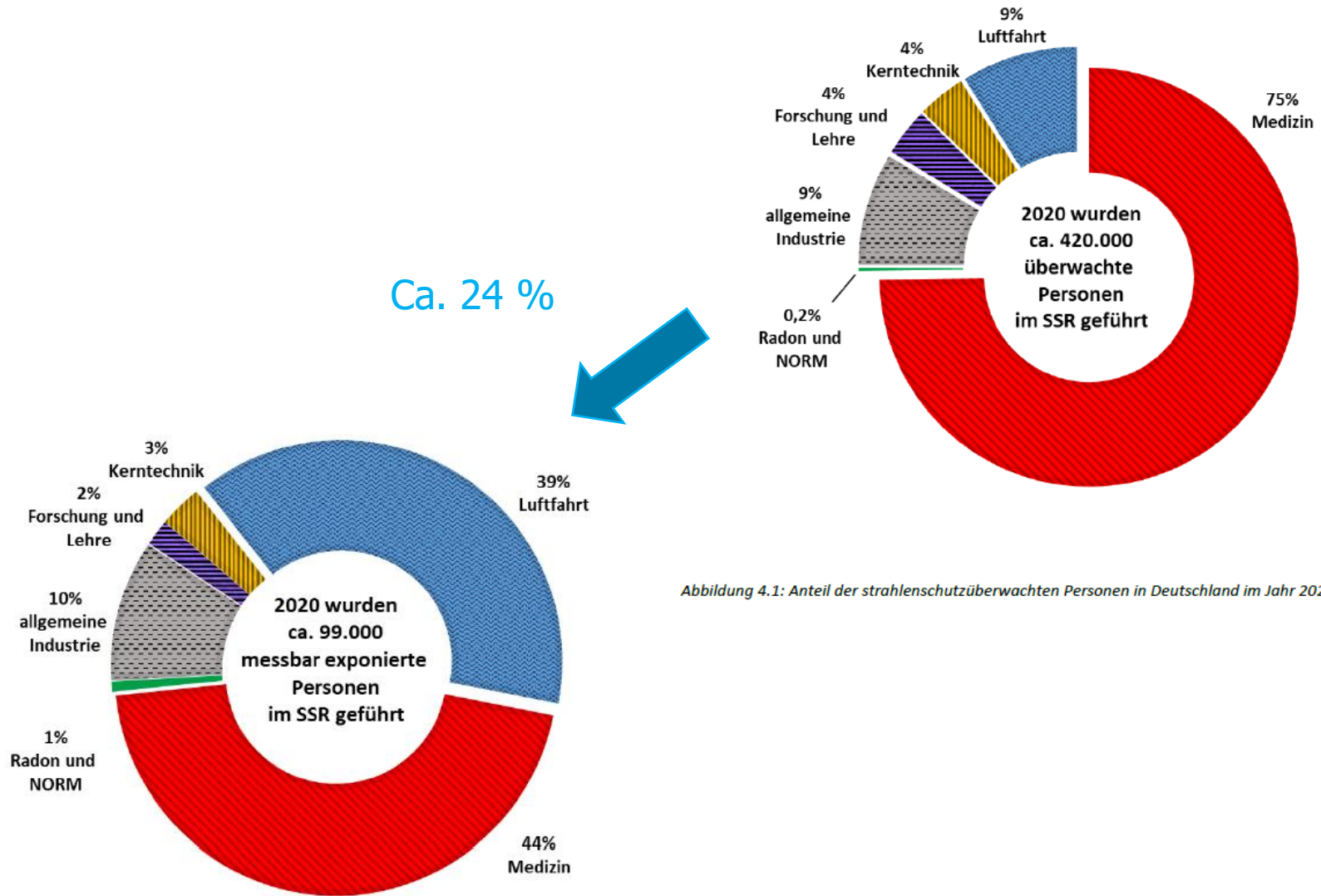


Abbildung 4.1: Anteil der strahlenschutzüberwachten Personen in Deutschland im Jahr 2020 nach Berufsgruppen.

Abbildung 4.2: Anteil der messbar exponierten Personen in Deutschland im Jahr 2020 nach Berufsgruppen.

STATISTIKEN BFS

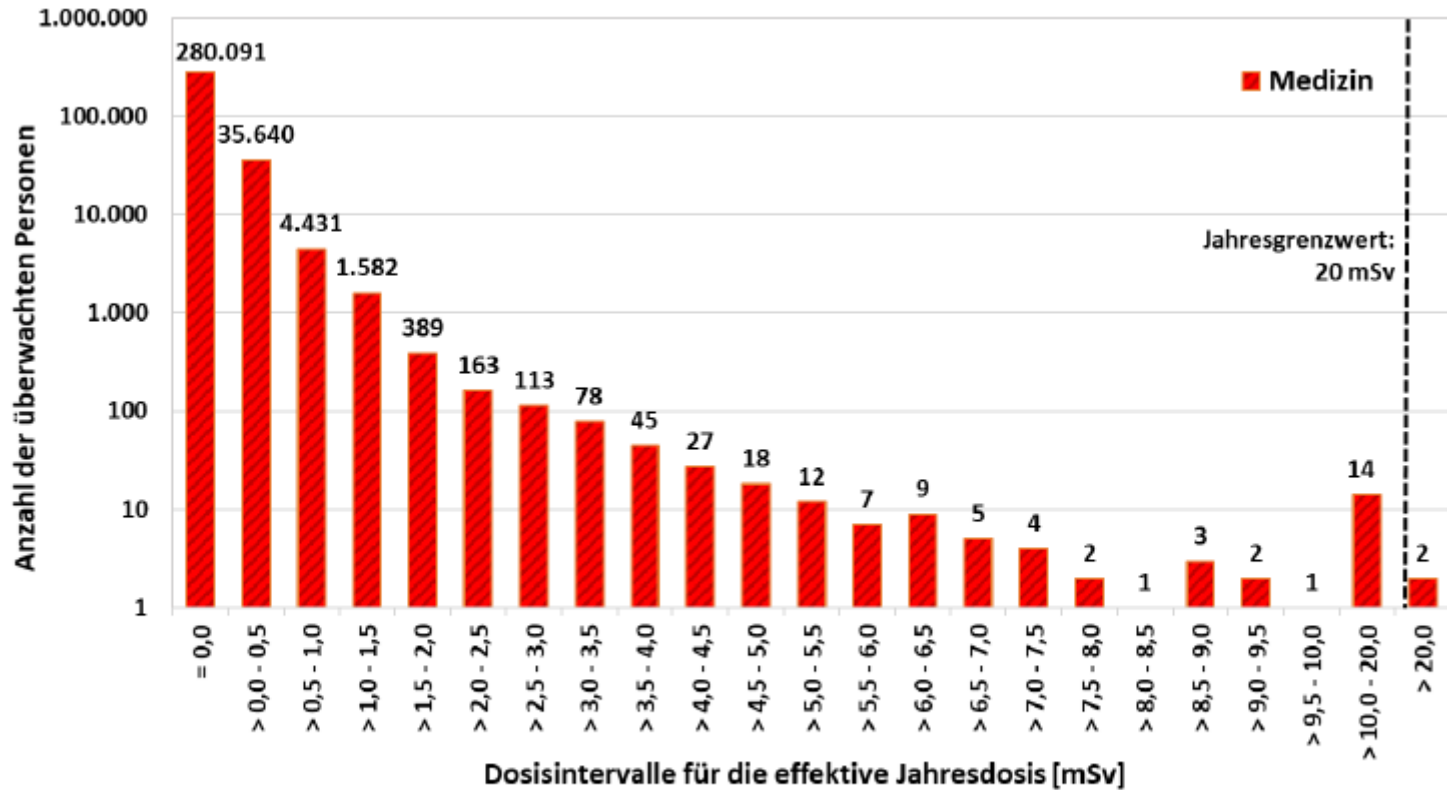


Abbildung 4.7: Dosisverteilung aller im Jahr 2020 überwachten Personen in der Berufsgruppe der Medizin (logarithmische Darstellung).

STATISTIKEN BFS

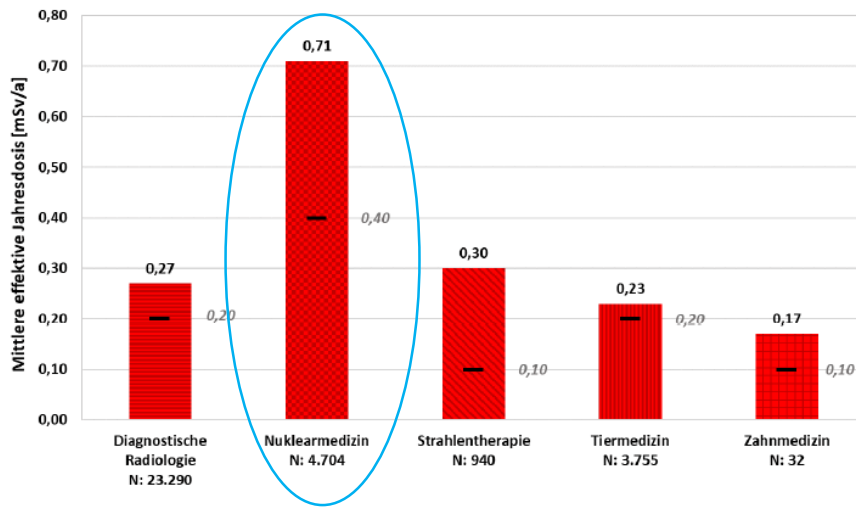


Abbildung 4.37: Mittlere effektive Jahresdosis der messbar exponierten Personen nach Teilbereichen der Medizin für das Jahr 2020. N ist die jeweilige Anzahl an Personen in der jeweiligen Berufsgruppe. Der Querbalken innerhalb der Säule entspricht dem Median.

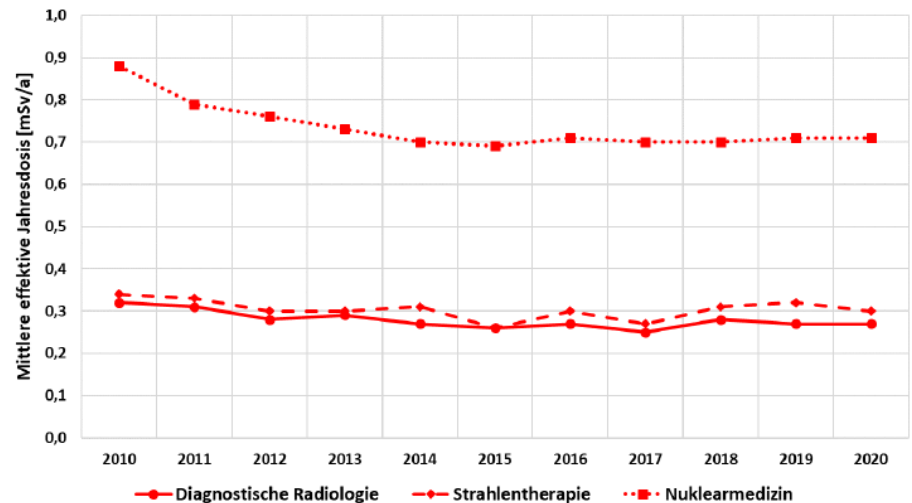


Abbildung 4.38: Zeitlicher Verlauf der mittleren effektiven Jahresdosis der messbar exponierten Personen nach Teilbereichen der Medizin von 2010-2020.

GESETZLICHE GRENZWERTE

Dosisgrenzwerte für medizinisch strahlenexponiertes Personal § 78 StrSchG

	Grenzwerte/Jahr
Effektive Dosis	20 mSv
Haut	500 mSv
Hände	500 mSv
Augenlinse	20 mSv
Schilddrüse, Knochenoberfläche	300 mSv

STRAHLENEXPOSITION



Externe Strahlenexposition

- Patienten
- Prüfstrahler
- Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen

Schutz durch:

- Abstand zur Quelle
- Abschirmung
- kurze Aufenthaltsdauer
- Aktivitätsoptimierung



Kontamination

Verunreinigung
mit radioaktiven
Stoffen



Inkorporation

Einatmen/verschlucken
Aufnahme über Haut
und Schleimhäute



Kontamination bedeutet Inkorporationsgefahr

STRAHLENEXPOSITION

- 20% des strahlenexponierten med. techn. Personals in der Nuklearmedizin überschreiten den Grenzwert der Haut von 500 mSv (BfS Strahlenschutz beim Umgang mit Betastrahlern in der Nuklearmedizin einschließlich der PET)
- Grenzwertüberschreitungen wurden vor allem an Arbeitsplätzen festgestellt, an denen Betastrahler wie:
 - Yttrium-90 (Y-90) bei der Therapie oder
 - Fluor-18 (F-18) für die Diagnostik mit der PET eingesetzt werden

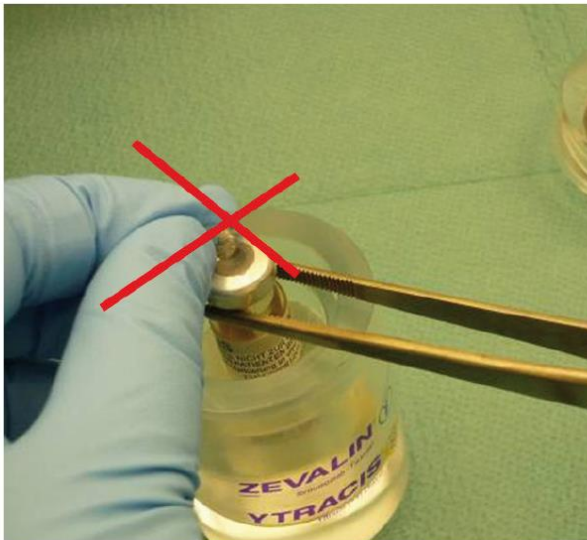


Abbildung 3a: Das Septumschutzplättchen darf nicht mit den Fingern vom Vial abgezogen werden, da dann hohe Expositionen auftreten.



Abbildung 3b: Hilfsmittel zum Öffnen des Vials, z. B. ein Spatel, verringern die Exposition deutlich.

UMGANG MIT β -STRAHLUNG

BfS „Strahlenschutz beim Umgang mit Betastrahlern in der Nuklearmedizin“
Empfehlungen für Ärzte und medizinisches Personal auf der Basis neuer Erkenntnisse



Abbildung 4a: Die Desinfektion des Septums darf nicht direkt mit den Fingern erfolgen.

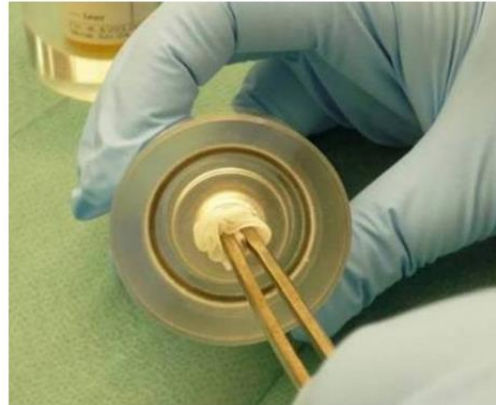


Abbildung 4b: Der Tupfer für die Desinfektion des Septums ist mit einer Pinzette zu fassen.

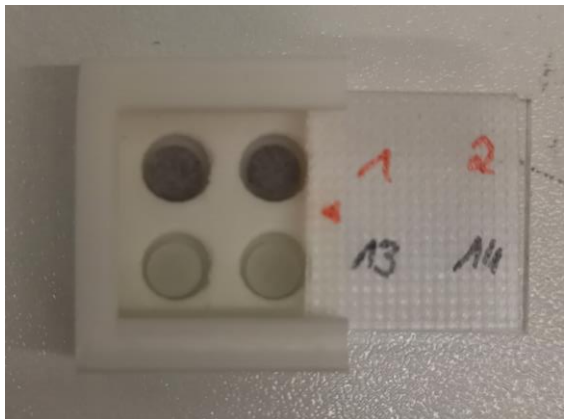
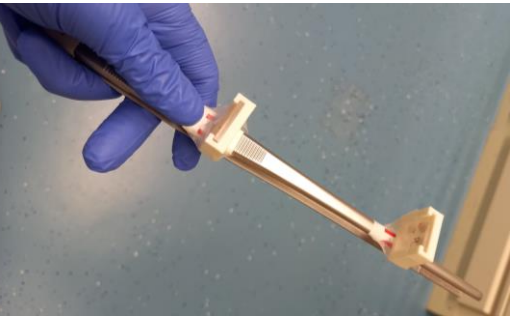
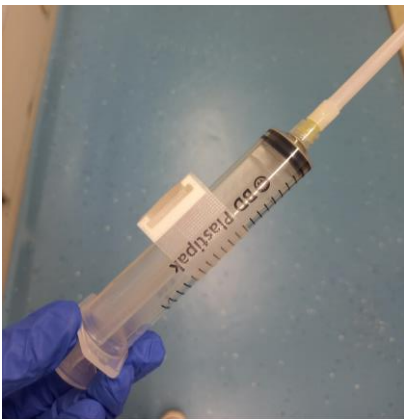
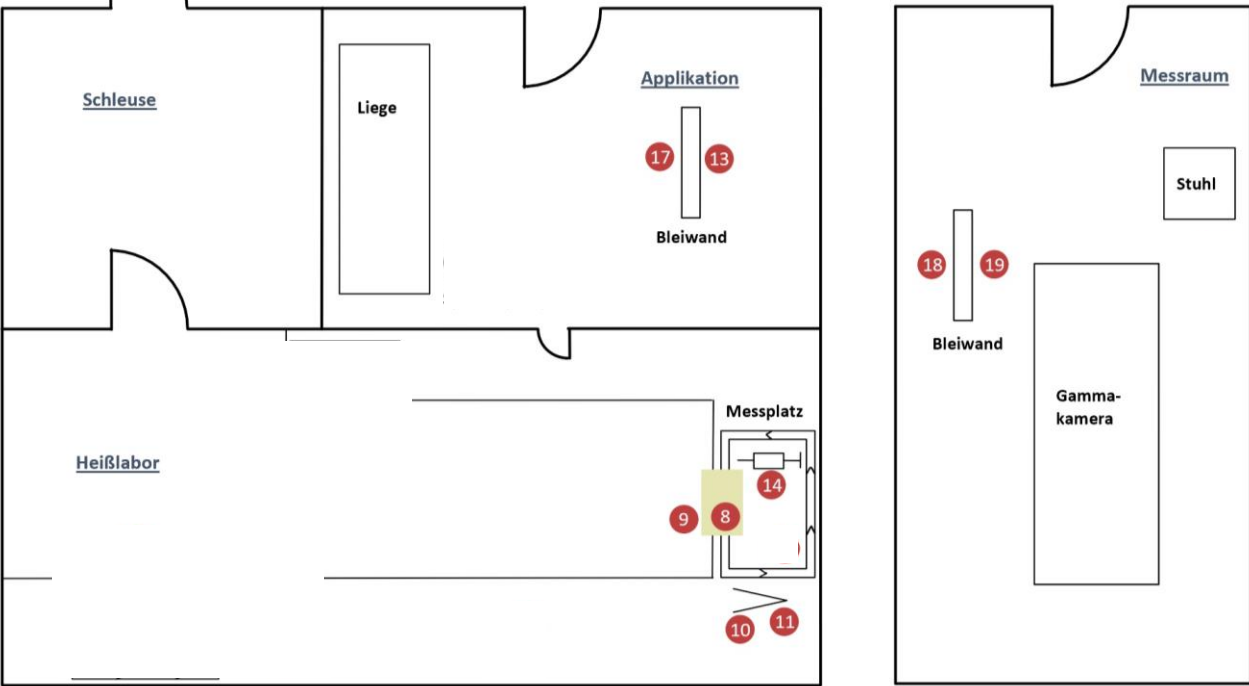


Abbildung 5a: Das Aufziehen der Aktivität ohne Spritzenabschirmung kann an den Fingern zu sehr hohen Expositionen führen.



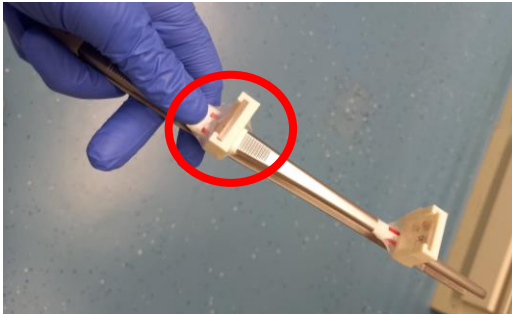
Abbildung 5b: Spritzen sollten immer mit Abschirmung aufgezogen werden.

VERSUCHSAUFBAU



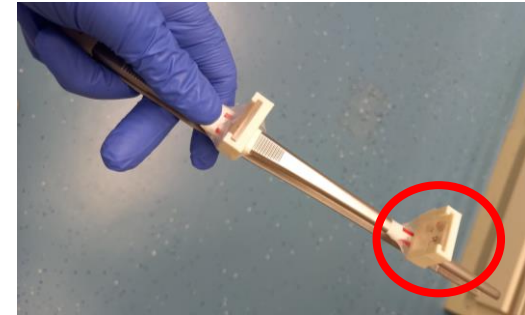
UMGANG MIT β -STRAHLUNG

Dosis bei Arbeiten mit Pinzette

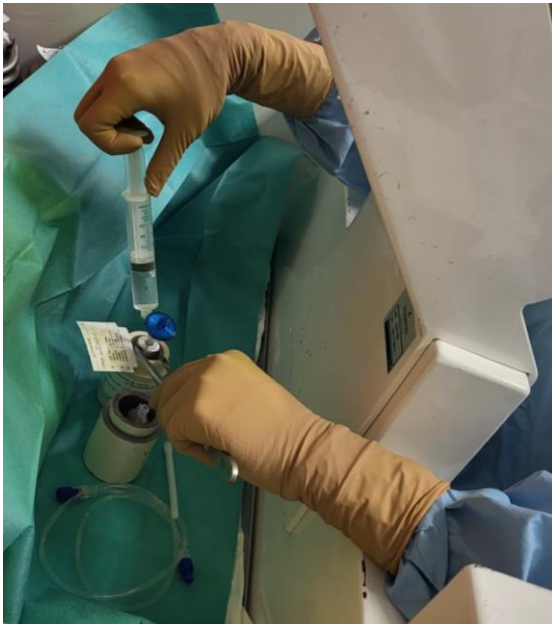


< ca. Faktor 3

Dosis bei Arbeiten ohne Pinzette



Dosis bei Arbeiten mit Abschirmung



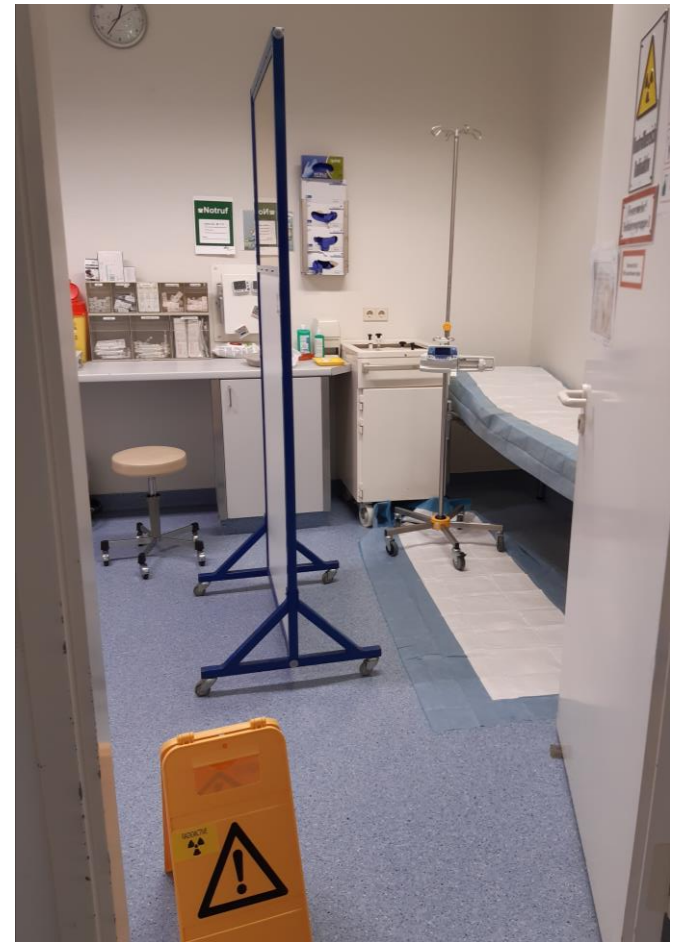
< ca. Faktor 35

Dosis bei Arbeiten ohne Abschirmung

UMGANG MIT β -STRAHLUNG



Arbeiten ohne Abschirmung



Arbeiten mit Abschirmung

UMGANG MIT β -STRAHLUNG



Arbeiten mit Abschirmung



Arbeiten ohne Abschirmung

KONTAMINATION

Beispiel Y90

KONTAMINATION

Nuklid	Strahlenart	Halbwertszeit $T_{1/2}$	Maximale β -Energie $E_{\beta \max}$ [keV]	β -Reichweite in		Dosisleistung [mSv/h]			
						pro GBq			Kontami- nation mit 1 MBq in 0,05 ml
				Luft [m]	Plastik [mm]	30 cm von Punktquelle		Kontakt mit 5-ml- Spritze	
						β	γ		
Tc-99m	γ	6,0 h	-	-	-	0,26	350	9	
F-18	β^+	1,8 h	634	1,8	1,7	120	1,81	2888	788
Ga-68	β^+	1,1 h	1900	6,9	7,2	103	1,73	31400	1250
Y-90	β^-	2,7 d	2284	8,4	9,2	108	-	43500	1350
I-131	β^- / γ	8,0 d	606	1,7	1,6	86	0,73	1100	570
Sm-153	β^- / γ	1,9 d	807	~2,3	2,4	103	0,19	241	720
Re-186	β^- / γ	3,8 d	1077	~4,0	3,4	124	0,04	380	910
Re-188	β^- / γ	17,0 h	2118	8,2	8,3	110	0,11	29000	1350

Tabelle 1: Physikalische und radiologische Daten ausgewählter Nuklide [5, 6]. β^- : Beta, β^+ : Positronen, γ : Gamma, d: Tag(e), h: Stunde(n), m: Meter, mSv/h: Millisievert pro Stunde, M/GBq: Mega/Gigabequerel, ml: Milliliter

KONTAMINATION

Bsp. RSO Knie mit Y90

Aktivitätskonzentration zum Kalibrierzeitpunkt: 200 MBq/ml



Nuklid	Strahlenart	Halbwertszeit $T_{1/2}$	Maximale β -Energie $E_{\beta \text{ max}}$ [keV]	β -Reichweite in		Dosisleistung [mSv/h]			
						pro GBq		Kontami- nation mit 10 MBq in 0,05 ml	
				Luft [m]	Plastik [mm]	30 cm von Punktquelle			Kontakt mit 5-ml- Spritze
β	γ								
Y-90	β^-	2,7 d	2284	8,4	9,2	108	-	43500	13500



Grenzwert von 500 mSv/a in 2 Min. erreicht

KONTAMINATION

Vorfall: Kontamination Daumen durch Y90, ggf. Messung (Ermittlung Ausgangswert)



Hilfe holen



Sofortiger Beginn Dekontamination

- Lauwarmes Wasser
- Spezielle Seifen
- Weiche Bürsten
- Waschgang 2 Minuten
- Trockentupfen

-> Messung und Dokumentation zur Dosisabschätzung

-> Wdh. bis Dekoneffekt < 10% oder verbleibende Aktivität < 10Bq/cm²

KONTAMINATION

Imp/s \neq Bq

Imp/s * **Kalibrierfaktor** = Bq



Nuklideinstellung
Bq/cm² möglich

KONTAMINATION

verbleibende Aktivität >10 Bq/cm²:

- Hinzuziehen des Strahlenschutzbeauftragten und des ermächtigten Arztes
- Abschätzung der Hautdosis
- Anfertigung Aufzeichnung (BeVo)
- Gefahr der Inkorporation (evtl. Inkorporationsüberwachung)

Bedeutsames Vorkommnis – BV (§ 108 StrlSchV)

Vorkommnis ist dann bedeutsam, wenn in **der Anlage 15 der StrlSchV** genanntes Kriterium erfüllt ist.

Anlage 15

- 1. Exposition einer beruflich exponierten Person, die einen Grenzwert der effektiven Dosis oder Organ-Äquivalenzdosis überschreitet sofern die Exposition nicht eine besonders zugelassene Exposition darstellt. (§ 78 StrSchG)

	Grenzwerte/Jahr
Effektive Dosis	20 mSv
Haut	500 mSv
Hände	500 mSv
Augenlinse	20 mSv
Schilddrüse, Knochenoberfläche	300 mSv

Meldung bedeutsamer Vorkommnisse (§ 108 StrSchV)

- BeVo ist der zuständigen Aufsichtsbehörde **unverzüglich zu melden** (Erst-Bericht)
 - Diese Meldung **hat alle verfügbaren Angaben** zu enthalten, die für die Bewertung erforderlich sind
 - Soweit möglich sind **Ursachen und Auswirkungen** sowie die **Maßnahmen zur Behebung der Auswirkungen** und zur zukünftigen Vermeidung derartiger Vorkommnisse anzugeben
- **Spätestens 6 Monate** nach Eintritt des BeVo ist ein **vollständiger Bericht** (Folge-Bericht) vorzulegen, der ergänzende Angaben enthält

Aufsichtsbehörde (§ 110 StrSchV)

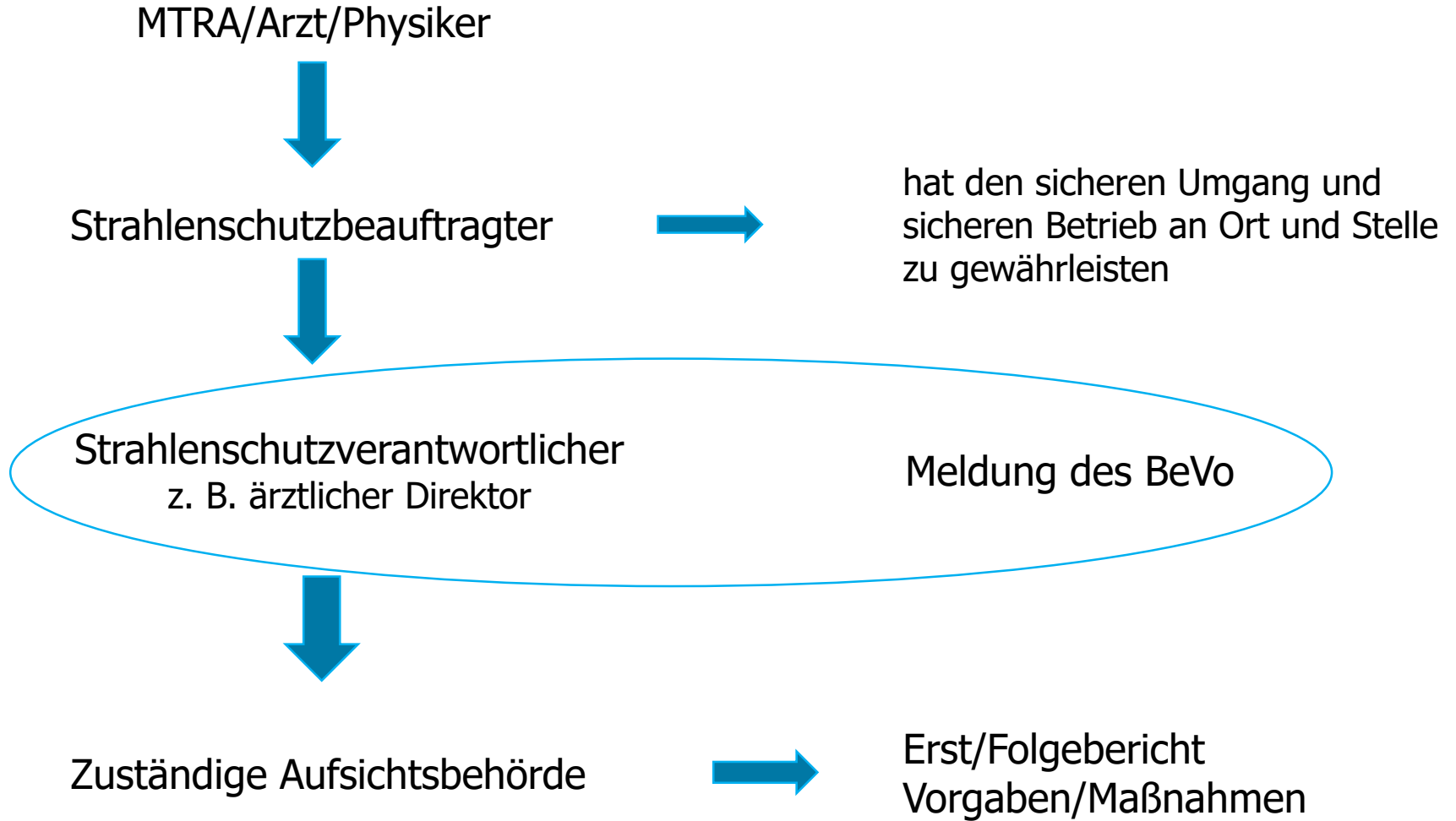
- Erfasst, prüft und bewertet im Rahmen der strahlenschutzrechtlichen Aufsicht Meldung über BeVo



Kann hierzu:

- Externe Sachverständige für Bewertung hinzuziehen
- Inspektionen vor Ort durchführen
- Berichtsfristen sowie Umfang und Tiefe der Dokumentation durch SSV festlegen

BEVoMED



INKORPORATION

Beispiel I131

INKORPORATION

Inkorporationsüberwachung (§ 40, 41 und 42 StrSchV)

- ist erforderlich bei Personen, die sich in Kontrollbereichen aufhalten und dort einem potenziellen Inkorporationsrisiko durch offene radioaktive Stoffe ausgesetzt sind.

Abschätzung durch:

$$\sum_i A_i \cdot e_i \geq 1 \text{ mSv}$$

INKORPORATION

BMUB-Richtlinien für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis

Tabelle 2: Festlegungen zur Inkorporationsüberwachung bei Tätigkeiten im Kontrollbereich in Abhängigkeit von der potenziellen Dosis durch Inkorporation

	Potenzielle Dosis im Kalenderjahr durch Inkorporation	Überwachungsziel	Art der Überwachung	Durchführung der Überwachung
	1	2	3	4
1	$\geq 1\text{mSv}^4$	Ermittlung personenbezogener Werte der Körperdosis (§ 40 Abs. 1 Satz 1 StrlSchV)	Regelmäßige Inkorporationsüberwachung mit In-vivo-Verfahren / In-vitro-Verfahren	Behördlich bestimmte Messstelle
			Regelmäßige Inkorporationsüberwachung mittels Raumlufmessungen ⁵	Fachkundiger Strahlenschutzverantwortlicher oder Strahlenschutzbeauftragter
2	0,5 mSv bis < 1 mSv	Nachweisführung, dass 1 mSv (<i>Erfordernisschwelle</i>) unterschritten wird	Regelmäßige Schwellenwertmessung mit kalibrierten Geräten ⁶ zur Ermittlung der <ul style="list-style-type: none"> - Körperaktivität - Aktivität in den Ausscheidungen - Raumlufaktivität 	Fachkundiger Strahlenschutzverantwortlicher oder Strahlenschutzbeauftragter
3	< 0,5 mSv		Keine Überwachung	

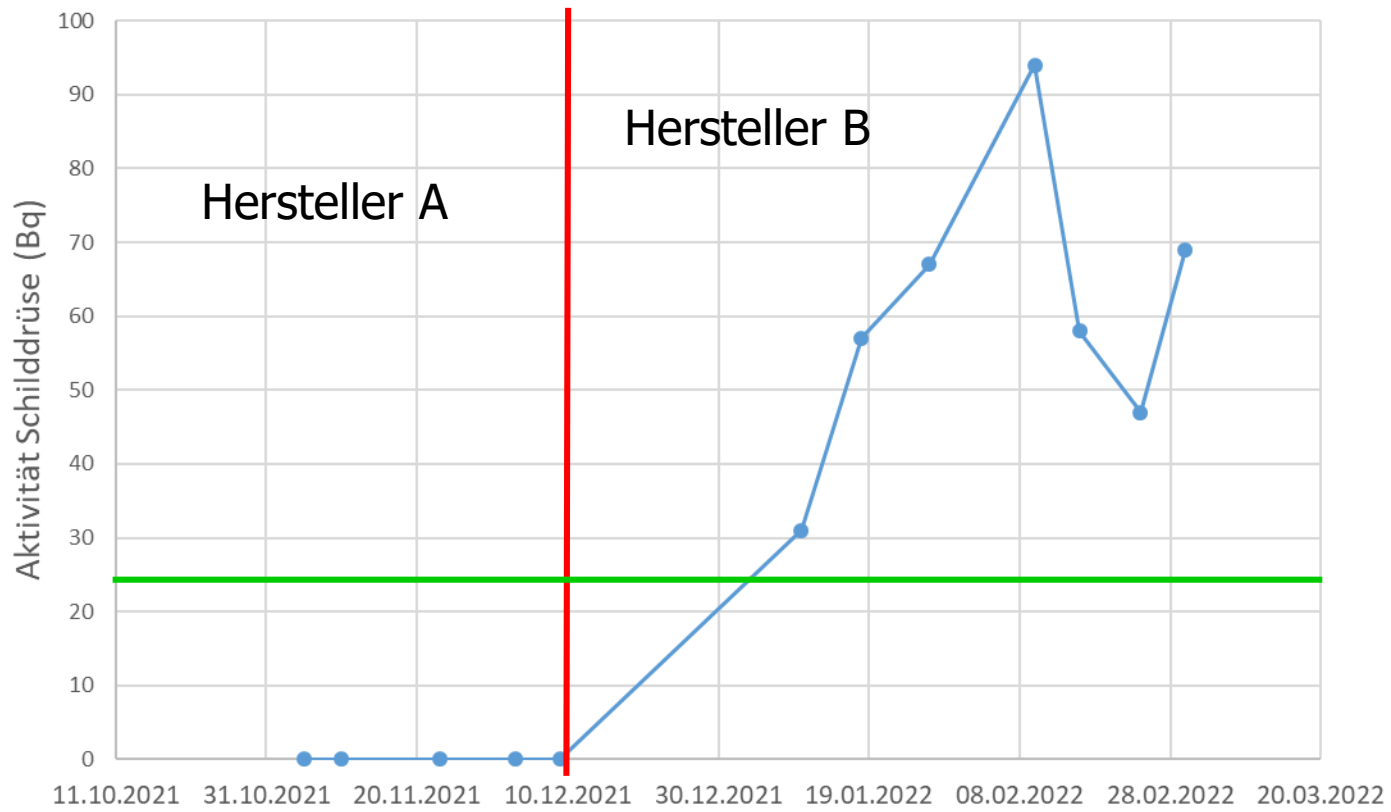
⁴ Bei gleichzeitig überwiegend äußerer Exposition kann durch die zuständige Behörde diese Schwelle bis auf 0,5 mSv abgesenkt werden.

⁵ Bedingungen der Anwendung: Nur unterhalb einer potenziellen Dosis durch Inkorporation von 6 mSv (*Nachforschungsschwelle*), ausgenommen personengetragene Aerosolsammler (PAS); begleitende Messungen mit In-vivo- oder In-vitro-Verfahren in behördlich bestimmter Messstelle erforderlich.

⁶ Ergebnisse können auch zur Eingrenzung des Inkorporationszeitpunktes verwendet werden (zeitnahe Indikatormessung).

INKORPORATION

Inkorporationsüberwachung



INKORPORATION

Dosisleistungsmessungen an Transportgefäßen

Messungen erfolgten nach Entnahme der Therapiekapseln!

Hersteller A

(Behälter für 3,7 GBq Kapsel)



leer, geöffnet

Hersteller A

(Behälter für 3,7 GBq Kapsel)



leer, geschlossen

Hersteller B

(Behälter für 7,7 GBq Kapsel)



leer, geöffnet

Hersteller B

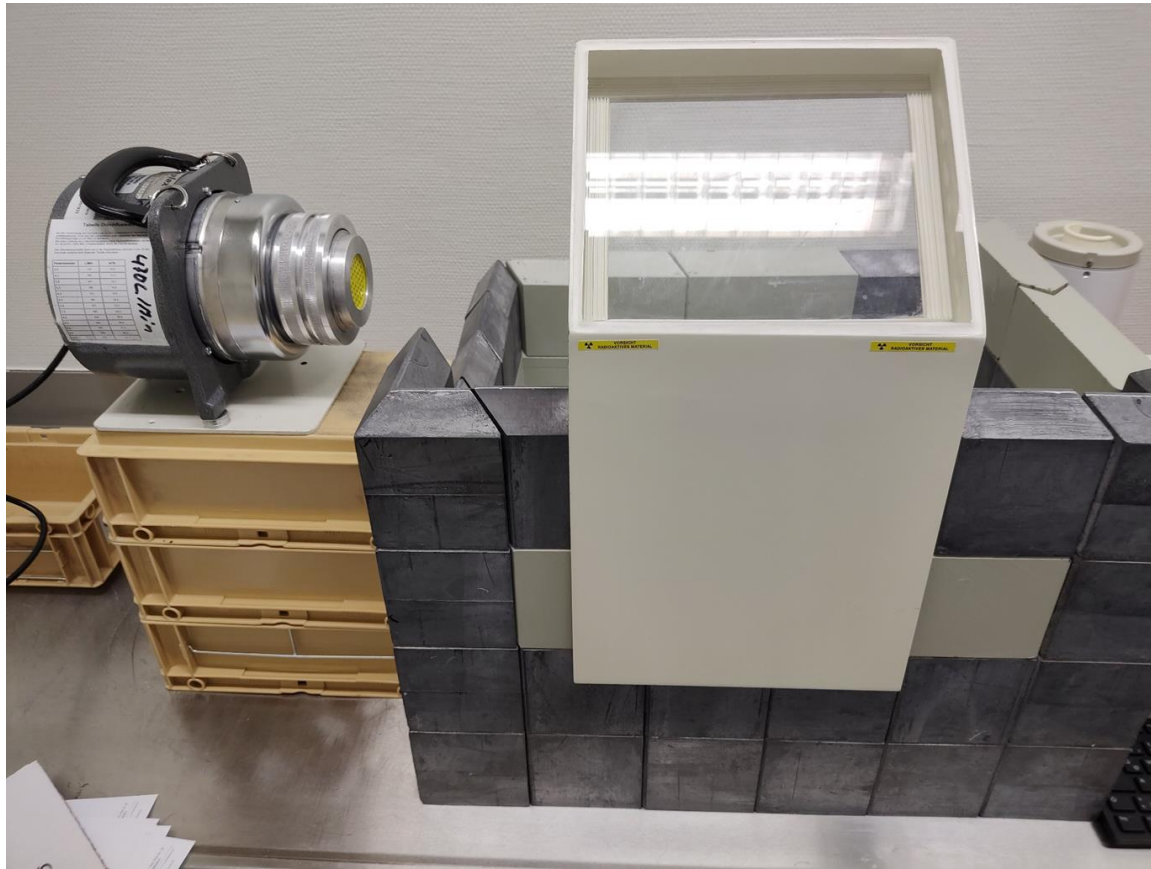
(Behälter für 7,7 GBq Kapsel)



leer, geschlossen

INKORPORATION

Versuchsaufbau



Absauggerät mit Aktivkohlefilter

INKORPORATION

Hersteller A

Öffnen einer Kapsel mit einer Aktivität von 7,7 GBq

#1 Messung **Untergrundmessung** ohne Therapiekapsel

#2 Messung wurde mit **Öffnen des Bleibehälters** gestartet

-> **Messzeit je 10 Minuten**

Probenbezeichnung	Bezugszeitpunkt	Nuklid	Aktivitätskonzentration [Bq/m ³]				
			best. Schätzw	Vertrauensbereich		EKG	NWG
			$\hat{a} \pm u(\hat{a})$	$a^<$	$a^>$	a^*	$a^\#$
#3 (3,56 m ³ Luftdurchsatz)	08.03.2022 11:50	¹³¹ I	3,89 ± 0,08	3,7	4,0	0,01	0,02
#4 (3,2 m ³ Luftdurchsatz)	08.03.2022 12:06	¹³¹ I	184 ± 4	175	192	0,4	0,7

Untergrund korrigiert: **180 Bq/m³**

INKORPORATION

Hersteller B

Öffnen einer Kapsel mit einer Aktivität von 7,7 GBq

#1 Messung **Untergrundmessung** ohne Therapiekapsel

#2 Messung wurde mit **Öffnen des Bleibehälters** gestartet

-> **Messzeit je 10 Minuten**

Probenbezeichnung	Nuklid	Aktivitätskonzentration [Bq/m ³]					
		besten Schätzwert		Vertrauensbereich		EKG	NWG
		\hat{a}	$\pm \Delta \hat{a}$	$a^<$	$a^>$	a^*	$a^\#$
#1 (3,25 m ³ Luftdurchsatz)	¹³¹ I	16,6	$\pm 0,4$	16,2	17,0	0,02	0,03
#2 (3,16 m ³ Luftdurchsatz)	¹³¹ I	2518	± 57	2462	2575	1,9	3,9

Untergrund korrigiert: **2501 Bq/m³**

INKORPORATION

Verhältnis der ermittelten Aktivitätskonzentration der Luftproben nach Öffnen der Behälter

$$\frac{\text{Hersteller B}}{\text{Hersteller A}} \approx 14$$

- Herstellerwechsel von B auf A
- Seitdem keine erhöhten Inkorporationsmesswerte

FAZIT



Externe Strahlenexposition



Kontamination



Inkorporation

- Immer Strahlenschutzmittel verwenden
- Prozessbeobachtung hilft Expositionsquellen zu identifizieren
- Optimierung der Arbeitsabläufe zur Reduktion der Exposition
- Enge Zusammenarbeit mit dem Strahlenschutzbeauftragten

