



Lernunterlage B3-320

Einsatztaktik A-Gefahrstoffe

Taktik, Grundlagen, Kennzeichnung

Dezernat B3: Verbandsführer, ABC-Schutz und Medizinische Rettung

Ausgabe Februar 2025

43 Seiten

Inhalt

Diese Lernunterlage umfasst die wichtigen Informationen zum taktischen Vorgehen in A-Einsatzlagen. Hierzu werden auch die für das Verständnis der Zusammenhänge unverzichtbaren physikalischen und biologischen Grundlagen erläutert und relevante Kennzeichnungen aufgeführt.

Urheberrecht

© IdF NRW, Münster 2025, alle Rechte vorbehalten.

Die vorliegende Lernunterlage darf, auch auszugsweise, ohne die schriftliche Genehmigung des IdF NRW nicht reproduziert, übertragen, umgeschrieben, auf Datenträger gespeichert oder in eine andere Sprache bzw. Computersprache übersetzt werden, weder in mechanischer, elektronischer, magnetischer, optischer, chemischer oder manueller Form.

Der Vervielfältigung für die Verwendung bei Ausbildungen von Einheiten des Brand- und Katastrophenschutzes des Landes Nordrhein-Westfalen wird zugestimmt.

Anmerkung

Eine Schreibweise, die beiden Geschlechtern gleichermaßen gerecht wird, wäre sehr angenehm. Da aber entsprechende neuere Schreibweisen in der Regel zu großen Einschränkungen der Lesbarkeit führen, wurde darauf verzichtet. So gilt für die gesamte Lernunterlage, dass die maskuline Form, wenn nicht ausdrücklich anders benannt, für beide Geschlechter gilt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Physikalische Grundlagen	4
2.1	Der Atomkern	5
2.1.1	Kennzahlen	5
2.1.2	Isotope.....	6
2.2	Die Atomhülle	7
2.3	Zusammenfassung.....	7
3	Radioaktivität und Ionisierende Strahlung.....	8
3.1	Ursache von Radioaktivität.....	8
3.2	Arten von ionisierender Strahlung	8
3.2.1	α -Zerfall	8
3.2.2	β -Zerfall	9
3.2.3	γ -„Zerfall“	11
3.3	Aktivität.....	12
3.4	Halbwertszeit.....	12
3.5	Die Nuklidkarte	13
3.6	Wirkung ionisierender Strahlung auf den Menschen.....	15
3.6.1	physikalische Phase.....	15
3.6.2	Chemische Phase	16
3.6.3	Biochemische und biologische Phase	17
3.7	Zusammenfassung.....	18
4	Strahlenschutz.....	19
4.1.1	Aufenthaltsdauer	19
4.1.2	Abschirmung	19
4.1.3	Abstand	20
4.1.4	Abschalten.....	21
4.2	Zusammenfassung.....	21
5	Natürliche und zivilisatorische Strahlungsbelastung	22
5.1	Natürliche Strahlung.....	22
5.2	Zivilisatorische Strahlung	23
5.3	Zusammenfassung.....	24
6	Vorgehen im Strahlenschutz Einsatz	25
6.1	Rechtliche Vorgaben	25
6.2	GAMS im A-Einsatz.....	25
6.3	Erkundung	26
6.4	Kennzeichnung.....	28
6.5	Vorbereitung und Planung von Einsätzen	31
6.6	Festlegung des Gefahrenbereichs	32
6.7	Arten von Gefahren	33
6.7.1	äußere Strahleneinwirkung	34
6.7.2	Kontamination	35
6.7.3	Inkorporation	35
6.7.4	Sonstige Gefahren	36
6.8	Berücksichtigung besonderer Einsatzbedingungen	36
6.8.1	Zielsetzung der Gefahrenabwehr	36
6.8.2	Fachberatung im Einsatz.....	36
6.8.3	Gefahrengruppen und Wahl der Schutz- und Sonderausrüstung	37
6.8.4	Bauarten von Strahlern	37
6.8.5	Gefahrengruppe IA.....	38
6.8.6	Gefahrengruppe IIA.....	38
6.8.7	Gefahrengruppe IIIA.....	39
6.8.8	Transportunfälle und Einsätze nach einem Anschlag	39
6.8.9	Menschenrettung.....	39
6.9	Dekontamination und Sofortdekontamination.....	40
6.10	Abschluss des Einsatzes und Nachsorge	41
I	Literaturverzeichnis	43

1 Einleitung

Der Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung ist in unserer hochindustrialisierten Welt inzwischen zum Alltag geworden. Neben der friedlichen Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung werden in Deutschland jährlich mehr als 500.000 Versandstücke mit radioaktivem Inhalt verschickt und etwa 140 Millionen Röntgenuntersuchungen durchgeführt.

Kommt es im Zusammenhang mit einem solchen Umgang oder Transport zu einem Unfall, wird die Feuerwehr im Rahmen ihres gesetzlichen Auftrags zur Gefahrenabwehr tätig.

Im Folgenden sind das taktische Vorgehen in solchen Einsatzlagen und das für dessen Verständnis notwendige naturwissenschaftliche Grundwissen beschrieben.

2 Physikalische Grundlagen

Die Materie um uns herum ist aus vielen kleinen Bausteinen, den Atomen aufgebaut.

Um die chemischen und physikalischen Vorgänge bei Atomen zu beschreiben, sind Modelle hilfreich. Diese stellen keine genaue Abbildung der Realität dar, sondern sind eine Annäherung. Für das Verständnis der hier beschriebenen radiologischen Vorgänge ist das Bohrsche Atommodell ausreichend und dient als Grundlage.

Ein Atom besteht aus dem **Atomkern** und der **Atomhülle**. Modellhaft bewegen sich dabei negativ geladene Teilchen (Elektronen) in der Hülle auf Bahnen um den positiv geladenen Kern herum.

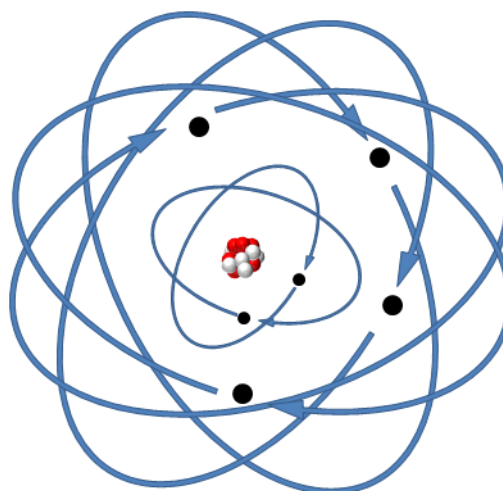


Abbildung 1: Modell eines Atoms [Grafik: IdF NRW]

2.1 Der Atomkern

Der Atomkern ist im Verhältnis zur Hülle sehr klein (20.000 - 150.000-mal kleiner). Wäre der Kern so groß wie ein Streichholzkopf, hätte die Hülle in etwa das Ausmaß einer voll ausgefahrenen DL(A)K 23/12. Die Masse dagegen ist fast vollständig auf den Kern konzentriert (99,9%).

Der Kern besteht aus zwei verschiedenen Kernteilchen („Nukleonen“): **Neutronen** und positiv geladene **Protonen**.

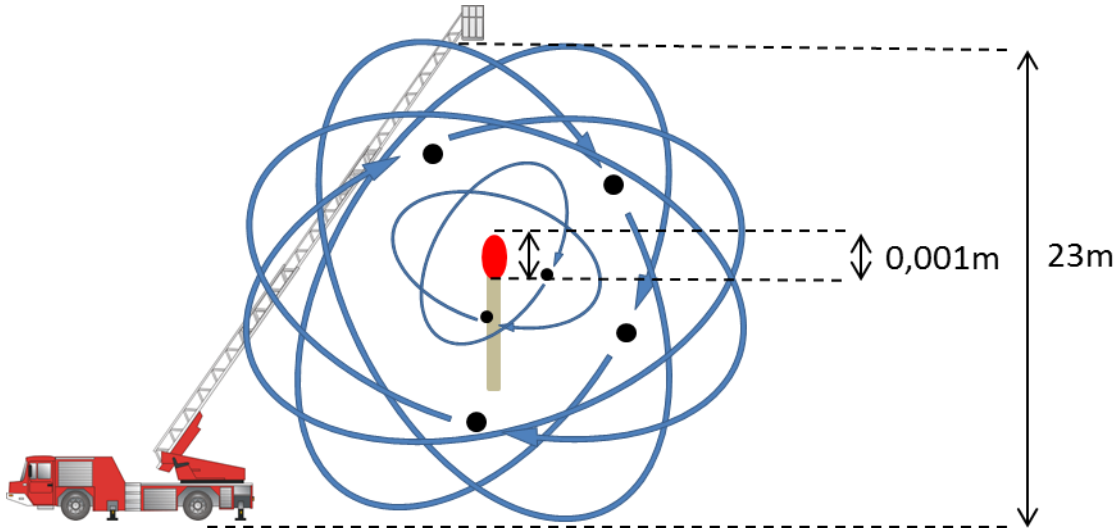
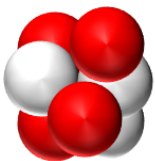


Abbildung 2: Größenvergleich zwischen Atomkern und Hülle [Grafik: IdF NRW]

2.1.1 Kennzahlen

Ein Atomkern mit einer bestimmten Anzahl von Protonen und Neutronen im Kern bezeichnet man als **Nuklid**. Die Gesamtzahl der Kernteilchen („Nukleonen“) ist dabei die **Massenzahl A**. Die Anzahl der Protonen im Kern benennt man als **Ordnungszahl** oder **Kernladungszahl Z**. Sie bestimmt, um welches Element es sich bei diesem Nuklid handelt und damit, welche grundlegenden chemischen Eigenschaften es besitzt.



Beryllium-Kern mit vier Protonen (rot) und drei Neutronen (weiß)

Massenzahl $A = 7$

Ordnungszahl, Kernladungszahl $Z = 4$

Neutronenzahl $N = 3$

Abbildung 3: Nuklid Beryllium-7 [Grafik: IdF NRW]

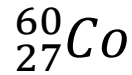
Befinden sich z.B. vier Protonen im Kern, heißt das entsprechende Nuklid bzw. Element *Beryllium*. Eine Darstellung aller 118 derzeit bekannten Elemente, geordnet nach ihrer Ordnungszahl finden Sie im *Periodensystem der Elemente*.

Die **Neutronenzahl N**, also die Anzahl der Neutronen ergibt sich dann automatisch aus der Subtraktion der Ordnungszahl von der Massenzahl.

Auf folgende formelmäßige Schreibweise für ein Element mit dem Symbol *EI*, der Massenzahl *A* und der Kernladungszahl *Z* hat man sich international geeinigt:



Ein Cobalt-Atom mit 27 Protonen und 33 Neutronen (insgesamt also 60 Kernteilchen) würde also wie folgt bezeichnet:



Häufig wird dies auch vereinfacht als **Co-60** dargestellt. Die Ordnungszahl kann dabei ausgelassen werden, da diese ja bereits durch das Elementsymbol festgelegt ist. **Solche Angaben finden z.B. häufig auf Transportverpackungen oder in der Strahlenschutzverordnung.**

Kürzel	Anzahl der ...	Bezeichnung	Zusammenhang
A	Nukleonen (Kernteilchen)	Massenzahl	$A = N + Z$
Z	Protonen	Ordnungszahl Kernladungszahl	$Z = A - N$
N	Neutronen	Neutronenzahl	$N = A - Z$

Tabelle 1: Kennzahlen des Atomkerns [Tabelle: IdF NRW]

2.1.2 Isotope

Von einem Element (gleiche Protonenzahl) gibt es häufig Kerne mit unterschiedlicher Neutronenzahl. Diese werden dann auch als **Isotope** bezeichnet. So besitzt Wasserstoff (Ordnungszahl 1) z.B. drei Isotope mit null, ein und zwei Neutronen im Kern. Diese Isotope kommen unterschiedlich häufig in der Natur vor:

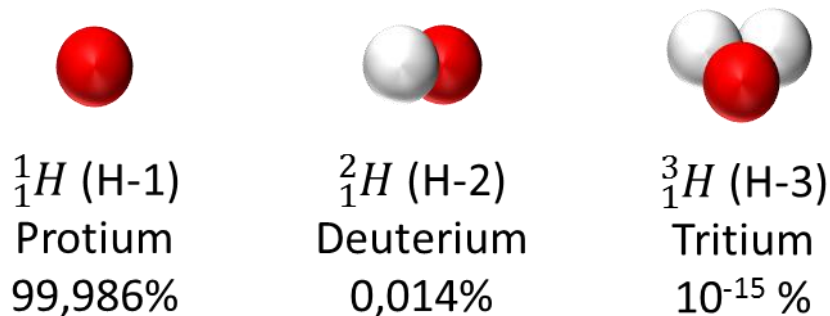


Abbildung 4: Isotope des Wasserstoffs mit Angabe der natürlichen Häufigkeit in %
[Grafik: IdF NRW]

Diese Unterscheidung ist eine (kern-)physikalische. Die chemischen Eigenschaften der Elemente hängen nicht davon ab, welches Isotop eines Elements vorliegt. Chemisch sind die Isotope gleich.

3 Radioaktivität und Ionisierende Strahlung

Nicht alle der ca. 350 in der Natur vorkommenden Nuklide sind stabil. Etwa 100 von ihnen haben die Eigenschaft, sich spontan – also ohne äußere Einwirkung – umzuwandeln und dabei Strahlung auszusenden. Diese Eigenschaft nennt man **Radioaktivität**.

3.1 Ursache von Radioaktivität

Grundsätzlich stoßen sich die Protonen im Kern aufgrund ihrer positiven Ladung gegenseitig ab und der Kern würde damit „auseinanderfallen“. Sie benötigen also eine Art „Klebstoff“, der in Form der Neutronen gegeben ist. Stimmt das Verhältnis von Protonen zu Neutronen und wird der Kern nicht insgesamt zu groß, werden die Kernteilchen zusammengehalten. Anderenfalls zerfällt der Kern, er ist instabil.

Kriterien für Instabilität:

- Nicht optimales Verhältnis zwischen Neutronen und Protonen
- Ordnungszahl > 83
- Massenzahl > 208
- Die Nukleonen befinden sich in einem angeregten Zustand (z.B. nach einem vorangegangenen Zerfall)

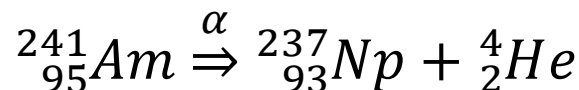
3.2 Arten von ionisierender Strahlung

Abhängig von der Ursache können dabei hauptsächlich drei Zerfallsarten beobachtet werden:

3.2.1 α -Zerfall

Ist der Kern insgesamt zu schwer, d.h. die Massenzahl ist größer als 208, entledigt sich der Kern einiger Isotope der überschüssigen Masse, indem er zwei Neutronen und zwei Protonen aus dem Kern aussendet. Dies entspricht einem zweifach positiv geladenen Heliumkern (${}^4_2\text{He}$). Man spricht dann von einem **Alpha-Zerfall**.

Die Kernladungszahl verringert sich entsprechend um 2, die Massenzahl verringert sich um 4. Bei diesem Zerfall entsteht ein neues Isotop.



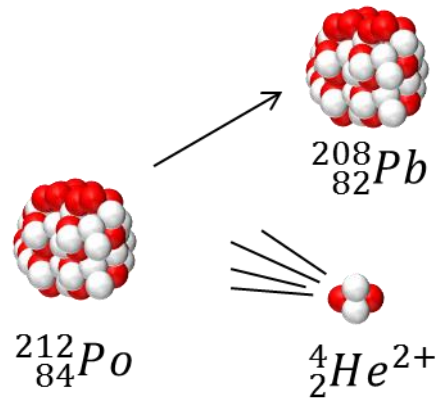


Abbildung 5: Alpha-Zerfall von Polonium-212 [Grafik: IdF NRW]

Das Alpha-Teilchen ist relativ schwer und groß. Daher kollidiert es auf seinem Weg häufig mit den Atomen der Umgebung und verursacht dabei auch verhältnismäßig großen Schaden. Seine **Reichweite** ist dadurch aber auch auf wenige Zentimeter in Luft begrenzt und bereits ein dünnes Hindernis wie ein Blatt Papier, eine Lage Bekleidung oder die abgestorbenen Zellen auf der Außenseite der Haut halten das Teilchen vollständig auf.

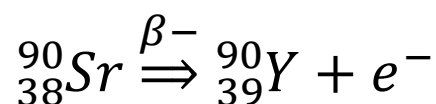
Dadurch erklärt sich auch, warum Alpha-Strahler ihre größte Gefährlichkeit erst entfalten, wenn sie in den Körper aufgenommen werden (Inkorporation) und der Abstand zum lebenden Gewebe auf null absinkt.

3.2.2 β -Zerfall

Bei manchen Nukliden ist das Verhältnis von Neutronen zu Protonen nicht optimal und der Kern droht aufgrund der Abstoßungskräfte der Protonen auseinanderzubrechen. Hier behilft sich der Kern, indem er eins der überschüssigen Kernteilchen zugunsten einer günstigeren Verteilung in die jeweils andere Sorte umwandelt. Dabei entsteht jedoch eine überschüssige Ladung, die aus dem Kern herausgeschleudert wird.

Befinden sich zu viele Neutronen im Kern, wandelt sich ein Neutron in ein Proton um. Die dabei entstehende negative Ladung wird in Form eines beschleunigten Elektrons abgestrahlt. Man spricht dann vom **Beta-Minus-Zerfall**.

Die Kernladungszahl erhöht sich dabei um 1, die Massenzahl bleibt gleich. Auch hier entsteht ein neues Isotop.



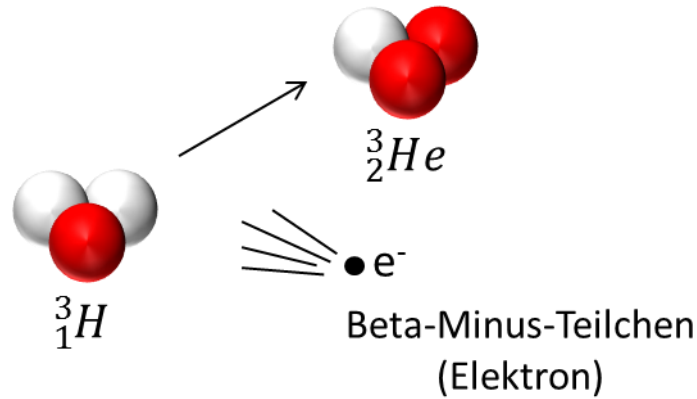


Abbildung 6: Beta-Minus-Zerfall von Tritium [Grafik: IdF NRW]

Befinden sich zu viele Protonen im Kern, wandelt sich ein Proton in ein Neutron um. Die dabei entstehende positive Ladung wird in Form eines beschleunigten Positrons, dem positiv geladenen Gegenstück des Elektrons, abgestrahlt. Man spricht dann vom **Beta-Plus-Zerfall**.

Die Kernladungszahl verringert sich dabei um 1, die Massenzahl bleibt gleich. Ein neues Isotop entsteht.

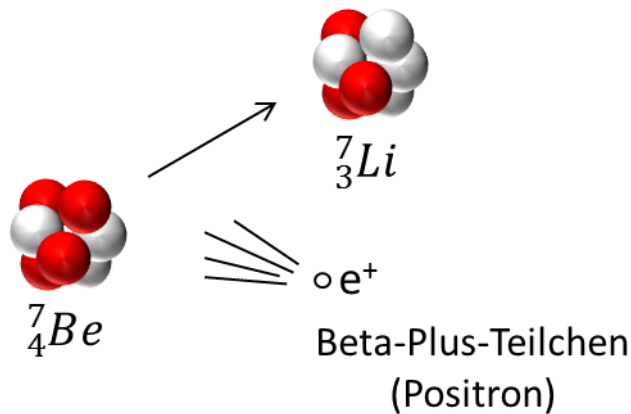
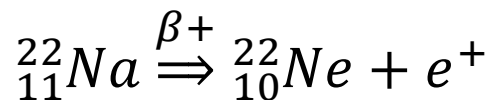


Abbildung 7: Beta-Plus-Zerfall von Beryllium-7 [Grafik: IdF NRW]

Elektron und Positron sind relativ kleine und leichte Teilchen. Sie durchdringen Materie leichter als die Alpha-Teilchen. Ihre Reichweite in Luft beträgt daher einige Meter. Um sie vollständig aufzuhalten, genügt meist ein wenige Millimeter starkes Hindernis (z.B. aus Aluminium oder Plexiglas).

Beta-Strahler sind am gefährlichsten, wenn sie sich auf der Haut oder der Kleidung des Menschen befinden (Kontamination) oder vom Menschen sogar in den Körper aufgenommen werden (Inkorporation).

3.2.3 γ -„Zerfall“

Nach einem Alpha- oder Betazerfall kann im Kern noch Restenergie vorhanden sein. Man spricht dann von einem **angeregten Zustand** und kennzeichnet dies in der formelmäßigen Darstellung mit einem „m“ für „metastabil“ hinter der Massenzahl. Bildlich gesprochen rotiert oder schwingt der Kern noch eine Zeit weiter, bis er diese Energie in Form von Gamma-Strahlung abgibt.

Da keine Teilchen verändert oder abgegeben werden, bleiben Massen- und Kernladungszahl dabei gleich. Auch wenn der Kern hier gar nicht „in seine Bestandteile zerfällt“, spricht man hier trotzdem häufig von „Gamma-Zerfall“.

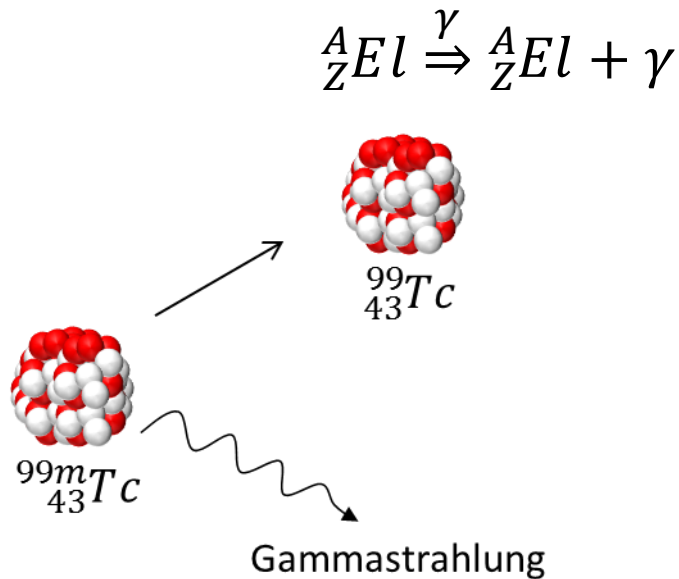


Abbildung 8: Gamma-Strahlung bei Technecium-99m [Grafik: IdF NRW]

Bei Gamma-Strahlung handelt es sich um eine elektromagnetische Wellenstrahlung – vergleichbar mit Radiowellen oder sichtbarem Licht. Sie besitzt jedoch eine deutlich höhere Energie.

Das Radionuklid sendet dabei eine oder mehrere spezifische Energiespitzen aus. Diesen Umstand macht man sich in der Messtechnik zu Nutze, um unbekannte Radionuklide zu identifizieren (s. identiFINDER in der LU B3-052).

Radionuklid	Energie in keV
U-235 (Uran)	186; ...
Ba-137m (Barium)	662
Co-60 (Cobalt)	1173; 1333; ...
N-16 (Natrium)	6129; 7115; ...

Tabelle 2: Gammaenergien ausgewählter Radionuklide; Quelle: Karlsruher Nuklidkarte [2] [Tabelle: IdF NRW]

Da die Gamma-Strahlung weder Masse noch Ladung besitzt, durchdringt sie Materie weitaus besser als Alpha- oder Beta-Strahlung. Es resultieren Reichweiten von bis zu mehreren Kilometern in Luft.

Eine vollständige Abschirmung ist nicht möglich, es lässt sich lediglich die Intensität der Strahlung durch Hindernisse abschwächen (s. Kap. 4.1.2).

3.3 Aktivität

Ein Maß für die Strahlungsintensität einer radioaktiven Quelle ist die **Aktivität A**. Sie gibt an, wie viele Kernzerfälle pro Zeitintervall innerhalb des Stoffes stattfinden. Die international gebräuchliche Einheit dafür ist das **Becquerel (Bq)**. 1 Bq entspricht 1 Zerfall pro Sekunde.

$$\text{Aktivität} = A = \frac{\text{Anzahl der Kernzerfälle}}{\text{Zeiteinheit}} \quad [A] = \text{Bq} = \frac{1 \text{ Zerfall}}{\text{s}}$$

3.4 Halbwertszeit

Ähnlich wie sich beim Zubereiten von Popcorn nicht exakt vorhersagen lässt, wann ein einzelnes Maiskorn aufplatzt, lässt sich der Zeitpunkt des Zerfalls eines einzelnen Atomkerns unmöglich im Voraus bestimmen.

Bei einer größeren Anzahl von Atomen lässt sich jedoch eine statistische Aussage über den Ablauf der Zerfälle machen.

So ist z.B. vom radioaktiven Isotop Iod-131 nach ca. 8 Tagen die Hälfte aller Atome (zu Xenon-131) zerfallen. Nach weiteren 8 Tagen ist von dem Rest wiederum die Hälfte zerfallen usw.

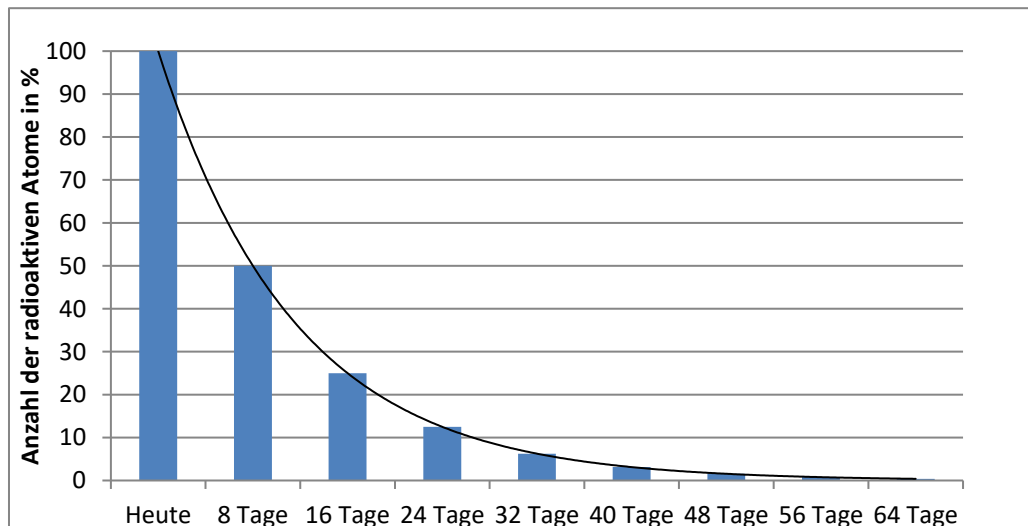


Abbildung 9: Zerfall von Iod-131 [Diagramm: IdF NRW]

Die Zeit, in der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen radioaktiven Atome einer Stoffmenge zerfallen ist, nennt man **Halbwertszeit** (HWZ oder $T_{1/2}$). Sie ist spezifisch für jedes Radionuklid und kann zwischen Sekundenbruchteilen und mehreren Milliarden Jahren liegen.

Radionuklid	Halbwertszeit
Uran-238	4.468.000.000 Jahre [a]
Plutonium-239	24.110 Jahre [a]
Cäsium-137	30,17 Jahre [a]
Iod-131	8,02 Tage [d]
Thorium-231	25,5 Stunden [h]
Sauerstoff-15	2,03 Minuten [m]
Radon-215	2,3 Mikrosekunden [μ s]

Tabelle 3: Halbwertszeiten verschiedener Radionuklide; Quelle: Karlsruher Nuklidkarte [2] [Tabelle: IdF NRW]

3.5 Die Nuklidkarte

Einen Überblick über alle nachgewiesenen Nuklide und ihre Eigenschaften (Halbwertszeiten, Zerfallsarten, -energien) findet sich in einer Nuklidkarte. Sie sind dort in Form einer großen Tabelle mit steigender Neutronenzahl auf der horizontalen und mit steigender Ordnungszahl auf der vertikalen Achse in Feldern aufgelistet. Anhand der Farbe jedes Feldes lässt sich die überwiegende Zerfallsart des Nuklids erkennen:

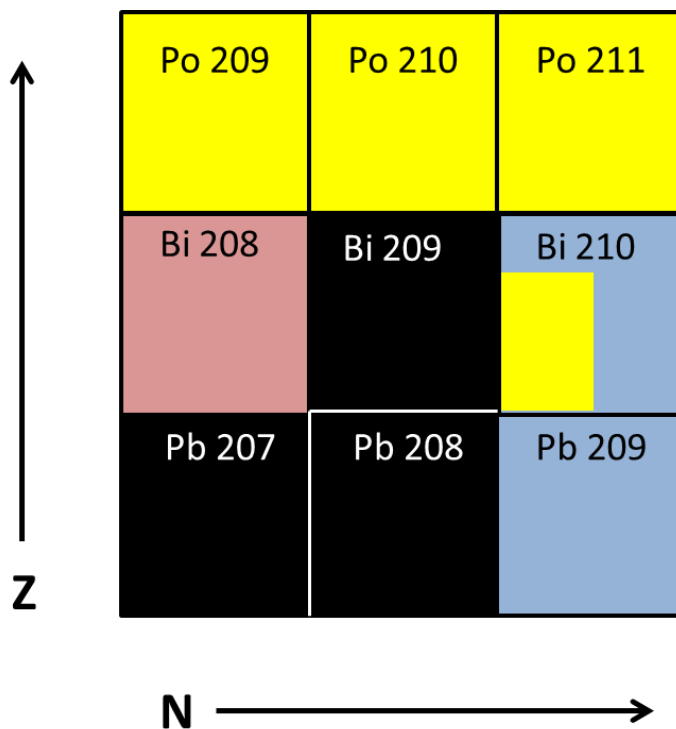


Abbildung 10: Schematischer Ausschnitt aus einer Nuklidkarte [Grafik: IdF NRW]

Farbe	Zerfallsart
Schwarz	stabil (kein Zerfall)
Gelb	Alpha-Zerfall
Blau	Beta-Minus-Zerfall
Rot	Beta-Plus-Zerfall

Tabelle 4: Farbschema der Nuklidkarte [Tabelle: Grafik IdF NRW]

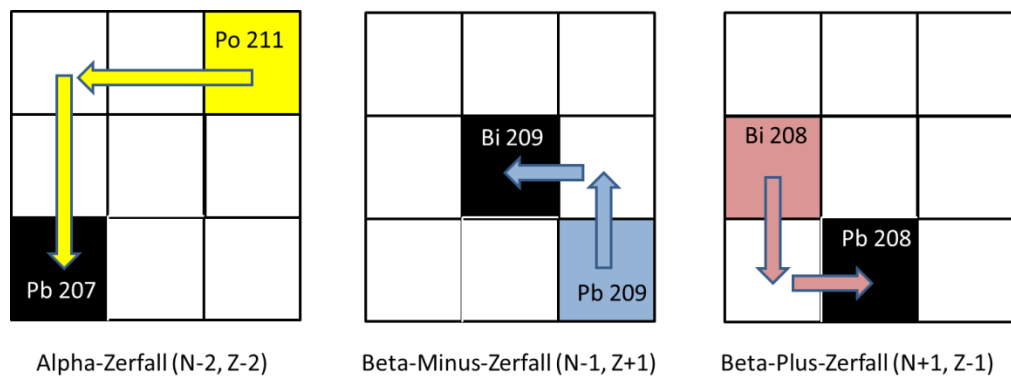


Abbildung 11: Zerfallsarten auf der Nuklidkarte [Grafik: IdF NRW]

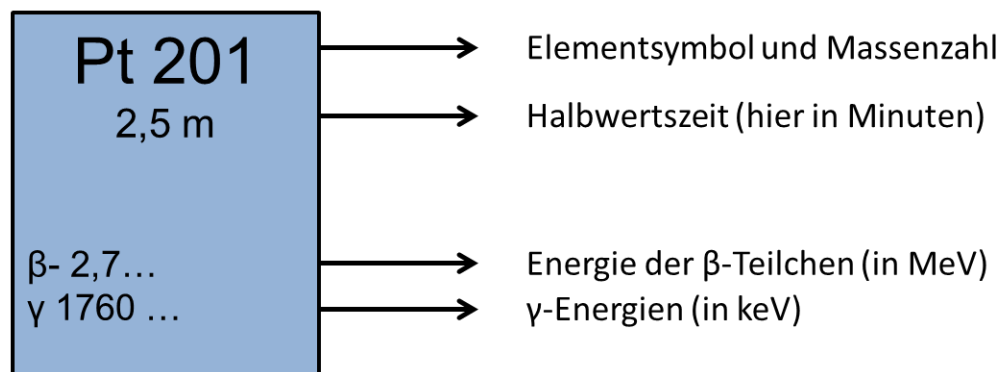


Abbildung 12: Feld einer Nuklidkarte [Grafik: IdF NRW]

Hinweis

Diese Details über das Nuklid lassen sich auch aus Infosystemen wie z. B. IGS-fire entnehmen.

3.6 Wirkung ionisierender Strahlung auf den Menschen

Trifft ionisierende Strahlung auf Materie, finden in einer ersten Phase physikalische Wechselwirkungen statt. Diesen folgen chemische Prozesse, die bei einem Lebewesen wiederum biochemische und biologische Prozesse zur Folge haben können.

3.6.1 physikalische Phase

Strahlung mit hohem Energiegehalt ist in der Lage, Elektronen aus der Atomhülle (s. Kap. 2.2) „herauszuschlagen“. Zurück bleibt ein geladenes Atom (Ion). Diesen Vorgang nennt man **Ionisation**.

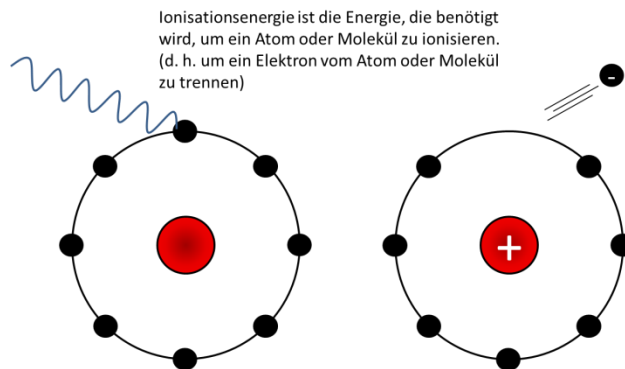


Abbildung 13: Schematische Darstellung der Ionisation eines Atoms [Grafik: IdF NRW]

Bei der Ionisation wird Energie abgegeben und von der durchstrahlten Materie aufgenommen. Bezieht man die aufgenommene Energiemenge auf die Masse des durchstrahlten Stoffs, erhält man als Maß für die physikalische Strahlenwirkung die sog. **Energiedosis**. Seine Einheit ist das Gray. 1 Gray (Gy) entspricht 1 Joule / Kilogramm.

Dosis

$$\text{Energiedosis} = D = \frac{\text{aufgenommene Strahlungsenergie}}{\text{Masse}} \quad [D] = \frac{J}{kg} = Gy$$

Um die unterschiedliche „Durchschlagskraft“, also die relative biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlungsarten zu berücksichtigen, werden die ermittelten Energiedosen noch mit einem einheitslosen Strahlungswichtungsfaktor multipliziert. Für Beta- und Gammastrahlung ist dieser „1“. Aufgrund des großen Schadens, den das schwere Alpha-Teilchen auf kurzer Strecke verursacht, ist der Faktor hierfür „20“.

Man erhält die sog. **Äquivalentdosis**. Sie ist ein Maß für die erzielte biologische Wirkung der Strahlung. Ihre Einheit ist das Sievert (Sv).

$$\text{Äquivalentdosis} = H = \text{Energiedosis} \times \text{Wichtungsfaktor} = D \times \omega_R$$

$$\frac{J}{kg} = Sv$$

Bezieht man die aufgenommene Dosis auf die Zeit, so erhält man die sog. **Dosisleistung**. Sie ist damit ein Maß für die Intensität der Strahlung. Ihre Einheit ist das Sievert pro Sekunde (Sv/s). Bei Messgeräten wird als Basis häufig auch

Dosisleistung

eine Stunde verwendet (Sv/h). Die Dosisleistung gemessen an einem bestimmten Ort wird auch als **Ortsdosisleistung** (ODL) bezeichnet.

$$\text{Dosisleistung} = \frac{\text{Dosis}}{\text{Zeit}} \quad \Rightarrow \quad \text{Dosis} = \text{Dosisleistung} \times \text{Zeit}$$

$$\frac{\frac{J}{kg}}{s} = \frac{J}{kg \times s} = \frac{Sv}{s}$$

Beispiel:

Eine Einsatzkraft nimmt eine Dosis von 15 mSv in einer Stunde auf. Die Dosisleistung beträgt demnach 15 mSv/h.

Nimmt die Einsatzkraft dieselbe Dosis von 15 mSv in 5 Minuten auf, so beträgt die Dosisleistung 180 mSv/h.

Faustformel Ortsdosisleistung

Ein beliebiger γ -Strahler der Aktivität $3,0 \cdot 10^9$ Bq (3 GBq) erzeugt in 1 m Abstand die Dosisleistung 1 mSv/h.

Beispiel: Ein γ -Strahler mit der Aktivität 9 GBq erzeugt in 1m Abstand eine Dosisleistung von 3 mSv/h.

3.6.2 Chemische Phase

War das bei der Ionisation herausgeschlagene Elektron für die Bindung an ein anderes Atom verantwortlich, bricht diese Verbindung auseinander. Die Bruchstücke (Radikale) können dann wieder Reaktionen eingehen. So entsteht z.B. bei der Bestrahlung von Wasser – aus dem der menschliche Körper zu etwa 60% besteht – Wasserstoffperoxid, ein bereits in kleinen Mengen wirksames Zellgift.

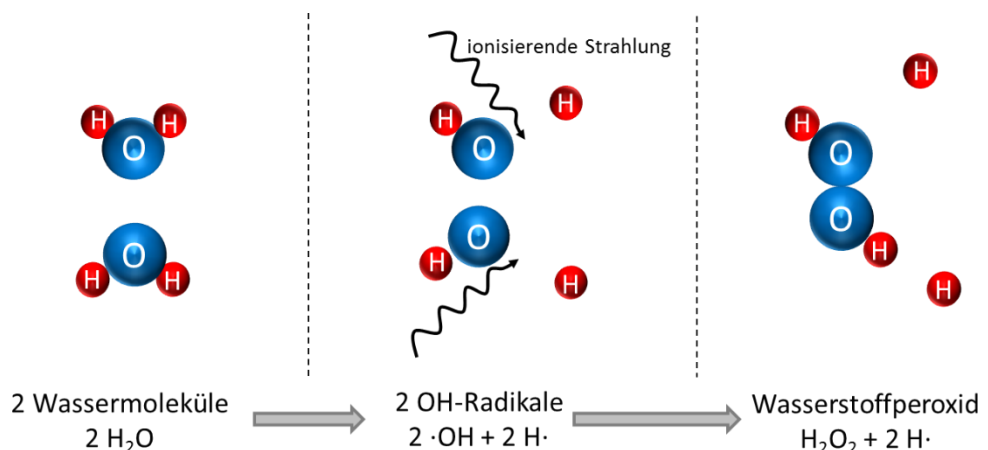


Abbildung 14: Radiolyse, Bildung von Wasserstoffperoxid [Grafik: IdF NRW]

Auch an der DNA, die aus einer langen Kette aus vielen Bausteinen besteht, verursacht die ionisierende Strahlung Schäden. So kann es z.B. zu einem Bruch der Kette kommen.

3.6.3 Biochemische und biologische Phase

Der Körper besitzt vielfältige Möglichkeiten, die durch ionisierende Strahlung verursachten Schäden zu reparieren und entstandene Gifte zu eliminieren. Versagen diese Mechanismen, kommt es zu einem Strahlenschaden.

Hierbei werden somatische (den Körper betreffende) von genetischen (vererb- baren) Schäden unterschieden:

Somatische Schäden treten bei dem bestrahlten Lebewesen selber auf. In der **Frühphase** lassen ab einer sog. **Schwellendosis** (beim Menschen ca. 250 mSv bei Ganzkörperbestrahlung) erste klinische Auswirkungen wie kurzzeitige Veränderungen des Blutbildes, Fieber, Erbrechen oder Unwohlsein nachweisen. Hier gilt: Je höher die Dosis, desto schwerer wird die Erkrankung.

Frühschäden

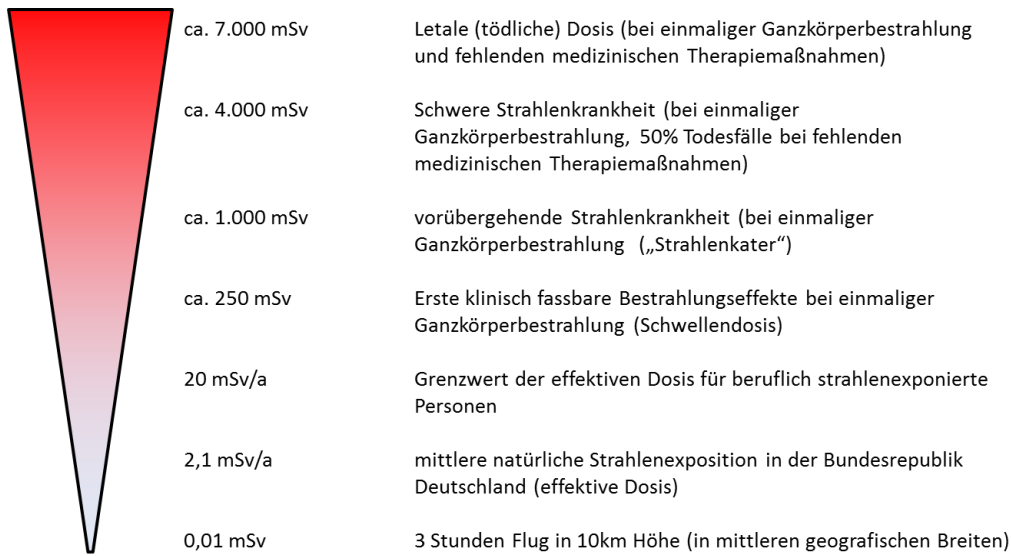


Abbildung 15: Beispiele für Körperdosen und Körperdosis-Leistungen [Grafik: IdF NRW]

Bei den somatischen **Spätschäden** spielt die Dosis für die Schwere der Erkrankung dagegen keine Rolle. Hier steigt mit erhöhter Dosis die Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung wie Leukämie, Tumorbildung oder Linsentrübungen.

Spätschäden

Genetische Schäden betreffen die Nachfahren des bestrahlten Lebewesens. Hierbei werden die Keimzellen geschädigt und die fehlerhafte Erbinformation dann an die nächste Generation weitergegeben.

Genetische Schäden

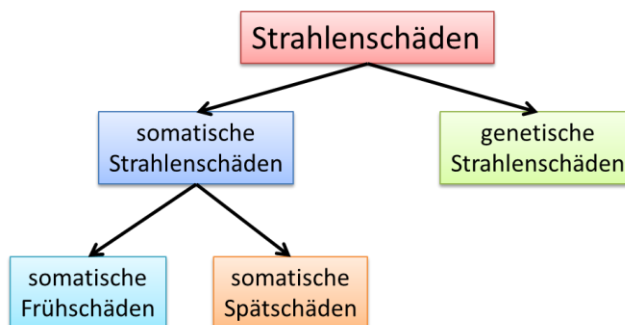


Abbildung 16: Einteilung der Strahlenschäden [Grafik: IdF NRW]

3.7 Zusammenfassung

- **Radioaktivität** ist die Eigenschaft eines Atomkerns, sich ohne äußere Einwirkung umzuwandeln und dabei Strahlung auszusenden.
- Die häufigsten **Zerfallsarten sind: Alpha-, Beta- und Gammastrahlung.**

Zerfallsart	Teilchen-/Wellenstr.	Reichweite in Luft	Abschirmung
Alpha	Teilchen (Heliumkern)	einige cm	Blatt Papier
Beta-Minus	Teilchen (Elektron)	einige m	Buch
Beta-Plus	Teilchen (Positron)	einige m	Buch
Gamma	Welle	einige km	nur Abschwächung

Tabelle 5: Übersicht über die einige Eigenschaften verschiedener Strahlungsarten
[Tabelle: IdF NRW]

- Die **Aktivität** ist ein Maß für die Strahlungsintensität einer Strahlungsquelle und gibt an wie viele Kernzerfälle pro Zeitintervall innerhalb des Stoffes stattfinden. Die Einheit ist das Becquerel (Bq).
- Die **Halbwertszeit** ist die Zeit, in der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Atome zerfallen ist.
- Trifft **ionisierende Strahlung** auf Materie, gibt sie dort Energie ab. Die abgegebene Energie, bezogen auf die Masse und gewichtet mit unterschiedlichen Wirksamkeiten der verschiedenen Strahlungsarten, ist die **Äquivalentdosis**.
- Die Einheit der Äquivalentdosis ist das **Sievert (Sv)**.
- Die aufgenommene Dosis pro Zeiteinheit wird als **Dosisleistung** bezeichnet.
- Ionisierende Strahlung führt zu **Veränderungen** an den bestrahlten Zellen auf **physikalischer, chemischer und biologischer Ebene**.
- Man unterscheidet **somatische Schäden** (beim bestrahlten Organismus selber) und **genetische Schäden** (bei seinen Nachkommen).
- Erste Fröhschäden beim Menschen lassen sich ab einer Ganzkörperdosis von 250 mSv (**Schwellendosis**) nachweisen, 7 Sv sind i.d.R. tödlich (**letale Dosis**).

4 Strahlenschutz

Die FwDV 500 fordert: „Jede gefährliche Einwirkung von Energie ist so gering wie möglich zu halten“ (FwDV 500: Kapitel 1.1). Dies lässt sich im Fall der ionisierenden Strahlung durch die Einhaltung von vier Grundsätzen erreichen, die im Allgemeinen auch als die „4-A-Regel“ (FwDV 500: Kapitel 2.4.2.2 oder Anlage 2) bezeichnet werden:

4-A-Regel

4.1.1 Aufenthaltsdauer

Da die aufgenommene Dosis proportional mit der Zeit zunimmt (s. Kap. 3.6.1), ist die Aufenthaltsdauer einer Einsatzkraft im Wirkungsbereich der ionisierenden Strahlung **möglichst kurz** zu halten.

Eine Halbierung der Einsatzdauer führt dabei zu einer Halbierung der aufgenommenen Dosis.

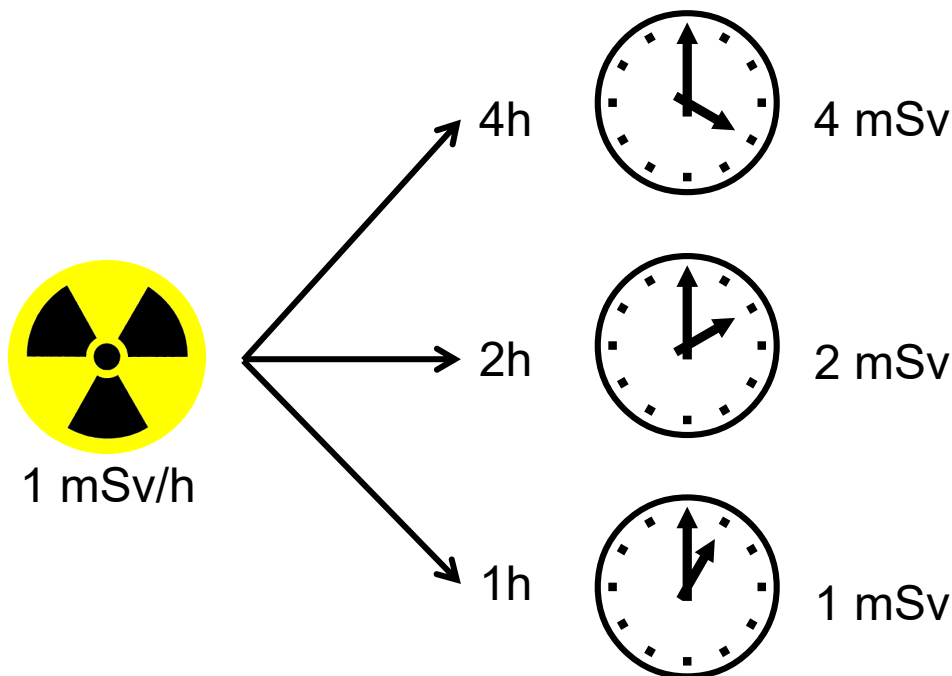


Abbildung 17: Abhängigkeit der Dosis von der Aufenthaltsdauer [Grafik: IdF NRW]

4.1.2 Abschirmung

Teilchenstrahlung (Alpha sowie Beta-Minus- und Beta-Plus-Strahlung) lässt sich durch Materie in ausreichender Dicke vollständig abschirmen (s. Kap. 3.2).

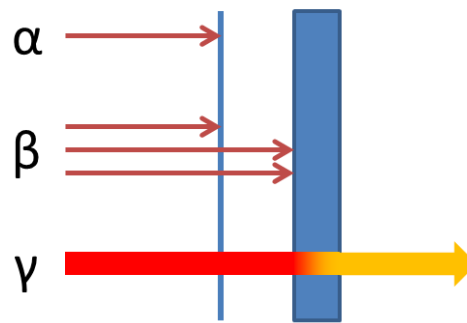


Abbildung 18: Abschirmung verschiedener Strahlungsarten [Grafik: IdF NRW]

Halbwertsdicke

Gammastrahlung hingegen wird durch Materie lediglich abgeschwächt. Die Dicke der Schicht, hinter der die Strahlungsintensität – insbesondere die Dosisleistung – um die Hälfte reduziert wird, bezeichnet man als **Halbwertsdicke**.

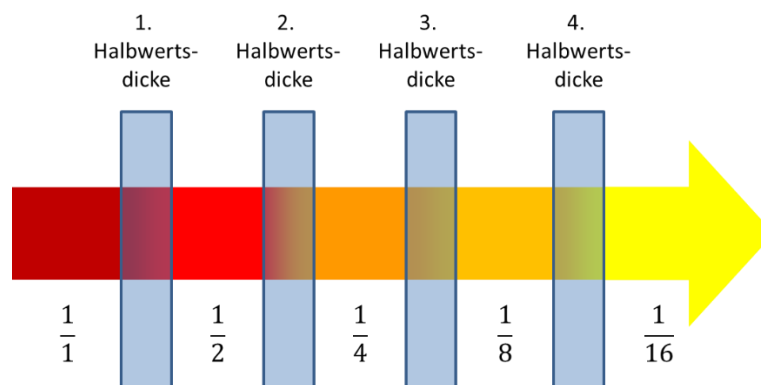


Abbildung 19: Halbwertsdicke [Grafik: IdF NRW]

Je größer die Dichte eines Materials, desto geringer ist seine Halbwertsdicke.

Material	Halbwertsdicke in cm
Blei	0,88
Kupfer	1,3
Eisen	1,6
Aluminium	4,2
Beton	4,9
Wasser	9,8

Tabelle 6: Halbwertsdicken; Quelle: Lindner: Atom- und Kernphysik [4]; [Tabelle: IdF NRW]

4.1.3 Abstand

Eine punktförmige Quelle strahlt gleichmäßig in alle Richtungen. Die Strahlung, die dabei auf eine bestimmte Fläche trifft, verringert sich mit dem **Quadrat der Entfernung**. Dies wird als **Abstandsquadratgesetz** bezeichnet.

5 Natürliche und zivilisatorische Strahlungsbelastung

Auch wenn die Radioaktivität und ihre Auswirkungen erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts entdeckt wurden, war ihr der Mensch doch immer schon ausgesetzt. Aus dem Weltall gelangt kosmische Strahlung auf die Erde und natürliche Radionuklide im Boden, die teilweise bereits bei der Entstehung der Erde existierten, geben dauerhaft ihre Strahlung ab.

Seit Beginn der militärischen und friedlichen Nutzung der Kernenergie trägt der Mensch außerdem mit künstlicher Radioaktivität zu seiner Strahlenexposition bei.

Jährliche Strahlenexposition

Insgesamt kommt es dabei in Deutschland zu einer jährlichen Strahlenexposition von etwa **4 mSv**.

5.1 Natürliche Strahlung

Aus dem Weltall prasselt ständig hochenergetische Strahlung, die sog. **kosmische Strahlung**, auf die Erde herab. Da diese vom Erdmagnetfeld und von der Atmosphäre abgeschwächt wird, hängt ihre Stärke in erster Linie von der Höhe über dem Meeresspiegel ab.

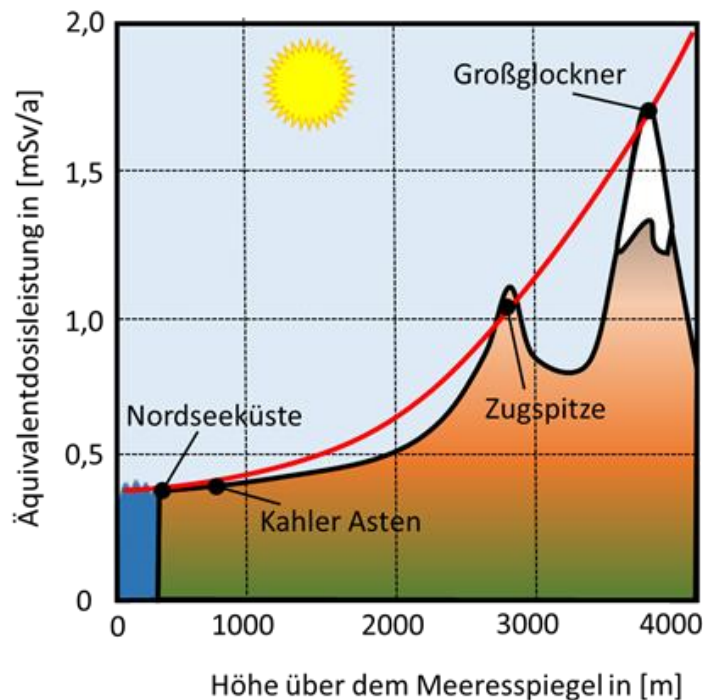


Abbildung 21: terrestrische Strahlung, Quelle: Volkmer [3] [Grafik: IdF NRW]

Im Boden befinden sich Radionuklide wie Thorium-232, Uran-238 oder Kalium-40 mit sehr langer Halbwertszeit (bis zu 14 Milliarden Jahren), die bereits vor der Entstehung der Erde existierten. Sie sind auch in Bodenbelägen und fast allen Baustoffen enthalten. Diese **terrestrische Strahlung** besteht überwiegend aus Gammastrahlung. Ihre gasförmigen Zerfallsprodukte, wie z.B. Radon, entweichen aus dem Erdboden und tragen beim Einatmen als Alpha- und Betastrahlung zur Strahlenexposition bei.

Der durchschnittliche Wert der terrestrischen Strahlung von außen liegt in Deutschland bei etwa 0,4 mSv pro Jahr, wobei der Wert zwischen 0,25 mSv/a in Norddeutschland bis zu 1,3 mSv/a in einigen Mittelgebirgen schwankt. Manche Gebiete auf der Welt (z. B. im Iran) kommen auf bis zu 200 mSv/a.

In Summe beträgt die durchschnittliche jährliche Strahlenexposition durch die natürliche Strahlung in Deutschland etwa 2 mSv.

5.2 Zivilisatorische Strahlung

Die zivile Nutzung der Kernenergie trägt ebenfalls zur Strahlenexposition der Bevölkerung bei. Den größten Anteil haben dabei medizinische Anwendung wie Röntgenuntersuchungen oder Bestrahlungstherapien mit ca. 1,9 mSv pro Jahr.

Durch den Normalbetrieb von Kernkraftwerken und der Förderung von Kohle und Öl kommt es ebenfalls zu einer Strahlenexposition (ca. 0,1 mSv/a). Im ersten Jahr nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl kam es in NRW zu einer zusätzlichen Dosis von ca. 0,1 mSv. Derzeit beträgt diese zusätzliche Dosis noch etwa 16 µSv/a.

Weitere Quellen künstlicher Strahlung sind z.B. Ionisationsrauchmelder, Messgeräte zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung oder mit Leuchtfarbe versehene Ziffernblätter alter Uhren.

In Summe beträgt die durchschnittliche jährliche Strahlenexposition durch die zivilisatorische Strahlung in Deutschland etwa 2 mSv.

6 Vorgehen im Strahlenschutz Einsatz

Das Kapitel 6 beschäftigt sich mit verschiedenen Aspekten, die sämtlich relevant sind für ein sicheres und zielgerichtetes Arbeiten zur Gefahrenabwehr im A-Einsatz.

6.1 Rechtliche Vorgaben

Das Vorgehen bei Feuerwehreinsätzen mit radioaktiven Stoffen und Materialien wird in der Hauptsache durch drei Rechtsgrundlagen geregelt.

- das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [8] als Nachfolger des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) und in Teilen auch des Atomgesetzes (AtomG) in dessen alter Fassung
- die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [9] auf Ermächtigungsgrundlage des StrlSchG (bis September 2017 auf Grundlage des AtomG)
- die FwDV 500 [1] in der jeweils gültigen Fassung

Die Verbindlichkeit der Feuerwehrdienstvorschriften in Nordrhein-Westfalen ergibt sich aus der Einführung per Ministererlass. Die gegenwärtige Fassung der FwDV 500 mit Stand Juni 2022 berücksichtigt die seit dem 1. Oktober 2017 geltende neue Strahlenschutz-Gesetzgebung.

Alle im A-Einsatz für Einsatzkräfte relevanten rechtlichen Regelungen können der FwDV 500 entnommen werden. Trotzdem ist es sinnvoll, auf örtlicher Ebene weitergehende Festlegungen, z.B. durch Dienstanweisungen, zu treffen.

Dies können Regelungen zum/zur

- Kontaminationsnachweis
- Dokumentation
- vfdb-RL 10-04
- ... sein.

Diese Lernunterlage fasst wesentliche Aspekte zusammen und gibt ergänzende Hinweise.

Auf die üblicherweise im Feuerwehreinsatz verfügbaren Messgeräte geht diese Lernunterlage nur im taktischen Kontext ein. Weitergehende Informationen zu Messgeräten im Strahlenschutz finden Sie in der Lernunterlage LU B3-052 „Mess- und Nachweisgeräte im ABC-Einsatz“.

6.2 GAMS im A-Einsatz

Die Anfangsphase eines A-Einsatzes ist häufig von einer aufwändigen Erkundung und mangelnden Personal- und Materialressourcen geprägt.

Eine Führungskraft kann sich in dieser Phase an der GAMS-Regel (vgl. FwDV 500 Kap. 1.5.3.2) orientieren. Aus dem Begriff lässt sich keine Reihenfolge der zu erreichenden Schutzziele ableiten. Es gilt im A-Einsatz ebenso wie in jedem anderen BC-Einsatz, dass eine Menschenrettung die höchste Priorität besitzt. Wenn die Menschenrettung nicht nur technisch erfolgen muss, sondern auch

eine medizinische Rettung notwendig und zeitkritisch ist, dann dürfen diese Maßnahmen ebenfalls nicht vermeidbar verzögert werden. Beispielsweise darf nicht jeder Verletzte routinemäßig die Standard-Dekontamination durchlaufen. Ein lebensbedrohlicher Gesundheitszustand kann einen sofortigen Transport des Verletzten erfordern; dazu muss nötigenfalls eine Kontaminationsverschleppung in Kauf genommen werden.

MERKE

Lebensrettende Sofortmaßnahmen gehen vor Dekontamination. Dabei ist der Eigenschutz zu beachten.

(FwDV 500 Kap. 1.5.3.6)

Die in Grenzfällen nicht immer einfache Abwägung sollte unter Einbeziehung der medizinisch höchstqualifizierten Einsatzkräfte geschehen. Eine ärztliche Weisung zur medizinisch-taktischen Vorgehensweise ist grundsätzlich bindend.

In den meisten Fällen dürfte bei größerer Behandlungsdringlichkeit nach erfolgter Sofortdekontamination nicht mehr viel gegen eine zügige Behandlung samt Transport sprechen. Übrigens: Die Kleidung, die ein Feuerwehrangehöriger „Schutzkleidung-Form 2“ nennt, kennt das Rettungsdienstfachpersonal als Infektionsschutzoverall – und der ist auf jedem RTW zu finden.

6.3 Erkundung

Während der Erkundung sind Informationen einzuholen die es ermöglichen, die Gefahren der Einsatzstelle einzuschätzen. Für den A-Einsatz ergeben sich viele zu beantwortende Fragen aus den Grundlagen, die in den Kapiteln 4 und 5 behandelt wurden.

Diese wichtigen Aspekte hebt die FwDV 500 (Kap. 2.4.1) hervor:

- a. Welche Dosisleistung liegt vor?
- b. Um welches Radionuklid handelt es sich?
- c. Welche Strahlung wird erzeugt?
- d. In welcher Form liegt der radioaktive Stoff vor?
- e. Besteht die Gefahr, dass die Umhüllung umschlossener radioaktive Stoffe zerstört wurde?
- f. Sind radioaktive Stoffe frei geworden?
- g. Welcher Art ist die vorhandene Abschirmung?
- h. Besteht die Gefahr der Ausbreitung radioaktiver Stoffe durch Brandrauch oder Löschwasser?

(Anm: Die Buchstaben wurden der Auflistung hinzugefügt, um im Folgenden einfacher Bezug nehmen zu können.)

Dosisleistung

Die vorgefundene Ortsdosisleistung (a) ist sofort beim Eintreffen an der Einsatzstelle von Bedeutung, weil sie eines von mehreren Kriterien für die Festlegung des Gefahrenbereiches ist (vgl. Kap. 6.6). Im weiteren Einsatzverlauf kann der Einheitsführer überschlagen, wie lange ein Trupp an Orten mit bekannter Ortsdosisleistung Tätigkeiten durchführen darf.

Aus der Kenntnis des Radionuklids (b) lässt sich die Art der erzeugten Strahlung (c) ermitteln. Außerdem kann man in der Nuklidkarte nachschlagen, in welchem Energiebereich ein γ -Strahler strahlt. So lässt sich ermitteln, wie gut ein bestimmtes Radionuklid für das verwendete γ -Messgerät „sichtbar“ ist. Informationen über vorgefundene Nuklide lassen sich an der Einsatzstelle in Begleitpapieren oder an (Packstück-)Kennzeichnungen finden. In baulichen Anlagen können sachkundige Personen Auskunft geben oder der Feuerwehrplan Detailinformationen beinhalten.

Radionuklid
Art der Strahlung

Mit der Form (d) ist einerseits der Aggregatzustand der chemischen Verbindung gemeint, in dem das Radionuklid vorliegt. Außerdem ist die Unterscheidung zwischen offenen und umschlossenen radioaktiven Stoffen wichtig. Diese Informationen spielen eine zentrale Rolle für die Gefahr der Kontaminationsverschleppung und ggf. Wahl der Schutzausrüstung.

Offene oder umschlossene Strahlenquelle

Die Fragen (e) und (f) lassen in Verbindung mit einer Kenntnis vom etwaigen Unfallhergang einen Schluss auf Arten von Gefährdungen zu. Wenn radioaktives Material lediglich aus einer Umschließung und/oder dichten Verpackung heraus strahlt, so besteht „nur“ die Gefahr, eine Strahlendosis aufzunehmen. Wenn hingegen nicht ausgeschlossen werden kann, dass strahlendes Material freigesetzt wurde, bestehen zusätzlich die Gefahren von Kontamination und Inkorporation.

Mit Kenntnis von der Art der Abschirmung (g) kann in Verbindung mit dem Wissen um die Art der Strahlung (c) abgeschätzt werden, ob außerhalb der Abschirmung mit erhöhter Ortsdosisleistung zu rechnen ist. Wenn das Material und die Wandstärke der Abschirmung bekannt sind, lässt sich sogar überschlägig berechnen, wie hoch die Dosisleistung auf der jeweils anderen Seite der Abschirmung ist.

Einsätze mit Beteiligung radiologischer Gefahrstoffe müssen nicht zwangsläufig isolierte A-Einsätze sein. Der Grund für den Feuerwehreinsatz ist wahrscheinlich zunächst einmal ein Brandeinsatz oder eine technische Hilfeleistung, zum Beispiel nach einem Verkehrsunfall. Insbesondere die Fragen nach Form (d), Umhüllung (e) und möglicher Freisetzung (f) sind wichtig, um taktisch eine Kontaminationsverschleppung durch Löschwasser oder andere Mechanismen abschätzen zu können. Taktisch handelt es sich bei (h) also um die Diskussion der Ausbreitung der Gefahr.

Für die meisten radiologischen Gefahrstoffe gilt folgende Faustformel:

Ein Strahler, der stabile Tochternuklide bildet, darf nach Ablauf von 10 HWZ (Halbwertszeiten) als gering gefährlich betrachtet werden.

MERKE

Der Grund liegt in der logarithmischen Abnahme der Aktivität des Ausgangsnuklids (s. auch Kap 3.4, insb. Abbildung 9). Nach 10 Halbwertszeiten ist nämlich nur noch etwa ein Tausendstel des Ausgangsmaterials vorhanden. Wenn

das Zerfallsprodukt also selbst nicht aktiv ist, beträgt die Aktivität des verbliebenen Stoffes/Stoffgemischs ebenfalls nur noch ca. 0,1% der ursprünglichen Aktivität.

Da Halbwertszeiten extrem stark variieren, kann es in manchen Einsatzlagen sinnvoll sein, einige Halbwertszeiten abzuwarten. Ohne echtes Zutun von Einsatzkräften löst sich das Problem quasi von selbst. Das ist nicht unrealistisch, denn viele medizinische Präparate, die einen erheblichen Anteil der radiologischen Transporte ausmachen, besitzen eine relativ kurze HWZ.

6.4 Kennzeichnung

Zur Warnung vor Gefahren durch ionisierende Strahlung sind Kennzeichnungen aufgrund verschiedener Rechtsgrundlagen festgelegt worden:

Strahlenschutzverordnung:

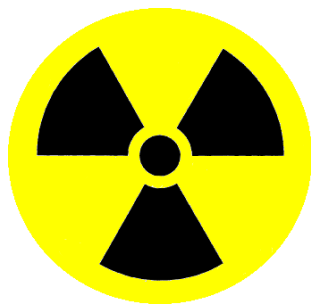


Abbildung 22: Strahlenzeichen nach StrlSchV [Anlage IX der StrlSchV]

Arbeitsstättenrichtlinie A1.3:



Abbildung 23: Warnzeichen W003 nach ASR A1.3 [ASR 1.3], „Warnung vor radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung“

Internationale Atomenergieorganisation:

Seit dem Jahr 2007 existiert ein zusätzlicher Warnhinweis vor radioaktiven Stoffen, der jedoch rein ergänzende Anwendung findet. Das in Abbildung 24 dargestellte Piktogramm wurde im Stil einer Bildergeschichte entwickelt, um nach der Missachtung einer ersten Strahlenschutzwarnung klare Verhaltensanweisungen zu geben. Das Zeichen wird in der Regel nicht direkt sichtbar unterhalb einer ersten Schutzabdeckung eines technischen Gerätes angebracht.



Abbildung 24: Warnhinweis vor radioaktiven Stoffen nach IAEO [ISO 21482], eingeführt im Jahr 2007, darf nur zusammen mit Warnzeichen W003 (Abbildung 23) verwendet werden.

StrlSchV, FwDV 500:

Die Kennzeichnungen „Feuerwehr! Gefahrengruppe I/II/III“ besitzen ausschließlich eine Gültigkeit im Strahlenschutz, wenngleich sie die Gefahr durch radioaktive Stoffe nicht explizit benennen. Ihre Grundlage haben diese Kennzeichnungen in der Strahlenschutzverordnung. Darüber hinaus finden sich an Zugängen zu Gebäudeteilen mit einer solchen Kennzeichnung weitere Hinweise wie das Radioaktiv-Symbol (vgl. Abbildung 22), so dass es einfach ist, die Gefahrenart „A“ zu erkennen.



Abbildung 25: Kennzeichnung der Gefahrengruppe IA [FwDV 500]



Abbildung 26: Kennzeichnung der Gefahrengruppe IIA [FwDV 500]



Abbildung 27: Kennzeichnung der Gefahrengruppe IIIA [FwDV 500]

Versandstücke:Abbildung 28: Placard 7A
[ADR]Abbildung 29: Placard 7B
[ADR]Abbildung 30: Placard 7C
[ADR]

Auf den oben gezeigten Gefahrzetteln wird folgender Inhalt eingetragen:

Inhalt / Contents	(Name des Radionuklids)
Aktivität / Activity	(Angabe in Bequerel)
Transportkennzahl / Transport Index	(nur bei Gefahrzettel 7B und 7C)

MERKE

Die **Transportkennzahl (TKZ)** mit 10 multipliziert ergibt die in 1 m Entfernung von der Oberfläche der **intakten** Verpackung gemessene Äquivalentdosisleistung in $\mu\text{Sv/h}$.

Die Transportkennzahl des Versandstückes wird vom Versender messtechnisch ermittelt. Auf englischsprachigen Vordrucken lautet die Bezeichnung Transportindex (TI) anstelle von Transportkennzahl.

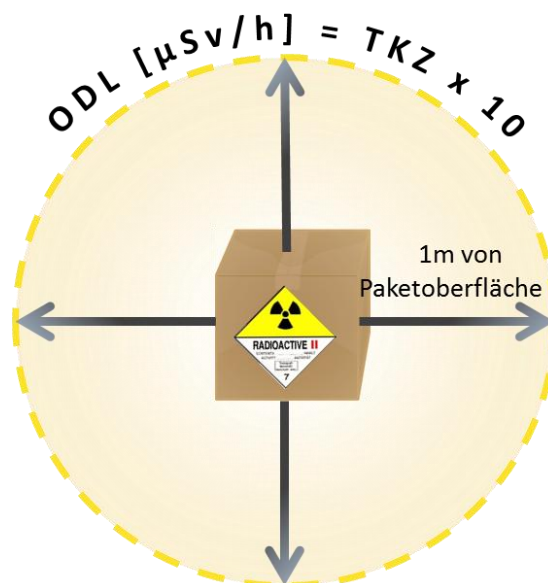


Abbildung 31: Berechnung der Ortsdosisleistung (ODL) aus der Transportkennzahl (TKZ) [Grafik: IdF NRW]

Weil die Abschirmung im Innern des Versandstückes in alle Richtungen eine gleiche Qualität besitzt und das Versandgut mittig im Karton gehalten wird, ist

zu erwarten, dass die gemessene Dosisleistung an allen Seiten des Versandstücks gleich ist. Hieraus ergeben sich zwei mögliche **Indizien für einen Schaden** im Paket:

- Die gemessene ODL in einem Meter Abstand von der Paketoberfläche in $\mu\text{Sv/h}$ stimmt nicht mit dem Erwartungswert ($\text{TKZ} \times 10$) überein.
- Die an verschiedenen Seiten des Paketes gemessenen ODL weichen signifikant voneinander ab.

Zusammenfassend lassen sich aus den Großzetteln, die A-Versandstücke kennzeichnen, viele wichtige Informationen gewinnen:

Großzettel/Placard	7A	7B	7C
γ -Strahlung außerhalb Paket?	„nein/kaum“	ja!	ja!!
Angabe zu Inhalt/Aktivität	✓/✓	✓/✓	✓/✓
DL an Paketoberfläche	$< 5 \mu\text{Sv/h}$	$< 500 \mu\text{Sv/h}$	$< 2000 \mu\text{Sv/h}$
DL 1 m entfernt von Paketoberfläche	-----	← $\text{TKZ} \times 10 \mu\text{Sv/h}$ →	

Fahrzeuge und Tankcontainer:

Der Großzettel 7D (Abbildung 32) ist außen an Fahrzeugen oder großen Containern zu finden, in denen radioaktives Material transportiert wird.



Abbildung 32: Placard 7D [ADR]

6.5 Vorbereitung und Planung von Einsätzen

Das Strahlenschutzgesetz und in besonders konkreter Form auch die Strahlenschutzverordnung (§53, Abs. 2 f. StrlSchV) schreibt Betreibern vor, dass sie ne-

ben eigenen Gefahrenabwehrplanungen u. a. die Feuerwehr in ihre Vorplanungen mit einbeziehen. Dies geschieht beispielsweise dadurch, dass den Behörden, der Feuerwehr und den Hilfsorganisationen im Einsatzfall alle nötigen Informationen sowie fachliche Beratung zur Verfügung gestellt werden. Dasselbe gilt jedoch auch außerhalb des Einsatzes, also für die Aus- und Fortbildung.

Eine örtlich zuständige Feuerwehr sollte sich also im Rahmen des Übungs- und Ausbildungsdienstes mit Sonderobjekten vertraut machen, von denen radiologische Gefahren ausgehen können.

Für Bereiche der Gefahrengruppen II und III sind darüber hinaus laut FwDV500, Kap. 1.2.2.2 **Feuerwehrpläne** vorzuhalten. Diese müssen Informationen zu den vorgefundenen Gefahren, Hinweise zu Gefahrenabwehrmaßnahmen und zu Ansprechpartnern enthalten.

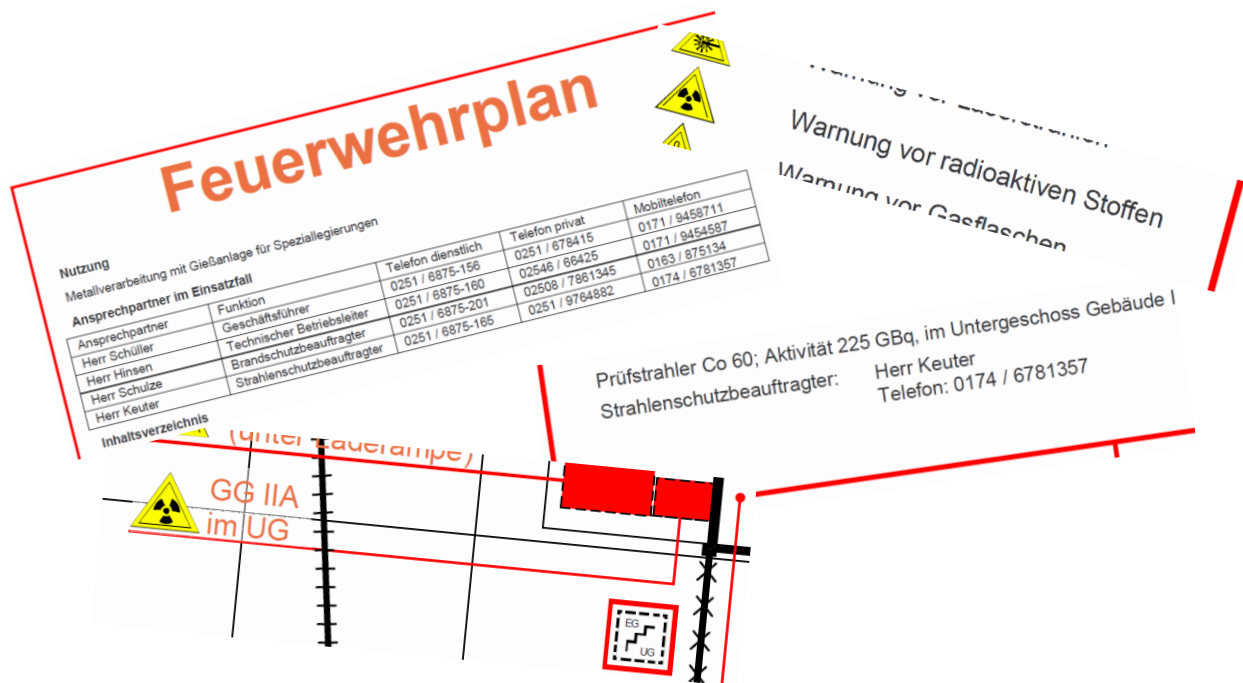


Abbildung 33: Feuerwehrpläne enthalten viele wertvolle Informationen – auch über gelagerte Gefahrstoffe. [Grafik: IdF NRW]

6.6 Festlegung des Gefahrenbereichs

Die Grenze des Gefahrenbereichs ist vom Einsatzleiter aufgrund seiner Erkundung unter Berücksichtigung der meteorologischen und topographischen Verhältnisse festzulegen. Dabei sind **kontaminierte Flächen** bzw. Flächen, bei denen der **Verdacht einer Kontamination** besteht, mit einzubeziehen. Bei unklarer Lage beträgt der Abstand zum Schadensobjekt **mindestens 50m**.

Die Grenze des Gefahrenbereichs ist während des Einsatzes laufend zu überwachen. Nach Messung ist der Gefahrenbereich so zu legen, dass die Dosisleistung außerhalb des Gefahrenbereichs **maximal 25 µSv/h** beträgt. Dieses

Kriterium gilt während des gesamten Einsatzes, folglich muss die Dosisleistung an der Grenze fortwährend überwacht werden. Dies bedeutet, dass der Gefahrenbereich im Laufe eines Einsatzes verkleinert werden kann(!) oder vergrößert werden muss. Beschränkt sich die Gefahr auf das Innere des Schadensobjekts, kann die Grenze des Gefahrenbereichs bis auf 5 m an das Schadensobjekt herangezogen werden oder sogar ganz in ein Gebäude verlegt werden.

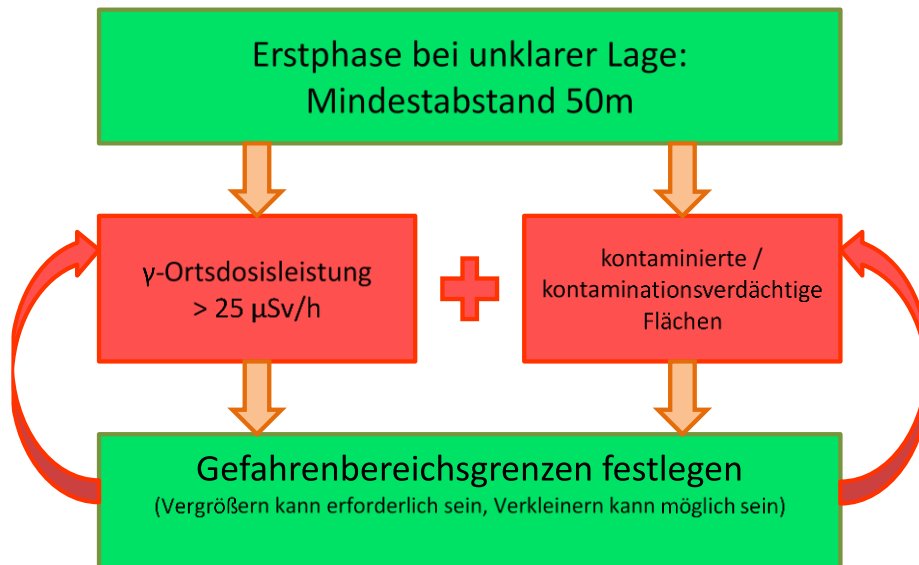


Abbildung 34: Festlegung des Gefahrenbereichs [Grafik: IdF NRW]

Jede Manipulation an einem Strahler oder der Abschirmung kann die Ausbreitung der Strahlung stark beeinflussen. Die Arbeiten im Gefahrenbereich können also selbst die Ursache dafür sein, dass eine Anpassung des Gefahrenbereiches nötig wird.

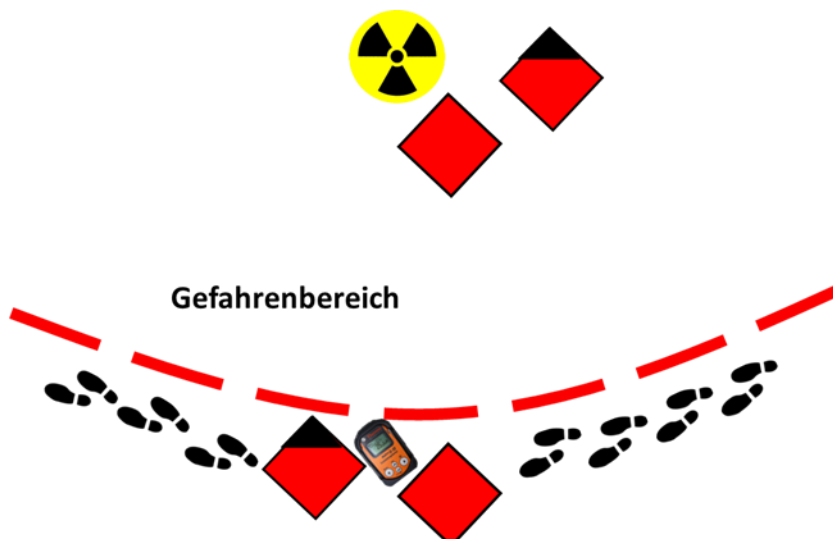


Abbildung 35: Die Festlegung der Gefahrenbereichsgrenze muss fortlaufend überwacht werden, solange im Gefahrenbereich Arbeiten die Ausbreitung der Strahlung verändern können. [Grafik: IdF NRW]

6.7 Arten von Gefahren

Von radioaktiven Stoffen und Materialien gehen folgende Gefahren aus:

6.7.1 äußere Strahleneinwirkung

Ionisierende Strahlung, insbesondere die Gamma-Strahlung, wirkt von außen auf Lebewesen oder Objekte.

Grundsatz: Jede gefährliche Einwirkung von Energie ist so gering wie möglich zu halten (FwDV 500, Kap. 1.1)

Dies kann u.a. durch die Beachtung der **4-A-Regel** („Aufenthaltsdauer begrenzen, Abschirmung nutzen, Abstand halten, Abschalten“, s. Kap. 4) erreicht werden.

Für Feuerwehrangehörige gelten die Referenzwerte der FwDV 500:

Anlass	Referenzwert
Aus- und Fortbildung	1 mSv pro Jahr
Einsatz zum Schutz der Umwelt oder von Sachwerten	20 mSv je Einsatz und Kalenderjahr
Einsatz zum Schutz von Menschenleben oder der Gesundheit	100 mSv je Einsatz und Kalenderjahr
Einsatz zur Rettung von Menschenleben, zur Vermeidung schwerer strahlungsbedingter Gesundheitsschäden oder zur Vermeidung oder Bekämpfung einer Katastrophe	250 mSv je Einsatz und Leben

Tabelle 8: Referenzwerte nach FwDV 500 [Tabelle: IdF NRW]

In Ausnahmefällen, in denen es möglich ist, dass die effektive Dosis den Wert von 250 mSv überschreitet, kann die Einsatzleitung zur erkennbar möglichen Rettung von Menschenleben, zur Vermeidung schwerer strahlungsbedingter Gesundheitsschäden oder zur Vermeidung oder Bekämpfung einer Katastrophe einen erhöhten Referenzwert von 500 mSv festlegen.

Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen:

Sofern im Einsatz die effektive Dosis 100 mSv überschreiten kann, darf die Tätigkeit im A-Einsatz nur von Freiwilligen (Anm.: freiwillige Personen, nicht zu verwechseln mit Ehrenamtlichen!) ausgeführt werden, die **vor dem jeweiligen Einsatz** über die Möglichkeit einer solchen Exposition informiert wurden und ihrem Einsatz zugestimmt haben.

Es wird empfohlen, im Rahmen einer jährlichen Unterweisung auf diese grundsätzliche Freiwilligkeit hinzuweisen (siehe Anlage 7 der FwDV 500).

Achtung!

Dies entbindet den Einsatzleiter nicht davon, die Abfrage der Freiwilligkeit an der Einsatzstelle durchführen. Es ist daher sinnvoll, die zu erwartende Dosis

genau abzuschätzen und bei einer möglichen oder sicheren Überschreitung der 100 mSv die Abfrage durchzuführen und zu dokumentieren.

Der Dosiswarner ist grundsätzlich nach dem Einschalten auf den niedrigsten einsatzrelevanten Richtwert, nämlich **20 mSv**, eingestellt. Sollte der Referenzwert überschritten werden, also das Gerät den Alarm auslösen, ist der Einheitsführer zu informieren. Dieser entscheidet, ob ein Tatbestand für den nächsthöheren Wert vorliegt und der Dosiswarner umzustellen ist. Wenn möglich, ist ein Personalwechsel anzustreben. Das ergibt sich aus dem Grundsatz, die Einwirkung der Strahlung so gering wie möglich zu halten.

Die FwDV 500 verweist auch auf das Strahlenschutzgesetz und den darin festgelegten besonderen Schutz ungeborenen Lebens. Demnach dürfen Frauen im gebärfähigen Alter (im Alter von 15 bis 49 Jahren, Quelle: Statistisches Bundesamt) eine Organdosis der Gebärmutter von maximal **2mSv/Monat** erhalten.

Besonderer Schutz von Frauen

6.7.2 Kontamination

Kontamination ist die **Verunreinigung der Oberflächen** von Lebewesen, des Bodens, von Gewässern und Gegenständen mit ABC-Gefahrstoffen (FwDV 500, Kap. 1.1).

*Eine **Kontamination** ist zu vermeiden, zumindest ist sie so gering wie möglich zu halten! Eine **Kontaminationsverschleppung** ist zu verhindern. (FwDV 500, Kap. 1.1)*

MERKE

Dies kann u.a. durch die richtige Wahl des Gefahrenbereichs, das Tragen der geeigneten Schutzkleidung sowie eine konsequente und sorgfältige Durchführung des Kontaminationsnachweises bzw. der Dekontamination erreicht werden.

6.7.3 Inkorporation

Inkorporation ist die **Aufnahme von (A-)Gefahrstoffen** in den Körper (FwDV 500, Kap. 1.1). Dies kann über natürliche Körperöffnungen (Mund, Nase, Augen, ...) oder über gesunde oder verletzte Haut geschehen.

Einmal in den Körper gelangt, können insb. Alpha-Strahler hier **großen Schaden** anrichten, weil ihr Abstand zu Körperzellen und -gewebe gegen Null geht. Manche radioaktiven Stoffe lagern sich auch im Körpergewebe an (z.B. Iod-131 in der Schilddrüse).

Eine Inkorporation ist auszuschließen! (FwDV 500, Kap. 1.1)

MERKE

Um eine Inkorporation über die Atemwege sicher auszuschließen, sollten bei A-Einsätzen **im Gefahrenbereich** ausschließlich umluftunabhängige Atemschutzgeräte verwendet werden.

6.7.4 Sonstige Gefahren

Neben den A-Gefahren können von einigen radioaktiven Stoffen weitere Gefahren ausgehen. So sind einige hochgiftige Schwermetalle. Das in der Brennelemente-Herstellung verwendete Uranhexafluorid ist ein äußerst flüchtiger und aggressiver Stoff, der bei Berührung mit Wasser heftig unter Bildung von Flußsäure reagiert.

6.8 Berücksichtigung besonderer Einsatzbedingungen

ABC-Einsätze sind keine Routine. Im Folgenden werden einige Besonderheiten angesprochen, die in bestimmten Einsatzsituationen zu beachten sind.

6.8.1 Zielsetzung der Gefahrenabwehr

Die Feuerwehr hat den gesetzlichen Auftrag zur **unmittelbaren Gefahrenabwehr** bei Unglücksfällen (vgl. §1 BHKG). Daraus folgt, dass sich im A-Einsatz die Maßnahmen der Feuerwehr auf die **Rettung von Menschen und Tieren**, den **Schutz von Sachwerten** und die **Verhinderung einer weiteren Ausbreitung** beschränken müssen. Sämtliche weiterführende Maßnahmen wie die Entsorgung aufgefundener Strahler oder das Freimessen des Schadensobjekts obliegen anderen zuständigen Behörden.

Dies können z.B. die **örtliche Ordnungsbehörde** [10] (beim Auffinden herrenloser Strahler, sog.) oder die Bezirksregierungen (bei genehmigtem Umgang z.B. in der Medizin) sein.

6.8.2 Fachberatung im Einsatz

Bei unklaren Lagen bietet sich bereits in der frühen Phase des Einsatzes das Hinzuziehen einer im Strahlenschutz **sachkundigen Person** an, um die Strahlengefährdung und die anzuwendenden Schutzmaßnahmen beurteilen zu können. Bei Einsätzen in Objekten der Gefahrengruppe IIIA soll dies grundsätzlich erfolgen (zu Ausnahmen s. Kap. 6.8.9).

Sachkundige Personen im A-Einsatz können u.a. sein:

- der **Strahlenschutzbeauftragte** oder der **sachkundige** Strahlenschutzverantwortliche des betroffenen Objekts
- sachkundige Angehörige der Feuerwehr (z.B. **Fachberater ABC**)
- gemäß StrSchV ermächtigte Ärzte
- sachkundige Personen der zuständigen Behörden

Vorzugsweise sollte eine Person hinzugezogen werden, die neben dem ausreichenden radiologischen Fachwissen weitere Kenntnisse, insbesondere zu dem Einsatzobjekt und dem konkreten Gefahrstoff, hat.

ACHTUNG!

Erfolgt die Einteilung in die Gefahrengruppe IIIA aufgrund von Tätigkeiten nach AtG oder StrlSchG, so ist als sachkundige Person **nur** der/die zuständige Strahlenschutzbeauftragte oder der/die sachkundige Strahlenschutzverantwortliche zulässig. Abweichungen hiervon sind nur im Rahmen einer zwischen dem Betreiber und der Feuerwehr geschlossenen Handlungsvereinbarung möglich.

6.8.3 Gefahrengruppen und Wahl der Schutz- und Sonderausrüstung

Gefahrengruppen werden bereits **vor Inbetriebnahme** oder bei Nutzungsänderung einer Einrichtung in Abstimmung mit den nach Landesrecht zuständigen Behörden (in NRW die Bauaufsichtsämter nach Anhörung der Brandschutzdienststellen) festgelegt.

Für einen begrenzten Zeitraum können z.B. Maschinen mit eingebauten radioaktiven Präparaten mit der Umgangsgenehmigung des Herstellers betrieben werden. Dieser Betrieb muss den örtlichen Behörden nicht angezeigt werden, so dass in diesem Fall keine einsatzvorbereitenden Maßnahmen getroffen werden können.

Achtung!

Die Gefahrengruppen geben der Feuerwehr Hinweise zur Wahl der persönlichen **Schutzausrüstung, zur Überwachung der Einsatzkräfte, Dekontamination und Fachberatung.**

Die Einteilung der Gefahrengruppen im Bereich der A-Gefahren richtet sich nach der **Art und der Aktivität** der dort vorhandenen radioaktiven Stoffe. Mit steigender Ziffer steigt auch die Gefahr.

6.8.4 Bauarten von Strahlern

Unterschieden werden **offene und umschlossene Strahler:**

Umschlossene Strahler sind so mit einer allseitig dichten, festen, inaktiven (also nicht selbst strahlenden) Hülle ummantelt, dass unter üblicher betrieblicher Beanspruchung kein radioaktiver Stoff austreten kann. *Eine* Abmessung der Ummantelung muss mindestens 2 mm betragen, an die übrigen beiden Dimensionen sind keine Anforderungen gestellt.

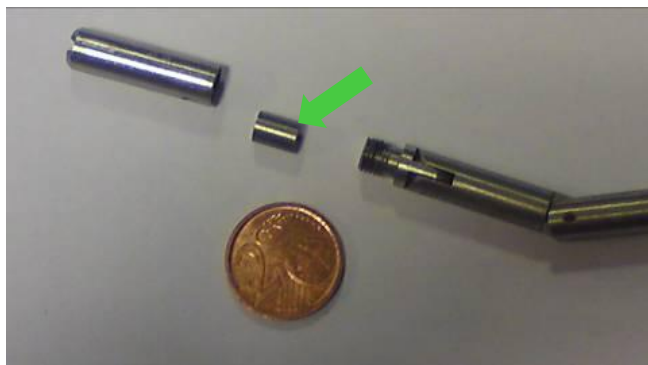


Abbildung 36: Das radiologische Material befindet sich in der Metallkapsel (Pfeil), die für den einfacheren Umgang wiederum in einen Gelenkstab eingeschraubt wird. [Bild: IdF NRW]

Diese Umschließung ist nicht mit einer weiteren Transportverpackung oder mit einer dicken Abschirmung zu verwechseln. Der Zweck eines umschlossenen Strahlers ist ausschließlich die sichere, kontaminationsfreie Verwendung. Die dünne Umschließung schirmt die Strahlung des darin befindlichen Materials nur in vernachlässigbarer Weise ab.

Bei bestimmungsgemäßem Gebrauch des Strahlers ist eine Inkorporation des radioaktiven Stoffes damit nahezu ausgeschlossen. Allerdings kann ein entsprechendes Unfallereignis dazu führen, dass die Umhüllung bricht. Nicht jeder umschlossene Strahler wird dem Überrollen durch PKW standhalten.

Offene Strahler sind alle radioaktiven Stoffe, die die Anforderungen an einen umschlossenen Strahler nicht erfüllen. Bei ihnen besteht also wesentlich eher die Gefahr der Kontamination und Inkorporation.

Offene Strahlenquellen kommen immer dann zum Einsatz, wenn der radioaktive Stoff selbst verarbeitet werden muss oder, wenn er in einem technischen Prozess gezielt verteilt werden soll. In der Medizin gibt es viele Anwendungen für offene ionisierende Strahlenquellen in der Diagnostik sowie in der Therapie.

Damit die radiologischen Arztpraxen über die offenen radioaktiven Stoffe verfügen können, müssen sie regelmäßig beliefert werden. Dementsprechend häufig sind Transporte dieser Stoffe. Präparate, die für die Verwendung im menschlichen Körper bestimmt sind, strahlen nur sehr moderat. Außerdem finden hier nur Isotope mit geringer Halbwertszeit, in der Größenordnung Stunden bis Tage, Anwendung und deren Tochternuklide sind meist stabil. Daher kann gesagt werden, dass von den Transporten mehrheitlich ein geringes Risiko ausgeht.

6.8.5 Gefahrengruppe IA



Abbildung 37: Kennzeichnung GG IA nach FwDV 500 (Anlage 4)

Die Gefahrengruppe IA umfasst Bereiche mit radioaktiven Stoffen

- mit **niedriger Aktivität**
- mit mittlerer Aktivität, wenn sie durch ihre Bauart besonders gegen mechanische und thermische Belastungen geschützt sind.

Hier ist keine Sonderausrüstung erforderlich. Zum Ausschluss einer Inkorporation soll jedoch Atemschutz getragen werden.

6.8.6 Gefahrengruppe IIA



Abbildung 38: Kennzeichnung GG IIA nach FwDV 500 (Anlage 4)

Die Gefahrengruppe IIA umfasst Bereiche mit radioaktiven Stoffen mit **mittlerer Aktivität**.

Hier ist Sonderausrüstung erforderlich (mindestens Atemschutz, geeignete Schutzkleidung, Personendosimeter, Dosiswarngerät)

6.8.7 Gefahrengruppe IIIA



Abbildung 39: Kennzeichnung GG IIIA nach FwDV 500 (Anlage 4)

Die Gefahrengruppe IIIA umfasst Bereiche mit radioaktiven Stoffen

- mit **hoher Aktivität**
- im Zusammenhang mit **Kernbrennstoffen**
- deren Eigenart im Einsatzfall die Anwesenheit einer sachkundigen Person erforderlich macht

Neben der Sonderausrüstung (Isoliergerät, geeignete Schutzkleidung, Personendosimeter, Dosiswarngerät) ist hier auch die Anwesenheit einer sachkundigen Person (s. Kap. 6.8.2) erforderlich.

6.8.8 Transportunfälle und Einsätze nach einem Anschlag

Bei Einsätzen im Zusammenhang mit Transporten ist zunächst wie bei der Gefahrengruppe IIA zu verfahren (FwDV 500, Kap. 1.2.1).

Bei Ereignissen, bei denen der Einsatz von radioaktiven Stoffen mit terroristischer Absicht vermutet wird – z.B. bei einer sog. „schmutzigen Bombe“ – ist grundsätzlich wie bei der Gefahrengruppe IIIA zu verfahren.

6.8.9 Menschenrettung

Die Menschenrettung ist eine besondere Einsatzsituation. Hier kann vom Tragen der vollständigen Sonderausrüstung abgewichen werden. Es sind dann aber **mindestens Isoliergeräte, Schutzkleidung Form 1, ein amtliches Dosimeter und ein Dosiswarngerät** zu tragen.

MERKE

Bei Transportunfällen kann auf das Mitführen von Dosimeter und das Dosiswarngerät verzichtet werden, da jede Feuerwehr einen Menschen aus einer Unfallsituation nach GAMS retten muss, auch wenn sie nicht über die erforderlichen Dosiswarngeräte und Dosimeter verfügt. Die aufgenommene Dosis muss in diesem Fall nachträglich rechnerisch abgeschätzt werden.

Hinweis
Transportunfall

Sofern Dosimeter und Dosiswarner aber bereits in einer frühen Einsatzphase verfügbar sind, sollten sie regelmäßig auch bei einem Einsatz zur Menschenrettung eingesetzt werden. Dies kann der Fall sein, wenn bereits bei der ersten Alarmierung das entsprechende Sonderfahrzeug mitalarmiert wurde oder wenn Erstangriffsfahrzeuge (z.B. HLF) damit ausgerüstet sind.

Zum Betreten von Bereichen der Gefahrengruppe IIIA mit dem Ziel der Menschenrettung ist keine sachkundige Person nötig. Die „Ausnahme von dieser Ausnahme“ bilden Bereiche, in denen mit Kernbrennstoffen umgegangen wird.

6.9 Dekontamination und Sofortdekontamination

Anders als beim zum B- und C-Einsatz findet im A-Einsatz zunächst ein **Kontaminationsnachweis** statt. Eine Fläche gilt als kontaminiert, wenn die Zählrate des Kontaminationsnachweisgeräts das **Dreifache** oder mehr der vorher gemessenen **Nullrate** beträgt. Durch das einsatzauslösende Ereignis kann die ortsübliche Nullrate bereits verschleiert sein. Daher ist es erforderlich, dass die Größenordnung der Nullrate und die vor Ort bestehenden geologischen Einflüsse grundsätzlich bekannt sind. Das Anlegen eines geeigneten Katasters ist dafür sinnvoll.

Im Einsatz kann es notwendig werden, den Kontaminationsnachweisplatz räumlich weit entfernt von der Gefahrenbereichsgrenze einzurichten, um die Messgeräte nicht mit den Impulsen der γ -Strahlung aus dem Gefahrenbereich zu überlagern. Der Gefahrenbereich ist um den Weg, den die Einsatzkräfte bis zum Kontaminationsnachweisplatz zurücklegen, als Kontaminationsverdachtsfläche zu erweitern (Trassierung).

Eine effektive Sofortdekontamination findet bereits mit dem **Ablegen der Oberbekleidung statt**. Auf der Kleidung befindliche Partikel können zuvor mit Klebeband fixiert werden. Außerdem kann für die verletzte Person, wenn dies aus medizinischen Gründen möglich ist, eine Inhalation von Partikeln durch das Aufsetzen einer FFP3-Maske weitestgehend ausgeschlossen werden.

Während die von kontaminierter Bekleidung ausgehende Gefahr durch handwerklich geschicktes Entfernen der betroffenen Bekleidung abschließend bekämpft werden kann, ist eine Dekontamination von Hautpartien an der Einsatzstelle nicht abschließend möglich. Dennoch ist es entscheidend, dass eine Hautdekontamination im A-Einsatz zielgerichtet und ohne Zeitverzug stattfindet. Technisch gesehen ist eine Hautkontamination ein maximaler Verstoß gegen das Gebot, den Abstand vom Strahler groß zu halten. Um bei bestehendem Nullabstand die Einwirkungsdauer gering zu halten, muss bereits an der Einsatzstelle die Haut dekontaminiert werden.

Hierzu wird zunächst die betroffene Hautpartie mit einem feuchten Tuch (Wundkompressen oder Ähnliches) abgetupft. Die Zählrate [IPS] wird sich dadurch in der Regel deutlich, aber nicht auf das Niveau der Nullrate reduzieren lassen. Im nächsten Schritt wird die Hautstelle nass gewaschen. Hierzu sollte ein weicher Schwamm oder eine sehr weiche Bürste zu Hilfe genommen werden. Es ist wesentlich, die Haut nicht – auch nicht mit unsichtbaren Mikroverletzungen – zu verletzen, weil das unweigerlich zu einer Inkorporation führen würde.

Zwischen den Vorgängen kann der Dekontaminationserfolg mit dem Kontaminationsnachweisgerät leicht überprüft werden. Während der Dekontamination muss darauf geachtet werden, die Kontamination nicht zu verschleppen. Das Dekon-Wasser tropft von der betroffenen Hautpartie unmittelbar in eine Auffangwanne und die Dekonhelfer schützen sich mit wasserdichten Handschuhen und geeigneter Schutzkleidung. Wenn die Situation es zulässt, ist die Schutzausrüstung Form 2 auch für eine Sofort-Dekontamination angeraten.

Für den Transport zu einem ermächtigten Arzt oder sogar in das nächstgelegene Strahlenschutzzentrum wird die Rettungsdienstbesatzung eingewiesen. Diese schützt sich mit ihrer Infektionsschutzkleidung (I-Schutz-Overall und FFP3-Atemschutz). Der Kontaminationsverschleppung während des Patiententransports lässt sich vorbeugen, indem die kontaminierten Hautpartien "atmungsaktiv" (Verbandtuch, Dreiecktuch etc.) abgedeckt werden.

6.10 Abschluss des Einsatzes und Nachsorge

Aufräumungsarbeiten werden durch die Feuerwehr nur im Rahmen der Gefahrenabwehr durchgeführt. Ebenso wenig wird durch die Feuerwehr der Gefahrenbereich freigegeben. Dies obliegt, wie auch die eigentliche Dekontamination nach der Grobreinigung durch die Feuerwehr, den zuständigen Behörden (s. Kap. 6.8.1).

Alle Einsatzkräfte, die in Bereichen der Gefahrengruppen IIA und IIIA tätig waren, sind namentlich zu erfassen und ihre aufgenommene Dosis ist zu dokumentieren.



Abbildung 40: Dosiswarner Thermo Fisher Scientific RadEye G-10 [Bild: IdF NRW]

Am Dosiswarner kann jederzeit die seit Einschalten aufgenommene Strahlendosis ausgelesen werden. Anhand dieses Wertes wird nach dem Verlassen des Gefahrenbereiches sofort entschieden, ob eine Einsatzkraft einem (ermächtigten) Arzt vorzustellen ist. Dieser Wert ist in jedem Fall zu dokumentieren!

Bei einer durch Ermittlung oder Abschätzung erhaltenen Dosis von mehr als **20 mSv** oder dem Verdacht einer **Inkorporation** hat der Einsatzleiter unverzüglich nach Beendigung des Einsatzes dafür zu sorgen, dass die betroffenen Einsatzkräfte einem ermächtigten Arzt vorgestellt werden.

MERKE

Das Personendosimeter TL-DOS des Materialprüfungsamtes (MPA) ist das amtlich zugelassene Messinstrument für die finale Feststellung der aufgenommenen Dosis.

I Literaturverzeichnis

- [1] [FwDV 500 Einheiten im ABC-Einsatz, Kohlhammer Verlag Stuttgart, 2022](#)
AFKzV. (2022). *Feuerwehr-Dienstvorschrift 500 „Einheiten im ABC-Einsatz“*
- [2] Karlsruher Nuklidkarte; Pfennig, G., Klewe-Nebenius, H., Seelmann-Eggebert, W. (1995). *Karlsruher Nuklidkarte* (6. Auflage). Marktdienste Haberbueck.
- [3] Volkmer, M. (2003). *Basiswissen Kernenergie*. Informationskreis Kernenergie.
- [4] Lindner, H. (1977). *Grundriss der Atom- und Kernphysik* (12. Auflage). Vieweg + Teubner.
- [5] Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 748) geändert worden ist
- [6] Ausschuss für Arbeitsstätten. (2013). *Technische Regeln für Arbeitsstätten – Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung – ASR A1.3*.
- [7] [Wikipedia: Periodensystem der Elemente](#)
- [8] [Strahlenschutzgesetz StrlSchG vom 12. Mai 2017](#)
- [9] [Strahlenschutzverordnung StrlSchV vom 31. Dezember 2018](#)
- [10] [„Nukleare Nachsorge“ gem. Runderlass vom 17.02.2016](#)

Diese Lernunterlage enthält Links zu weiterführenden Informationen.

Falls diese Verlinkungen nicht mehr funktionieren senden Sie bitte eine Nachricht mit einem entsprechende Hinweis an dezernatb3@idf.nrw.de.

