

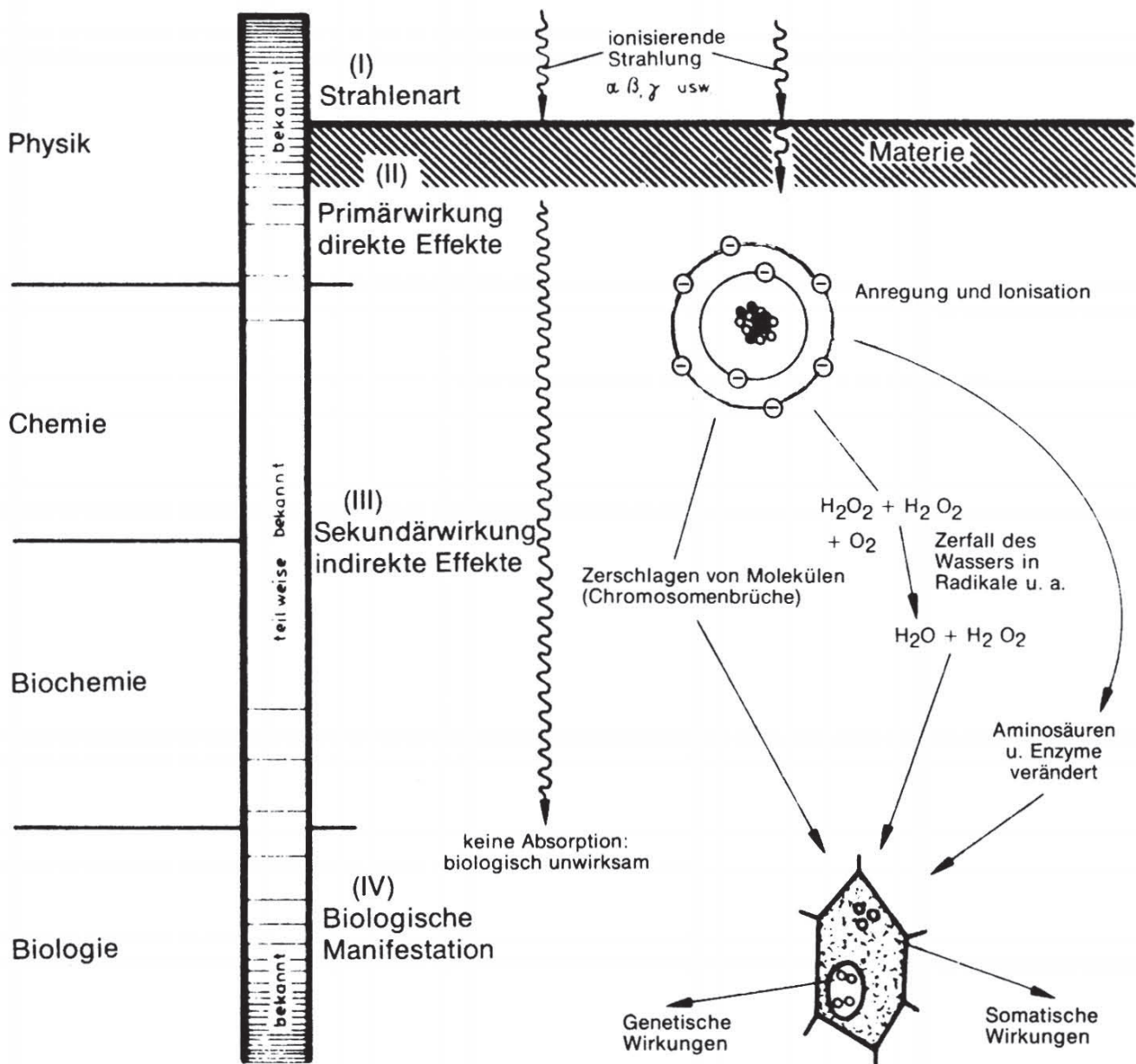
Transport kontaminierter Personen

Dr. med. F. Kimberger, Fürth; cand. chem. Robert Schwankner, Traunstein; cand. med. E. Strobel, Landshut

Strahlenschäden beim Menschen

Die Wirkung energiereicher Strahlung auf biologische Systeme ist ein Kette von verschiedenen Wirkmechanismen:

- Wirkung auf Atome (physikalisch)
- chemische Veränderungen
- biologische Veränderung der Zelle
- Wirkung auf den ganzen Menschen (medizinisch).



Die strahlenbiologische Reaktionskette

1. Wirkung ionisierender Strahlen auf Atome

Grundlage für die Strahlenschädigung ist die Wirkung energiereicher Strahlen auf Atome, aus denen sich die biologische Substanz zusammensetzt.

Diese physikalische Wirkung besteht im wesentlichen aus:

- Anregung und
- Ionisation.

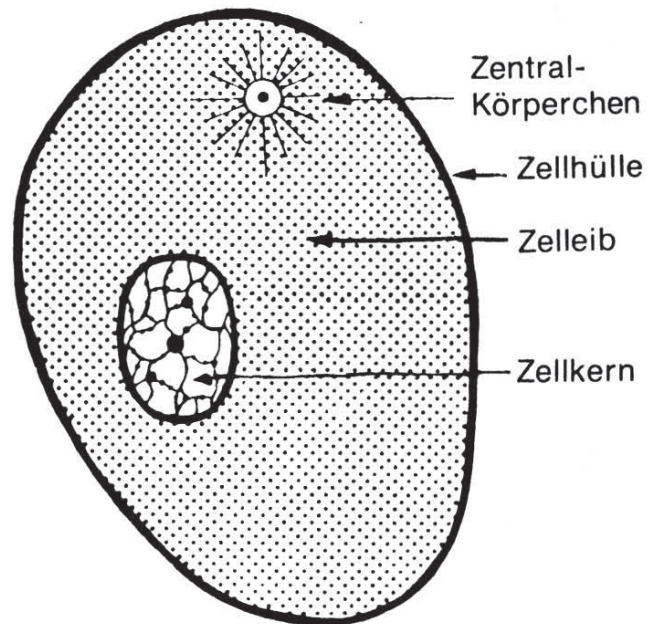
Bei der Anregung wird durch die energiereiche Strahlung einem Elektron in der Atomhülle Energie zugeführt. Dieses Elektron wird dadurch auf eine „höhere“, energiereichere Bahn gehoben; es drängt auf seine ursprüngliche Bahn zurück und muß dabei die überschüssige Energie wieder abgeben. Dies kann durch Aussendung elektromagnetischer Wellen geschehen. Bei der Ionisation werden Elektronen aus einem Atom herausgeschlagen. Dies bedingt verändertes chemisches Verhalten, was zu einer Störung des Zellstoffwechsels führt.

2. Wirkung ionisierender Strahlen auf die Zelle

Info Eine Zelle besteht im wesentlichen aus

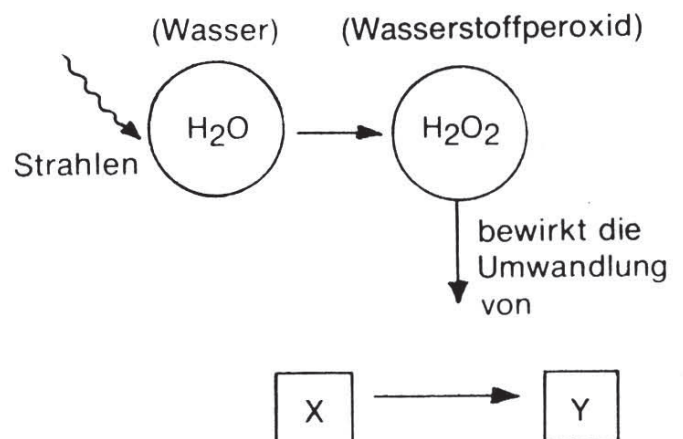
- der Zellhülle, die die Zelle umgibt
- dem Zelleib, in welchem die für das Leben wichtigen chemischen Vorgänge stattfinden (z. B. Energiegewinnung und Aufbau von zelleigenem Eiweiß)
- dem Zellkern, der die gesamte Erbinformation der Zelle enthält, diese bei der Zellteilung auf die Tochterzellen identisch weitergibt und alle in der Zelle ablaufenden Vorgänge steuert.

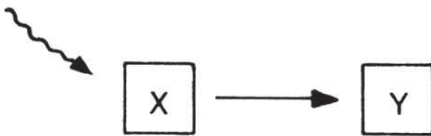
Die chemische Substanz, die im Zellkern die Informationen für alle diese Steuerungsvorgänge enthält, heißt DNS (= Desoxyribonucleinsäure) **Info**



Durch die Wirkung energiereicher Strahlung können in der Zelle den normalen Ablauf störende Stoffe entstehen (z. B. Wasserstoffperoxid H_2O_2 aus dem reichlich im Zelleib enthaltenen Wasser). Diese reagieren wiederum mit anderen Stoffen in der Zelle und verändern sie (= indirekte Strahleneinwirkung). Die direkte Strahleneinwirkung kommt daher, daß besonders energiereiche Strahlen in hohen Dosen bestimmte Moleküle in der Zelle (z. B. die DNS im Zellkern oder Eiweiße im Zelleib) verändern oder zerstören.

Indirekte Strahlenwirkung



Direkte Strahlenwirkung

Strahlen

(z. B. Spaltung von DNS in Bruchstücke)

Die indirekte Wirkung spielt auch bei kleineren Strahlendosen eine Rolle.

Von Veränderungen können alle Strukturen der Zelle betroffen sein.

Bei hohen Dosen werden sowohl der Zelleib als auch die in ihm ablaufenden Stoffwechselforgänge so stark geschädigt, daß dies zum baldigen Tod der Zelle führt.

Betrifft die Störung die Erbsubstanz im Zellkern, so kommt es zu einer Veränderung der Erbsubstanz (Mutation). Wird ein Bereich gestört, in welchem sich Informationen befinden, die für die dauernde Kontrolle der Lebensvorgänge in der Zelle notwendig sind, so tritt der Zelltod ein. Wenn aber ein Bereich gestört wird, der nur solche Informationen enthält, die für die Zellteilung oder das Wachstum der Tochterzellen benötigt werden, so wird der Defekt erst viel später, nämlich bei der Zellteilung sichtbar:

Die Zelle teilt sich nicht mehr richtig, die Tochterzellen sind nicht lebensfähig.

Manche Zellen hören nicht mehr auf sich zu teilen, es entsteht eine Wucherung (Strahlenkrebs). Besonders gefährlich ist die Wirkung der Strahlen dann, wenn die Zelle sich gerade im Stadium der Teilung befindet.

Übersicht:**Wirkung von Strahlen auf die Zelle**

1. Wirkung auf den Zelleib → Zelltod bei hoher Dosis
2. Wirkung auf den Zellkern (Erbsubstanz)
 - a) unmittelbar → Zelltod
 - b) mittelbar → Teilungsstörung oder Entartung der Tochterzellen.

Nun gibt es im Körper solche Zellen, die sich sehr rasch teilen (z. B. Blutkörperchen, Darmschleimhaut) und solche, die sich selten oder beim Erwachsenen gar nicht mehr teilen (z. B. Muskel- und Nervenzellen). Bei den sich rasch teilenden Zellen macht sich die Strahlenwirkung besonders bemerkbar. Bei den sich nicht mehr teilenden Zellen wird erst eine höhere Dosis gefährlich. Dies zeigt sich beim Verlauf der Strahlenkrankheit.

Info ► Darauf beruht auch die Strahlentherapie der Krebserkrankung, da sich Krebszellen viel schneller teilen als normale Körperzellen.

Es gibt allerdings in der Zelle auch Reparaturmechanismen, die in leichteren Fällen einen Schaden wieder beheben können. Werden durch energiereiche Strahlen viele Zellen geschädigt, so wird der ganze Gewebsverband in seiner Funktion beeinträchtigt. Bei größerem Ausmaß wird der ganze Mensch davon betroffen. **Info** ◀

3. Wirkung energiereicher Strahlen auf den Menschen

Strahlenschäden können allgemein die Körperzellen betreffen. Besonders empfindlich sind die Keimzellen.

Man teilt die Strahlenschäden daher ein in:

- a) genetische Schäden
- b) somatische Schäden.

Die genetischen Schäden werden durch Bestrahlung der Keimzellen hervorgerufen. Dies kann schon durch geringe Strahlendosen geschehen, wobei auf den Gesamtorganismus noch keine Wirkung zu spüren ist. Erbschäden machen sich erst bei den Nachkommen bemerkbar.

Hohe Dosen können Unfruchtbarkeit (= Sterilität) bewirken. Ein aus einer geschädigten Keimzelle hervorgehendes neues Lebewesen ist gegebenenfalls nicht

lebensfähig und stirbt frühzeitig im Mutterleib.

Sind Veränderungen geringer, so kann ein Kind mit Mißbildungen zur Welt kommen. Bei noch geringeren Schäden machen sich Fehler erst nach Generationen bemerkbar (rezessive Schädigung).

Übersicht: Genetische Schäden

Ursache ist Strahleneinwirkung auf die Keimzellen vor der Befruchtung!

- Rezessive Schädigung (macht sich erst nach mehreren Generationen bemerkbar)
- Mißbildungen des Kindes
- Aborte (Absterben der Frucht)
- Sterilität (Unfruchtbarkeit)

Unmittelbar erkennbar sind die somatischen Schäden. Man unterscheidet

a) Bestrahlung

b) Verstrahlung.

Als bestrahlt gelten solche Personen, die von energiereichen Strahlen getroffen wurden, jedoch nicht selbst Strahlung aussenden.

Als verstrahlt gelten Personen, die selbst radioaktiv strahlen und somit eine Gefahr für ihre Umgebung darstellen.

Übersicht: Somatische Schäden

1. Bestrahlung

- a) Teilkörperbestrahlung
- b) Ganzkörperbestrahlung
- c) Fruchtschäden
- d) Spätschäden

2. Verstrahlung

- a) Kontamination der Haut
- b) Inkorporation

1. Bestrahlung

Bestrahlte stellen keine Gefahr für den Helfer dar. Daher sind keine besonderen Vorkehrungen für den Transport nötig.

Man teilt die Bestrahlung in Ganz- und Teilkörperbestrahlung ein. Spätschäden und Fruchtschäden machen sich nicht sofort bemerkbar. Die genetischen Schäden werden ebenfalls durch Bestrahlung verursacht, jedoch rechnet man sie nicht den somatischen Strahlenschäden zu.

a) Teilkörperbestrahlung

Hier wird nur ein begrenzter Bereich des Körpers (z. B. Hand, Arm, Fuß) von ionisierenden Strahlen getroffen. Die Folge davon ist eine örtliche Schädigung des Gewebes, die eine Hautrötung (Erythem) bis hin zu schweren Verbrennungserscheinungen verursachen kann. Später kommt es zur Narbenbildung, Durchblutungsstörungen, Geschwüren und Nekrosen. Als Spätschäden sind krebsartige Wucherungen möglich.

Die Erste Hilfe beschränkt sich auf sterile Wundbedeckung (wie bei einer Brandwunde) und Ruhigstellung, ohne Druck auf die Wunde auszuüben. In schweren Fällen ist Erste Hilfe wie bei einer Ganzkörperbestrahlung notwendig.

b) Ganzkörperbestrahlung

Wird der ganze Körper von energiereichen Strahlen getroffen, so genügen schon geringere Dosen als bei der Teilkörperbestrahlung, um eine schwere Erkrankung auszulösen.

Die neue Einheit für die Dosis ist das Joule pro Kilogramm (J/kg) und entspricht der bisherigen Einheit „rad“. Zur Erleichterung der Rechenvorgänge und zur Vermeidung der Einbeziehung des Begriffs Watt bei der Umrechnung der Dosisleistung in die Dosis wird anstelle des „J/kg“ die Einheit GRAY (Gy) verwendet.

$$100 \text{ rad} = 1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Gy}$$

Info Um die nachfolgend genannten Dosisgrößen anschaulich zu machen, soll hier kurz eine Übersicht über die durchschnittliche Strahlenbelastung eines Menschen in der Bundesrepublik gegeben werden.

Die genannten Werte schwanken selbstverständlich je nach Beruf, Lage des Wohnortes etc.

$$1 \text{ cJ} = \frac{1}{100} \text{ J} = 1 \text{ Zentijoule}$$

$$1 \text{ m Gy} = \frac{1}{1000} \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Die Strahlenbelastung pro Jahr:

1. Natürliche Strahlenbelastung rd.
 - 0,15 cJ/kg = 1,5 m Gy
 - terrestrische Strahlung (von den radioaktiven Stoffen in der Erdkruste), ca. 0,04 cJ/kg = 0,4 m Gy
 - kosmische Strahlenbelastung (aus dem Weltraum), steigt mit zunehmender Höhe ca. 0,09 cJ/kg = 0,9 m Gy
 - Eigenstrahlung des Menschen (durch die mit der Nahrung aufgenommenen radioaktiven Stoffe), ca. 0,02 cJ/kg = 0,2 m Gy
2. Zivilisatorische Strahlenbelastung:
 - Sehr unterschiedlich, zwischen 0,05 und 0,1 cJ/kg = 0,5 – 1 m Gy
 - Medizinische Strahlenanwendung: Diagnostik mit radioaktiven Isotopen und Röntgenstrahlen; Therapie mit Röntgenstrahlen, radioaktiven Isotopen und Beschleunigeranlagen. (Die med. Strahlenanwendung macht ca. 90% der zivilisatorischen Strahlenbelastung aus)
 - Technische Anwendung (z. B. Werkstoffprüfung, Kernreaktoren)
 - Anwendung in der Forschung
 - Militärische Anwendung (z. B. Kernwaffentests). **Info**

Bei der Ganzkörperbestrahlung werden alle Organe des Menschen von der Strahlung getroffen. Die Organe sind jedoch unterschiedlich strahlenempfindlich. Die Eindringtiefe der Strahlen in den Körper kann verschieden sein.

Besonders strahlenempfindlich sind:

- Blutbildende und lymphatische Organe (Milz, Thymus, Knochenmark, Lymphknoten)
- Augenlinse
- Geschlechtsdrüsen
- Verdauungstrakt

Weniger strahlenempfindlich sind:

- Haut
- Auge
- Lunge
- Niere
- Leber

Relativ widerstandsfähig sind:

- Muskulatur
- Bindegewebe
- Nervensystem
- Herz

Die Wirkung auf die blutbildenden Organe besteht in einer Beeinträchtigung der Bildung neuer Blutzellen. Da die Erythrozyten eine relativ lange Lebensdauer haben (120 Tage), macht sich eine Störung ihrer Bildung noch nicht so rasch bemerkbar. Leukozyten aber haben nur eine relativ kurze Lebensdauer und sind selbst strahlenempfindlich. Eine gestörte Neubildung macht sich also bald im Blutbild bemerkbar. Da weiße Blutkörperchen zum Abwehrsystem des Menschen gehören, wirkt sich die Ganzkörperbestrahlung auch auf die allgemeine Widerstandskraft (z. B. Infektionsanfälligkeit) aus. Die mangelnde Bildung von Thrombozyten führt zu Blutgerinnungsstörungen und damit zu Hämorrhagien (punktförmigen Blutungen unter der Haut) und inneren Blutungen. Schädigungen der Schleimhaut des Verdauungsapparates bewirken Durchfall

(Diarrhoe), Fieber, Darmkrämpfe (Spasmen). Die Durchfälle führen zu Flüssigkeitsverlusten und durch Störungen des Wasser- und Elektrolythaushaltes zum Kreislaufversagen.

Die örtliche Schädigung der Haut wurde bereits bei der Teilkörperbestrahlung besprochen. Hierher gehört auch der Haarverlust (Epilation), der vorübergehend oder bleibend sein kann.

Bei Dosen über 1000 cJ/kg kommt es zu Veränderungen des Lungengewebes und zur strahlenbedingten Lungenentzündung. Nierenschäden treten über 2000 cJ/kg auf. Ab 400 cJ/kg ist mit einer Strahlenschädigung der Leber zu rechnen.

Das Nervengewebe wird erst bei sehr hohen Dosen geschädigt (über 1000 cJ/kg). – Es kommt zu Entzündungen des Zentralnervensystems und zum Hirnödem. Bei Dosen über 100 000 cJ/kg tritt der sofortige Tod durch Zerstörung des Nervengewebes im Gehirn ein.

Erste Anzeichen der Einwirkung geringer Dosen sind Störung des Wohlbefindens, Schwäche, Erbrechen, Mattigkeit, Appetitlosigkeit.

Voraussichtliche Auswirkung einer Ganzkörperbestrahlung des Menschen (ohne ärztliche Hilfe)

(nach Rajewsky)

20 – 30 cJ/kg maximal zulässige Dosis, (0,2 – 0,3 Gy) wenn klinische Schäden mit Sicherheit vermieden werden sollen

25 cJ/kg (0,25 Gy) **Gefährdungsdosis**

75 – 100 cJ/kg Strahlenkrankheit, erste (0,75 – 1 Gy) Todesfälle

100 cJ/kg (1 Gy) **Kritische Dosis**

300 – 600 cJ/kg Allgemein schwere (3 – 6 Gy) Strahlenkrankheit zu erwarten, die in etwa 50% der Fälle zum Tode führen kann

400 cJ/kg (4 Gy) **Mitteltetale Dosis**
600 – 1000 cJ/kg fast sicher tödliche (6 – 10 Gy) Dosis
1000 cJ/kg (10 Gy) **Letale Dosis**

Bei der Strahlenkrankheit tritt zuerst ein beschwerdefreies Intervall auf (Latenzzeit). 1 – 2 Stunden nach der Strahleneinwirkung kommt es zu Übelkeit, Schwindel, Erbrechen. Dann folgt ein relativ beschwerdefreies Intervall. Danach tritt die Strahlenkrankheit voll in Erscheinung. Je kürzer das beschwerdefreie Intervall andauert, desto schwerer wird die Strahlenkrankheit.

Die Erste Hilfe bei der Strahlenkrankheit erstreckt sich auf Lagerung, beruhigenden Zuspruch, Wärmeerhaltung, evtl. Schockbekämpfung, ABC-Wundschutz. Der Kranke muß liegen, da körperliche Anstrengungen den Verlauf der Erkrankung verschlimmern.

Für den Transport sind keine weiteren Maßnahmen nötig, wenn nicht zusätzlich eine Verstrahlung oder Kombinationsschäden vorliegen.

Info Die klinische Behandlung der Strahlenkranken erstreckt sich im wesentlichen auf intensivtherapeutische Maßnahmen (Schockbekämpfung, Behandlung der Darmschädigung, Schmerz- und Beruhigungsmittel) und der Vorbeugung vor evtl. zusätzlichen Schäden, z. B. Infektionen infolge der geschwächten Abwehrkräfte. Mit Bluttransfusionen werden die Störungen der Blutbildung behandelt. Probleme bereitet auch die Ernährung des Kranken, da der Darmtrakt geschädigt ist (evtl. parenterale Ernährung). Eine kausale Behandlung der Strahlenkrankheit (z. B. Behebung der Störungen in den Zellen) ist gegenwärtig noch nicht möglich. **Info**

c) Fruchtschäden

Diese müssen von den genetischen Schä-

Gesamtübersicht Strahlenkrankheit

Äquivalent-Dosis-belastung	bis 100 cJ/kg 1 Gy	100 – 200 cJ/kg 1 – 2 Gy	200 – 600 cJ/kg 2 – 6 Gy	600 – 1000 cJ/kg 6 – 10 Gy	über 1000 cJ/kg größer als 10 Gy
Beurteilung bei Massenansturm	Überwachung	klinische Beobachtung	klinische Behandlung erforderlich	Behandlung nötig, wenig Aussicht	Behandlung aussichtslos, nur zur Linderung
Prognose (außer bei Kombinationsschäden!)	sehr gut	gut	mittelgut	sehr zweifelhaft	hoffnungslos
Latenzzeit (Erbrechen)	—	2 – 3 Tage	4 – 12 Stunden	1 – 3 Stunden	30 Minuten und weniger
Krankheitsdauer	einige Tage	einige Wochen	2 – 6 Monate	viele Monate (falls nicht Tod in den ersten 2 Wochen eintritt)	
Krankheitsbild	höchstens leichte Störung des Wohlbefindens,	geringer Abfall der weißen Blutkörperchen, Schwäche	Appetitmangel, Störung des Wohlbefindens, Fieber, Durchfälle, starker Abfall der weißen Blutkörperchen, Blutungen, Haarausfall, Infektionen (bes. Mund, Rachen, Magen-Darmkanal)	desgleichen, nur stärker und stürmischer, schneller Kräfteverfall, Tod fast in 100%	Erbrechen, Unruhe, Störungen des ZNS (Bewußtlosigkeit, Krämpfe)
Therapie (klinisch)	—	körperliche Ruhe	Ruhe, vitamin- und eiweißreiche Ernährung, Infektprophylaxe, Bluttransfusionen, entsprechende Medikation	desgleichen, Infektbehandlung (keine Sulfonamide), Kreislaufstützung, Erhaltung des Elektrolythaushaltes, Schmerzbehandlung	nur Beruhigungs- und Betäubungsmittel
Todesursachen	—	—	durch Blutungen, Infektionen	sog. Darmtod, Herz- und Kreislaufversagen, Insuffizienz innerer Organe	Atemlähmung, Hirnödem

(Tabelle Gesamtübersicht über die Strahlenkrankheit aus Lehrbuch für den Sanitätsdienst, 3. Aufl.)

den unterschieden werden. Während bei genetischen Schäden die Keimzellen **vor** der Befruchtung bestrahlt werden, wird bei Fruchtschäden das Kind im Mutterleib bestrahlt. Folgen einer solchen Bestrahlung können sein:

- Abortus
- Mißbildungen
- Entwicklungsstörungen.

Für die Entstehung von Mißbildungen ist entscheidend, wann das Kind geschädigt wurde. Bestrahlung in dem Zeitraum, in welchem ein Organ gebildet wird, führt meist zu einer Schädigung eben dieses Organs.

d) Spätschäden

Sie können lange nach einer Teilkörper- oder Ganzkörperbestrahlung auftreten, auch wenn eine akute Strahlenkrankheit bereits überstanden ist.

Beobachtet wurden krebsartige Erkrankungen, u. a. Hautkrebs (nach Kontamination der Haut), Bronchialkrebs (nach Inhalation radioaktiven Staubes), Brustkrebs, Schilddrüsenkrebs (nach Inkorporation von radioaktivem Jod), Knochenkrebs, Leukämie (eine Erkrankung bei der die Blutbildung gestört ist).

Allgemein ist mit einer verringerten Lebenserwartung zu rechnen.

2. Verstrahlung

Verstrahlte Personen stellen eine Gefahr für den Helfer dar, da von ihnen selbst Strahlung ausgeht. Ursachen können sein:

a) Kontamination

(= Verschmutzung der Haut mit radioaktiven Stoffen)

b) Inkorporation

(= Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper).

In beide Fällen müssen besondere Maßnahmen zum Schutz des Helfers ergriffen werden, die eine Verschleppung der radioaktiven Stoffe verhindern sollen. Hier gilt

die Dienstanweisung für den Rettungsdienst – Anlage 4.

Medizinisch bedeutsam ist

a) bei der Kontamination haften die radioaktiven Teilchen auf der Haut. Dadurch verursachen sie eine fortdauernde Strahlenschädigung (siehe Teilkörperbestrahlung).

b) Bei der Inkorporation gelangen radioaktive Stoffe

- durch die Atemwege
- durch die Verdauungsorgane
- durch Wunden in den Körper.

1. Aufgrund der großen Nähe zu den lebenswichtigen inneren Organen können von aufgenommenen radioaktiven Stoffen ausgehende Strahlen geringer Reichweite auch noch wirksam werden (z. B. Beschädigung der Darmschleimhaut bei oraler Aufnahme eines α -Strahlers).

2. Es ist sogar möglich, daß bestimmte Stoffe vom Darm resorbiert werden und mit dem Blut in andere Organe gelangen, wo sie sich ablagern können (z. B. wird radioaktives Jod in der Schilddrüse oder Strontium in den Knochen gespeichert). Dort können diese Stoffe durch die von ihnen ausgesandten Strahlen noch weitaus schlimmere Schäden verursachen (z. B. Störung der Blutbildung im Knochenmark durch radioaktive Stoffe, die im Knochen gespeichert werden).

3. Weiter ist es möglich, daß bestimmte radioaktive Substanzen in den Stoffwechsel der Zellen eingeschleust werden und dort aus unmittelbarer Nähe Strahlenschäden bewirken.

Oftmals kommt noch eine biochemische Giftwirkung (Toxizität) der Substanz dazu. Allerdings vermindert sich die Intensität der Strahlung eines inkorporierten Stoffes mit der Zeit. Dies hat 2 Gründe:

- den radioaktiven Zerfall (physikalisch)
- die natürliche Ausscheidung des Stoffes aus dem Körper (biologisch).

Die klinische Behandlung (in einem dafür vorgesehenen Krankenhaus) erstreckt sich neben der Behandlung der Strahlenkrankheit auf die möglichst rasche Entfernung der radioaktiven Stoffe vom Körper (Dekontamination der Haut).

Im K-Fall muß diese Behandlung evtl. in einem Behelfskrankenhaus/Lazarett durchgeführt werden. (Näheres siehe Lehrbuch für den Sanitätsdienst Abschnitt 17.)

Transport kontaminierter Personen

1. Einführung

Die zunehmende Verwendung von radioaktiven Isotopen in Forschung, Industrie und Technik bringt ein gewisses, meßbares Risiko mit sich. Nach Schätzungen werden so z. B. in der BRD allein zum Zweck der Szintigraphie im Bereich nuklearmedizinischer Diagnostik jährlich bis zu 10 000 Isotopengeneratoren in Krankenhäusern in den entsprechenden Abteilungen benötigt, d. h. gefertigt, abgepackt, transportiert und regeneriert.*

Dieses Beispiel verdeutlicht, daß auch im zivilen Bereich auf Grund von Unfällen ständig mit dem Transport verstrahlter Personen – unter Beachtung des erforderlichen Strahlenschutzes – gerechnet werden muß. Der Begriff „verstrahlt“ bezieht sich dabei nicht auf Personen, welche einer Nuklearstrahlung (ausgenommen Neutronenbestrahlung) bzw. Röntgenstrahlung ausgesetzt waren und eine entsprechende **Dosis absorbiert** haben, sondern auf Kontamination. Kontamination kennzeichnet den Zustand der „Behaftung mit radioaktivem Material“ und Inkorporation die Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper.

2. Meßtechnik

In der Strahlungsmessung bedient man sich der **ionisierenden Eigenschaften** der Nuklearstrahlung.

Info Alle Materie setzt sich aus Atomen zusammen, diese stellen jeweils ein Miniaturplanetensystem dar. Um den – praktisch die ganze Masse beinhaltenden – positiv geladenen Kern („Zentralgestirn“) kreisen auf elliptischen Bahnen (Elektronenhüllen) so viele negativ geladene Elektronen, wie zum Ladungsausgleich gegenüber dem positiven Kern erforderlich sind. Elektronenhüllen mehrerer Atome können sich gegenseitig durchdringen, damit bleibt das Atom nicht isoliert, sondern es bildet sich ein Verband – ein Molekül.

So besteht ein Kohlendioxidmolekül (CO_2) aus zwei Atomen Sauerstoff und einem Kohlenstoffatom, Kohlenmonoxid (CO) hingegen jeweils nur aus einem Atom Sauerstoff und einem Atom Kohlenstoff.

Ionisation

Trifft Nuklearstrahlung (Alpha-, bzw. Beta-Teilchen oder Gammaquanten) auf ein Atom oder Molekül, so kann sie einzelne Elektronen aus der Hülle heraus schlagen („Billardprinzip“). Die Folge davon ist, daß ein geladenes Teilchen entsteht, welches in einem elektrischen Feld gemäß seinem Ladungsvorzeichen wandert, weshalb man es Ion (griech.: das Wandernde) nennt.

Eben diesen Effekt benützt man im sogenannten Geiger-Müller-Zählrohr, zum Nachweis und zur Messung energiereicher Strahlung (α, β, γ).

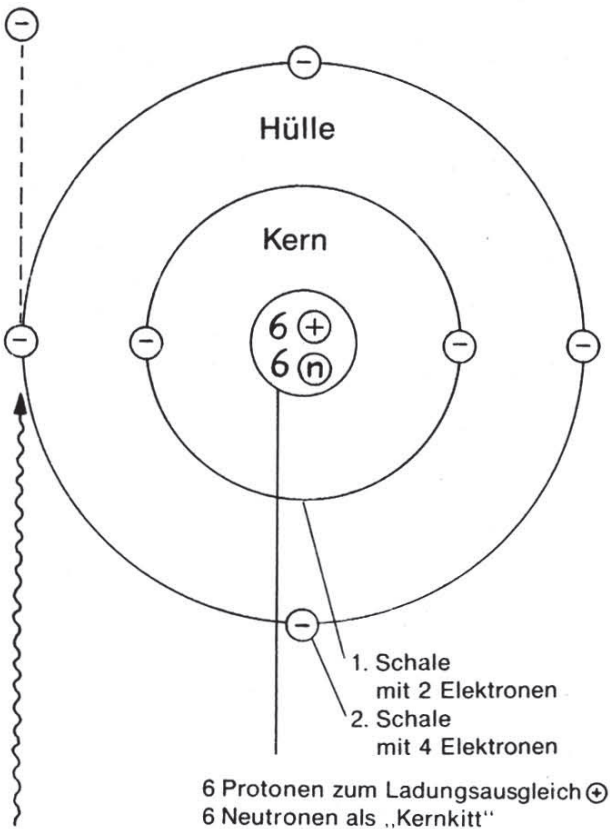
Im einfachsten Fall besteht es aus einem Metallrohr, das beidseitig luftdicht mit isolierendem Material verschlossen ist.

Axial spannt sich isoliert ein dünner Draht im Inneren des Rohres (Zählrohr), in welchem eine Edelgasatmosphäre niedrigen Drucks herrschen muß. Tritt ein zur Ioni-

* Angew. Chemie 85, Nr. 18, 793-802, (1973)

Der Ionisationsvorgang

(Im vorliegenden Falle verbleibt ein positives Ion).



sation befähigtes Teilchen durch die Wand des Zählrohrs, so erzeugt es im Kammerinnern Ionen; dort werden diese durch eine zwischen Wandung und Zählendraht angelegte Hochspannung abgesaugt (positive Ionen zur negativ geladenen Zählrohrwand, Elektronen zum positiv geladenen Zählendraht) d. h. es wird Ladung transportiert, es fließt also kurzzeitig ein Strom, welcher elektronisch registriert (hörbar gemacht, gezählt oder integriert) wird. Die sich im elektrischen Feld bewegend Ionen können nun ihrerseits neutrale Gasatome ionisieren. So breitet sich eine Entladungslawine aus; während dieser ist das Zählrohr für ein erneut in die Kammer eintretendes ionisierendes Teilchen nicht empfindlich. Nach relativ kurzer Zeit ($1/10\,000$ Sekunde = 10^{-4} s) kommt die Entladungslawine durch Löschvorgänge im Zählgas und durch die nachgeschaltete Elektronik zum Stehen, das Gerät ist wieder für energiereiche Strahlung empfindlich. **Info**

γ -Quant
 α -Teilchen
 β -Teilchen

stark vergrößerter Kern
Kohlenstoffatom ^{12}C

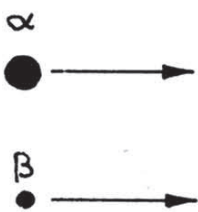
Zählrohrwand

Zählgas

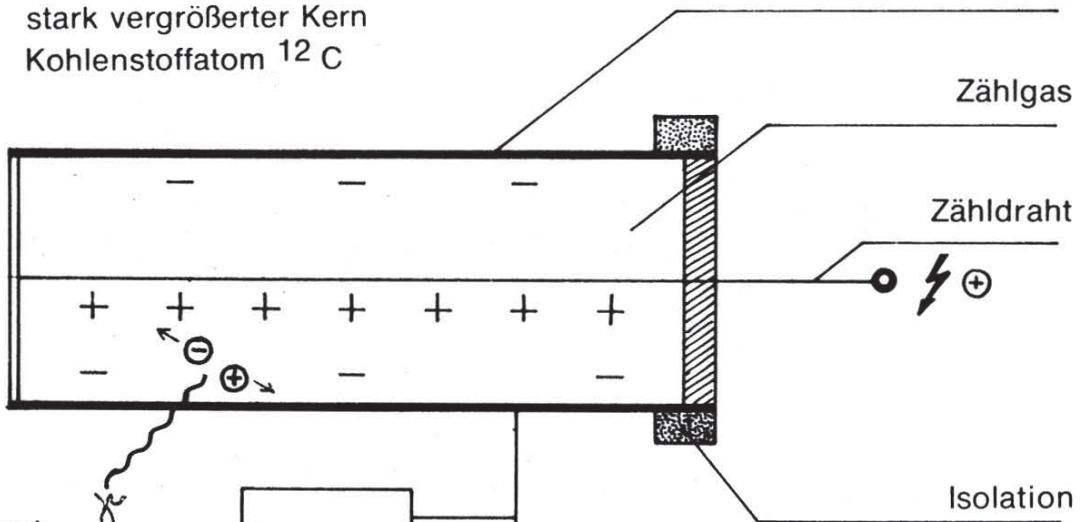
Zählendraht



Isolation



Ionisationsakt durch ein γ Quant eingeleitet



Dosisleistungsmesser mit Geiger-Müller-Zählrohr und Glimmerfenster für den Nachweis von α u. β Teilchen u. der Messung von Gammastrahlung.

Nach diesem Prinzip arbeiten die für den Einsatz in Frage kommenden Radiameter-Dosisleistungsmesser.

Indirekt auf der Wirkung der ionisierenden Strahlung basiert die Nachweismethode mittels Filmdosimeter, das allerdings erst nach **beendetem** Einsatz ausgewertet werden kann. Je nach Schwärzungsgrad des entwickelten Filmes war die Plakette einem Strahlenfeld eine bestimmte Zeit ausgesetzt.

3. Transport kontaminierter Personen – Praxis der Strahlenmessung

● Nach Alarmierung rückt der nächstverfügbare Rettungswagen mit der Gerätekiste (Ausrüstung für den Transport kontaminierter Personen: Schere, Klebstreifen, Bleistift, Papier, ABC-Wundschutz, Einweghandschuhe, Plastikbeutel, Plastikfolie, Warnschilder, ABC-Schutzbekleidung, ABC-Schutzmaske, Gummistiefel, Ionenaustauscher für behelfsmäßige Dekontamination z. B. Lewasorb[®], Dekontaminationslotion, alkaliarme, hautschonende Seife, physiologische Kochsalzlösung, 6 Filmdosimeter, Stabdosimeter, Dosisleistungsmesser, ggf. Alarmdosimeter, Kontaminationsmonitor) aus.

● Über die Rettungsleitstelle erfolgt die Alarmierung des ABC-Fachdienstes, ggf. des Strahlenschutzbeauftragten des betreffenden Betriebes, der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde (von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich geregelt), der Kreisverwaltungsbehörde, des regionalen Strahlenschutzentrums der Berufsgenossenschaft um Näheres über die Art, Menge und Gefährlichkeit der an der Unfallstelle in Frage kommenden Isotope in Erfahrung zu bringen. Ebenso bemüht sich die Leitstelle um Kontakt mit der Polizei zur Erhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung an der Unfallstelle.

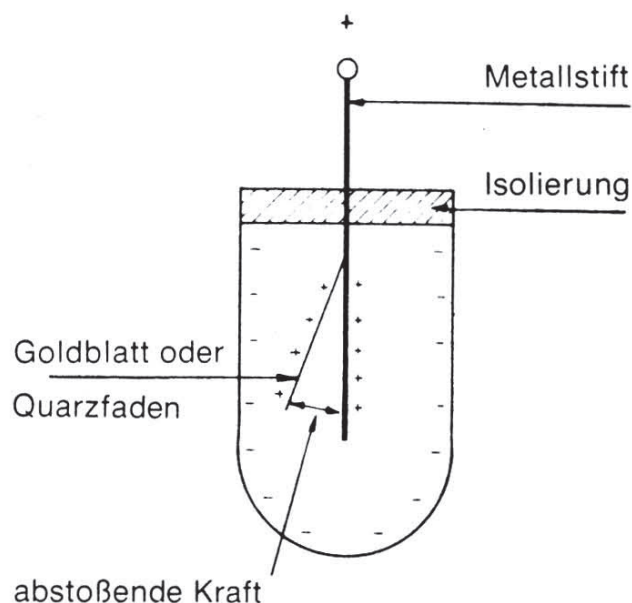
● Auf der Fahrt zum Einsatz sind die Filmdosimeter auszugeben, ein Rettungssanitä-

ter notiert die Namen und Nummern der Plaketten. Die Dosimeter **müssen** spätestens am Einsatzort verteilt, registriert und am Rockaufschlag befestigt sein. Je eine weitere Plakette soll nach Möglichkeit am Durchsichtfenster und neben dem Fahrersitz (Brusthöhe) mit Klebstreifen, zur späteren näherungsweisen Rekonstruktion des Strahlungsfeldes im Transportraum, angebracht werden. Eine weitere Plakette wird später dem Patienten angesteckt.

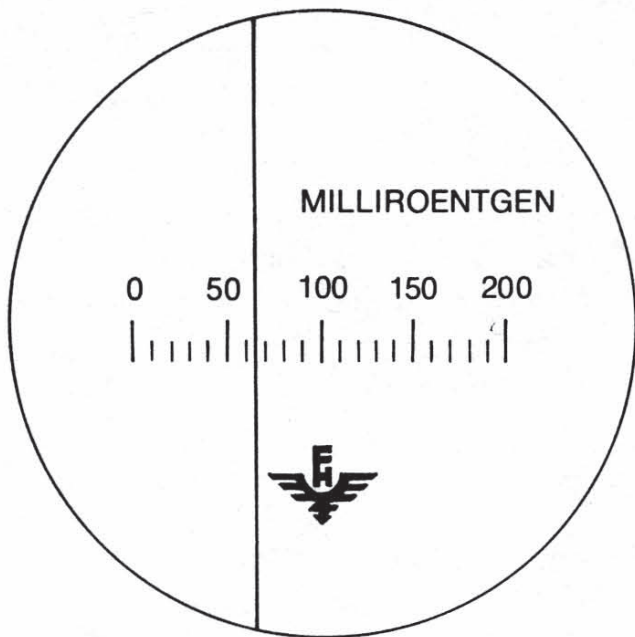
● Sofern Stabdosimeter vorhanden sind, werden diese jetzt geladen und die Null-einstellung **sorgfältig** kontrolliert. Auch die Stabdosimeternummern sind gewissenhaft zu registrieren!

Info ▶

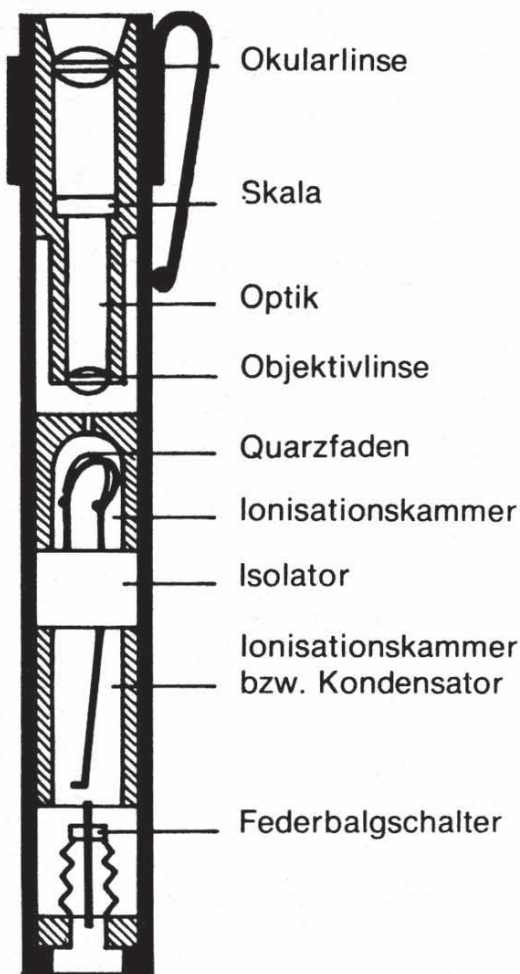
Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. Nach diesem Prinzip arbeitet ein Elektroskop. Lädt man dieses auf, so spreizt sich ein beweglich angebrachtes Goldblatt ab. Würde man dieses jetzt in ein starkes Strahlungsfeld bringen, so würde durch die Ionisation der Luft die Ladung abwandern, die abstoßende Kraft läßt nach, der Zeigeraus-schlag geht zurück. ◀ Info



Prinzip des Goldblattelektroskops, zugleich auch Prinzip des Taschendosimeters



Skala des Stabdosimeters FH 39 U



Stabdosimeter

Nach dem selben Prinzip funktioniert das zur selbständigen Kontrolle verwendete Stabdosimeter. Durch ionisierende Strahlung wird es entladen, der Grad der Entladung ist gleichbedeutend mit der Strahlungs-dosis und kann nach dem „Fernrohrprinzip“ jederzeit abgelesen werden.

- Kleine Wunden des Rettungspersonals sind **unbedingt** mit ABC-Wundschutz zu verschließen, da Inkorporationsgefahr besteht. Solche Helfer sind nach Möglichkeit – bei genügend Personal – nicht einzusetzen.
- Die Trage wird schon während der Fahrt mit Plastikfolie ausgelegt und diese mit Klebstreifen fixiert.
- Zum persönlichen Schutz und aus meß-technischen Gründen ist der Wagen **außerhalb** der Verstrahlungszone abzustellen.

An der Einsatzstelle ist weisungsberechtigt: Vertreter der Aufsichtsbehörde, Kreisverwaltungsbehörde, Polizei und Vertreter des regionalen Strahlenschutz-zentrums. Es ist zu klären, ob es sich um eine Verstrahlung (Kontamination, Inkorporation) oder um eine Bestrahlung handelt.

Info ▶

Unter Dosis versteht man die einem Körper zugeführte Strahlenmenge.

Man unterscheidet mehrere Dosisbegriffe:

Ionendosis: Diese gibt die Menge der erzeugten Ionen an und wird vom Dosisleistungsmesser in Röntgen (R) gemessen.

Energiedosis: Diese zeigt an wieviel Strahlungsenergie in einem Gewebe absorbiert wurde. Sie hat die Benennung Joule/kg (sprich: dschul).

Joule stellt innerhalb des verbindlichen neuen Maßsystems (SI) die Einheit für Arbeit und Energie dar.

1 J/kg wird auch als Gray * (1 Gy) bezeichnet!

Ionendosis	Energiedosis	Äquivalentdosis
erzeugte Ionen/cm ³ Luft (alt) Röntgen (R)	absorbierte Energie rad (rd = radiation absorbed dose)	Energiedosis × biologischem Bewertungsfaktor rem (rem = roentgen equivalent man)
(SI) (Coulomb/kg)	Gray (Joule/kg) Gy	Joule/kg = Sievert (Sv)

1 Joule = 1 Wattsekunde = 1 Newtonmeter = 1 Voltamperesekunde
(1 J = 1 Ws = 1 Nm = 1 VAs).
Umrechnungsfaktoren

$$1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Gray} \hat{=} 100 \text{ R}$$

Äquivalentdosis:

Durch die Energiedosis wird ausgedrückt, wieviel und welche Art von Ionisationen stattfinden und damit wieviel „Zerstörungsarbeit“ (Ionisationsarbeit) eine Strahlung in in den Gewebszellen geleistet hat. Nicht jedes Gewebe ist gleich strahlenresistent, weshalb noch der Begriff der Äquivalentdosis existiert, diese erhält ebenfalls die Benennung J/kg. Allerdings wird dabei die Energiedosis mit einem sogenannten Bewertungsfaktor, der je nach Strahlenart unterschiedlich ist, multipliziert.

Tabelle:

Berechnungsfaktoren für die Äquivalentdosis (vereinfacht):

- Röntgenstrahlen = 1
- γ- Strahlen = 1
- β- Strahlen = 1
- α- Strahlen = 10 – 20
- Neutronen = 3 – 10

Mit dem Dosisleistungsmesser wird die Ionendosis erfaßt. Für den praktischen Strahlenschutz gilt mit befriedigender Genauigkeit die **Faustregel:**

1 Gy = 100 c Gy (Zentigray) = 1000 m Gy (Milligray)

Bis 1985 dürfen alte und SI-Einheiten nebeneinander verwendet werden.

Dosisleistung

Leistung ist allgemein definiert als Arbeit/Zeit – also gilt: 1 J/s = 1 Ws/s = 1 W

Die Einheit der Leistung ist somit das Watt. Die Dosisleistung ist analog definiert:

$$\text{Dosisleistung} = \frac{\text{Energiedosis}}{\text{Aufenthaltszeit}}$$

Für die Rettung von Menschenleben kann dem Helfer aufgrund strahlenmedizinischer Erkenntnisse die Dosis 0,25 Gray zugemutet werden. Siehe auch Bundesgesetzblatt Nr. 83, 2537–2538, Teil I (1977).

Rechenbeispiele:

Angenommen der Patient weist zehn Zentimeter über der Körperoberfläche eine Do-

* Louis Harold Gray (1905 – 1965);
englischer Physiker

sisleistung von 0,25 Gy/h (= 25 R/h) auf, wie lange darf der Helfer maximal im Transportraum direkt neben dem Patienten zubringen?

$$\text{Maximale Aufenthaltszeit} = \frac{\text{Maximaldosis}}{\text{Dosisleistung}} = \frac{0,25}{0,25} = 1 \text{ h}$$

In unserem Beispiel muß der Helfer nach 60 Minuten im Transportraum ausgewechselt werden!

Beispiele für die Berechnung der Energie-Dosis

Welche Dosis bekommt ein Helfer ab, der sich 15 Minuten (900 s) in einem homogenen Strahlenfeld der Dosisleistung 1 Gy/h ($\hat{=} 100 \text{ R/h}$) aufhält.

$$(1 \text{ Gy/h}) = \frac{1 \text{ J}}{\text{kg} \cdot \text{h}} = \frac{1 \text{ J}}{\text{kg} \cdot 3600 \text{ s}} = \frac{1 \text{ Ws}}{\text{kg} \cdot 3600 \text{ s}} = \frac{1 \text{ W}}{\text{kg} \cdot 3600}$$

Wie schon die Angabe zeigt ergeben sich durch Umformungen eine Vielfalt von Beziehungen.

Für die (Energie-)Dosis gilt:

$$\text{Dosis} = \text{Dosisleistung} \times \text{Aufenthaltszeit}$$

1. Rechenweg

$$\text{Dosisleistung: } \frac{1 \text{ W}}{\text{kg} \cdot 3600}$$

$$\text{Dosis} = \frac{1 \text{ W} \cdot 900 \text{ s}}{\text{kg} \cdot 3600}$$

$$\begin{aligned} \text{Aufenthaltszeit } 900 \text{ s: } \frac{1 \text{ Ws}}{4 \text{ kg}} &= \frac{1 \text{ J}}{4 \text{ kg}} \\ &= 0,25 \text{ J/kg} = 0,25 \text{ Gy} \end{aligned}$$

2. Rechenweg

Man kommt **wesentlich einfacher** zum Ziel, wenn man **immer auf** die Einheiten:

$$1 \text{ Gray} = \frac{1 \text{ J}}{\text{kg}} \text{ und } 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

zurückgeht:

Dosisleistung: $100 \text{ R/h} \hat{=} 1 \text{ Gy/h}$

Aufenthaltszeit: $1/4 \text{ h}$

$$\text{Dosis} = \frac{1 \text{ Gy}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{4} \text{ h} = \frac{1}{4} \text{ Gy} = 0,25 \text{ Gy}$$

Wie man durch Vergleich der beiden Rechenwege erkennt, stellt die konsequente Verwendung des Gray als Einheit der **Energiedosis** eine – für den praktischen Strahlenschutz – große Vereinfachung dar!



Drei wichtige Grundsätze!

Da die Dosisleistung mit der Entfernung im Quadrat abnimmt und die Dosis sich durch Verkürzung der Aufenthaltszeit verringert, gilt der Grundsatz:

1. Minimalisiere die Aufenthaltszeit in einem Strahlenfeld.
2. Maximalisiere den Abstand von einer Strahlenquelle.
3. Schütze Dich durch dichte Materie vor der Strahlung.

Einleitung und Durchführung eines Rettungsvorganges aus einem Strahlenfeld

a) Meßtechnik

1. Festlegung des für die Einsatzkräfte betretbaren **Sicherheitsbereiches** (Dosisleistung unter 2,5 mR/h).
2. Vorgehen mit Meßgerät zur Feststellung der herrschenden **Dosisleistung** beim Verletzten im Strahlungsbereich.
3. Berechnen der **Dosis** bei angenommener Zeit für den Rettungsvorgang unter Beachtung der angeordneten **Maximaldosis** von 12,5 oder 25 rad. = 0,125 bzw. 0,25 Gy.
4. Festlegung der **Aufenthaltsdauer** (Maximaldosis : Dosisleistung).

b) Der Rettungsvorgang

1. Bei jedem Einsatz ist die volle Einsatz-ausrüstung zu tragen:

- a) Schutzanzug
- b) Schutzhelm
- c) Schutzmaske
- d) Schutzhandschuhe
- e) Schutzstiefel
- f) Dosisleistungsmeßgerät (Radiameter)
- g) Dosismeßgerät (Filmsplakette oder Stabdosimeter, am besten beides).

2. Bei jedem Vorgehen im Einsatz ist das Rettungsgerät mitzuführen:

- a) Trage
- b) Rettungstuch
- c) Decken und Planen
- d) Seile
- e) Schutzmaske für den Verletzten
- f) ABC- und konventionelles Verbandmaterial
- g) Brechwerkzeuge
- h) Funkgerät.

3. Die Rettung

- a) Verletzten aus unmittelbarer Strahlen-gefahr mit Rautekgriff bzw. Trage oder Tragetuch retten.
- b) Am Unfallort akute und lebensbedrohliche Zustände beseitigen, wenn die Strahlenintensität dies zuläßt.
- c) Atemweg und Verdauungstrakt des Verletzten mit Schutzmaske schützen.
- d) Verletzte so rasch als möglich in den Sicherheitsbereich bringen.
- e) Bei starker Verstrahlung vorläufige und stufenweise Dekontamination versuchen (Kleiderwechsel, Rettungsgeräte-wechsel u. a.).

Muß der Verletzte in einem Gebiet beatmet werden, in welchem radioaktive Gase oder Staub in der Luft vorliegt, muß an das Frischluftbeatmungsgerät ein ABC-Filter angeschraubt werden oder mit dem Pulmotor PT 60 umluftunabhängig beatmet werden.

● Zum eindeutigen Kontaminationsnachweis wird der Patient auf der mit Folie überzogenen Trage zunächst in angekleidetem Zustand langsam und sorgfältig mit dem Dosisleistungsmesser in geringem Abstand überstrichen. Das Gerät soll – falls es darüber verfügt – auf Lautsprecheranzeige gestellt werden, dann wird die Kontamination akustisch eingekreist, ansonsten muß das Meßinstrument sorgfältig beobachtet werden. Besonders wichtig ist es, direkten Kontakt zwischen verstrahlter Kleidung/Haut und dem Dosisleistungsmesser zu vermeiden, da das dadurch kontaminierte Gerät für weitere Messungen unbrauchbar wird. Dieses relativ zeitraubende Verfahren kann durch Verwendung eines modernen Großflächenzählers (Kontaminationsmonitor) umgangen werden.

● Bei festgestellter Kontamination der Bekleidung wird diese sorgfältig, „ohne Staub aufzuwirbeln“ und damit Sekundärkontamination herbeizuführen entfernt und in einen bereitgestellten Plastikbeutel gepackt. Dieser wird, wie auch die Beutel mit gebrauchten Einweghandschuhen, kontaminierter Schutzbekleidung – soweit ablegbar gekennzeichnet zurückgelassen. Zur orientierenden Feststellung von oraler Inkorporation kann die Mundhöhle mit einem Papiertaschentuch ausgewischt und dieses einer Messung unterzogen werden.

● **Behelfsmäßige Dekontamination.** Da bei Strahlenunfällen der Zeitfaktor entscheidend ist ($\text{Dosis} = \text{Dosisleistung} \times \text{Zeit}$) und eine innige Berührung zwischen Patient und strahlendem Material vorliegt, ist eine behelfsmäßige Dekontamination einzuleiten.

Diese folgenden Maßnahmen können nur **behelfsmäßigen Charakter** haben, da Dekontamination nur von einem **Fachmann** durchgeführt werden kann, jedoch ist ihre psychologische Wirkung auf den Verletzten nicht zu unterschätzen.

Die percutane Resorption von Radioisotopen kann bei staubförmiger Kontamination fast ausgeschlossen werden, weitgehend nicht aber für ätzende und fettlösliche Solventien, das Gleiche gilt für wässrige Lösungen, und **alle radioaktiven Gase**, letztere (z. B. Tritium: H-3; Krypton: Kr-85) neigen zu hartnäckiger Adsorption.

Zum Nachweis und zum provisorischen Entfernen von Nasenkontaminationen den Patienten kräftig in ein Papiertaschentuch schneuzen lassen. Zur Versorgung kontaminierter Wunden gehört das vorübergehende Anlegen einer **Stauung** bis die Blutung die Kontamination ausgespült hat. Wunden sind mit Wasser oder physiologischer Kochsalzlösung zu spülen, vgl.: Merkblatt Erste Hilfe bei erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlen, Hauptverband der gewerbl. Berufsgenossenschaften Bonn (1976).

Nach Aktivitätsmessung werden die Wun-

den sofort mit ABC-Wundschutz versorgt. Befindet sich die Wunde mitten in einer kontaminierten Hautzone, so ist der Verband durch Überkleben mit Folie wasserdicht zu machen, damit der Großflächendekontamination nichts im Wege steht.

Bei hartnäckigen Hautkontaminationen und unverletzter Haut, besonders, wenn mit längerem Transport zu rechnen ist, kann eine Packung mit feuchtem Ionenaustauscher (z. B. Lewasorb) angelegt werden, dieses erschwert zumindest weitere Resorption.

- Der somit versorgte Patient ist in **atmungsaktives** Material einzuschlagen. (Keine Folie verwenden! Gefahr des Wärmestaus!) z. B. Woldecken!
- Der Tabelle ist die maximale Aufenthaltszeit im Einsatz zu entnehmen. Bei längerem Transport ist durchzuwechseln.

Aufenthaltszeit bei Maximaldosis

Tabelle der maximalen Aufenthaltszeit in einem **homogenen** Strahlenfeld*

gemessene Ortsdosisleistung	gemessene Ortsenergiedosisleistung	25 R ($\hat{=}$ 0,25 Gy)	12,5 R ($\hat{=}$ 0,125 Gy)
200 R/h	2 Gy/h	= 7,5 min	\approx 4 min
100 R/h	1 Gy/h	= 15 min	= 7,5 min
50 R/h	500 mGy/h	= 30 min	= 15 min
25 R/h	250 mGy/h	= 60 min	= 30 min
10 R/h	100 mGy/h	= 150 min	= 75 min
1 R/h	10 mGy/h	= 25 h	= 12,5 h

*In der Praxis liegt meist ein Inhomogenes Strahlenfeld vor, deshalb sind ständig Messungen notwendig!

c) Versorgung und Transport

- a) Verletzten im Sicherheitsbereich Erste Hilfe leisten.
- b) Auslegen des Krankenraumes mit Folien durch nicht kontaminierte Personen.
- c) Frische Trage mit Folien belegen und Verletzten im Sicherheitsbereich darauf betten.
- d) Verletzten in nicht kontaminierte Decke einwickeln.
- e) Verletzten Dosimeter anlegen.
- f) Dosisleistung in 10 cm Entfernung vom Verletzten messen. Von der Dosisleistung und der wahrscheinlichen Transportzeit auf die Maximaldosis schließen. Bei Überschreitung der Maximaldosis das Personal auswechseln.
- g) Transport über Funk in der Klinik anmelden.

h) Transportgeräte und Einsatzpersonal der Dekontamination zuführen.

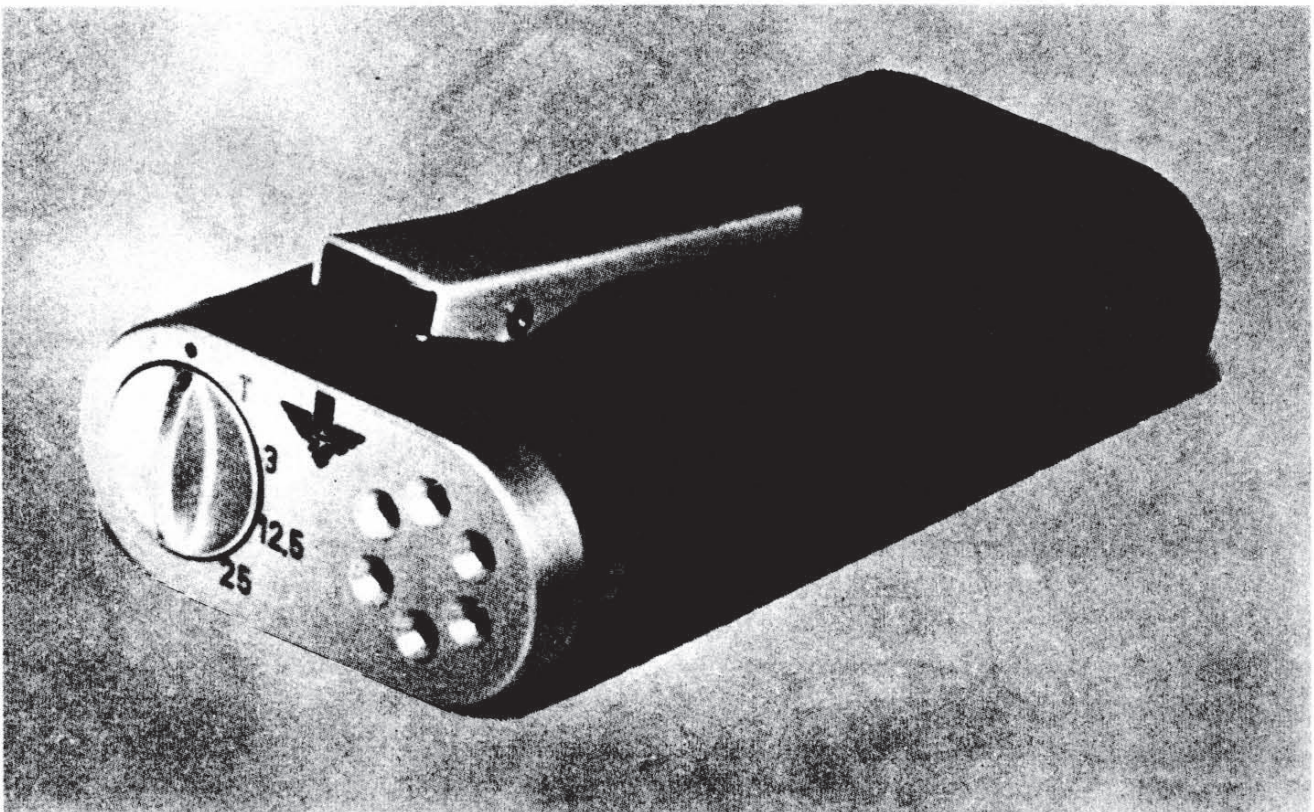
● Der Strahlenschutzbeauftragte kümmert sich um **sofortige** Auswertung der Filmdosimeter und notiert die Anzeige der Stabdosimeter.

● Er bestellt sofort neue Plaketten, kümmert sich um die Übergabe der Plastikbeutel mit verstrahltem Material an eine **offizielle** Sammelstelle, erstellt einen Transportbericht und sorgt für die abschließende Dekontamination des Transportfahrzeugs durch eine **Fachbehörde**.

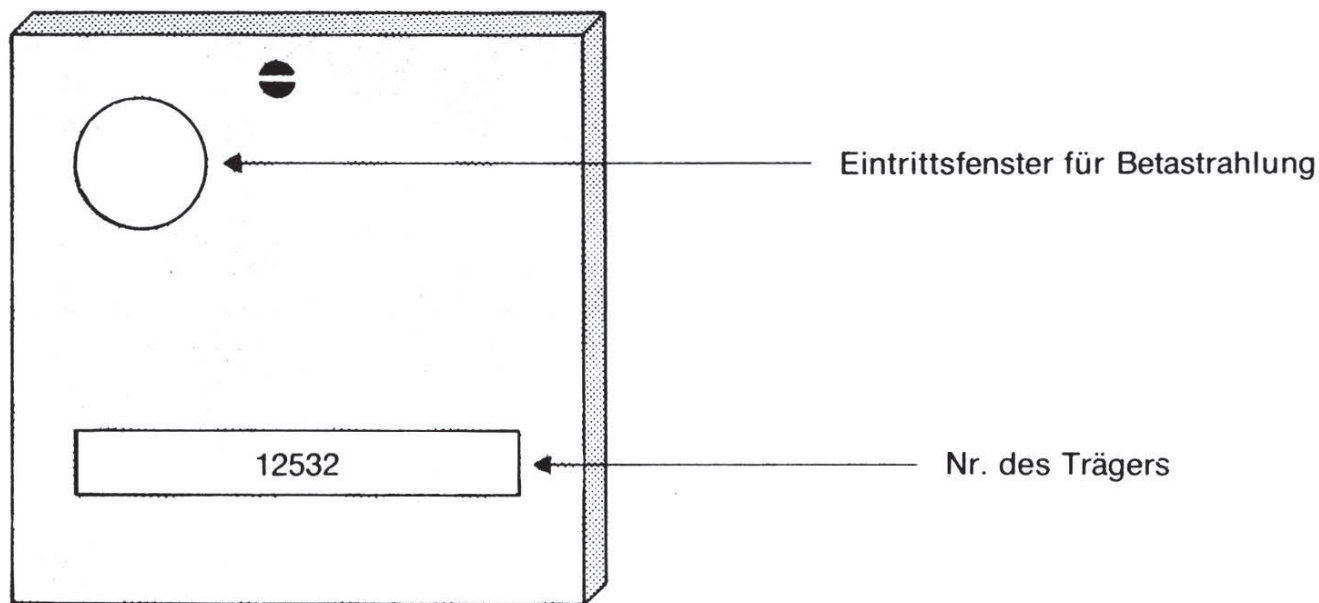
● Das Alarmdosimeter

Es existieren auch schon Alarmdosimeter, das sind Dosismessgeräte, welche auf der Schutzkleidung getragen werden und welche bei Erreichen einer – zuvor eingestellten Dosischwelle – (z. B. $25 \text{ R} \hat{=} 0,25 \text{ Gy}$) ein akustisches Warnsignal geben!

Alarmdosimeter



Fimlplakette zum Messen der Dosis



Mit Filmen verschiedener Empfindlichkeit lassen sich Strahlungen von etwa 2 mR – 500 R messen.

