Strahlenschutzplanung

Grundlagen

zur Berechnung

des

baulichen Strahlenschutzes

nuklearmedizinischer Einrichtungen

**(DAMP; Dipl.Ing. H. Sumpf; Mai 2020)**

DAMP Ing. Büro

Oberstraße 16;63589 Linsengericht-Altenhasslau

Tel.: 06051 969 300; FAX 06051 969 301

www.StrlSch.de

**Überblick:**

Vorbemerkung 3

Die Bestimmungen der DIN 5

Berechnungsverfahren 7

Strahlzeit t (Q) 10

Aufenthaltszeit T (A) 10

Reduzierte Aufenthaltszeit t (A) 10

Expositionsfaktor f (t) 10

Aktivitätsfaktoren 10

Umgangsaktivität A Umg 10

Reduzierte Aktivität A red 10

Fak redDL: 11

Schwächungsfaktoren 12

Computer-Programm 14

# Vorbemerkung

§ 8 (1) des Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) regelt die Strahlenschutzgrundsätze, wonach jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden ist.

Darüber hinaus ist jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch oder Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten (§ 8 (2)).

Für die Strahlenexpositionen gilt nach § 6 (1) StrlSchG darüber hinaus, dass alle Strahlenexpositionen hinsichtlich des damit verbundenen wirtschaftlichen, sozialen und sonstigen Nutzens im voraus gerechtfertigt und ständig überprüft werden müssen.

Die Grundlagen zur Planung einer Nuklearmedizinischen Einrichtung sind im wesentlichen

Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG; Juli 2017)

die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)

die Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin und

die Normenwerke (DIN)

Grundlagen der StrlSch-Berechnungen

Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)

Die Strahlenschutzverordnung unterscheidet 4 Strahlenschutzbereiche:

 Sperrbereich > 3 mSv/h § 52

 Kontrollbereich > 6 mSv/a; bei 40h/Woche § 52

 Überwachungsbereich > 1 mSv/a; bei 40 h/Woche § 52

 Allgemeinbevölkerung max. 1 mSv/a § 80 StrlSchG

**Sperrbereiche** sind Bereiche des Kontrollbereiches, in denen die Ortsdosisleistung höher als 3 mSv/h sein kann.

*(J-131 in 1 m Abstand: 50.6 GBq (1367 mCi).*

Das wesentliche Merkmal ist durch die Möglichkeit einer Ortsdosisleistung (temporär) von mehr als 3 mSv/h ausgedrückt.

**Kontrollbereiche** sind Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 mSv .... erhalten können (Dosisleistung bei Daueraufenthalt > 3 μSv/h).

Die obere Expositionsgrenze für den Kontrollbereich, gegeben durch die Dosisleistung von 3 mSv/h für den Sperrbereich, wird durch die **Dosisgrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen** bei 2000 h/a gemäß § 78 StrlSchG auf 20 mSv/a (unter 18 Jahren 1 mSv/a) eingeschränkt:

Kategorie

A: 6 mSv/a bis 20 mSv/a

 => 3 μSv/h 10 μSv/h

B: 1 mSv/a bis 6 mSv/a

 => 0,5 μSv/h 3 μSv/h

Die Grenze von 20 mSv/a erfährt durch den § 77 des StrlSchG (Berufslebensdosis) eine weitere Einschränkung indem „der Grenzwert für die Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten Dosen beruflich strahlenexponierter Personen 400 mSv beträgt“. Bei einer angenommenen Lebensarbeitszeit von 40 Jahren würde das den Jahresgrenzwert von 20 mSv/a (§ 78; StrlSchG) auf 10 mSv/a reduzieren.

**Überwachungsbereiche** sind nicht zum Kontrollbereich gehörende betriebliche Bereiche, in denen Personen eine effektive Dosis von mehr als 1 mSv/a ..... erhalten können.

Die obere Grenze und damit die Grenze gegenüber dem Kontrollbereich liegt bei 6 mSv pro Jahr.

Außerhalb des Betriebsgeländes **(Allgemeinbevölkerung)** beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung nach § 80 StrlSchG 1 mSv/a.

Maßgebend bei der Festlegung der Grenze von Kontrollbereich oder Überwachungsbereich ist nach § 52 eine Aufenthaltszeit von 40 h/Woche und 50 Wochen/a, soweit keine anderen begründeten Angaben über die Aufenthaltszeit vorliegen.

Die für die Strahlenexposition der Allgemeinbevölkerung aus Direktstrahlung maßgebenden Aufenthaltszeiten richten sich nach den räumlichen Gegebenheiten der Anlage oder Einrichtung oder des Standortes; liegen keine begründeten Angaben für die Aufenthaltszeiten vor, ist Daueraufenthalt anzunehmen.

Der Grenzwert von 1 mSv/a für die effektive Dosis gilt auch für Personen, die innerhalb des Betriebsgeländes einer Anlage oder Einrichtung beschäftigt und damit einer beruflichen Strahlenexposition ausgesetzt sind, ohne dass sie zur Gruppe der beruflich strahlenexponierten Personen gehören, wie z.B. Verwaltungspersonal, Kantinenpersonal

## Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin; Abs. 2.3.2 (11.Juli 2014):

## „Im Geltungsbereich dieser Richtlinie soll bei der Planung und Errichtung von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen oder von Einrichtungen zum Umgang mit radio-aktiven Stoffen an den jeweiligen Bedieneinrichtungen für das beruflich strahlenexponierte Personal ein Richtwert der Körperdosis von 1 mSv pro Kalenderjahr zugrunde gelegt werden“

# Die Bestimmungen der DIN

Die Bestimmungen der DIN basieren auf den jeweiligen Paragraphen der StrlSchV bzw. der Richtlinie StrlSch in der Medizin. Insofern interpretieren sie diese Verordnungen und geben Hinweise für die Auslegung und Verwendung dieser Vorschriften. DIN-Normen unterliegen im Gegensatz zu den Verordnungen einem ständigen Wandel, wodurch sie den aktuellen **Stand der Technik** repräsentieren. Sie haben zwar nicht den Charakter einer Verbindlichkeit, wie das für Gesetze und Verordnungen gilt; bei **Rechtsstreitigkeiten** werden sie jedoch zur Beurteilung der **fach- und sachgerechten Ausführung** herangezogen und dienen somit den mit der **Planung** des StrlSch beauftragten Fachkräften als Grundlage ihrer Planungsbemühungen.

Es muss an dieser Stelle jedoch darauf verwiesen werden, dass die Anwendung der entsprechenden Normen im Einzelfall der **Zustimmung der atomrechtlichen Behörde** bedarf. So findet sich in der DIN 6844 z.B. der Hinweis, dass bei der Möglichkeit einer natürlichen Belüftung davon Gebrauch gemacht werden kann, d.h. auf eine aufwendige Lüftung verzichtet werden kann oder, dass bei der Berechnung der Abschirmungen berücksichtigt werden kann, dass die Dosisleistung eines Patienten über eine Woche gesehen derart abnimmt, dass nur 20% der applizierten Aktivität wirksam werden (Radio-Jod-Therapie; maligne).

Die atomrechtliche Behörde hat den Bestimmungen der StrlSchV entsprechend das Recht (die Verpflichtung) **zum Schutz der Bevölkerung abweichende Forderungen** zu erheben, von dem sie aufgrund der Unzulänglichkeiten in der Einschätzung des Risikos (siehe ICRP 60) nur allzu oft Gebrauch macht. Demzufolge ist es ratsam, die Behörde vor konkreten Planungsschritten zu konsultieren um unnötigen Kosten durch Nachrüstungen aufgrund besonderer **Auflagen im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren** zu begegnen. Letztendlich wird die gesamte Planung durch das Zusammenspiel des Planers mit der zuständigen Behörde - über die gesamte Planungsphase hinweg bis zur atomrechtlichen Umgangsgenehmigung - geprägt.

Die DIN 6844-3 gibt vor:

**4.2.3 Aufenthaltszeiten**

Für die AUFPUNKTE sind Aufenthaltszeiten festzulegen. In allgemein zugänglichen Bereichen außerhalb des BETRIEBSGELÄNDES, z. B. in Wohnbereichen, ist mit 8760 Stunden im Kalenderjahr zu rechnen.

Die Aufenthaltszeiten auf dem BETRIEBSGELÄNDE sollten wie folgt gewählt werden:

a) *t* = 2000 Stunden im Kalenderjahr für Arbeits- und Daueraufenthaltsorte, entsprechend 40 Stunden je Woche und 50 Wochen im Kalenderjahr (z. B. Büros, Laboratorien, Schaltplätze, Untersuchungsräume mit Bedienplatz, Applikationsraum);

b) *t* = 600 Stunden im Kalenderjahr für Aufenthaltsorte und Verkehrsflächen, die nicht für den Daueraufenthalt von Personen in Frage kommen (z. B. Straßen, Grünanlagen);

c) *t* = 200 Stunden im Kalenderjahr für Aufenthaltsorte innerhalb der nuklearmedizinischen Einrichtung, an denen sichergestellt ist, dass sich dort niemand länger als ein Zehntel der Arbeitszeit aufhält (z. B. Patientenwarteräume, Flure, Treppen, Toiletten).

**4.2.4 Strahlzeiten**

Für die QUELLPUNKTE sind Strahlzeiten festzulegen. Je nach Betriebsweise sollten diese wie folgt gewählt werden:

a) 8760 Stunden im Kalenderjahr für Radionuklidgeneratoren (Dauerstrahlzeit);

b) 2000 Stunden im Kalenderjahr für den Umgang mit RADIOAKTIVEN STOFFEN während der allgemeinen Betriebszeit;

c) Werden in begründeten Fällen die tatsächlichen Umgangszeiten zugrunde gelegt, so müssen mindestens 200 Stunden im Kalenderjahr angesetzt werden.

**4.2.5 Jahresexpositionszeit**

Für die Abschirmberechnung nach 4.3 ist eine Festlegung der JAHRESEXPOSITIONSZEIT *z* erforderlich. Die JAHRESEXPOSITIONSZEIT kann höchstens die Strahlzeit sein.

Für die Strahlenschutzberechnung ist als JAHRESEXPOSITIONSZEIT *z* der jeweils kleinere Wert von Aufenthaltszeit und angenommener Strahlzeit je Jahr zu verwenden.

-Ende Zitat-

Anmerkung:

Dem Punkt c der Strahlzeiten (mind. 200 h/a) muss widersprochen werden. Es ist sinnvoll, auf einem Flur einen Patienten mit weniger als 5 min anzusetzen um abzuprüfen beim Vorbeigehen an einem Messraum (Tür) die absolute Dosisleistung von 0,2 μSv/h (Grenzwert für Messgeräte) nicht überschritten wird.

Der in den vergangenen Jahrzenten eingesetzte und weiter zunehmende Gebrauch von kurzlebigen PET-Nukliden lässt es darüber hinaus angezeigt erscheinen, den rad. Zerfall über eine Untersuchung in die Berechnungen zum Strahlenschutz mit einzubeziehen.

Diesem Gesichtspunkt trägt die DIN 6844 noch keinerlei Rechnung. Auch der Umstand, dass in einer Nukl. Med. Diagnostik keine klare und dauerhafte Abgrenzung von StrlSch-Bereichen vorgenommen werden kann, wird keinerlei Beachtung geschenkt. Es bleibt gänzlich unerwähnt, dass sich die Grenzen mit den Bewegungen der Patienten und dem med. Programm (Nuklide, Aktivitäten, Untersuchungszeiten) über einen Tag und von einem zum anderen Tag verschieben.

# Berechnungsverfahren

Der Schutz beruflich strahlenexponierter Personen vor äußerer Strahlenexposition ist an allen Stellen, an denen es der betriebliche Ablauf erlaubt, durch Dauereinrichtungen, insbesondere durch Abschirmung oder Abstandhaltung, sicherzustellen. Dauereinrichtungen müssen unter Berücksichtigung der Aufenthaltszeit so ausgelegt sein, dass die von einer Person während des normalen betriebsmäßigen Ablaufs erhaltenen Körperdosen die Grenzwerte des § 54 nicht überschreiten können.

Dabei wird kein Unterschied zwischen beruflich strahlenexponierten Personen der Kategorie A und der Kategorie B gemacht. Die Vorschrift verlangt Dauereinrichtungen insbesondere durch

 **Abschirmung** oder

 **Abstandhaltung**.

Dabei ist die

 **Aufenthaltszeit der Beschäftigten** ebenso wie die

 **Aufenthaltszeit der Quellen** (z.B. Patienten)

an solchen Arbeitsplätzen zu berücksichtigen. Der

 **betriebsmäßige Ablauf**

muss die Errichtung von Dauereinrichtungen möglich machen

Der Gesetzgeber räumt ausdrücklich betriebliche Gegebenheiten ein, in denen Dauereinrichtungen unzweckmäßig sein könnten z.B. unverhältnismäßiger Behinderung des Arbeitsablaufs oder durch Verminderung der Arbeitssicherheit usw.

Bei der Planung von Dauereinrichtungen, und dabei handelt es sich beim baulichen Strahlenschutz, sind diese grundsätzlichen Überlegungen sinngemäß zu beachten.

Bei der Berechnung von Strahlenabschirmungen sind grundsätzlich zu unterscheiden:

a) Berechnungen zur Abgrenzung der Strahlenschutzbereiche

b) Berechnungen zur Dimensionierung von Abschirmungen zur Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften bezüglich höchstzugelassener Strahlendosis für **Personen** (Körperdosis)

c) Berechnungen zur Abschirmung von **Messgeräten** gegen erhöhte Hintergrundstrahlung (Ortsdosisleistung)

Die Berechnungen zu den Punkten **a) und c)** können in der Regel auf **feste Dosisleistungswerte** umgerechnet werden. Bei allen Berechnungen zum **Personenschutz** sind **Dosiswerte für ein Jahr und betriebsmäßigem Ablauf** vorgegeben. Das bedingt die Berücksichtigung des Verhaltens von Personen für den Normal- bzw. Extremfall.

Die Planung einer nuklearmedizinischen Abteilung stellt besondere Ansprüche, da sich die Quellen (Patienten) innerhalb des Bereiches weitgehend unkontrolliert bewegen können. Insofern bewegt sich auch das Personal nicht nur in **unterschiedlichen Strahlenschutzbereichen**, sondern innerhalb der Bereiche zudem in **lokal und temporär stark schwankender Ortsdosisleistung.**

**Eine feste Abgrenzung von Strahlenschutzbereichen -wie gefordert- ist folglich nicht möglich.**

Dimensioniert man den baulichen Strahlenschutz auf die Klassifizierung der Strahlenschutzbereiche mit einer festen Aufenthaltszeit des Personals von 2000 h/Jahr (40 h/Woche) bei einer Aufenthaltszeit der Patienten (Strahlenquelle) von 100% und die maximale Umgangsaktivität, so ergeben sich überdimensionierte und praxisfremde Lösungen des baulichen Strahlenschutzes.

Dies bedeutet, dass für den jeweiligen **Betriebsablauf Modelle** erstellt werden müssen, die der Realität statistisch gesehen Rechnung tragen und entsprechend als Grundlage für die Berechnungen dienen. Sind Annahmen enthalten, die **besondere Vorgehensweisen oder Verhaltensweisen des Personals oder der Patienten** bedeuten, so sind diese in die zu erstellende **Strahlenschutzanweisung** verpflichtend aufzunehmen.

Da sich Personen bei verkürzt angenommenen Aufenthaltszeiten in mehreren Bereichen aufhalten, ist eine **Dosisgrenzwertüberschreitung durch Summation** zu **verhindern**.

Da es sich bei den Quellen um Patienten handelt, die sich innerhalb, teilweise auch außerhalb der Patientenzimmer (Untersuchungsräume) bewegen, ist der tatsächlich auftretende Dosisleistungswert an einem Ort temporär unterschiedlich und vom Verhalten des Patienten abhängig. So ist es realitätsfremd davon auszugehen, dass sich der Patient 24 h/Tag (8 h/Tag) an einem Ort (z.B. Fenster) aufhält. Bei den dafür angenommenen **Verhaltensmodellen** muss die Summe der Faktoren die Gesamtaufenthaltsdauer des Patienten ergeben. Dabei sollte Berücksichtigung finden, dass

* nur ein Bruchteil der Umgangsaktivität (**applizierte Aktivität**) bei den Patienten zur **Speicherung** kommt (Therapie),
* die Aktivität und damit auch die Dosisleistung über die Zeit ihres gesamten Aufenthaltes nach der **effektiven Halbwertszeit** (HWZeff) abnimmt und
* die Aufenthaltszeiten von Personen im Aufpunkt und damit die **resultierenden Einstrahlzeiten** geringer sein können (3 Schichtbetrieb des Betriebspersonals).

Über den Zeitraum eines Jahres wird also ein effektiv geringerer Wert der Aktivität wirksam und entsprechend bei der Berechnung der Abschirmungen zu berücksichtigen sein. Gerade für Nuklide mit kurzen HWZen ist es angezeigt mit einer integralen mittleren Dosisleistung alleine aufgrund der phys. Eigenschaften zu rechnen, die sich über die Aufenthaltszeit ergibt.

Eine realistische Berechnung der notwendigen baulichen Strahlenschutzmaßnahmen ist somit unter folgenden Vorgaben möglich:

1. **Festlegung der maximalen Umgangsaktivitäten**
	1. **Nuklide**
	2. **Aktivität**
2. **Bestimmung der über den Zeitraum des Aufenthaltes der Quelle wirksamen Aktivität**

**(mittlere integrale Dosisleistung durch HWZ)**

1. **Einteilung der Strahlenschutz-Bereiche in Schutz-Zonen,**
2. **Bestimmung der Aufenthaltszeiten von Personen in den einzelnen Zonen,**
3. **Zuteilung entsprechender Dosisleistungsgrenzwerte für die Zonen unter Berücksichtigung der effektiven Einstrahlwirkung Quelle -> Aufpunkt.**

Bei Einhaltung aller Vorgaben von Aktivitäten und Aufenthalts- sowie Strahlzeiten ist nach dem geschilderten Berechnungsverfahren gewährleistet, dass strahlenexponierte Personen den Grenzwert der zulässigen Jahresdosis in der Summation nicht überschreiten. Die bei der Dimensionierung verwendeten Modelle und Annahmen sind in der Strahlenschutzanweisung festzuhalten und zu kontrollieren.

Dies gilt ganz besonders für

 Orte mit höheren Ortsdosisleistungen,

 z.B. den Patientenzimmern, in Bezug auf die Aufenthaltszeiten des Personals und

 Orte mit höheren Aufenthaltszeiten,

 z.B. das Schwesterndienstzimmer, bezüglich der Höhe der Einstrahlung.

**Zeitfaktoren**

### Strahlzeit t (Q)

Die Strahlungszeit ist die angenommene Aufenthaltszeit der Strahlenquelle in der jeweiligen Position mit **Einstrahlwirkung auf den** entsprechenden **Aufpunkt.**

### Aufenthaltszeit T (A)

Als Aufenthaltszeit T (A) sind entsprechend StrlSchV und DIN 6844 8760 h/Jahr (Wohnbereiche) bzw. 2000 h/Jahr (Betriebsgelände) anzusetzen.

### Reduzierte Aufenthaltszeit t (A)

Die reduzierte Aufenthaltszeit ist die **größte anzunehmende reale Aufenthaltszeit einer Person** in einem entsprechenden Aufpunkt (durch den realen Betriebsablauf bedingt).

### Expositionsfaktor f (t)

Der Expositionsfaktor f (t) ergibt sich aus der Beziehung der reduzierten **Aufenthaltszeit und** der **Strahlungszeit zueinander**:

 t t (Q), wenn t (Q) <= t (A)

 f (t) = ----- mit t =

 T (A) t (A), wenn t (Q) > t (A)

Das bedeutet, dass von den Verweilzeiten der Quelle und der zu schützenden Personen die jeweils kürzere bestimmend ist.

## Aktivitätsfaktoren

### Umgangsaktivität A Umg

Die Umgangsaktivität ist die in einem Raum oder einer Position befindliche maximale Aktivität. Im Falle eines Patienten ist dies die Applikationsaktivität. Diese wird nicht unmittelbar für die Strahlenschutzberechnung herangezogen (Ausnahme: Geräte-StrlSch)

### Reduzierte Aktivität A red

Die reduzierte Aktivität wird zur Berechnung des baulichen Strahlenschutzes verwendet. Sie setzt sich aus der Umgangsaktivität A (Umg) und den folgenden **Korrekturfaktoren** zusammen:

### Fak redDL:

Die applizierte Aktivität

1. kommt nicht zur vollen **Speicherung** und

2. verringert sich ab dem Zeitpunkt der Applikation durch die **effektive Halbwertszeit** (=biologische HWZ \* physikalische HWZ).

Für 3.7 GBq (100 mCi) J-131 wird in der DIN 6844 Teil 3 eine integrale Dosis von 5 mSv in 5 Tagen bei 1 m Abstand angegeben. J-131 mit einer Dosisleistungskonstante von 0,059 (mSv m^2)/(h GBq) ergibt bei 3,7 GBq eine Dosisleistung von 0,218 mSv/h, so dass 5 mSv in 22,9 h erreicht werden. Das ergibt (bezogen auf 5 mSv) einen Faktor von 0,19 der Dosis die sich ergäbe, wenn man mit einer permanenten Strahlleistung von 3.7 GBq J-131 über 120 h (=26,2 mSv) rechnet. Bei der Berechnung mit J-131 kann demzufolge mit einer reduzierten Aktivität von 0,19\*A (Umg) gerechnet werden.

**Fak mA:**

Die applizierte Aktivität ergibt sich aus der Diagnosestellung und einer entsprechenden Voruntersuchung. Demzufolge kommt nicht bei allen Patienten die maximal zulässige Umgangsaktivität zur Applikation. Daraus ergibt sich ein Faktor, der die **mittlere applizierte Aktivität** zur Berechnung ergibt.

*Bei Untersuchungen über ein Jahr ergab sich bei 93 Patienten, die sich in Zimmern befanden, die für eine Tumortherapie mit 100 mCi ausgelegt sind, ein Mittelwert für die pro Patienten applizierte Aktivität von 41 mCi, d.h. den Faktor 41 mCi/100 mCi von 0,41.*

Bei 42 Patienten, die sich in Zimmern befanden, die für eine Funktionstherapie (A Umg < 20 mCi) ausgelegt sind, ergab sich ein Mittelwert für die pro Patient applizierte Aktivität von 11.5 mCi, das entspricht einem Faktor 11,5 mCi/20 mCi von 0.58.

Die zur Berechnung des baulichen StrlSch zu verwendende Aktivität ergibt sich demzufolge zu:

A red = A Umg \* Fak redDL \* Fak mA

Die Berechtigung zur Berechnung des baulichen StrlSch über Dosisleistungen unter Verwendung dieser Reduktionsfaktoren ergibt sich daraus, dass die StrlSchV mit Ausnahme des Sperrbereiches keine maximalen Dosisleistungswerte sondern maximal **im Jahr resultierende Dosiswerte** für die einzelnen Bereiche festschreibt.

Sie ist **nicht zulässig** beim StrlSch **für nuklearmedizinische Messgeräte**, der in jedem Fall auf die maximal mögliche Ortsdosisleistung (Dosisleistungsschwankungen) ausgelegt werden müssen.

## Schwächungsfaktoren

Die Berechnung der notwendigen Schwächungsfaktoren ergibt sich aus der Beziehung:

 Do

 Dx = ------

 Fn

wobei:

D**x** ist die Dosis(-leistung) einer oder mehrerer Quellen im Punkt P(x) unter Berücksichtigung der Durchdringung von Schwächungsschichten

D**o** ist die Dosis(-leistung) einer oder mehrerer Quellen im Punkt P(x) ohne Berücksichtigung von Schwächungsschichten

F**n** Schwächungsfaktor für ein bestimmtes Material oder Materialkombination einer bestimmten Stärke für das jeweilige Nuklid

*Die Daten entstammen Tabellen des Normenausschuss Radiologie (NAR) und sind unter* [*https://www.din.de/resource/blob/79932/d42d8ce1a772abaedd2b10d7a4b5c893/berechnungen-data.zip*](https://www.din.de/resource/blob/79932/d42d8ce1a772abaedd2b10d7a4b5c893/berechnungen-data.zip) *zu finden.*

Für die Berechnung des notwendigen Schwächungsfaktors ergibt sich die Beziehung aus der Bedingung, dass

**Dx <= Dz (B; f(t))**

d.h. kleiner oder gleich einer Funktion aus dem zulässigen Dosisleistungswert (Dz) für den StrlSch-Bereich B (Kontrollbereich; Überwachungsbereich etc.) und der zeitlichen Verhältnisse für Aufenthalts- und Einstrahlzeiten f(t) sein muss.

  **Do**

 **Fn >= --------------**

 **Dx (f(t))**

mit

Dx (f(t)) ist die für den betrachteten Punkt zulässige Dosis(-leistung) unter Berücksichtigung des Expositionsfaktors.

Für den Fall, dass der Aufenthalt nur für diesen und keine weiteren Punkt zu bestimmen ist, gilt:

**Dx (f(t)) = Dz (B; T(A))**

Werden diese Berechnungen in mehreren Bereichen unterschiedlicher Dosisleistung für sich bewegende Aufpunkte (z.B. Pflegepersonal) angestellt, so sind die einzelnen Schwächungsschichten aus der Bilanz der resultierenden Dosis(-leistungen) Dx in den jeweiligen Punkten P(x,y,z) zu bestimmen.

Es ergibt sich:

**Dgesamt = (Dx(1; f(t1)) + Dx(2; f(t2)) +... +Dx(i; f(ti))) <= Dz (B ;T(A))**

 **Do(1; f(t1)) Do(2; f(t2)) Do(i; f(ti))**

 **Dgesamt = (----------------- + ----------------- + ... + --------------) <= Dz (B; T(A))**

 **Fn(1) Fn(2) Fn(i)**

Aus dieser Form ist erkennbar, dass Dx in einzelnen Punkten durchaus höher sein kann, wenn an anderer Stelle eine entsprechend niedrigeres Glied den Ausgleich schafft. Es wird aber auch erkennbar, dass diese Gleichung nicht mehr nach Fn aufgelöste werden kann, wenn nicht die übrigen Faktoren eindeutig feststehen.

Gleichzeitig wird deutlich, dass der **Aufenthaltsfaktor** das **gleiche Gewicht wie** der **Schwächungsfaktor** besitzt.

In gleichem Maße, wie durch organisatorische Maßnahmen der Aufenthalt beschränkt werden kann, reduziert sich der notwendige Strahlenschutz durch bauliche Maßnahmen.

## Computer-Programm

Die Berechnungen des baulichen StrlSch basieren auf Computerrechnungen, denen ein leicht vereinfachter Grundriss zugrunde liegt. Dieser wird über Position, Ausdehnung und Material (definiert über die Dichte) **dreidimensional** eingegeben und zur Berechnung der Strahldurchdringungen verwendet. Das Programm prüft über die Position von Aufpunkt (APkt) und einstrahlender Quelle (QPkt) alle im Grundriss eingegebenen Bauteile (Decken, Böden, Wände; Fenster; Türen; Durchreichen etc.) auf einen Schnittpunkt der Verbindungslinie APkt < - > QPkt.

Ist dieser vorhanden, wird entsprechend der Schwächungswert aufgrund des Materials der schwächenden Schicht und des Nuklids aus Tabellen ermittelt, die auch der DIN 6844 zugrunde liegen (DIN; NA 80; Normenausschuss für Radiologie). Bei Materialien, die nicht einer der vorliegenden Tabellenwerke (Dichte) entsprechen, wird der Schwächungswert auf der Basis des Tabellenwerkes, das der Dichte am nächsten kommt entsprechend Dorner und Vogt; Abs. 3.3 über das Verhältnis der Dichten inter- bzw. extrapoliert.

Bei den verwendeten Aktivitäten handelt es sich um max. mögliche Aktivitäten an der jeweiligen Position, i.d.R. max. Applikationsaktivitäten. Dies ist erforderlich, da Berechnungen zum Geräte-StrlSch auf der Basis reiner Dosisleistungswerte angestellt werden. Für diese Berechnungen spielen die eingegebenen Aufenthaltszeiten und Korrekturen der Aktivitäten keine Rolle. Die Berücksichtigung der für den Personenstrahlenschutz relevanten mittleren Aktivitäten (entsprechend der Jahresgrenzwerte) findet in den Korrekturfaktoren .mA, und .redDL ihren Niederschlag. Ein Faktor 0,6 für z.B. .mA bei einer max. Aktivität von 800 MBq besagt, dass über das Jahre nicht die Dosisleistung einer 800 MBq-Quelle, sondern nur 60%, entsprechend einer Quelle von 480 MBq für die im Jahr zu erwartende Dosis wirksam ist.

Diese mittleren Dosisleistungsanteile der Quellen werden für jeden Aufpunkt entsprechend der eingegebenen Aufenthaltsmodelle summiert. Ist die Einstrahldauer einer Quelle geringer als die Aufenthaltszeit einer Person an einem Aufpunkt, so ist die über die Aufenthaltszeit der Person empfangene Dosis nicht direkt proportional der reinen Ortsdosisleistung und der Aufenthaltszeit der Person, sondern der Ortsdosisleistung und der Einstrahldauer der Quelle. Über den gesamten Aufenthaltszeitraum der Person wirkt also eine mittlere (fiktive, mittlere) Dosisleistung entsprechend dem Verhältnis der Strahlzeit zur Aufenthaltszeit der Person. Diese (fiktive) Dosisleistung wird in der Berechnung verwendet und entsprechend unter der jeweiligen Dosisleistung (Dlo) dokumentiert.

Diese Art der Berechnung erlaubt es, auch komplexe Berechnungen mit Einwirkung von Fremdquellen aus entfernten Bereichen anzustellen. Mit der Berechnung der relativen Anteile dieser Dosisleistungswerte der einzelnen Quellen zur Gesamtdosisleistung in einem Aufpunkt, lassen sich Schwachpunkte und die dafür verantwortlichen Strahlrichtungen ermitteln. Iterativ können die im Strahlgang befindlichen Bauteile dann solange angepasst werden (Wandstärken, andere Materialien, zusätzliche Verstärkungen), bis die angestrebten Grenzwerte erreicht, d.h. unterschritten sind.

Jede Berechnung APkt -> QPkt wird mit allen dabei eine Rolle spielenden Faktoren zu dem jeweiligen Aufpunkt protokolliert, so dass jede Teilberechnung auch über Taschenrechner nachvollzogen werden kann.

**Besonderheit:**

Für den baulichen StrlSch von Interesse ist lediglich der Einfluss von Quellen aus benachbarten Bereichen oder dem gleichen Bereich, wenn diese Quellen zum betrachteten Aufpunkt über eine Abschirmung auf den Aufpunkt einwirken. Nur dieser Wert ist im StrlSch-Plan aussagekräftig zur Beurteilung, ob die Zwischenwände, Nuklidabzüge, Pb-Burgen u.ä. ausreichend dimensioniert sind. Der StrlSch für nicht abgeschirmte Quellen im gleichen Raum unterliegt rein dem organisatorischen StrlSch durch den Nutzer (StrlSch-Anweisung). Insofern darf der bauliche StrlSch nicht ausgereizt werden, da diese Vorgänge ansonsten den Grenzwert überschreiten könnte.

Angaben über Wände, Decken etc. werden vom StrlSch-Planer **immer** als **Vollmaterial** angenommen, solange nichts anderes ausdrücklich erwähnt wird. Hohlblocksteine u.ä. müssten vom StrlSch-Planer auf die strahlenschutztechnisch wirksame Stärke (ohne Hohlräume) für den gesamten Stein umgerechnet werden. Umgekehrt sind die Angaben des StrlSch-Planers immer für Vollmaterial.

Die Dichten für Beton und Stein werden immer als Trockenrohdichte angenommen oder angegeben.

Durchbrüche und Rohrdurchführungen müssen immer mit einem Material der sie durchdringenden Wand bzw. Decke abgedichtet werden. Deckendurchbrüche in Räumen, in denen mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird, sind soweit wie möglich zu vermeiden. Größere Durchbrüche (Lüftung) sollten soweit möglich horizontal verlaufen. Kleinere Durchbrüche (Kabeldurchführungen, Heizungsrohre etc.) können i.d.R. problemlos im Sockel- oder Deckenbereich vorgesehen werden. Der StrlSch-Planer muss in jedem Fall jedoch über alle Durchbrüche und Durchführungen informiert werden!

Schlitze für Elektroleitungen sind soweit wie möglich zu vermeiden oder auf das unbedingt erforderliche Maß zu reduzieren. Zum Verschließen der Schlitze muss ein dem Mauerwerk entsprechendes Material (Dichte) verwendet werden. Schlitze im Sockel- und Deckenbereich können i.d.R. als unproblematisch angesehen werden. Im Einzelfall kann es erforderlich werden, Schlitze oder Löcher für Schalter o.ä. mit Pb-Folie zu hinterlegen.

Alle Oberflächen (Wände, Möbel etc.) in Räumen in denen mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird müssen dem Anspruch auf „leichte Dekontaminierbarkeit“ entsprechen, d. h., sie dürfen nicht saugfähig sein und müssen leichtabwaschbar (feucht) sein. Es gibt seitens der Industrie das Siegel der leichten Dekontaminierbarkeit. Diese Oberflächen (Farben, Lacke) sind in aller Regel sehr teuer. Oftmals schreiben die atomrechtlichen Genehmigungsbehörden dieses Siegel für die Oberflächen nicht vor; es können einfache, glatte, nicht saugfähige und nass abwaschbare Oberflächenbehandlungen zum Einsatz kommen. Die ist jedoch im Vorfeld, weil sehr unterschiedlich gehandhabt, mit den atomrechtlichen Behörden abzustimmen.

Ein weiteres, mit der atomrechtlichen Genehmigungsbehörde im Vorfeld abzustimmendes „Problem“ sind die Fugen bei Fliesen. Es ist zu klären, inwieweit Fugenmaterial mit Epoxydharz verwendet werden kann oder ob die Fugen mit einem Lack versiegelt werden müssen.