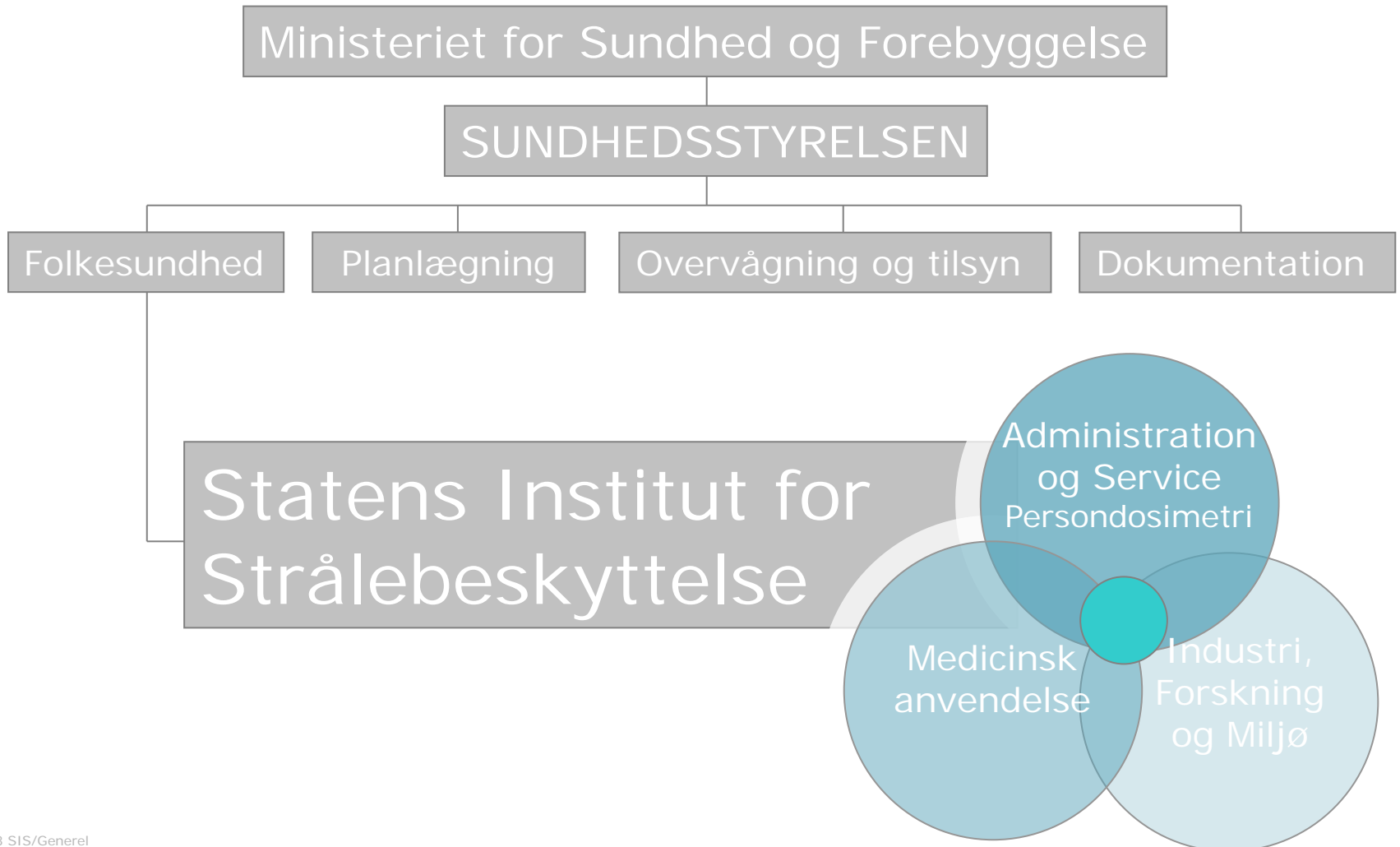




Strålebeskyttelse

Carsten Israelson

Organisation



Statens Institut for Strålebeskyttelse

FORMÅL

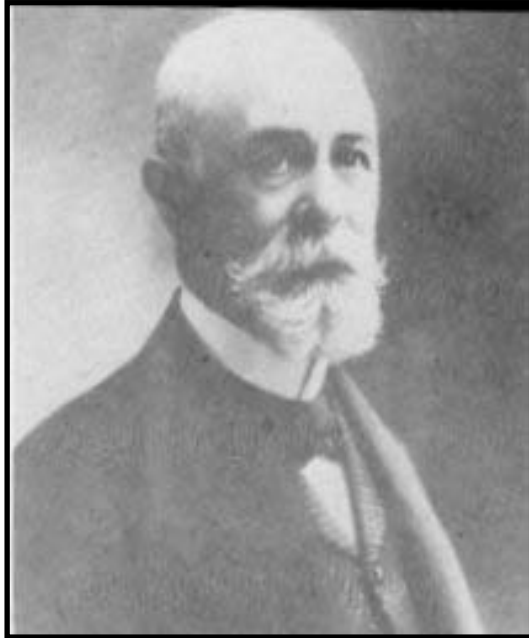
- At sikre at brugen af ioniserende stråling er berettiget, optimeret og kvalitetssikret, herunder at den medicinske anvendelse er effektiv.
- At forhindre akutte dødsfald og anden alvorlig akut skade forårsaget af ioniserende stråling.
- At forebygge og begrænse ioniserende strålings skadelige sene effekter.

LOV
(nr. 94 — 31. marts 1953)
om
brug m. v. af radioaktive stoffer.

§ 1.

Radioaktive stoffer af enhver art, hvadenten de er i fri tilstand eller i blanding med andre stoffer eller indbygget i maskiner og apparater, må kun fremstilles, indføres eller besiddes, såfremt tilladelse er meddelt af sundhedsstyrelsen.

Radioaktivitet



Radium salt modtages i København 1912



Stråleinducerede skader

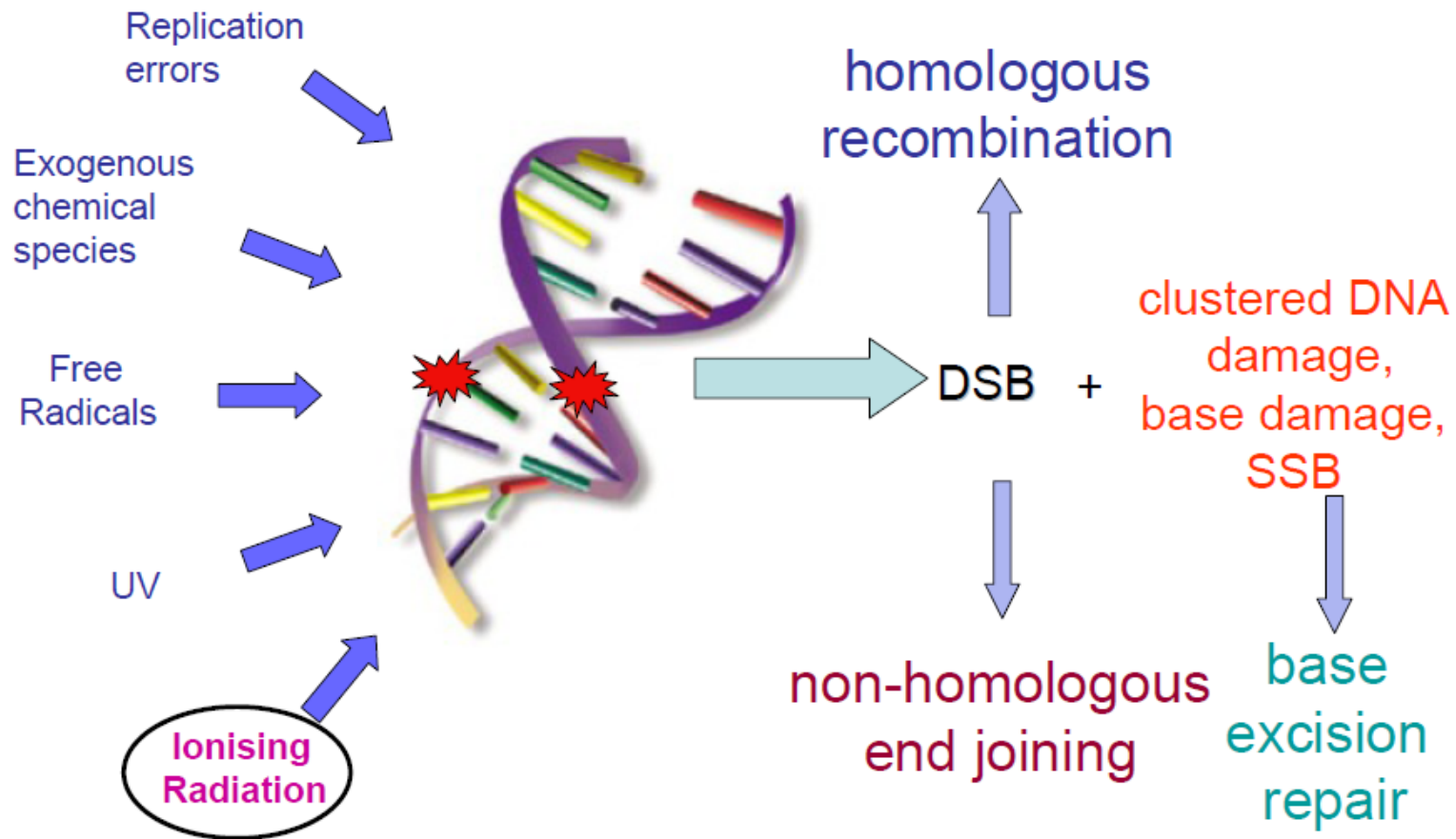
- Radiation-induced osteosarcoma in man
(Dial painters, Pu-workers, Ra & Th therapy).



Low sporadic incidence (high causality).
Strain differences in susceptibility.



Molekyleniveau: skader på DNA



ICRP

International Commission
on
Radiological Protection

Grundlagt i 1928

Volume 30 No. 1 2000

ISSN 0146-6453

ICRP

Annals of the ICRP

PUBLICATION 84

Pregnancy and Medical Radiation



Pergamon

Absorberet dosis

Absorberet energi pr. masseenhed

$$D = d\varepsilon / dm$$

Enhed: J/kg, gray (Gy)

Vægtningsfaktorer, ICRP 60

<i>Stråletype og energiområde</i>	<i>Strålevægtning- faktor, w_R</i>
Fotoner, alle energier	1
Elektroner, alle energier	1
Neutroner, energi < 10 keV	5
10 keV - 100 keV	10
100 keV - 2 MeV	20
2 MeV - 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protoner, energi > 2 MeV	5
α-partikler, fissionsfragmenter, tunge kerner	20

Ækvivalent dosis

Absorberet dosis i organet eller vævet T
vægtet for strålekvalitet

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

Enhed: J/kg, sievert (Sv)

Væsvægtningsfaktorer, ICRP 60

<i>Organ eller væv</i>	<i>Væsvægtningsfaktor, w_T</i>
Kønskirtler (gonader)	0,20
Rød knoglemarv	0,12
Tyktarm	0,12
Lunger	0,12
Mavesæk	0,12
Urinblære	0,05
Bryst	0,05
Lever	0,05
Spiserør	0,05
Skjoldbruskkirtel	0,05
Hud	0,01
Knogleoverflader	0,01
Resten af kroppen	0,05

Nye vævsvægtningsfaktorer, ICRP 103 (2007)

Væv/organ	ICRP 60	ICRP 103
Gonader	0,20	0,08
Bryst	0,05	0,12
Hjerne, spytkirtler	-	0,01

Effektiv dosis

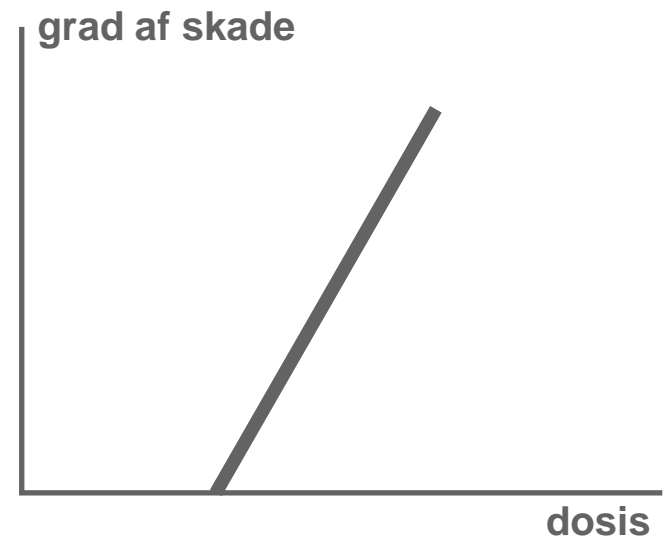
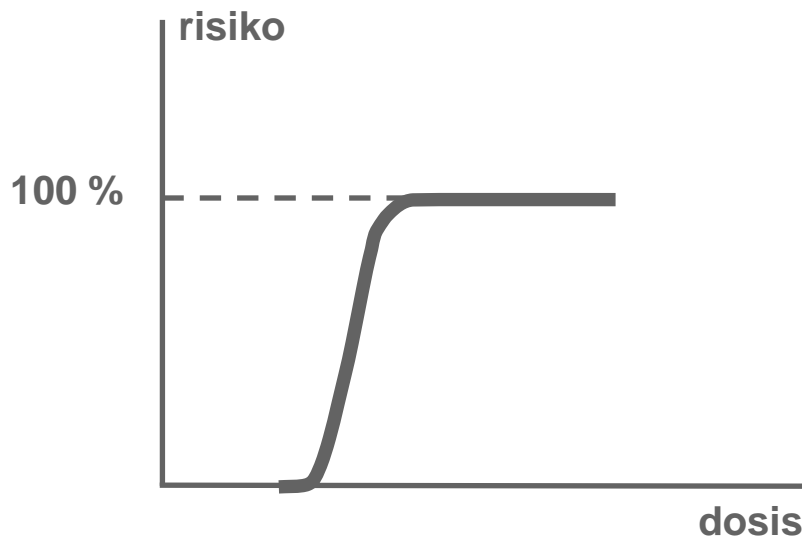
Ensartet helkropsbestråling

$$\begin{aligned} E &= \sum_T w_T H_T \\ &= \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \end{aligned}$$

Enhed: J/kg, sievert (Sv)

Deterministiske skader - Akutte skader

- Tærskelværdi (tærskeldosis), hvorunder skaden ikke kommer til udtryk
- Sværhedsgraden af skaden vokser med stråledosis
- Eksempler:
 - Stråleforbrænding, katarakt, nedsat funktion af bloddannende knoglemarv, nedsat fertilitet



Akutte skader / Deterministiske skader ^(1/2)

Skader til huden ved lokalbestråling:

- 5.000 mSv giver 1. grads forbrænding,
med rødmen efter nogle timer
- 10.000 mSv giver 2. grads forbrænding,
med sår efter 2 – 3 uger
- 50.000 mSv giver 3. grads forbrænding,
med øjeblikkelig smerte

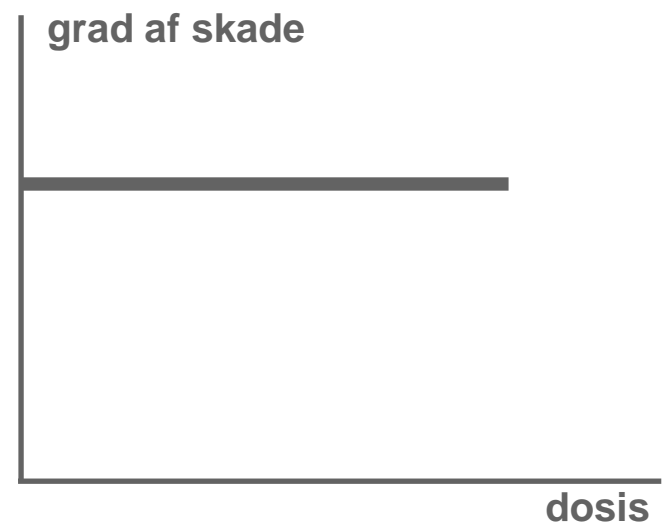
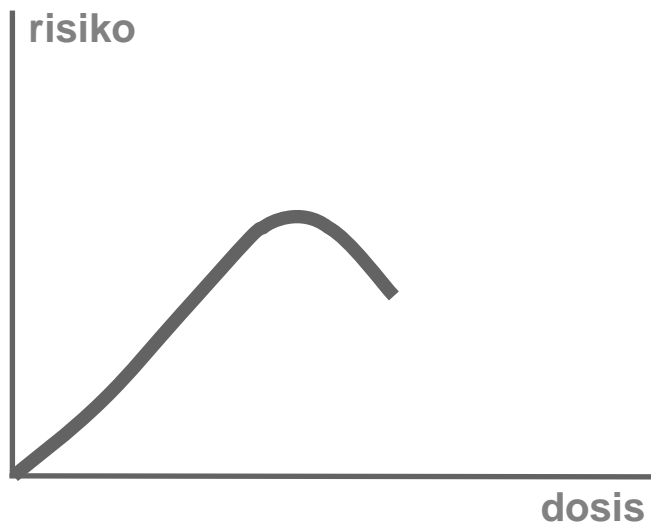
Akutte skader / Deterministiske skader (2/2)

Skader til huden ved helkropsbestråling:

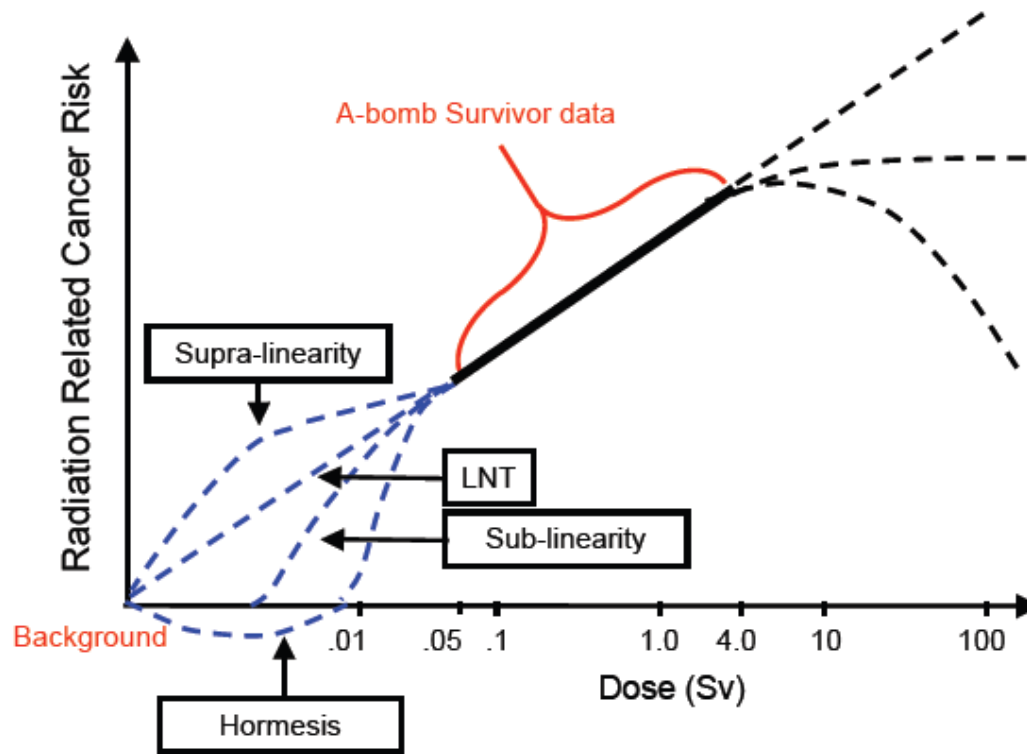
- 1.000 mSv er tærskeldosis for påviselige tegn på stråleskader
- 2.000 mSv er tærskeldosis for dødsfald
- 6.000 mSv er dødelig dosis

Stokastiske skader - Sene skader

- Ingen tærskelværdi: Risiko ved selv den mindste stråledosis
- Risikoen for en stokastisk skade vokser med stråledosis
- Sværhedsgraden er uafhængig af stråledosis
- Kan ikke skelnes fra skade forårsaget af andre påvirkninger
- Stokastisk fordelt, men til at beregne statistisk
- Eksempler:
 - Leukæmi, brystkræft, lungekræft, genetiske skader



Linear ekstrapolering til lave doser (Linear No-Threshold Model)



Afhængighed af bestråling (stråledosis)

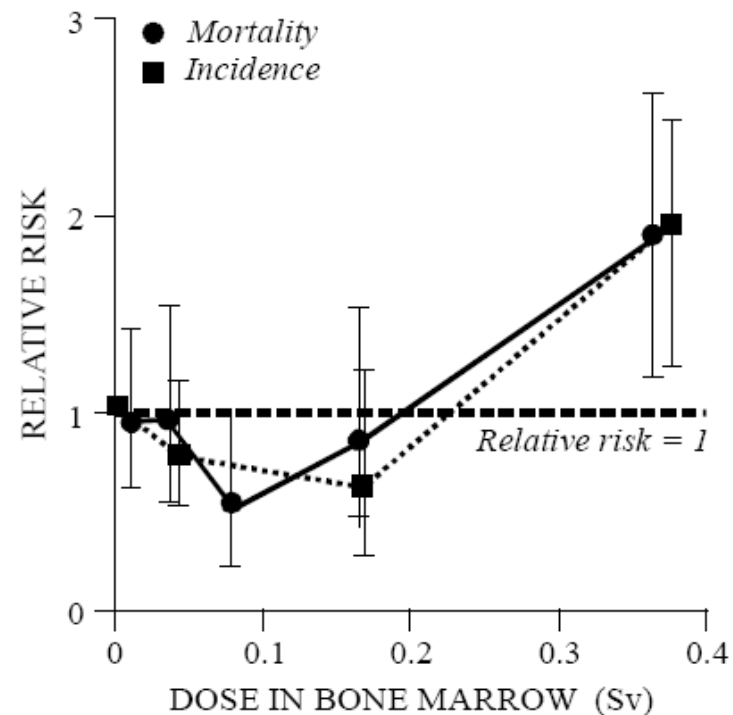
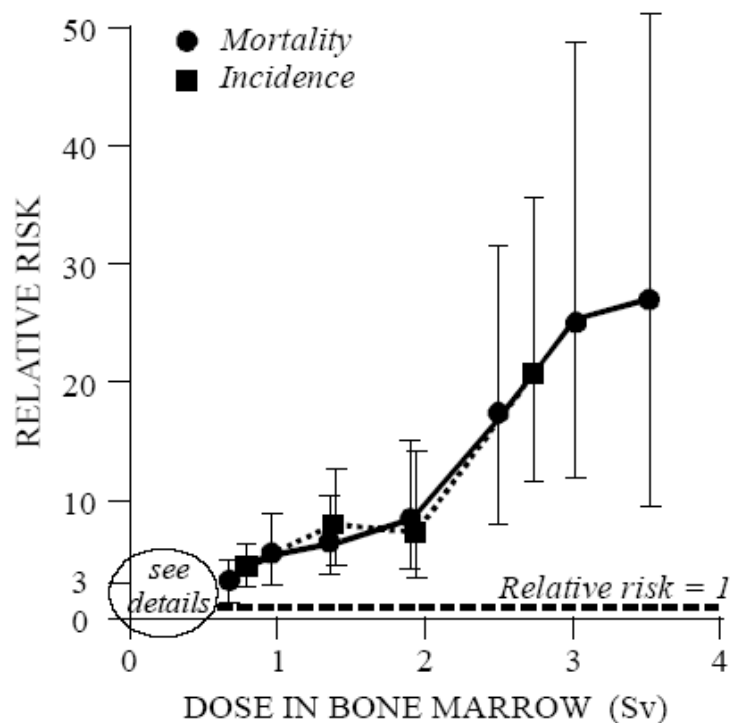


Figure XXVIII. Relative risk of leukaemia in survivors of the atomic bombings
The diagram on the right shows the low-dose region in detail.

Anbefalinger fra ICRP Publikation 60 (1990)

Risikofaktorer for senskader

Erhvervsmæssig bestråling

	ICRP 1990 pr. mSv*
Dødelig kræftsygdom	4×10^{-5}
Alvorlig arvelig sygdom	$0,8 \times 10^{-5}$

- * Risikofaktoren 4×10^{-5} pr. mSv betyder:
4 senskader i en gruppe af ansatte på 100.000 personer, hvis den gennemsnitlige stråledosis til gruppen er 1 mSv.

Dosisgrænser

	Stråleudsatte arbejdstagere mSv pr. år	Befolkningen mSv pr. år
Effektiv dosis (helkropsdosis)	20 ¹⁾	1
Huden	500	50
Hænder, underarme, fødder og ankler	500	
Øjets linse	150	15
Fosterdosis ved graviditet	1	1

Til grænserne er der følgende bemærkninger:

- ¹⁾ Stråledosis må i særlige tilfælde være 100 mSv pr. 5 år, forudsat at dosis i det enkelte år ikke overstiger 50 mSv.

Bekendtgørelse om dosisgrænser for ioniserende stråling

Indhold

	side
<i>Kapitel</i>	
1: Definitioner	2
2: Principper for begrænsning af doser	3
3: Dosisgrænser ved arbejde og under uddannelse	3
4: Utsigtet bestråling og bestråling i en ulykkesituation	4
5: Dosisgrænser for befolkningen	4
6: Beregning og vurdering af doser	4
7: Dosisovervågning af arbejdstagere m.v.	4
8: Persondosimetri-laboratorier	6
9: Klageadgang, straf og ikrafttræden	6
<i>Bilag</i>	
1: Dosisgrænser for ioniserende stråling	7
2: Kontrol med udsættelse for stråling i forbindelse med graviditet	8
3: Beregning og vurdering af effektive og ækvivalente doser	10
4: Fortegnelse over arbejdstagere m.v., der skal bære persondosimeter	14
5: Placering af persondosimeter på kroppen	19
6: Dosisværdier for umiddelbar underretning af den ansvarlige leder og Sundhedsstyrelsen i henhold til bekendtgørelsens § 19	20

Stråleudsættelse af personale

Vær hverken bange for eller ligeglad med stråleudsættelse.

Forståelsen af flg. punkter er grundlaget for en realistisk indstilling til strålebeskyttelsesproblemerne.

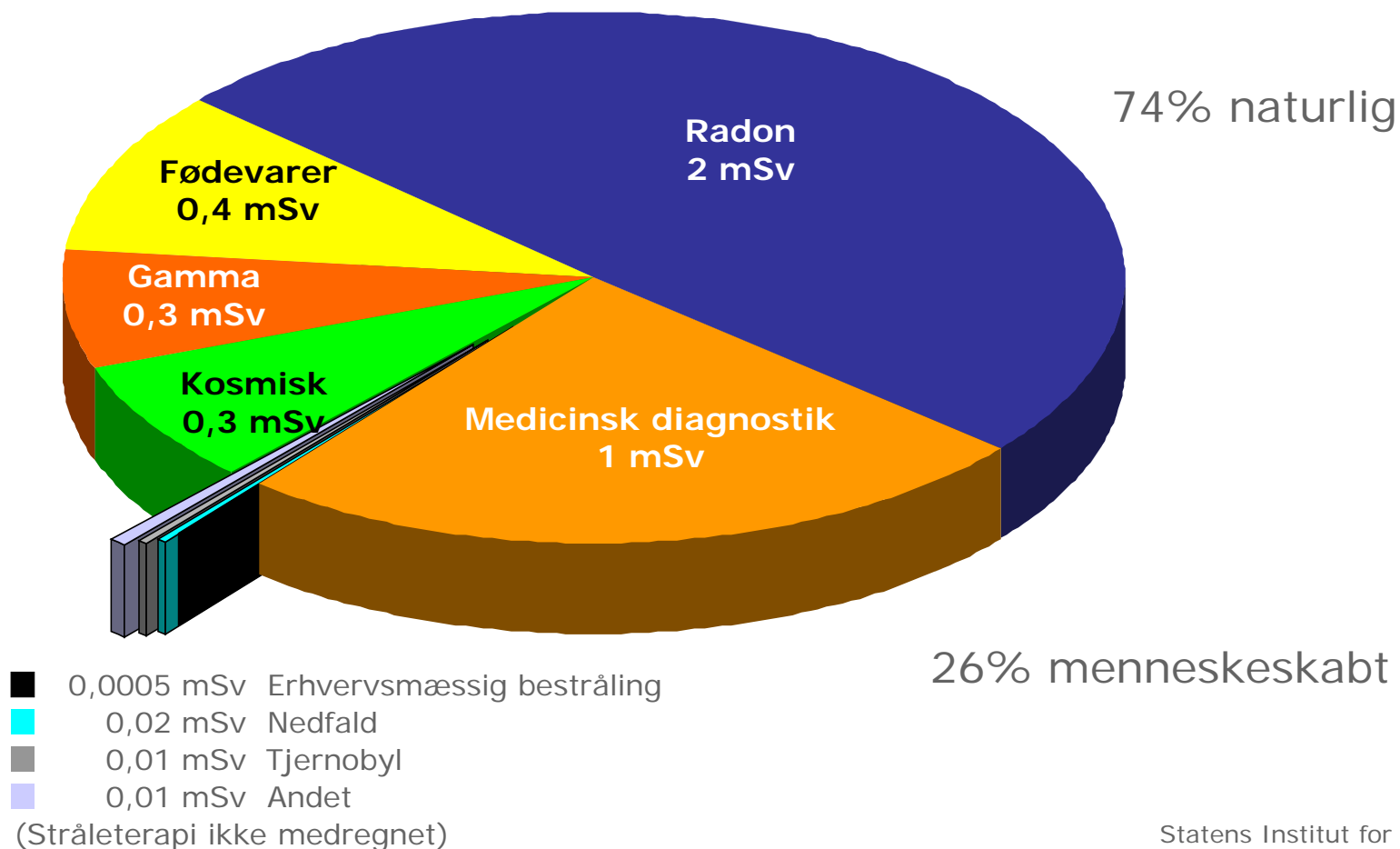
Med stråleudsættelse er der forbundet en håndgribelig sygdomsrisiko.

F.eks. må man regne med, at en årlig helkropsdosis på 1 mSv til 1 million mennesker fremkalder 50 dødelige cancere pr. år.

Enhver **unødvendig** stråleudsættelse bør derfor undgås.

Bestråling af den danske befolkning

Årlig middeldosis pr. person



Stråledoser

0,01	mSv	røntgenundersøgelse af arme og ben
0,1	mSv	røntgenundersøgelse af lungerne
1	mSv	1 år's baggrundsstråling (uden radon)
1	mSv	årlig dosisgrænse for befolkningen
2	mSv	radon i boliger (gennemsnit)
4	mSv	knoglescintigrafi
10	mSv	CT-skanning af kroppen
20	mSv	årlig dosisgrænse for arbejdstagere
500	mSv	tærskeldosis for strålesyge
3000	mSv	LD 50

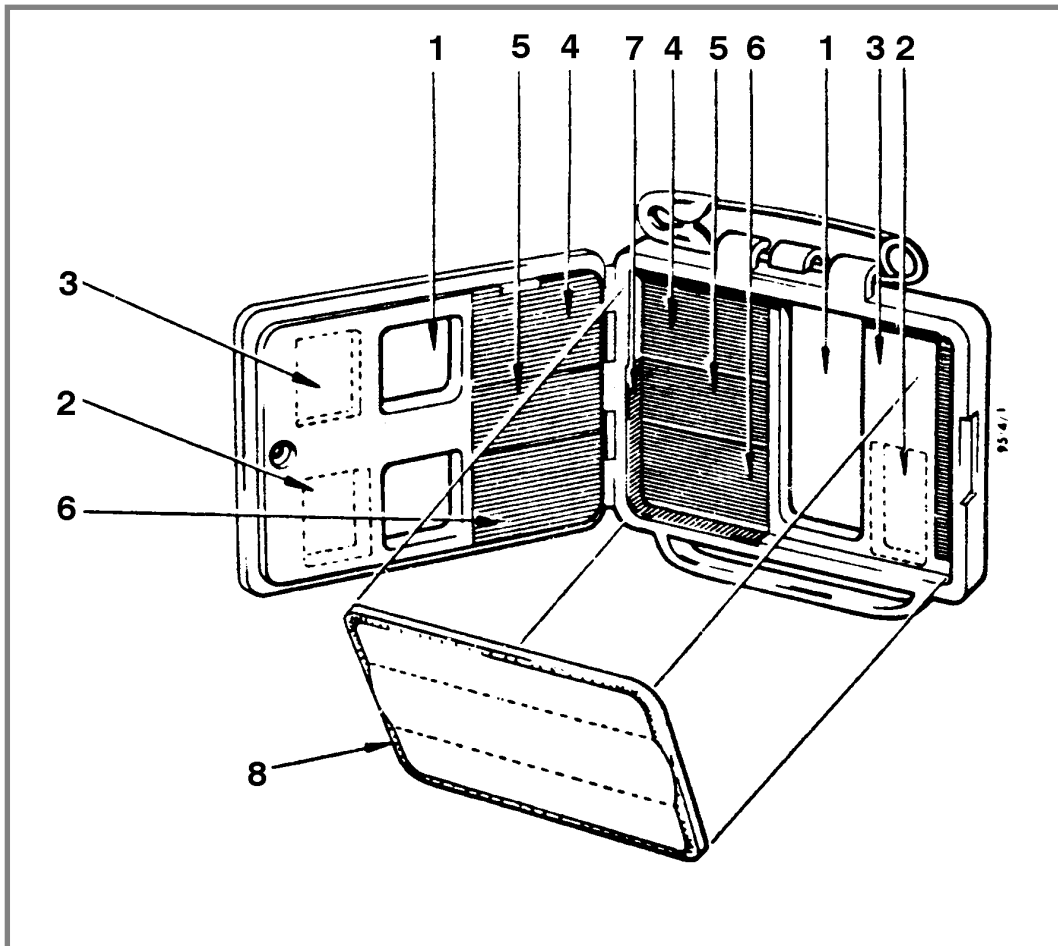
Effective Doses ^(1/2)

Route	Duration (min)	Route dose (μ Sv)	Dose/ 1000h (mSv)
Helsinki-Frankfurt	160	13	5,0
Stockholm-Vienna	140	11	5,4
Copenhagen-Dublin	120	9,4	4,0
Luxembourg-Madrid	130	7,7	3,6
Amsterdam-Manchester	70	4,0	3,5

Effective Doses (2/2)

Route	Duration (min)	Route dose (μ Sv)	Dose/ 1000h (mSv)
Stockholm-Tokyo	605	66	6,6
Dublin-New York	450	54	7,3
Paris-Rio	675	37	3,3
Frankfurt-Bangkok	630	42	4,0
Amsterdam-Vancouver	645	85	7,9

Filmholder



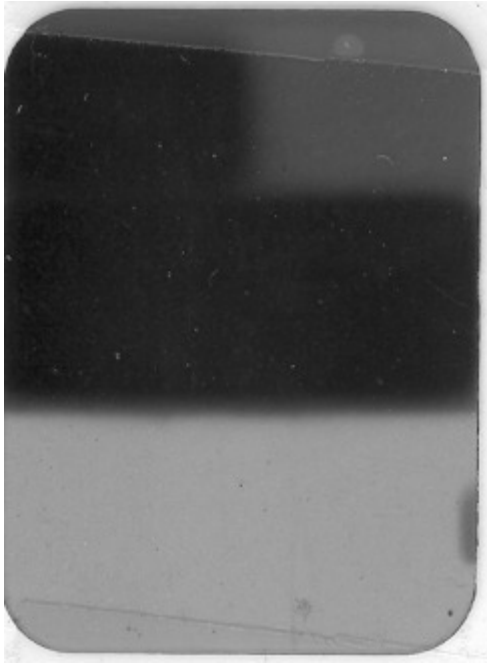
Filtre:

1. Vindue
2. Tyndt plast
3. Tykt plast
4. 1,0 mm aluminium
5. (0,7 mm cadmium) + 0,3 mm bly
6. 0,7 mm tin + 0,3 mm bly
7. 0,3 mm bly
8. Film

Bær dosimeteret korrekt!



Vurdering af filmdosimeter



15 kV



60 kV



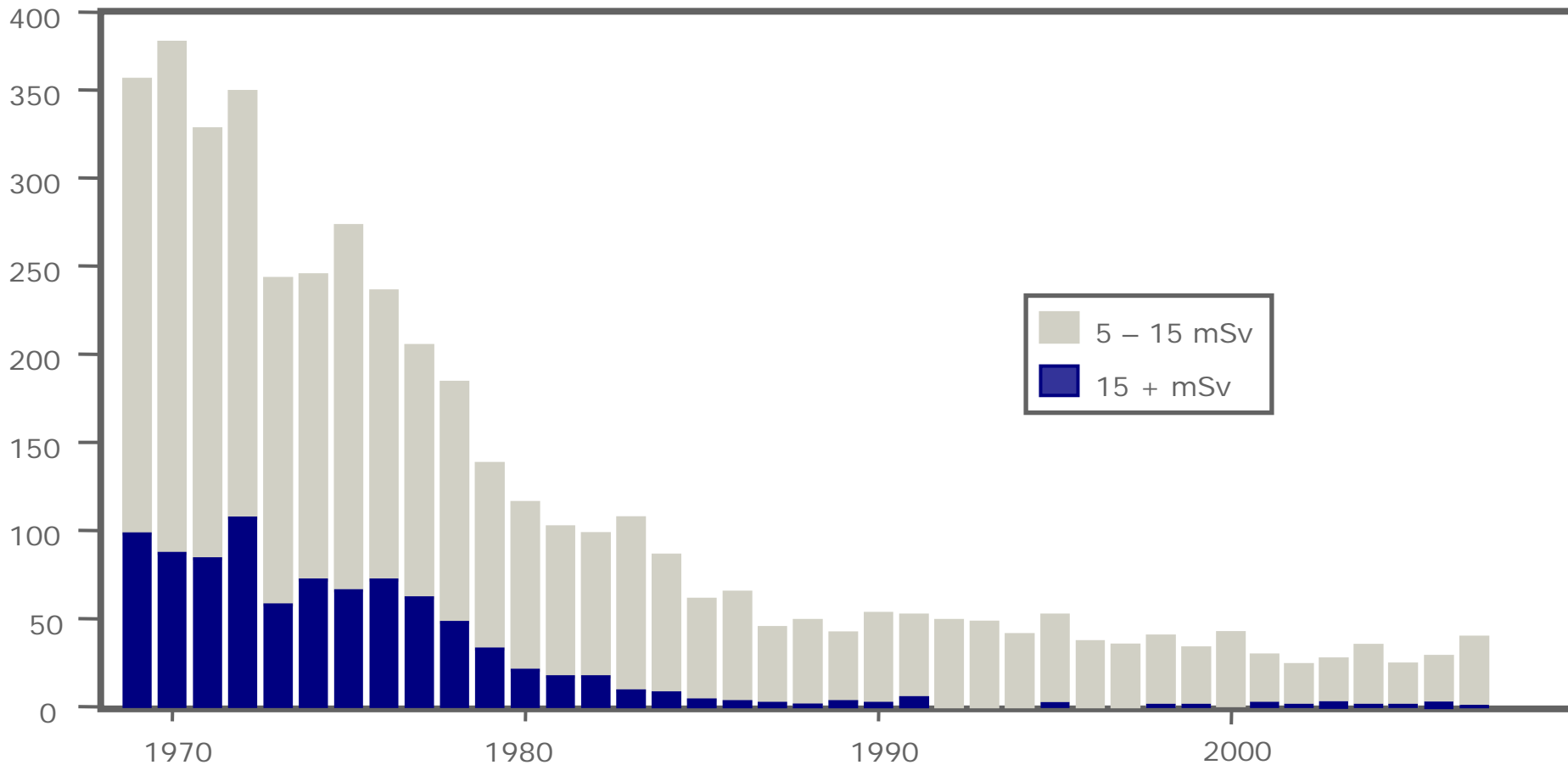
300 kV

Samlet årsstatistik 2007 for persondosimetri

Gruppe	Antal		Total dosis mSv	Middeldosis pr. person mSv
	Brugersteder	Personer		
1. Røntgendiagnostikafdelinger	121	3.371	157,1	0,05
2. Anden røntgendiagnostik	312	2.822	404,2	0,14
3. Dyrlæger	343	1.598	47,8	0,03
4. Stråleterapi	35	1.444	39,3	0,03
5. Nuklearmedicinske afdelinger	34	859	715,1	0,83
6. Radioaktivitets-laboratorier	156	1.375	28,9	0,02
7. Industriel radiografi	32	334	314,3	0,94
8. Anden industriel anvendelse	43	168	23,3	0,14
9. Servicefirmaer	57	383	79,7	0,21
10. Røntgenanalyse	21	146	0,0	0,00
11. Diverse	8	26	0,5	0,02
Risø	15	452	35,7	0,08
Alle grupper	1.177	12.978	1.845,9	0,14

Persondosimetri i Danmark 1969 - 2007

Doser over 5 og 15 mSv/år



Fingerdosimeter



Doser ved håndtering af P-32 i større mængder (1/2)

Forsøg: Mærkning af DNA-probe + hybridisering, ATP.

Aktivitetsmængde: Håndtering af 3 MBq P-32 i 5 min, bl.a. udtag fra stamopløsning på 37 mBq.

Håndtering af 3 MBq P-32 i 20 min, bl.a. påsætning på gel.

Håndtering af 2,5 MBq P-32 i 20 min, bl.a. fremkaldelse.

Doser ved håndtering af P-32 i større mængder (2/2)

Dosisbestemmelse v.h.a. TLD:

Placering af tablet	Dosis (mSv)
Udenpå brille	0
Inderside af plexiglasskærm	0,2
Inderside af h. og v. håndled	0,05
Inderside af v. håndflade	0,15
Inderside af v. pegefinger	1,02
Inderside af v. tommelfinger	2,0
Inderside af h. håndflade	0,1
Inderside af h. pegefinger	0,25
Inderside af h. tommelfinger	0,5

Bekendtgørelse om anvendelse af åbne radioaktive kilder på sygehuse, laboratorier m.v.

INDHOLD

<i>Kapitel</i>	<i>side</i>
1: Definitioner	2
2: Tilladelse til indkøb og brug m.v. af åbne radioaktive kilder	3
3: Ansvarsforhold	3
Krav til virksomheder/institutioner (arbejdsgiveren, sygehusledelsen)	3
Krav til ansvarlig leder ved ikke-medicinsk anvendelse af åbne radioaktive kilder	4
Krav til ansvarlig læge ved medicinsk anvendelse af åbne radioaktive kilder	5
Krav til ansvarlig fysiker ved medicinsk anvendelse af åbne radioaktive kilder	7
Krav til personale ved anvendelse af åbne radioaktive kilder	7
Krav til personer der henviser til nuklearmedicinske undersøgelser og behandlinger	8
4: Strålebeskyttelse af personalet	8
5: Særlige bestemmelser for medicinsk anvendelse af åbne radioaktive kilder	9
Principper for berettigelse og optimering	9
Strålebeskyttelse af patienter	9
Retsmedicinske og forsikringsmæssige undersøgelser m.v.	10
Biomedicinske forskningsprojekter	10
Referenceniveauer	10
Kvalitetsstyring	11
6: Opbevaring og bortskaffelse af åbne radioaktive kilder	11
7: Indretning, godkendelse og registrering af isotoplaboratorier og andre lokaler til håndtering af åbne radioaktive kilder	12
8: Besigtigelse ved Sundhedsstyrelsen	12
9: Bidrag	13
10: Klageadgang, straf og ikrafttræden	13
 <i>Bilag</i>	
1: Standardtilladelser til indkøb, opbevaring og brug af åbne radioaktive kilder	14
2: Klassifikation af radionuklider	16
3: Nuklearmedicinske behandlinger med I-131 (Radiojodterapi)	19
4: Driftsbetingelser for nuklearmedicinsk udstyr	23
5: Dyreforsøg	24
6: Grænseværdier for radioaktiv forurening af hud og overflader	25
7: Anbefalede tider for pause eller ophør med amning	26
8: Bortskaffelse af åbne radioaktive kilder (radioaktivt affald) fra sygehuse, laboratorier m.v.	27
9: Indretning, godkendelse og registrering af isotoplaboratorier og andre lokaler til håndtering m.v. af åbne radioaktive kilder	32

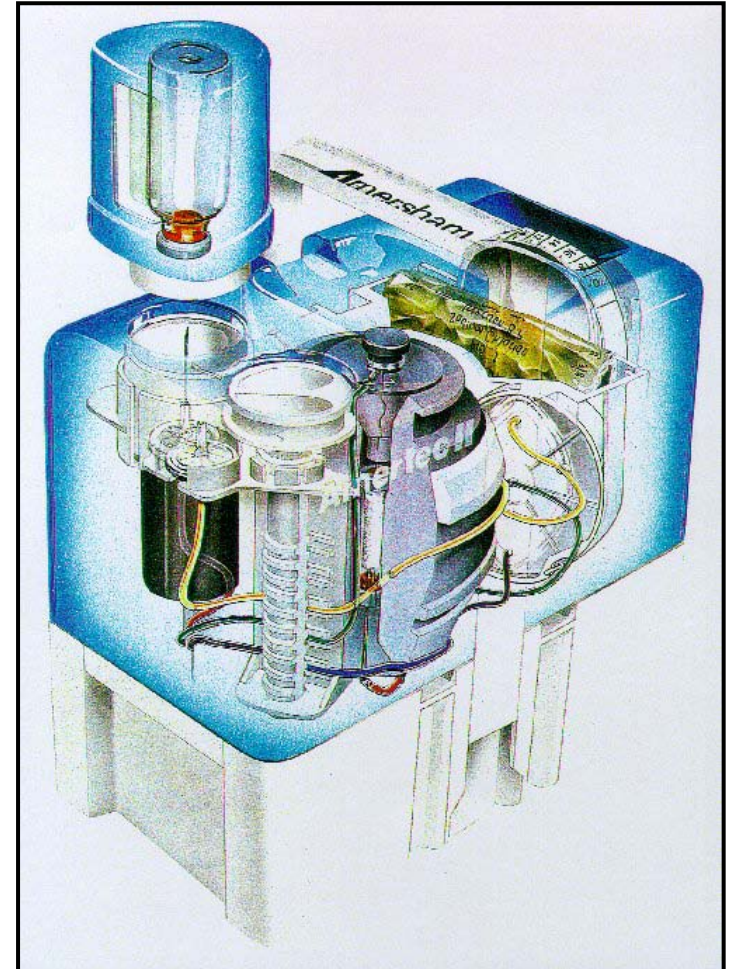
Uheldspjecen 2001



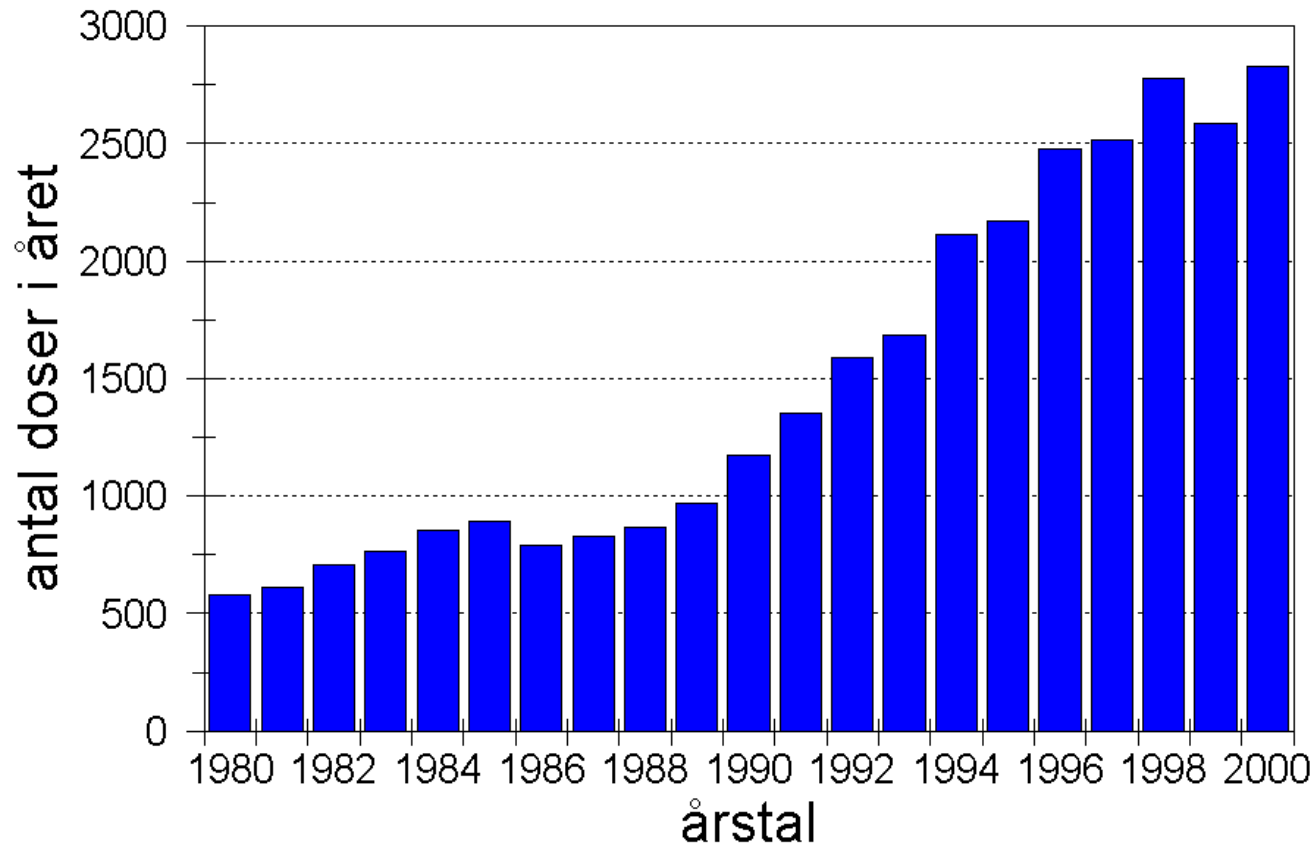
Nuklearmedicinsk undersøgelse (skanning)



Nuklearmedicinsk - Technetium-generator



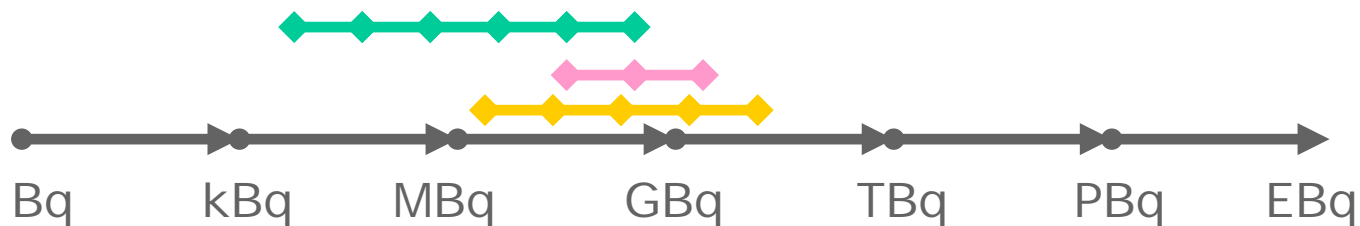
Jodbehandling af skjoldbruskkirtelen Godartede sygdomme behandlet med I-131



Statens Institut for Strålehygiejne Klaus Ennow

Brug af åbne radioaktive kilder 2006

- 330 tilladelser, 1.100 isotoplaboratorier
- Medicinsk **diagnostik** og **behandling**
- **Forskning og udvikling, læksøgning**
- H-3, C-14, Na-22, P-32, S-35, Cr-51, Kr-81m, Br-82, Mo-99/Tc-99m, I-125, I-131, Xe-133, PET



Krav til indretning af type C-isotoplaboratorium

- radioaktivitet og stråling
- måling af radioaktivitet og stråling
- biologisk virkning af stråling
- principper for strålebeskyttelse
- praktisk strålebeskyttelse
- lovgivning vedr. strålebeskyttelse
- praktisk erfaring

Ansvarlig leder – krav til uddannelse

- Velfungerende stinkskab eller LAF-bænk med en lufthastighed på mindst 0,5 m/s i arbejdsåbningen.
- Intakte, rengøringsvenlige overflader.
 - ingen bordplader af træ og stolesæder af stof.
- Ingen fuger mellem fastmonteret inventar.
- Vasken skal kunne betjenes uden brug af hænderne.
- Ingen faste kontorpladser.
- Radioaktivitetsskiltning på ydersiden af alle indgangsdøre, samt på alle opbevaringsskabe for radioaktivt materiale.

S1 - standardtilladelse

	Radionuklidgruppe		
	2	3	4
	MBq	MBq	MBq
Åbne radioaktive kilder: Samlet lagerbeholdning	500	5.000	50.000
I brug pr. gang til: Simple våde operationer	50	500	5.000
Våde operationer	5	50	500
Operationer med tørt materiale	0,5	5	50
Lukkede kontrolkilder og lign. Maksimal aktivitet pr. kilde	50	500	5.000

Den ansvarlige leders pligt at sørge for:

- at betingelserne i tilladelsen overholdes
- at de strålehygiejniske forhold på afdelingen er tilfredsstillende
- at personalet er nøje instrueret
- at udarbejde en instruks om bortskaffelse af radioaktivt affald
- at udarbejde instruks om forholdsregler ved uheld

Dosisovervågning

- Den ansvarlige leder skal sørge for, at arbejdstagere over 18 år, der vil kunne modtage doser, der ligger over 3/10 af dosisgrænserne er omfattet af en dosisovervågning.
 - film
 - termoluminiscensdosimetre (TLD)
 - urinprøver

Basal strålebeskyttelse

A T A

- Afstand
- Tid
- Afskærmning

Praktisk strålebeskyttelse

- arbejdet skal planlægges omhyggeligt
- hold orden i laboratoriet
- spisning, rygning og påførelse af kosmetik er forbudt i laboratoriet
- bær tilknapet kittel
- brug handsker fornuftigt
- arbejdet er ikke afsluttet, før laboratoriet er rent og ryddeligt
- radioaktivt affald skal bortskaffes hurtigt

Minimer stråledosis

- anvend kun den nødvendige aktivitetsmængde
- håndter den radioaktive kilde i kort tid
- stor afstand til den radioaktive kilde
- afskærm kilderne





Kontrolmåling

- C-14, P-32 eller S-35
Ra-223
 - Geiger-Müller rør med tyndt vindue med så stort areal som muligt
- Cr-51, Co-57, I-125, I-131
 - NaI-scintillator
- H-3, **Ra-223**
 - Aftøringsprøver, indirekte måling

Gravid og stråleudsatte arbejdstagere (1/2)

Vurdering af muligheden for stråleudsættelse af det ufødte barn:

- **Dosis med sikkerhed mindre end 1 mSv:**

Den gravide kan fortsætte med de hidtidige arbejdsopgaver uden særlige foranstaltninger

- **Dosis mindre end 1 mSv:**

Den gravide kan fortsætte med de hidtidige arbejdsopgaver eventuelt suppleret med særlige foranstaltninger til nedsættelse af muligheden for stråleudsættelse og en måleperiode på ikke over 1 måned for dosisovervågningen

Gravid og erhvervsmæssigt stråleudsat (2/2)

Arbejde med åbne radioaktive kilder, hvor man fra intern bestråling kan forvente, at dosis til det ufødte barn vil kunne overstige 1 mSv:

- Jodering med I-125
- Pleje af terapipatienter (f.eks. I-131 og Sr-89)
- Uheld, der fører til indtag af det radioaktive stof, som følge af arbejde (våde operationer) med:
 - mere end 5 MBq af en betaemitter med mellem eller høj energi (f.eks. P-32).
 - mere end 50 MBq af en blød betaemitter (f.eks. C-14, S-35 og P-33).
 - mere end 200 MBq organisk bundet H-3 eller mere end 500 MBq tritieret.

H-3

Radionuklidgruppe 4

Halveringstid $T_{1/2}$	12,3 år
Betaenergi	$E_{\max} = 18,6 \text{ keV}$ $E_{\text{middel}} = 5,7 \text{ keV}$
Max. rækkevidde i luft	6 mm
Max. rækkevidde i vand	$6 \times 10^{-3} \text{ mm}$
Dosiskoefficient, spisning	$4,2 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$ Organisk bundet tritium (OBT)
Indtag svarende til 20 mSv, spisning	480 Mbq (OBT)
Dosiskoefficient, indånding	$4,1 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$ (OBT)
Indtag svarende til 20 mSv, indånding	490 MBq (OBT)

P-32

Radionuklidgruppe 3

Halveringstid $T_{1/2}$	14,3 dage
Betaenergi	$E_{\max} = 1,709 \text{ MeV}$ $E_{\text{middel}} = 0,695 \text{ MeV}$
Max. rækkevidde i luft	720 cm
Max. rækkevidde i vand	0,8 cm
Dosiskoefficient, spisning	$2,4 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$
Indtag svarende til 20 mSv, spisning	8,3 MBq
Dosiskoefficient, indånding	$3,2 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$
Indtag svarende til 20 mSv, indånding	5,9 MBq

November 2000

I-125

Radionuklidgruppe 2

Halveringstid $T_{1/2}$	60 dage
Gammaenergi	Elektron capture henfald 35 keV
Dosishastighed fra 1 GBq i 1 meters afstand	0,035 mSv/time
Dosiskoefficient, spisning	$1,5 \times 10^{-8}$ Sv/Bq
Indtag svarende til 20 mSv, spisning	1,3 MBq
Dosiskoefficient, indånding	$7,3 \times 10^{-9}$ Sv/Bq
Indtag svarende til 20 mSv, indånding	2,7 MBq

November 2000

”Inaktivt affald”

Fast affald, der kan klassificeres som inaktivt f.eks. tom emballage, handsker, laboratorieudstyr m.v., hvor aktiviteten ikke overstiger

0,01 MBq/kg affald

**Normal
renovation**

