

**Strålningsriskerna för slutförvar för använt kärnbränsle.**

*Vad blir konsekvensen för människor och biota om dosgränsen överskrids?*

# Vad vet vi om risker vid låga stråldoser?

Sören Mattsson

Medicinsk strålningsfysik Malmö, Lunds universitet

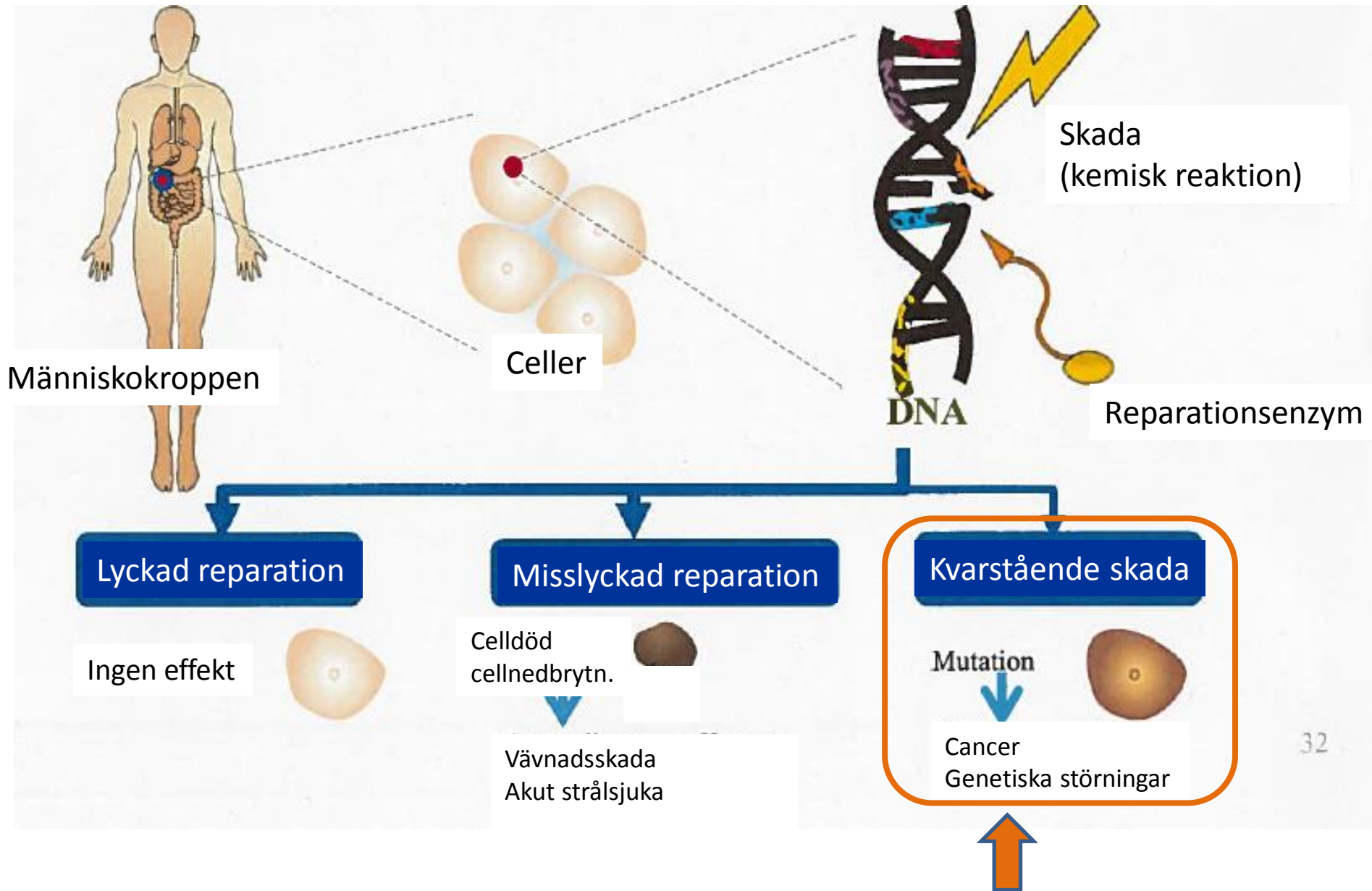
Skånes universitetssjukhus Malmö



- Joniserande strålning är inget nytt för människor och miljö
- Joniserande strålning kan ge cancer
- Risken är låg jämfört med risken till följd av många andra miljöfaktorer eller ämnen i miljön
- Vi har rätt hyggliga kvantitativa uppskattningar av riskens storlek
- 5% per sievert (Sv) – 0,005% per mSv – 0,00005% per 10  $\mu$ Sv (ca 1 per miljonen för 20  $\mu$ Sv)

- Bakgrunden till dagens riskuppskattning
- Osäkerheter - törs vi lita på den linjära icke-tröskel (LNT) modellen?
- Naturliga bakgrundsstrålningen – vad kan vi lära oss från den?
- Kan naturen ta skada om människan klarar sig?

# Joniserande strålning



# Risker vid låga doser av joniserande strålning

- **Stokastisk sen skada:**

**cancer**

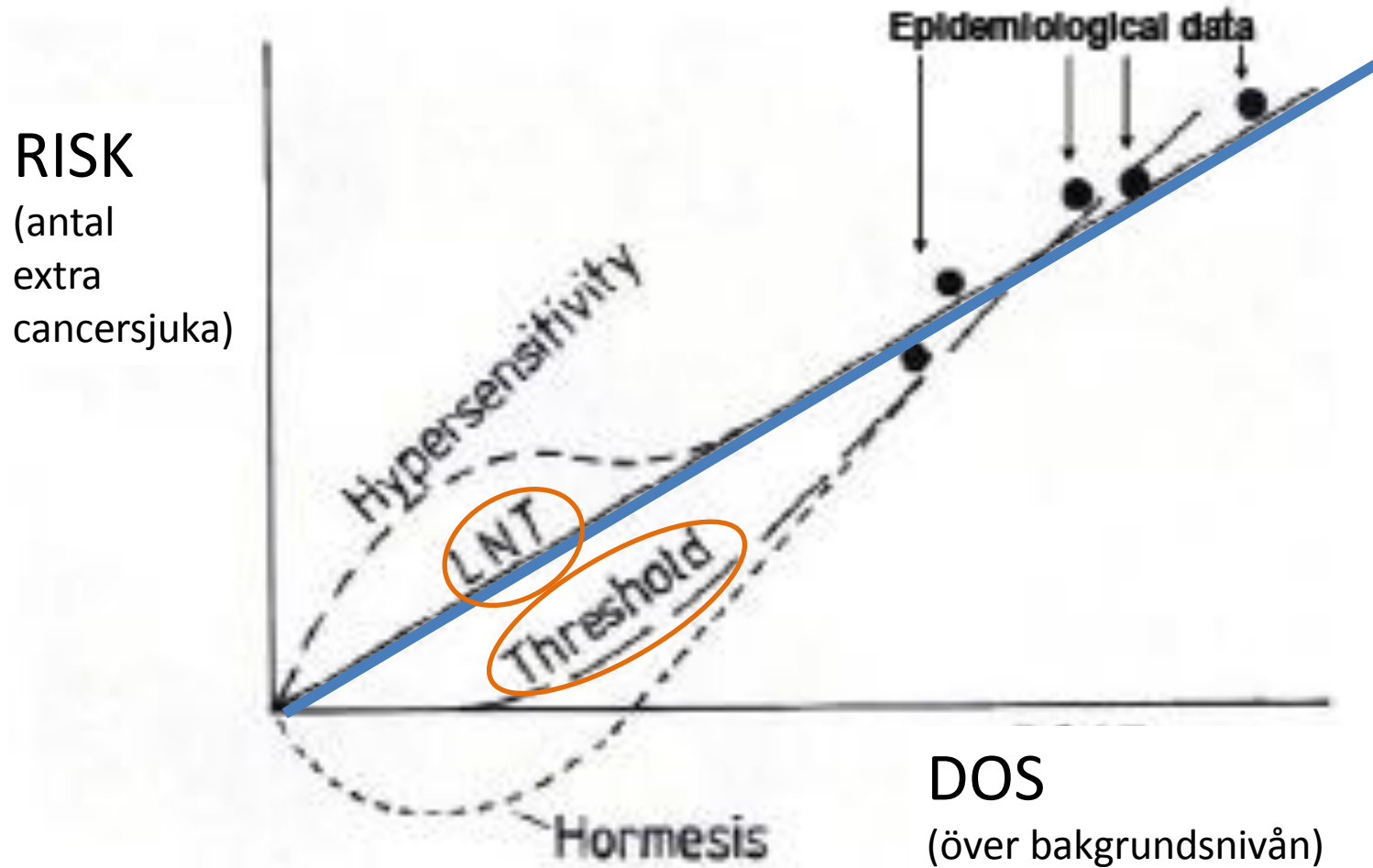
**andra sjukdomar**

**ärftlig påverkan**

→ **LNT-modell (LNT= linjär icke-tröskel)**

- Slumpmässighet
- Ingen tröskel
- Risken ökar med ökad stråldos
- 'Graden' av skada densamma

# Olika modeller för extrapolation till låga doser (<100 mSv)



Bakgrund	Mycket låg	Låg	Moderat	Hög dos
	10 mGy	10-100 mGy	0.1-1 Gy	> 1 Gy

# Organisationer, som uttalat sig om Linjära icke-tröskel (LNT) modellen vid doser <100 mSv

## Stöder modellen:

- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)
- International Commission on Radiological Protection (ICRP)
- US National Research Council Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) VII
- US National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP)
- UK National Radiological Protection Board (NRPB)

## LNT är en alltför stor förenkling; Riskbedömningar bör inte användas <50 mSv

- Health Physics Society; USA

## LNT överskattar risken

- National Academy of Sciences/National Academy of Medicine, Frankrike
- American Nuclear Society

# Strålningsinducerad cancer: erfarenhetsmaterial

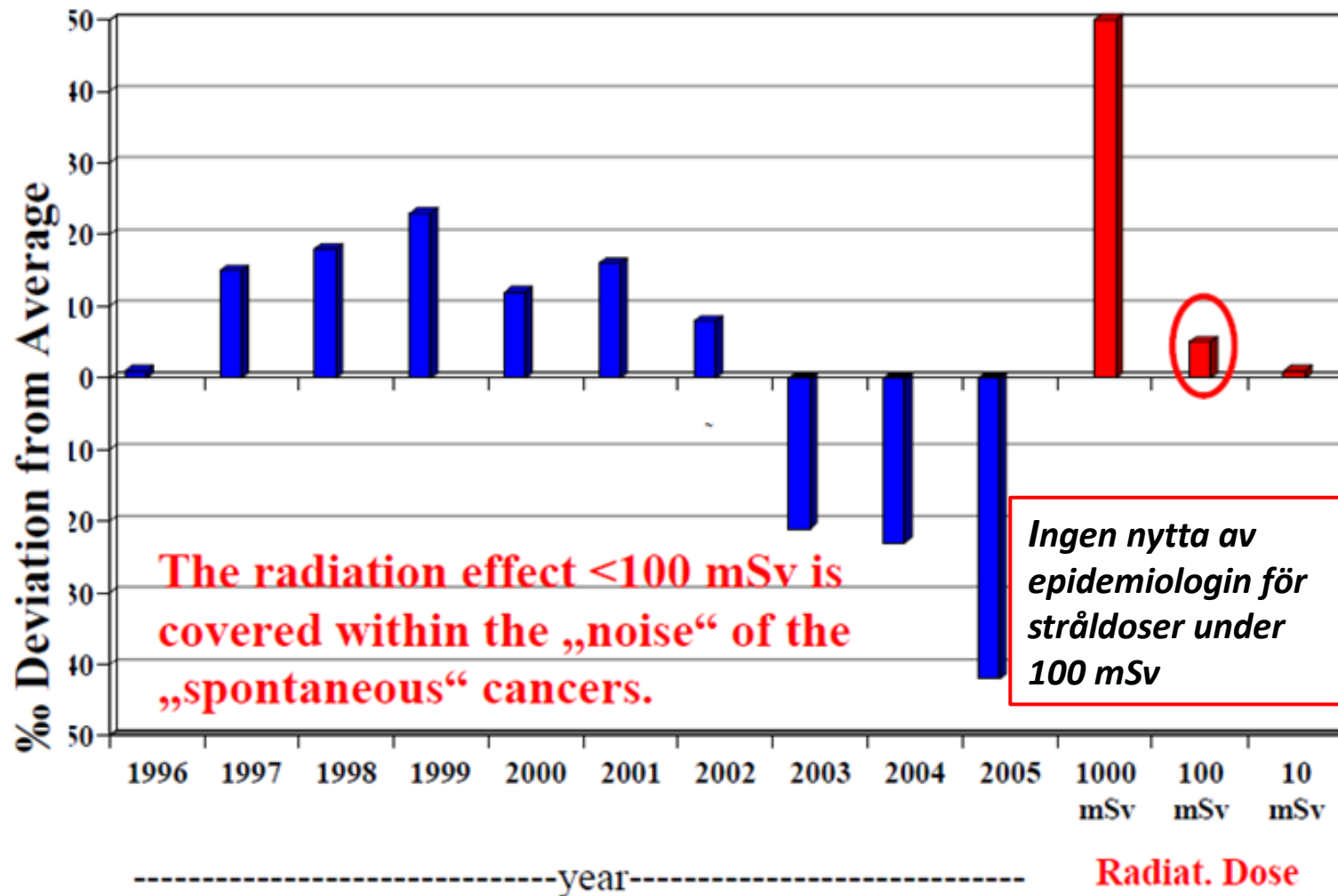
## **Vetenskaplig bas för dagens strålskydd**

- Epidemiologi
  - Överlevande från Hiroshima och Nagasaki
  - Patienter som fått strålbehandling (bröstcancer, födelsemärken, "ringorm", mjölkstockning, mm)
  - Patienter med upprepad röntgen- eller nuklearmedicinsk diagnostik (bröst, CT-barn, sköldkörtel, m. fl.)
  - Yrkesbetingat exponerade (gruvarbetare, klockmålare, med. diagnostik, kärnteknisk industri)
  - Miljöbetingat exponerade (radon, kärnvapenedfall, -fabriker, Tjernobyli)
  - ...
- Djurförsök
- Bestrålning av celler

# Epidemiologins begränsningar

Exempel all cancer – alla åldrar (från David Brenner)

Avvikelse i årliga antalet dödsfall i cancer från medelvärdet (0/00) under 1996-2005 (SEER-USA) och effekten av strålning (ICRP)



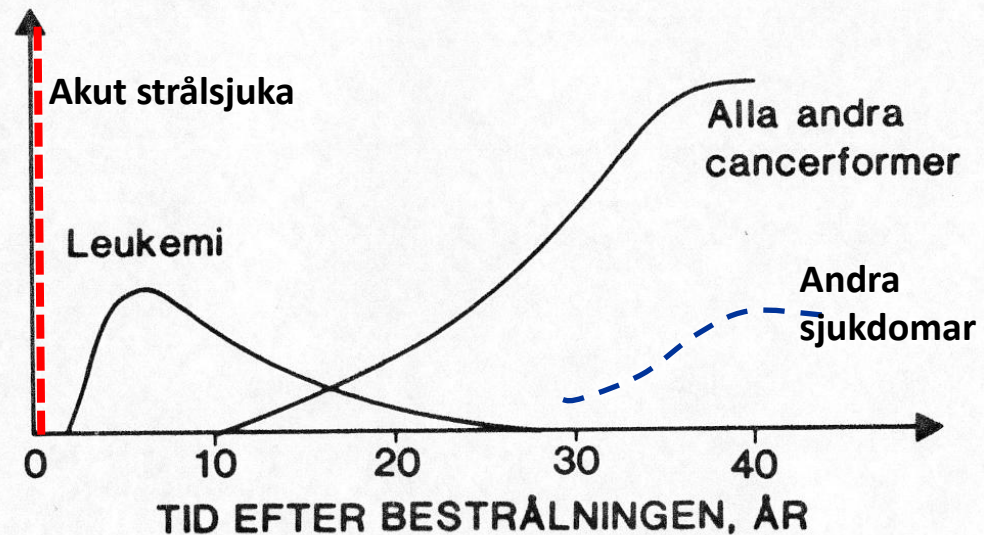
# Hiroshima/Nagasaki 1945

## "Life span study" (LSS)

120 000 personer (94 000 överlevare, 27 000 icke-exponerade) följda 1950-fortfarande betr. mortalitet och ca förekomst, mm



ANTAL FALL

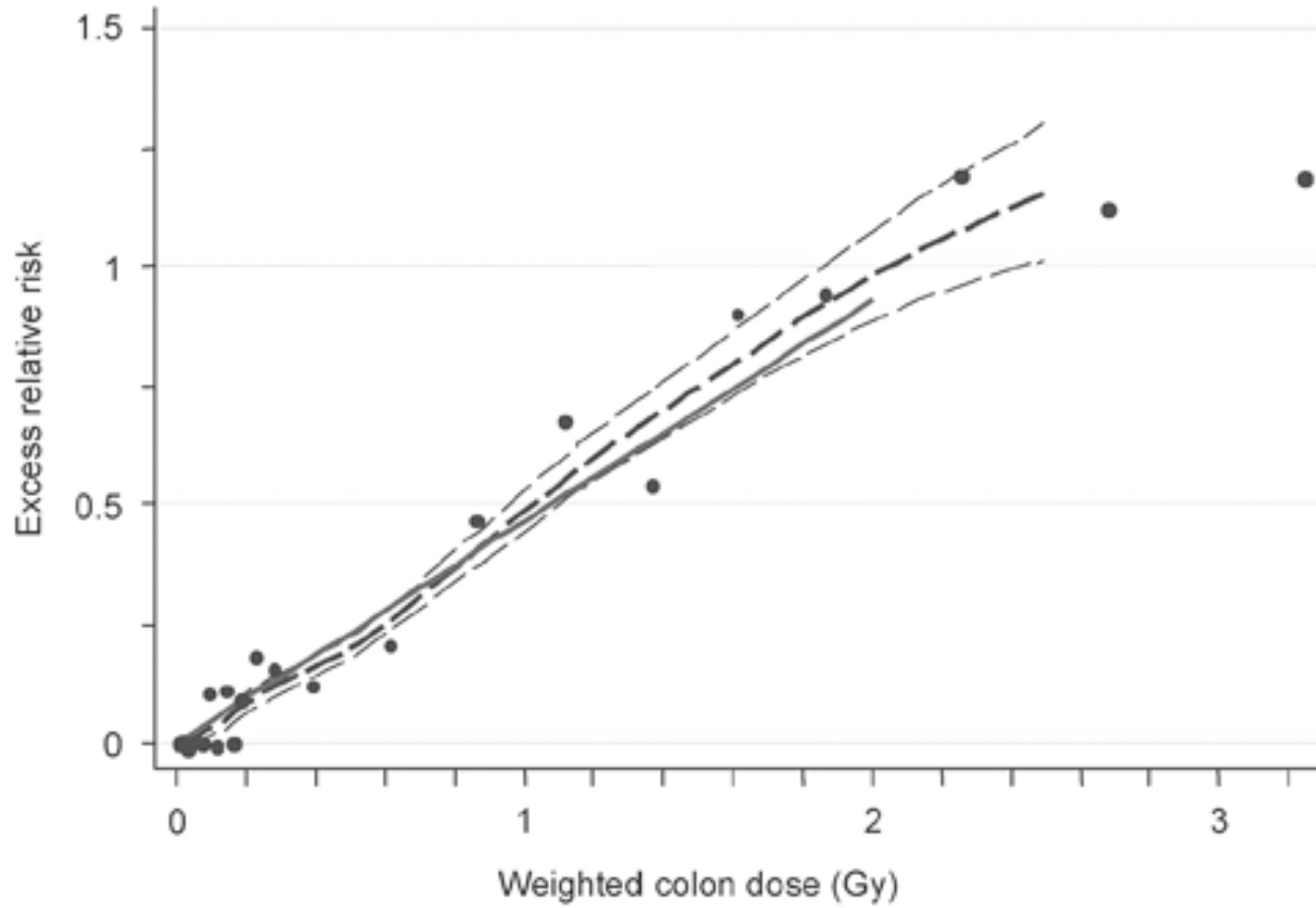


## Solida tumörer

**Table.** Excess risk of developing solid cancers in LSS, 1958-1998

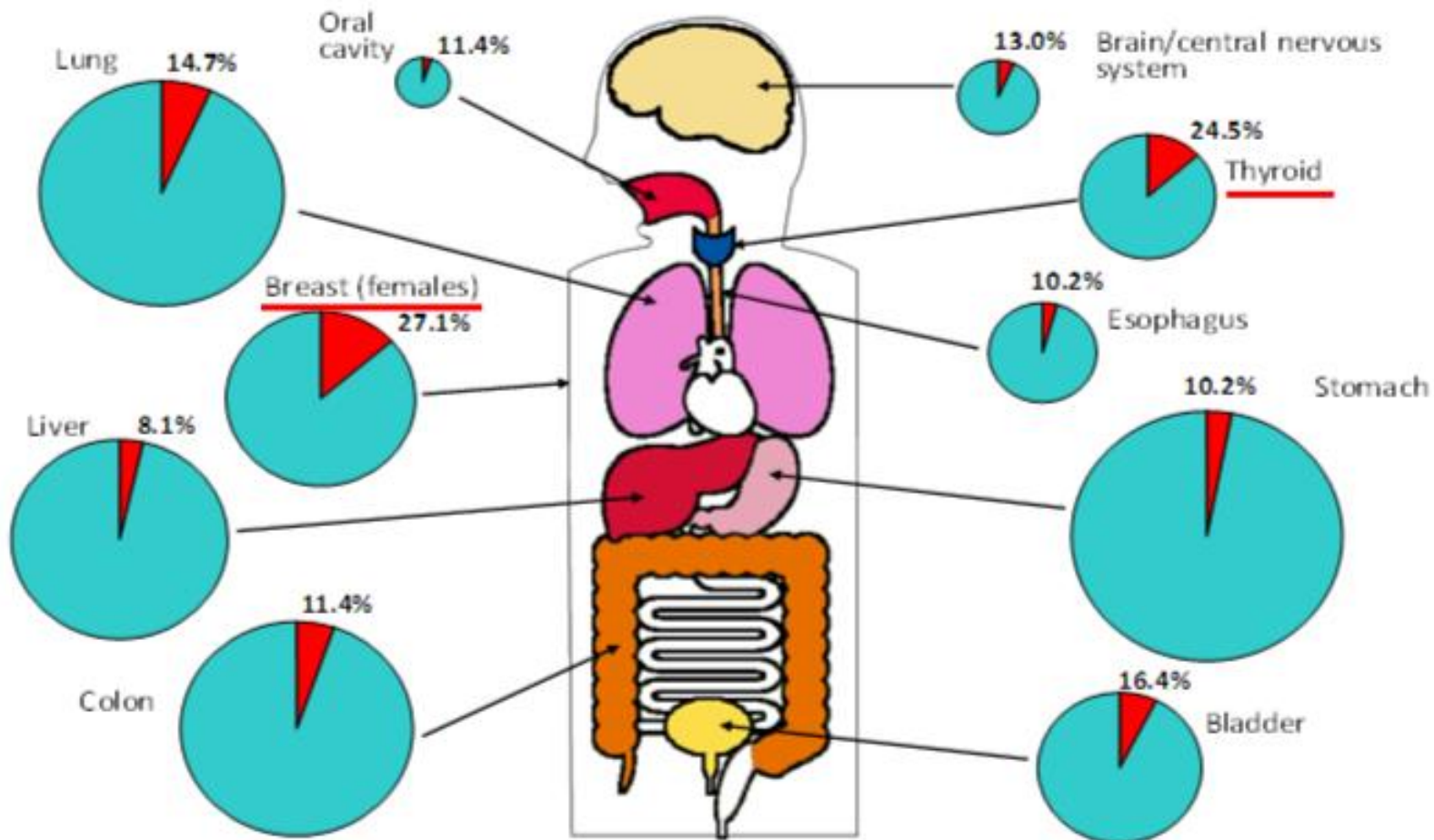
Weighted colon dose (Gy)	LSS subjects	Cancers		Attributable risk
		Observed	Estimated excess	
0.005 - 0.1	27,789	4,406	81	1.8%
0.1 - 0.2	5,527	968	75	7.6%
0.2 - 0.5	5,935	1,144	179	15.7%
0.5 - 1.0	3,173	688	206	29.5%
1.0 - 2.0	1,647	460	196	44.2%
>2.0	564	185	111	61.0%
Total	44,635	7,851	848	10.7%

# Solida tumörer



# Procentuella andelen cancerfall, som kan relateras till den joniserande strålningen

## Cancer incidence data by site, 1958–1998



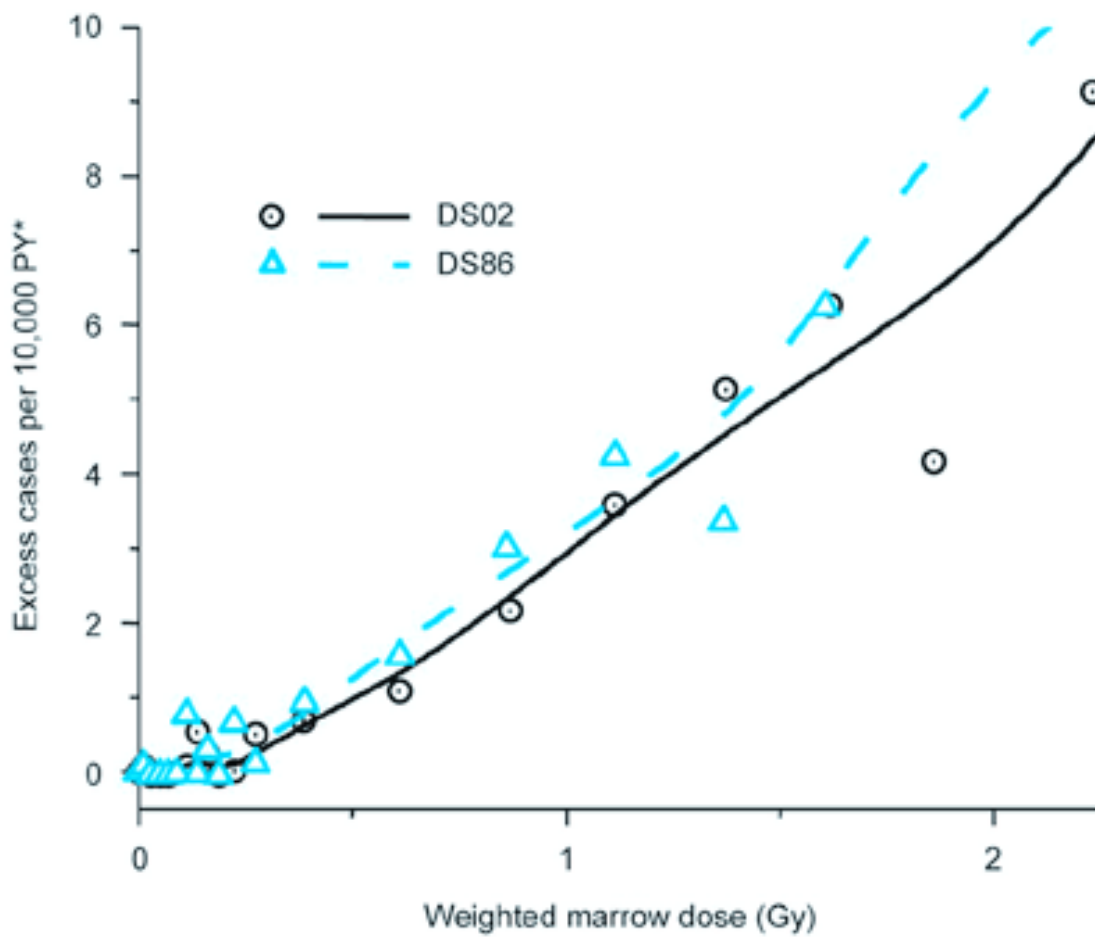
# Leukemi

**Table.** Observed and estimated excess number of leukemia deaths in LSS population, 1950-2000

Weighted marrow dose (Gy)	Subjects	Deaths		Attributable risk
		Observed	Estimated excess	
0.005 - 0.1	30,387	69	4	6%
0.1 - 0.2	5,841	14	5	36%
0.2 - 0.5	6,304	27	10	37%
0.5 - 1.0	3,963	30	19	63%
1.0 - 2.0	1,972	39	28	72%
>2.0	737	25	28	100%
Total	49,204	204	94	46%

# Leukemi 1950-2000

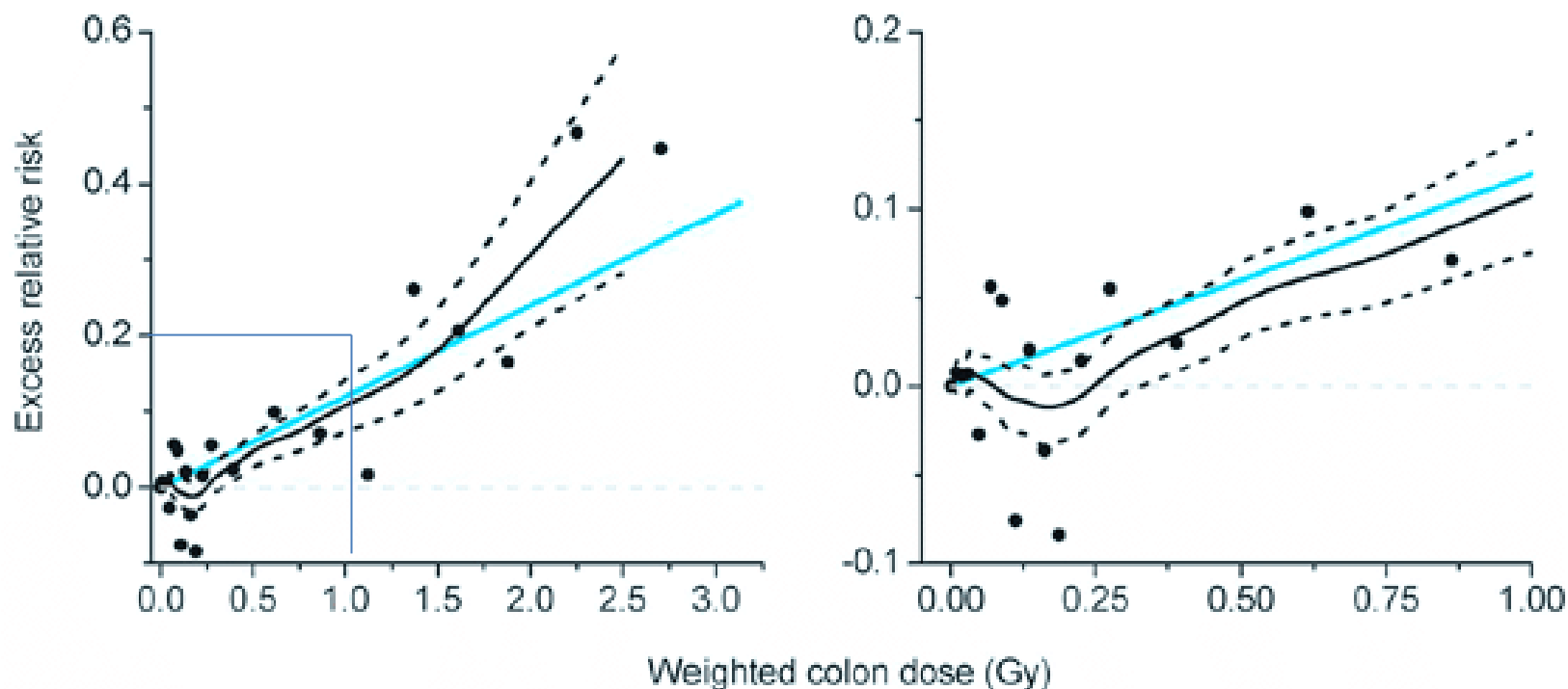
Medelvärden för män och kvinnor som var mellan 20 och 39 år vid bestrålningen



\*PY = person-years, in this case the number of excess leukemias per 10,000 persons per year

# Dödsfall pga andra sjukdomar än cancer (1968-1997)

Hjärta, kärl 60%  
Mage, tarm, lever 15%  
Lungor, luftvägar 10%



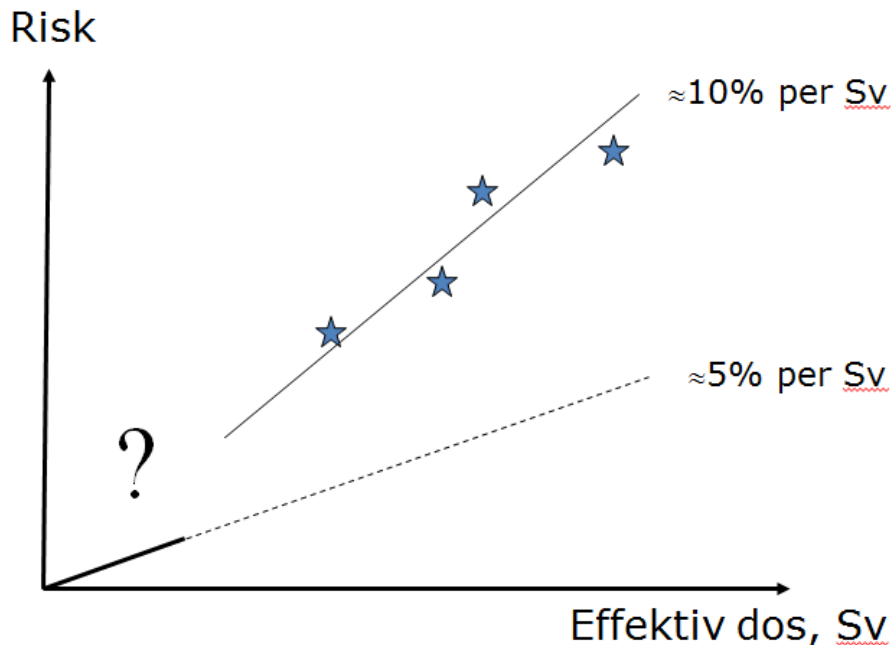
# Slutsatser så här långt:

1. Ökad cancerförekomst hos de överlevande
2. Icke-cancer sjukdomar har också ökat
3. Immunsystemet försämras på samma sätt som vid för tidigt åldrande
4. Man har inte sett någon genetisk påverkan på de bestrålades barn
5. Man har inte heller sett någon ökad cancerförekomst hos de bestrålades barn

# Kvantitativa data på risken

- UNSCEAR, letal solid cancer: 11% Sv<sup>-1</sup> (män 9%, kvinnor 13%)
- Man reducerar med en faktor 2 vid låga doser och dosrater, dvs risken uppskattas till ca **5% Sv<sup>-1</sup>**
- Risk för fatal leukemi: 1% at 1 Sv; 0,05% at 0,1 Sv

Risk att dö i strålningsinducerad cancer under resten av livet enl. ICRP



# Hur riskuppskattningarna utvecklats genom åren

*Probability of occurrence of a fatal cancer -  $10^{-2}$  per Sv  
(Detriment indicator: aggregated indicator expressed in equivalent of fatal effects)*

	<b>1977</b>	<b>1990</b>	<b>2007</b>
Adults	1.25	5.6	4.2
Whole population		7.3	5.7



5 % per Sv

Risken: 1/1 miljon motsvarar:

14 ( $\approx 10$ )  $\mu\text{Sv}$

20  $\mu\text{Sv}$

# Risken varierar med åldern

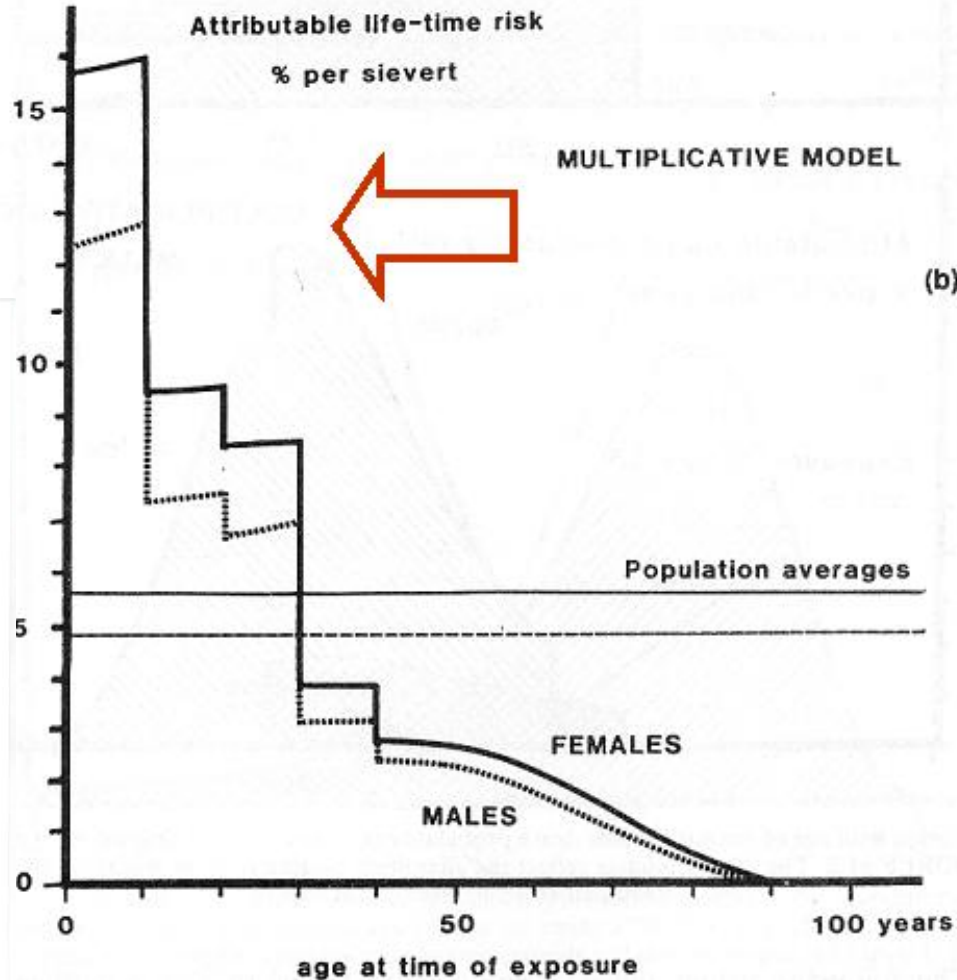


Säg till personalen om du är eller tror att du kan vara gravid.

If you are pregnant or suspect that you may be, please inform the staff.

STUPITE U KONTAKT SA OSOBLJEM AKO MISLITE DA STE ZATRUDNELI!

إذا كنت تعتقدى بأنك حامل  
إتصلي بالموظفين!



ICRP, 1991

# Risk att dö i cancer under resten av livet

## **Medelv för befolkn**

5% per Sv  
0,5% per 100 mSv  
0,05% per 10 mSv  
0,005% per 1 mSv  
0,00005% per 0,01 mSv

## **Foster, nyfödd**

15% per Sv  
1,5% per 100 mSv  
0,15% per 10 mSv  
0,015% per 1 mSv  
0,00015% per 0.01 mSv

Jämför med den "naturliga" risken att  
att dö i cancer: ca 20%

- Bakgrunden till dagens officiella riskuppskattning
- **Osäkerheter - törs vi lita på LNT modellen?**
- Risker med exponering av biota
- Naturliga bakgrundsstrålningen – vad kan vi lära oss från den?

## **Törs vi lita på LNT??**

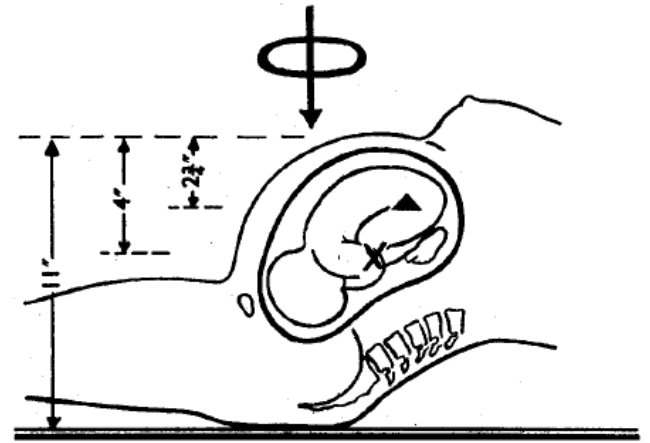
### **Kan vi få information om cancerrisk för lägre stråldoser än 100 mSv?**

- Hälsoeffekter av låga doser av strålning (5, 10, 20 mSv)?
  - Resultat från epidemiologiska studier i allmänhet: NEJ!
  - Resultat från epidemiologi relaterad till speciella åldersgrupper och speciella cancersjukdomar: JA!

# Oxfordstudien

- Ökad risk för cancer under barnåren efter röntgen i livmodern med 6-10 mSv (medelvärde 1 elektron / cell)
- Biofysikaliskt argumentet  
Om dosen reduceras, får vi färre elektron spår och färre träffar av celler. Cellerna som drabbas får samma typ av skada och samma biologiska processen initieras.

## Pelvimetri eller obstetrisk bukundersökning



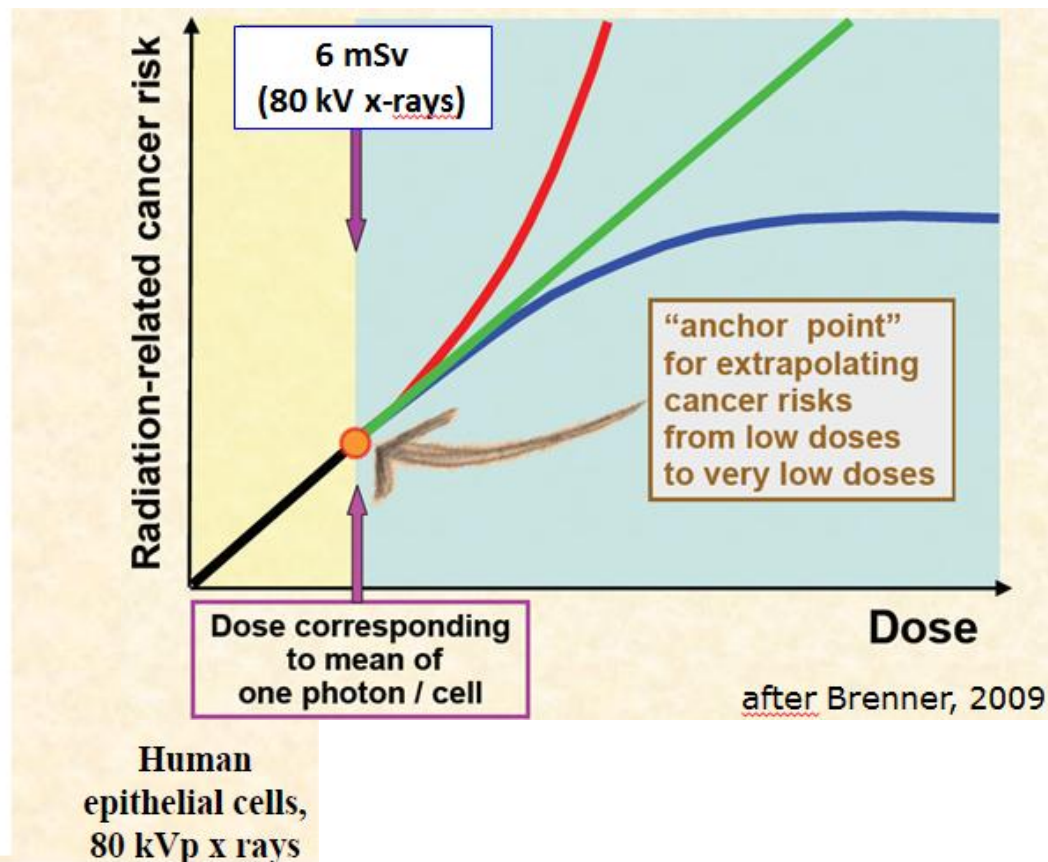
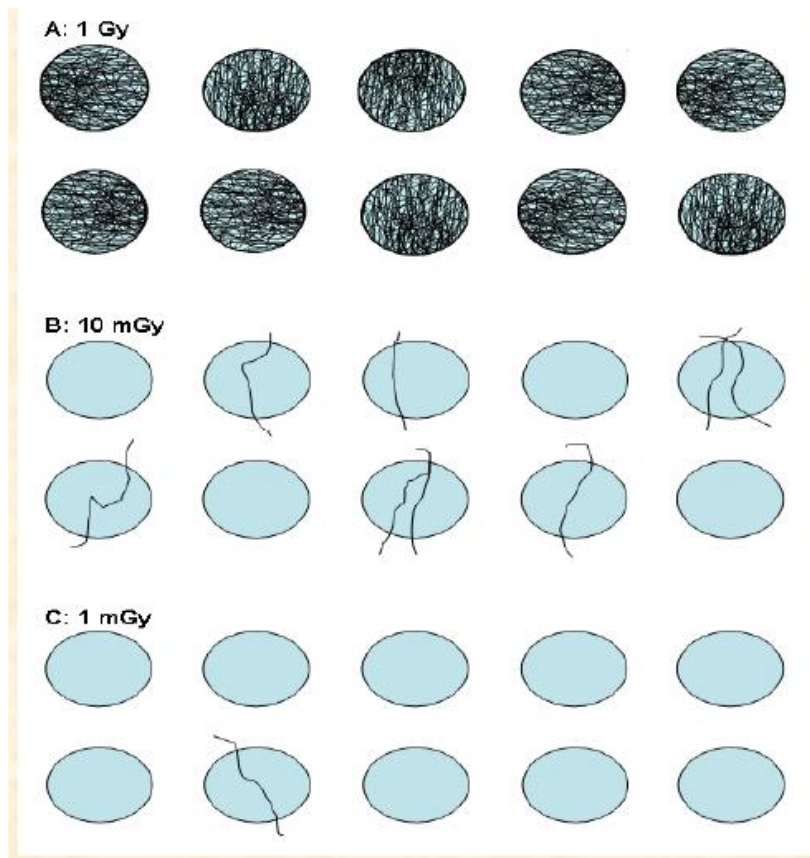
I medeltal absorberad dos: 6 mSv  
80 kV röntgenstrålning  
Ger ungefär ett elektronspår  
per cellkärna



*Alice Stewart  
(1906-2002)*

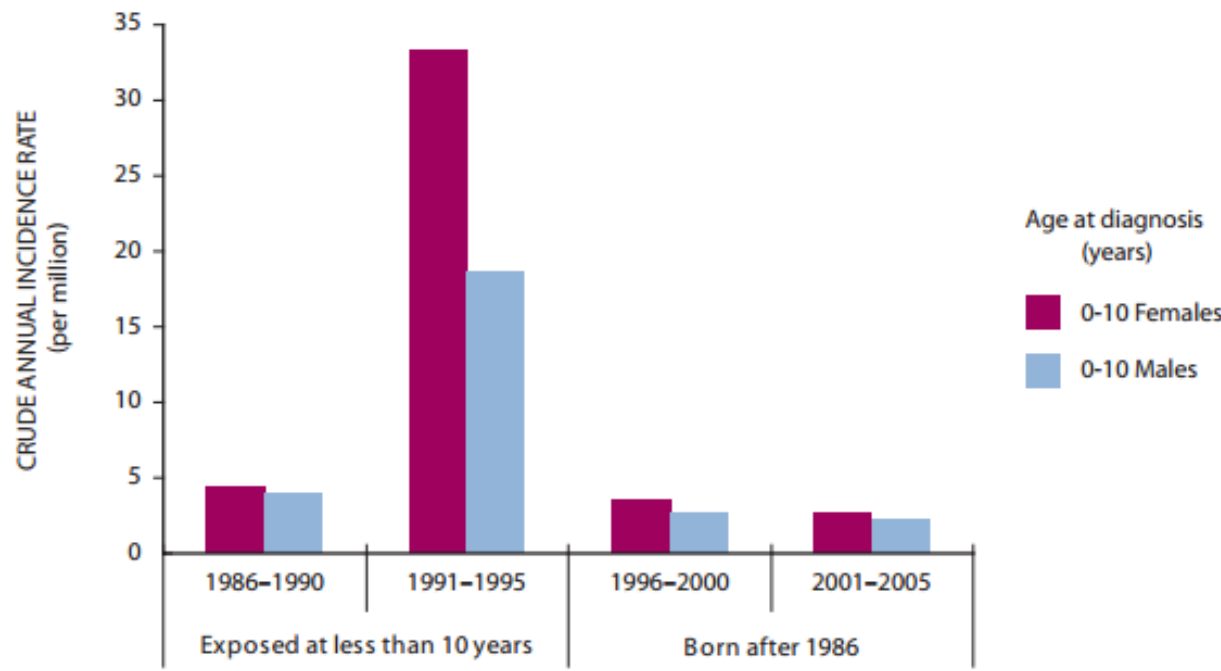
# Basen för det biofysikaliska argumentet för ett linjärt förhållande mellan dos och effekt vid låga doser

## *Elektronspår vid 1000, 10 och 1 mSv*

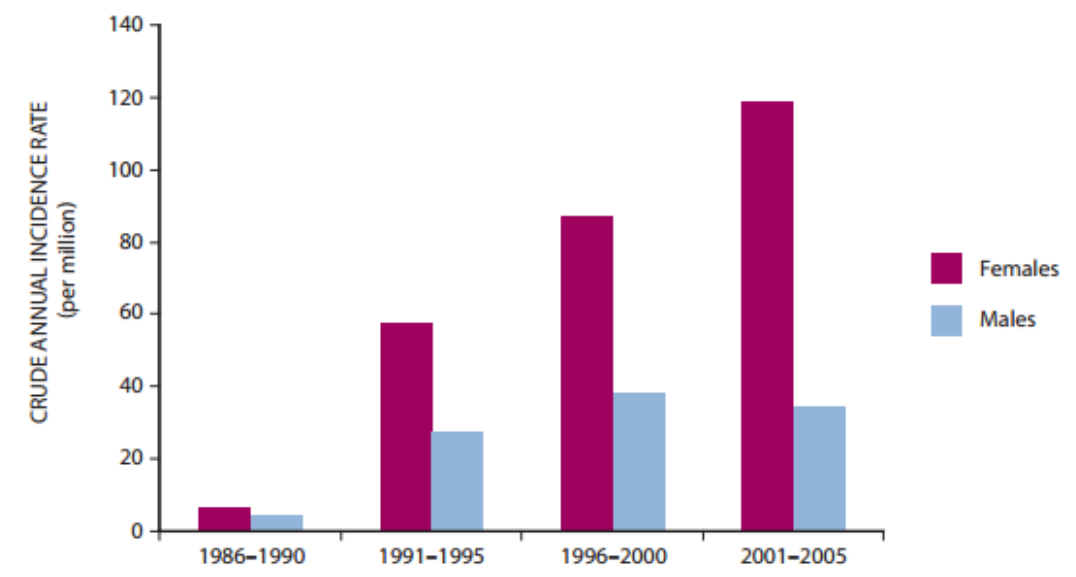




Thyroid cancer incidence rate in Belarus for children under 10 years old at diagnosis

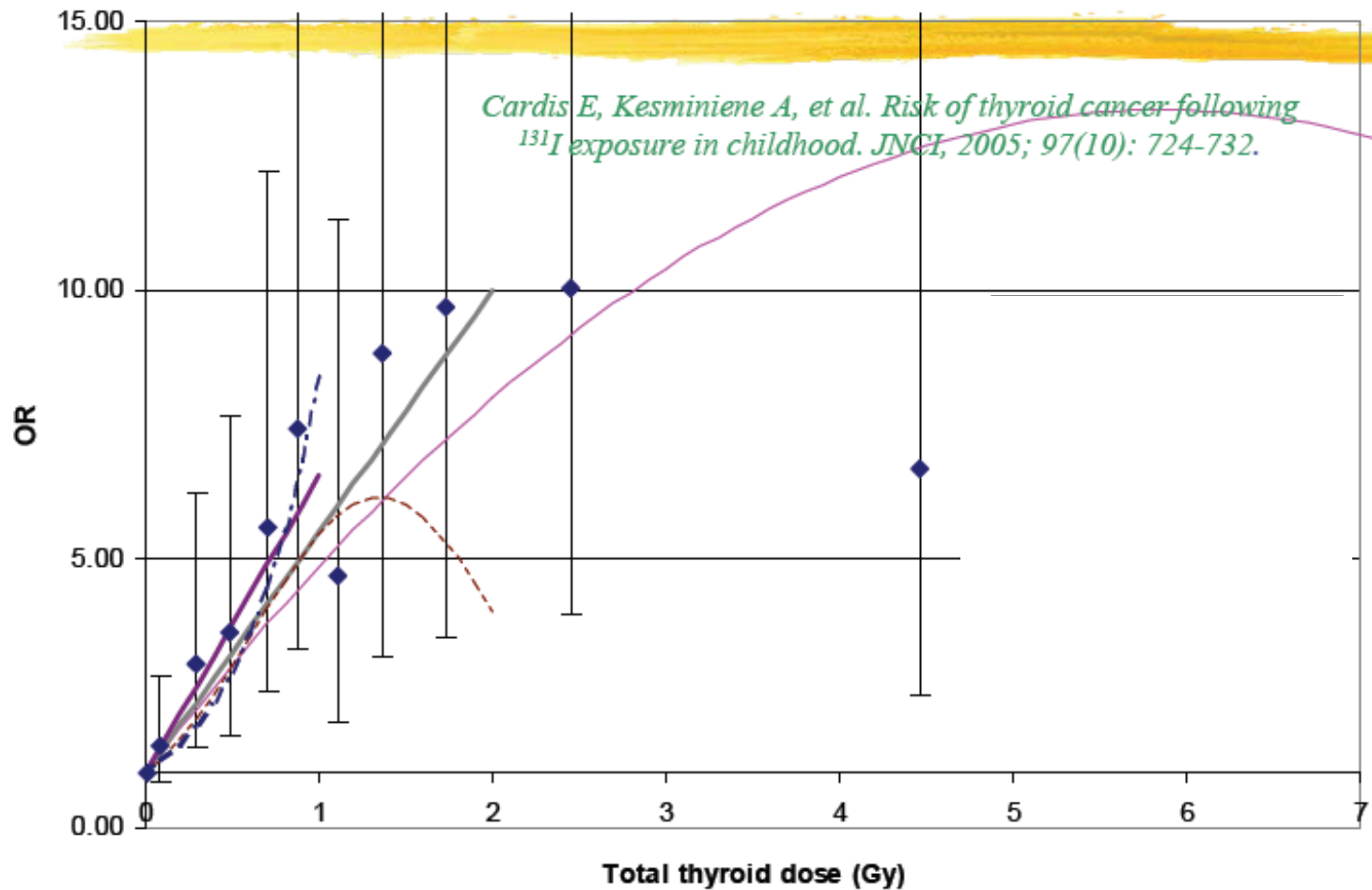


Thyroid cancer incidence rate among those exposed as children and adolescents (age under 18 years in 1986)



**Fram till och med 2008: 6 848 extra fall av sköldkörtelcancer! (UNSCEAR, 2008)**

# Sköldkörtelcancer efter Tjernobyli



# CT-undersökningar av barn

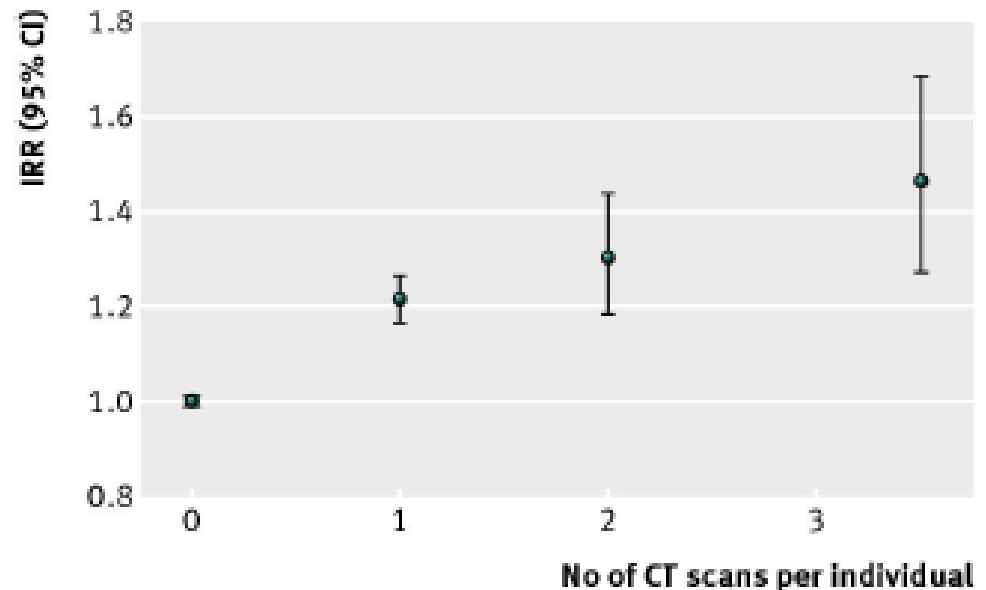
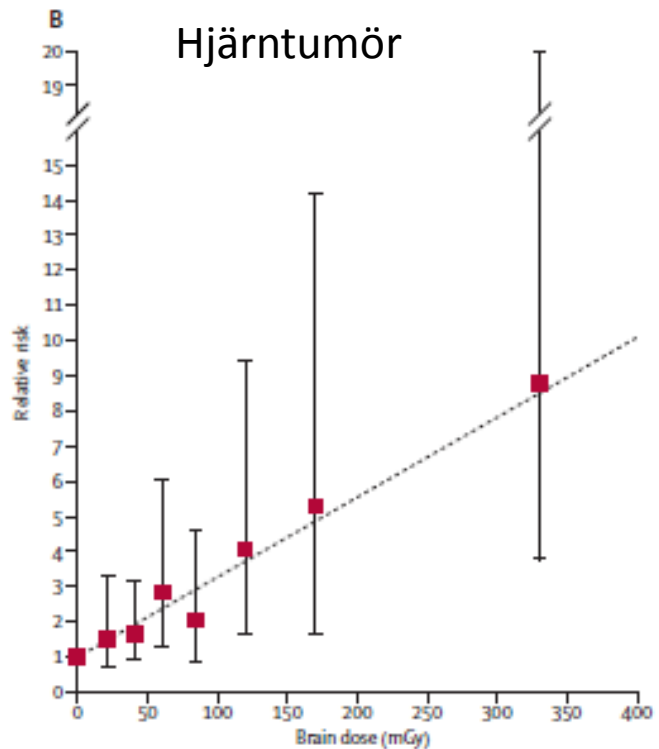
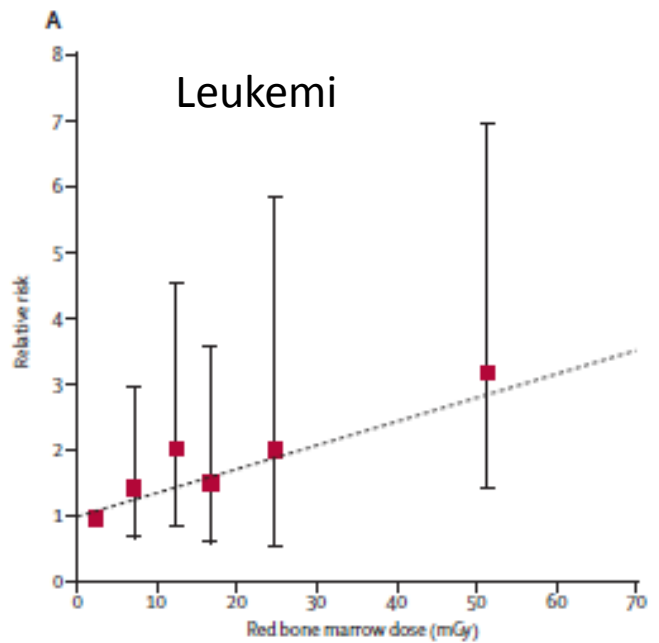
CT-doser jämförelsevis höga

Åtskilliga epidemiologiska undersökningar har initierats och några också redovisats:

Pearce *et al.*, 2012

Mathews *et al.*, 2013

***Den övergripande slutsatsen av dessa två storskaliga studier av personer som CT undersökts som barn, visar att de CT-inducerade överriskerna för cancer var små, men statistiskt detekterbara.***



# Invändningar mot CT-barn studierna:

**Ingen information om varför undersökningarna genomfördes**

Cancern kan ha orsakats av det medicinska tillstånd som gjorde att man satte igång CT-undersökningen snarare än av stråldosen från CT-undersökningen

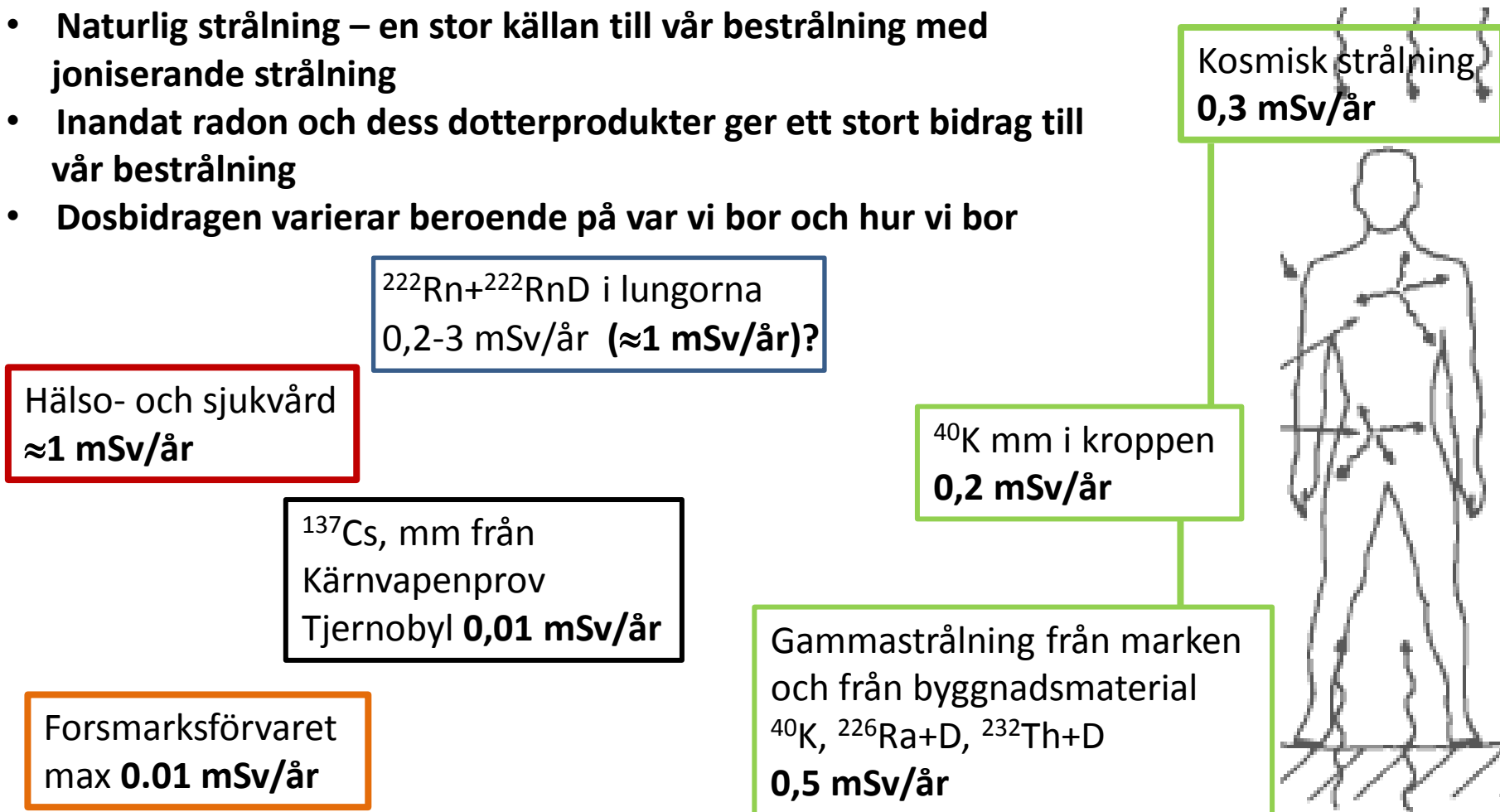
*NCRP Report 171 (2012)*

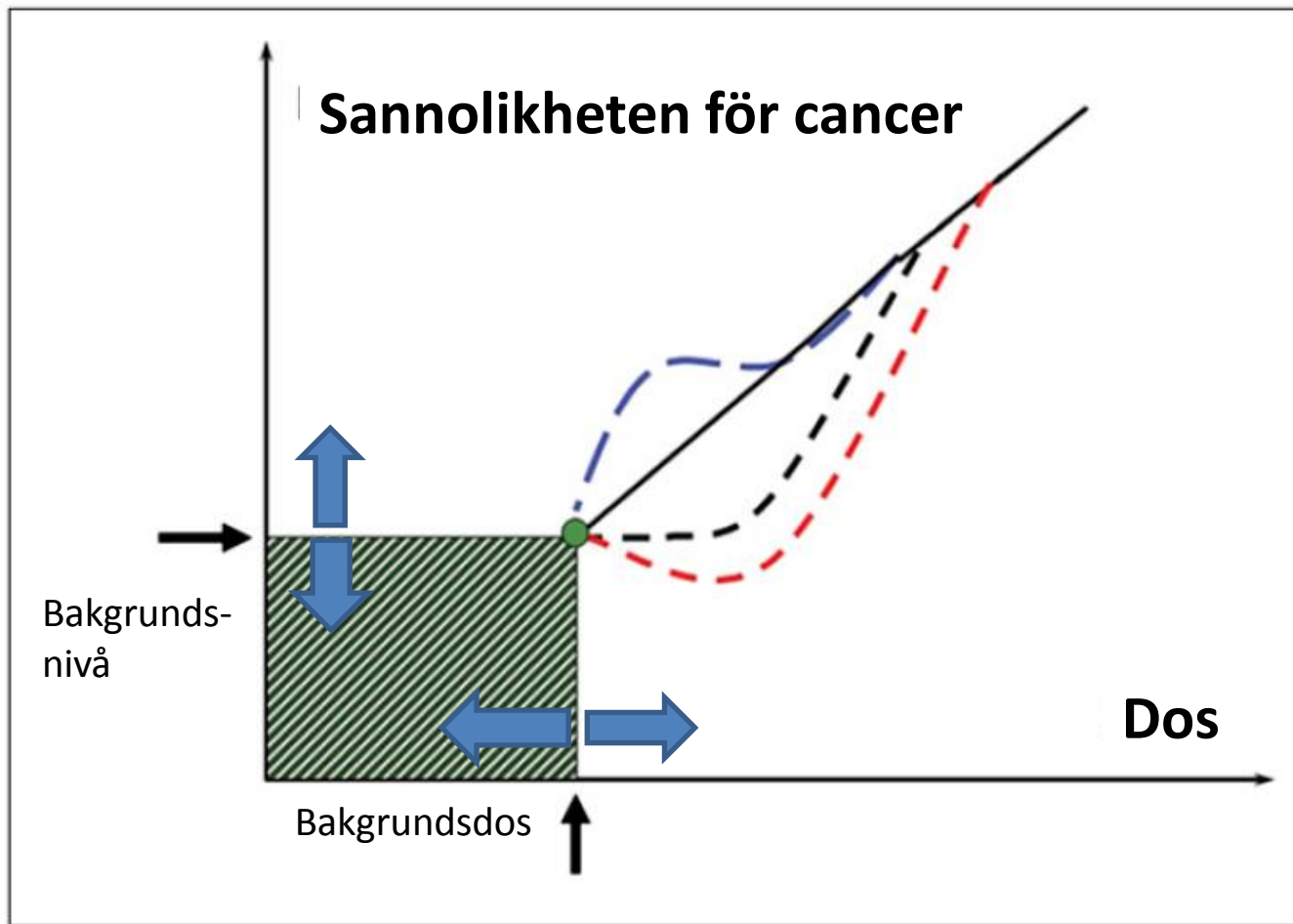
*UNSCEAR (2013)*

*Nya studier i Taiwan (BrJ Cancer 112, 185–193 (2015), Tyskland samt pågående stor europeisk studie (EPI-CT) med 1,2 milj patienter (organiserad av IARC och WHO)*

- Bakgrunden till dagens officiella riskuppskattning
- Osäkerheter - törs vi lita på LNT modellen?
- **Naturliga bakgrundsstrålningen – vad kan vi lära oss från den?**
- Risker med exponering av biota

- **Naturlig strålning – en stor källa till vår bestrålning med joniserande strålning**
- **Inandad radon och dess dotterprodukter ger ett stort bidrag till vår bestrålning**
- **Dosbidragen varierar beroende på var vi bor och hur vi bor**



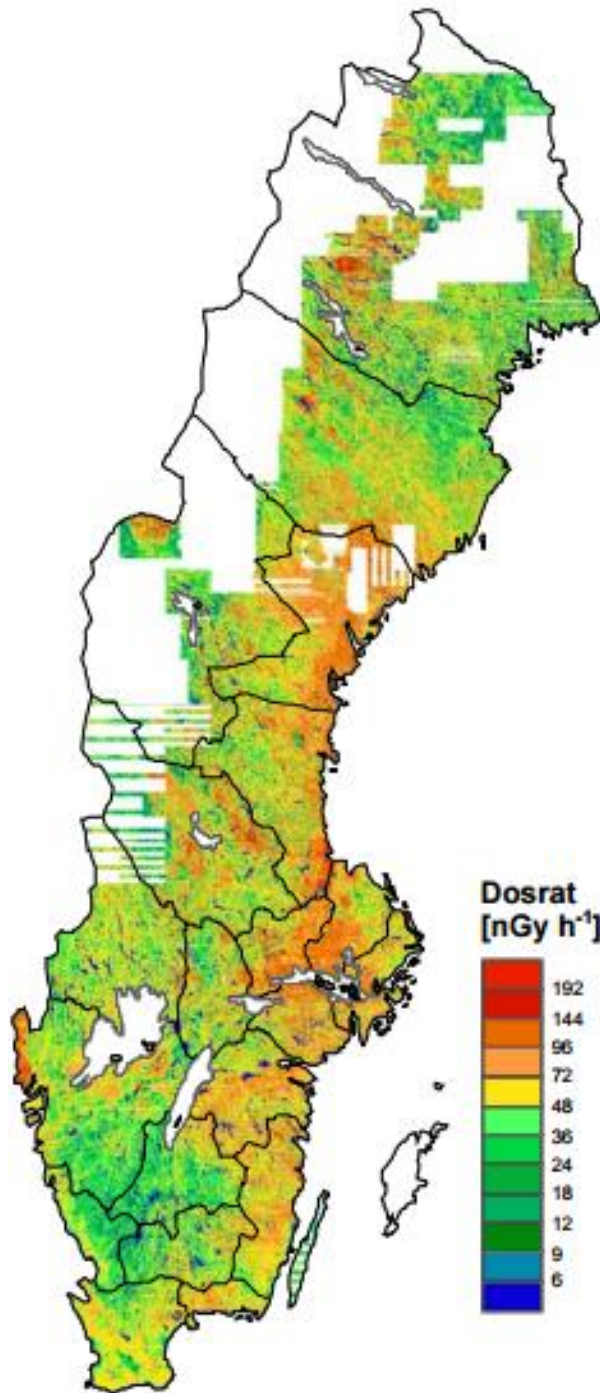


Extrapolationsmodeller för att uppskatta strålningsrisken vid låga doser.

Bilden visar 4 modeller: *linjär, icke-tröskel* (heldragen svart); *linjär med tröskel* (streckad svart), *supralinjär* (blå) och *hormesis* (röd). (NCRP, 2008)

# Dosen beror på var man bor

Externstrålning, utomhus



Dosrat  
mSv/år



---2 mSv/år (228)

---1 mSv/år (114)

---0,5 mSv/år

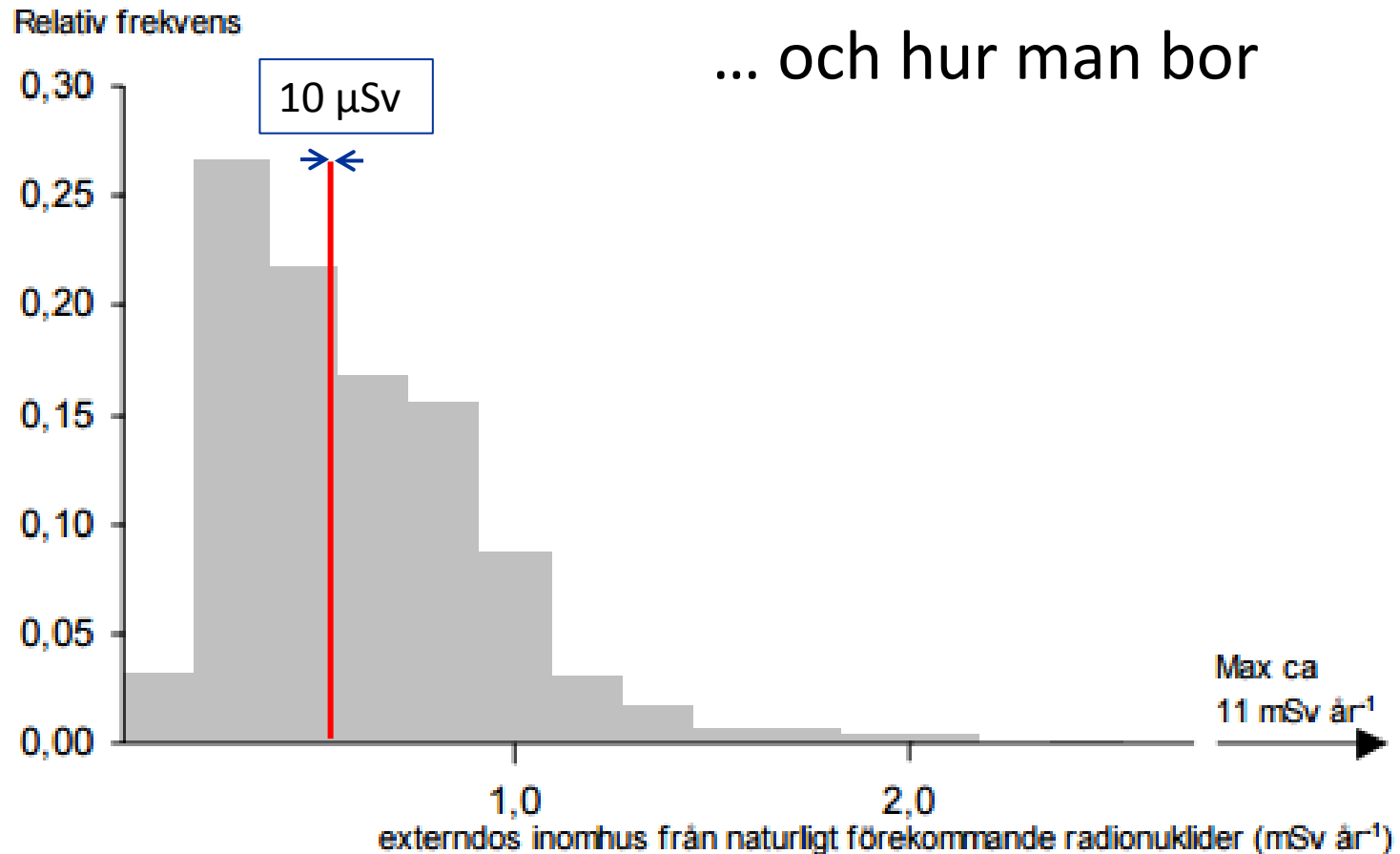
---0,2 mSv/år

---0,1 mSv/år

- 10  $\mu$ Sv

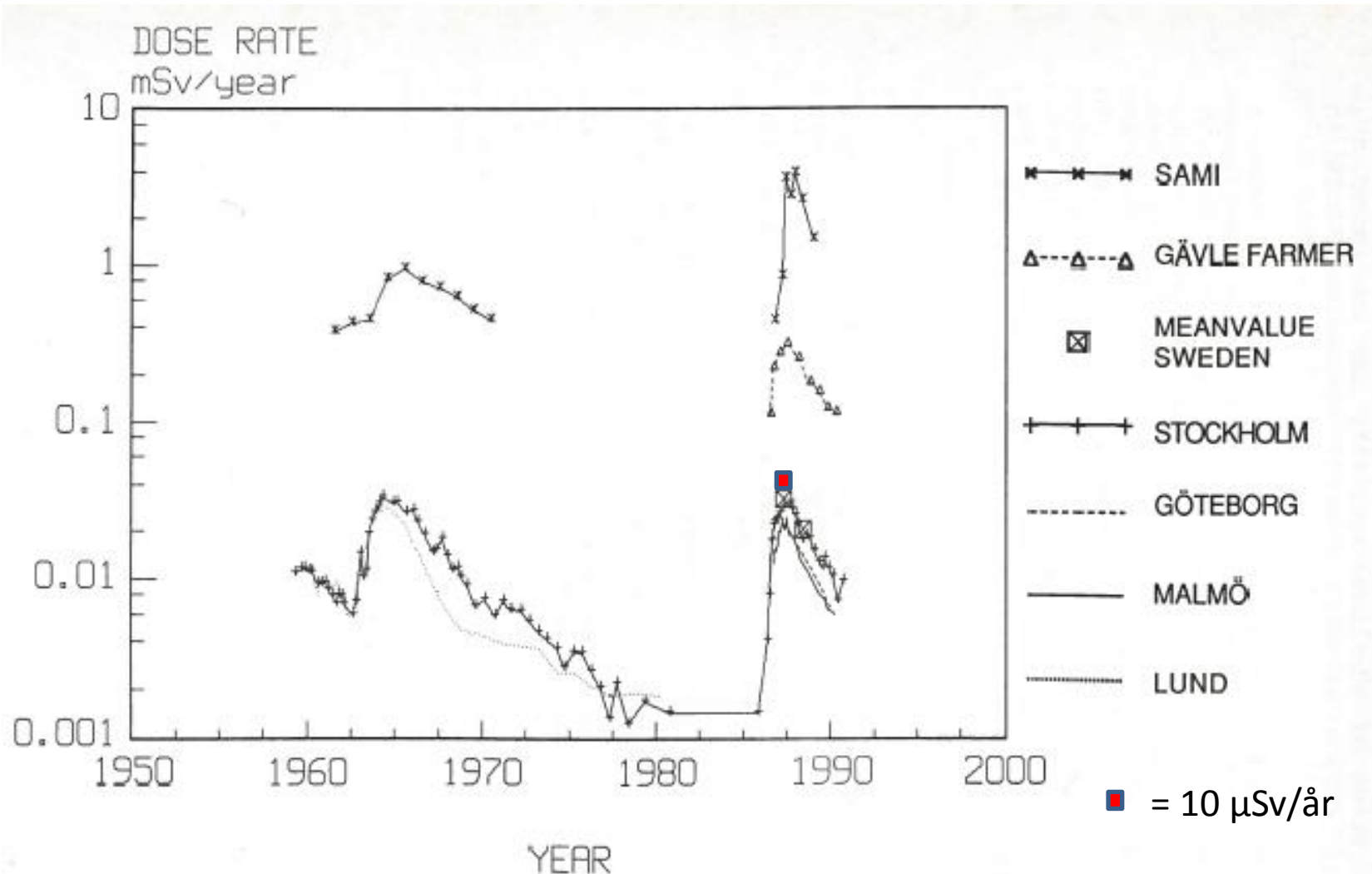
Naturliga radionuklider + <sup>137</sup>Cs  
2003

*Andersson, et al., 2007*



**Figur 58.** Extern dos inomhus från naturligt förekommande radionuklider. Fördelning av befolkningen i olika dosintervall.

... 10  $\mu\text{Sv}/\text{år}$  jämfört med interndoserna från  $^{137}\text{Cs}$  från Tjernobyl



**Figure 2.** The effective dose equivalent rate (mSv/year) from cesium (Cs-134 and Cs-137) as calculated from whole-body measurements (Falk et al, this volume; Mattsson et al, 1989, Hemdal, 1991, Wallström, 1991).

## Områden med hög naturlig bakgrund

Årlig effektiv dos (extern och intern bestrålning)

Låg: 5 mSv/år (vilket motsvarar 2 x det globala medelvärdet på 2,4 mSv/år (UNSCEAR))

Medium: 5-20 mSv/år

Hög: 20-50 mSv/år

Mycket hög: > 50 mSv/år

Guarapari (12 000), Pocos de Caldas (6 000), Araxa (1 300), Tapira, **Brasilien**: > 7 mSv/år

Kerala (360 000), **Indien**: 6,9 mSv/år

Ramsar (1 000), **Iran**: ext. 6 (0,7-131) mSv/år + int 2,5-72 mSv/år

Yangjiang (125 000), **Kina**: 6,4 mSv/år

Radondrabbade områden, **Många länder**

Det enda tydliga resultatet är att radon i inomhusluft ger en ökad risk för lungcancer för radonnivåer så låga som 200 Bq/m<sup>3</sup> (Hendry, Simon, Wojcik *et al.*, 2009)

- Bakgrunden till dagens officiella riskuppskattning
- Osäkerheter - törs vi lita på LNT modellen?
- Naturliga bakgrundsstrålningen – vad kan vi lära oss från den?
- **Risker med exponering av biota**

**Gamla principen:** Om människan är skyddad så är allt levande skyddat och det behövs inte några speciella regler för icke-mänskligt liv

**Håller den?**

**Vad är det vi vill skydda?**

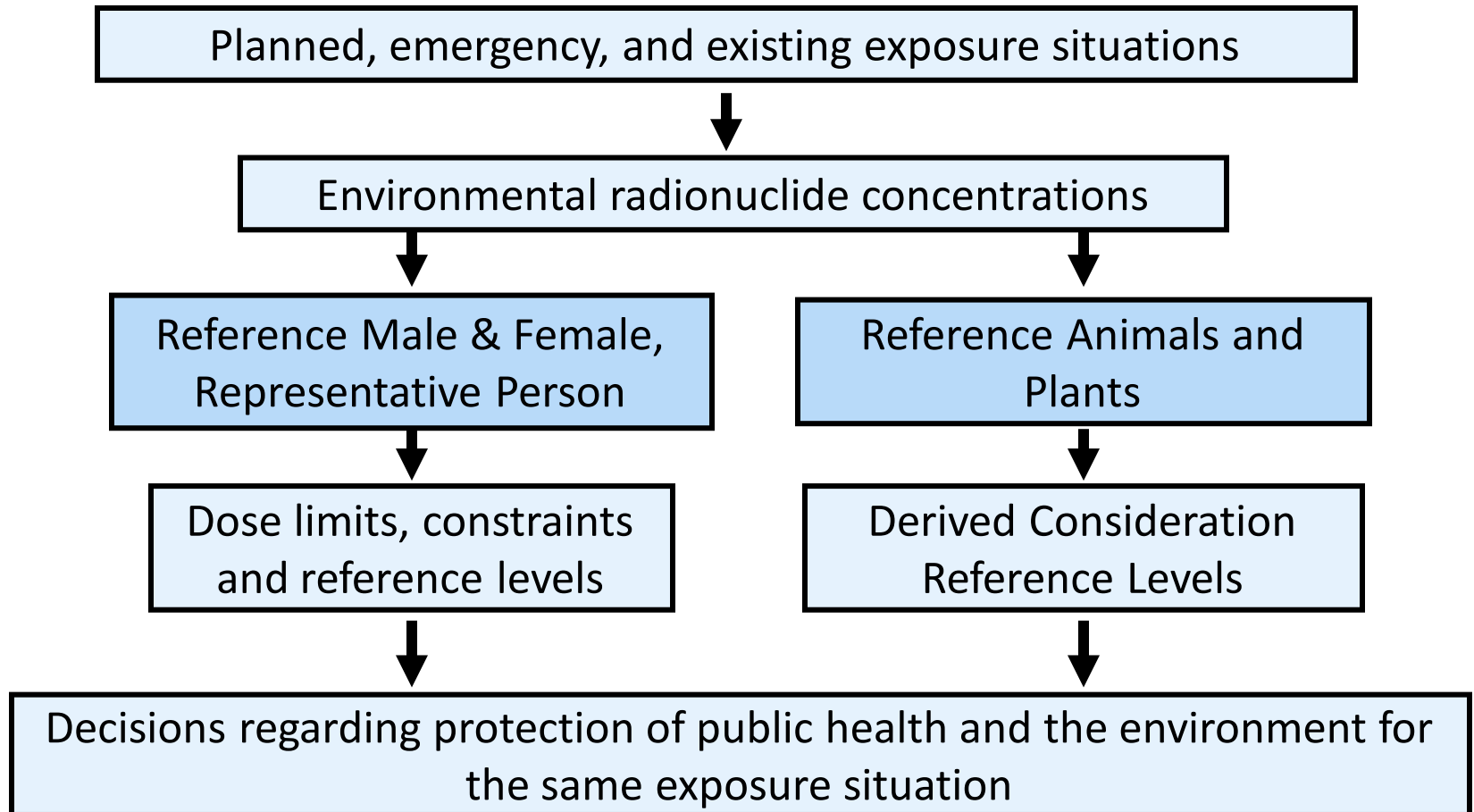
Undvika för tidig död, reproduktionsstörningar eller förekomst av mätbar DNA påverkan på en nivå som skulle kunna påverka artens överlevnad, bibehållen biologisk mångfald eller hälsan och statusen hos naturliga livsmiljöer och samhällen.

**Hur görs detta?**

Ett antal referensdosmodeller, referensdoser per intag och externdos har tagits fram

Data för doser och effekter på omgivningen

# Parallella vägar



# Härledda hänsynsnivåer (DCRL) för referensdjur och -växter (RAP)

Djur och -växtgrupp	Ekosystem <sup>1</sup>	RAP	DCRL, mGy d <sup>-1</sup> (skuggad)		
			0.1-1	1-10	10-100
Stora landlevande däggdjur	T	Hjort			
Små landlevande däggdjur	T	Råtta			
Sjöfåglar	F, M	And			
Stora landlevande växter	T	Tall			
Groddjur	F, T	Groda			
Fisk i öppna havet	F, M	Forell/Öring			
Bottenlevande fisk	F, M	Plattfisk			
Små landlevande växter	T	Gräs			
Havsalger	M	Brunalg			
Landlevande insekter	T	Bi			
Kräftdjur	F, M	Krabba			
Landlevande maskar	T	Daggmask			

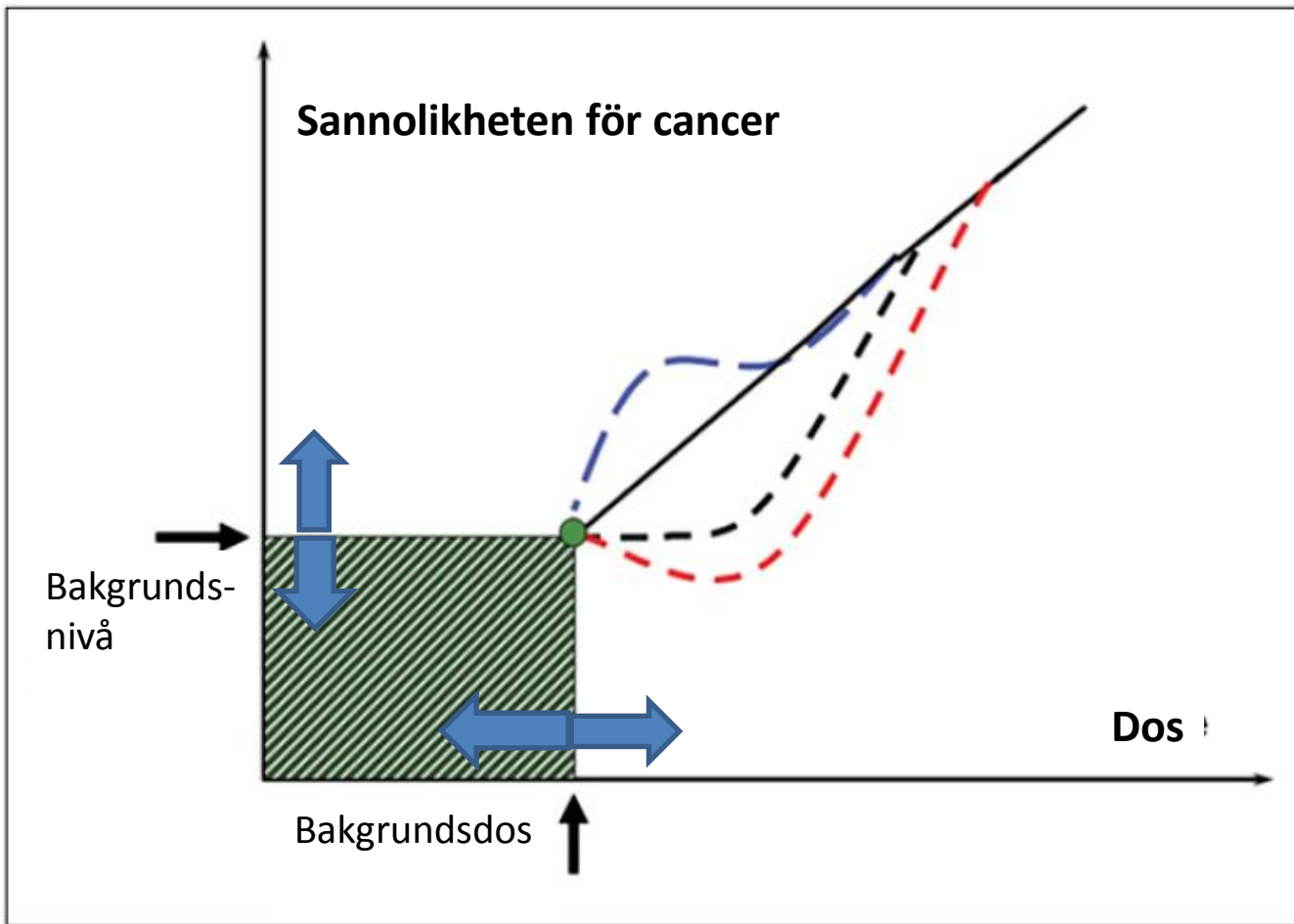
<sup>1</sup>T, land; F, sötvatten; M, hav

# Exempel

## Dosrater i Okuma Town, Japan, June 2011

RAP	Uppskattad dosrat	Lägre DCRL	Kvot mellan uppskattad dosrat och lägre riktvärdet
	mGy/d		
Bi	0,43	10	0.04
Hjort	1,7	0,1	17
And	0,54	0,1	5.4
Daggmask	1,1	10	0.11
Groda	0,43	1	0.43
Tall	0,41	0,1	4.1
Råtta	1,1	0,1	11
Gräs	0,62	1	0.62

[efter UNSCEAR 2013, Vol I, Scientific Annex A]



Tack för att Ni lyssnade!

*soren.mattsson@med.lu.se*