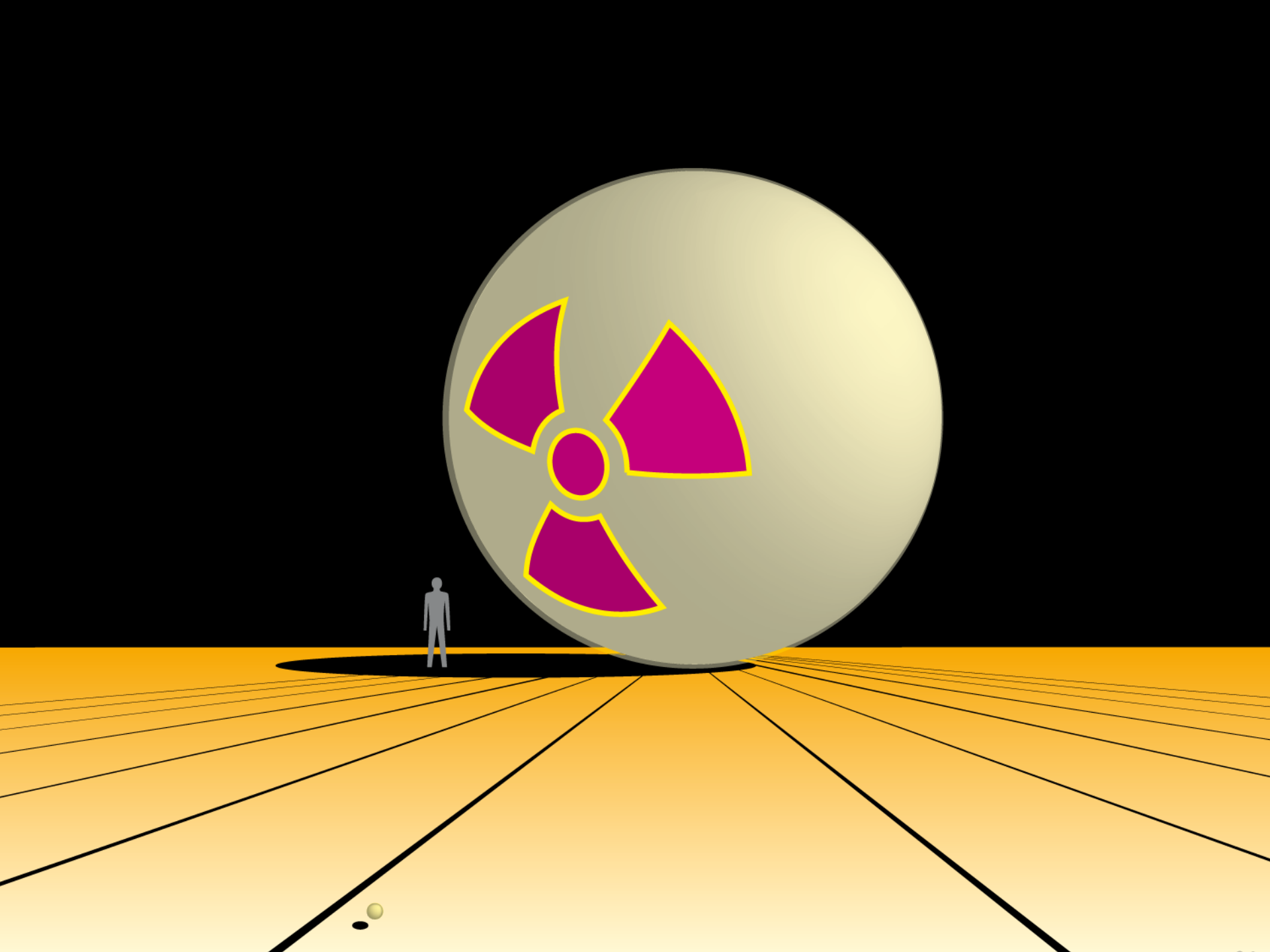
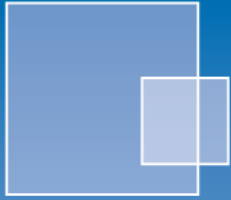






CEEDATA technology assessment

Nucleaire gezondheidsrisico's in vreedetijd

VUmc, Amsterdam, 12 maart 2013

J.W. Storm van Leeuwen

independent consultant

storm@ceedata.nl

www.stormsmith.nl



Doel van deze bijdrage

- onafhankelijk kunnen oordelen over nucleaire gezondheidsrisico's
- bedacht zijn op sluipende en ongewone gezondheidseffecten
- anticiperen op nucleaire calamiteiten in vredestijd



Waarom kernenergie als bron van nucleaire gezondheidsrisico's?

- kernenergie in vredestijd én in oorlogstijd
- 1000 kernbomequivalent per jaar per reactor
- mondiaal 10 miljoen eq in onveilige opslag
- risico's elke dag, in dicht bevolkte gebieden
- risico's nemen toe met het jaar
- veel zaken onzeker of onbekend
- bagatelliseren van risico's door belanghebbenden



Indeling van dit college

- 1 wat is radioactiviteit
- 2 radioactiviteit en de mens
- 3 kernenergie genereert radioactiviteit
- 4 dagelijkse verspreiding van radioactieve stoffen
- 5 grootschalige ongelukken: omvang, gevolgen
- 6 risicofactoren
- 7 communicatie nucleaire industrie – publiek



1

Radioactiviteit

Radioactiviteit is het verschijnsel dat een atoomkern vanzelf overgaat in een andere atoomkern, onder uitzending van kernstraling

Deze spontane overgang heet radioactief verval



Radioactiviteit

- kan niet vernietigd worden
- kan niet onschadelijk gemaakt worden voor mens en dier



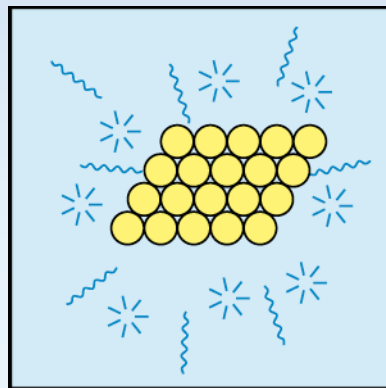
Radioactiviteit

Radioactief verval kan niet versneld of vertraagd worden: tempo ligt vast in halfwaardetijd

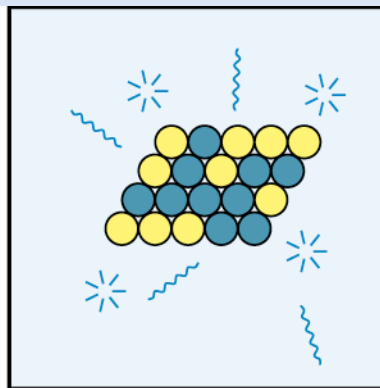
Ieder radioactief atoomsoort heeft eigen, kenmerkende halfwaardetijd



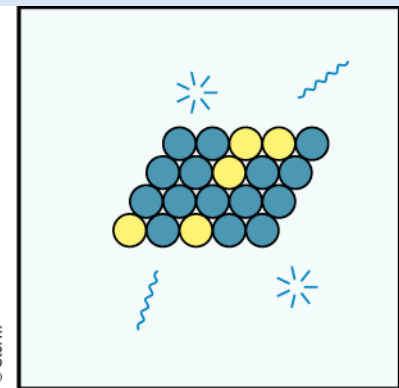
Radioactief verval



tijdstip $t = 0$



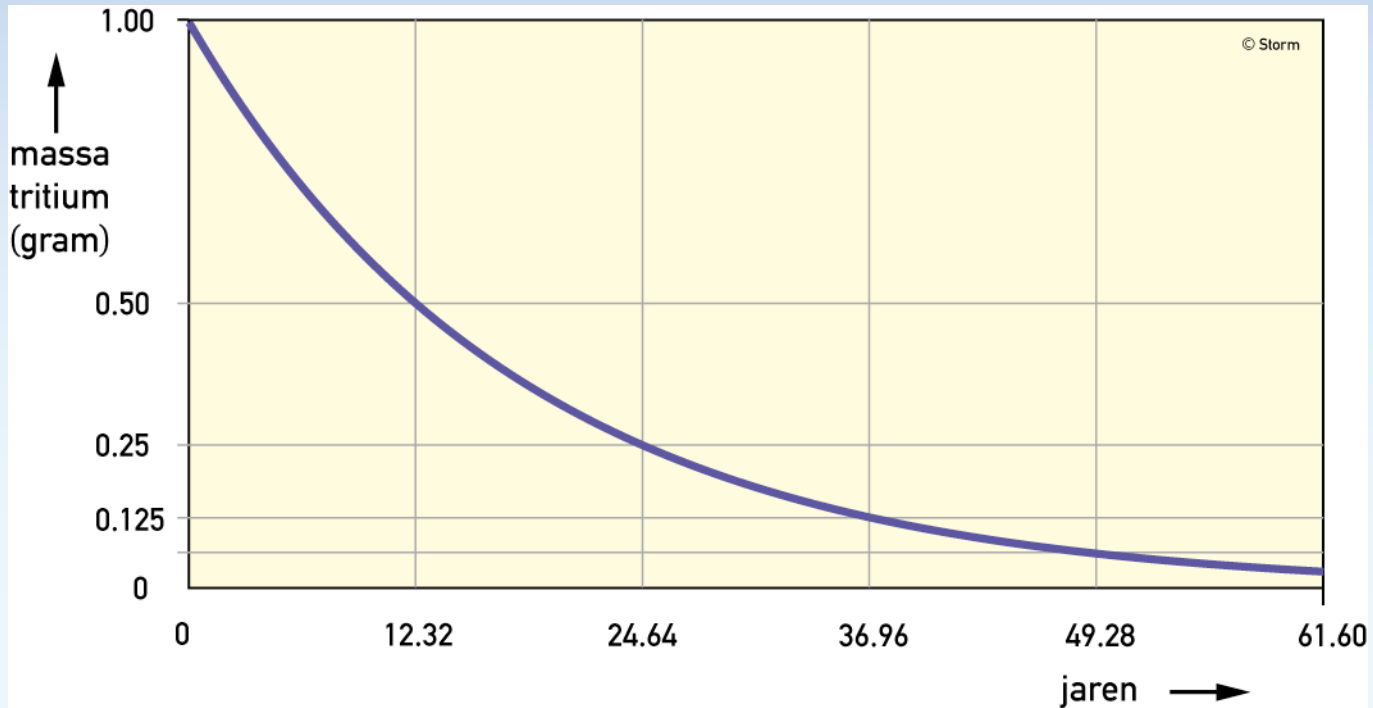
na 1 halfwaardetijd



na 2 halfwaardetijden



Halfwaardetijd



niet te verwarren met biologische halfwaardetijd



Nucleaire straling: α , β en γ



Wat doet kernstraling in het menselijk lichaam?



2

Gezondheidseffecten 1

- niet-stochastische (deterministische) effecten
bij zeer hoge doses in korte tijd
ARS (acute radiation syndrome) stralingsziekte,
dood binnen uren, dagen of weken
(kernexplosies, rampen (Tsjernobyl, Fukushima))
- stochastische effecten
bij lagere doses
onvoorspelbaar welk effect bij welk individu

Dit college: alleen stochastische effecten



Gezondheidseffecten 2

- chronische ziekten, o.a. immuun-, diabetes
- leukemie
- kanker
- congenitale afwijkingen
- erfelijke afwijkingen
- laag geboortegewicht, misgeboorten,
kindersterfte
- snelle veroudering



‘Targeted’ , ‘non-targeted’ & delayed effects

- klassiek radiobiologisch paradigma:
alleen gezondheidseffect als schade aan DNA
(‘targeted’ effects)
- na 2000 non-targeted effects aangetoond:
ook gezondheidseffect door schade aan
andere (nog onbekende) delen van de cel



Non-targeted & delayed effects

experimenteel aangetoond:

- genomic instability
effecten 20-30 generaties na bestraalde cel
- 'bystander effect'
in onbestraalde cellen dicht bij bestraalde cel
- clastogenic effects
chromosoom schade in bloed plasma —>
chromosoom schade in onbestraalde cellen
- erfelijke effecten in nakomelingen

Nog geen verklaring voor deze effecten



directe relatie dosis radioactiviteit –>
gezondheidseffect in individu
empirisch bewijs zeer lastig

- lange latentietijden(vaak jaren, decennia)
- fundamentele biomedische onzekerheden
- synergetische effecten
- welke dosis?
- welk type straling (α , β , γ , neutronen)
- welke radionucliden?
- in- en/of uitwendige besmetting?
- biochemisch gedrag van radionucliden
- algemene gezondheidstoestand individu
- leeftijd, geslacht



Empirische evidentie

radioactieve besmetting – gezondheidseffecten

- epidemiologisch onderzoek
- grote cohorten
- langdurige registratie personen en ziektegevallen



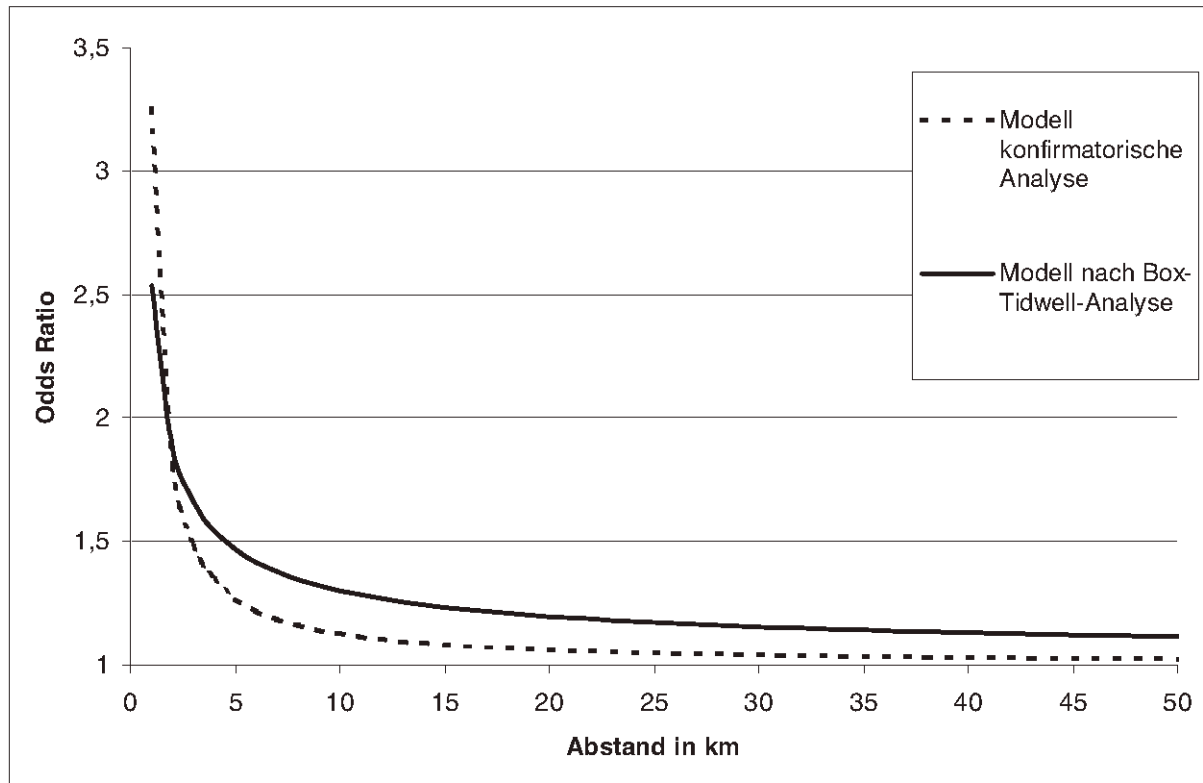
KiKK studie (2008)

- epidemiologisch, Duitsland
- kanker kinderen <5 jaar, diagnose 1980-2003
- significante relatie kanker en afstand tot kerncentrale
- bevestigd door >60 andere studies, o.a. Franse Geocap (2012)
- niet te verklaren met bestaande dosis-effect modellen



Resultaten KiKK studie: relatieve kankergevallen en afstand tot kerncentrale

Abbildung 3.6: Vergleich der geschätzten Regressionskurven im konfirmatorischen Modell (6) und Box-Tidwell-Modell
Diagnose 1980-2003, alle Erkrankungen
Auswertedatensatz, 1592 Fälle und 4735 Kontrollen





- Niets bekend over risico's voor embryo's en foetussen
- Sommige weefsels foetus in utero blijkbaar extreem gevoelig voor straling (Fairlie)
- Tritium en C-14 biochemische mechanismen moeten onderzocht worden



Biochemische aspecten

- zeer weinig bekend over biochemisch gedrag van radionucliden ***in*** lichaam
- veel radionucliden zamelen op in specifieke weefsels: hoge plaatselijke doses
- normen gebaseerd op straling van *uitwendige* bronnen
- normen gebaseerd op ondoorzichtige modellen uit de 1940s en 1950s, niet of nauwelijks bijgesteld op empirische ervaringen



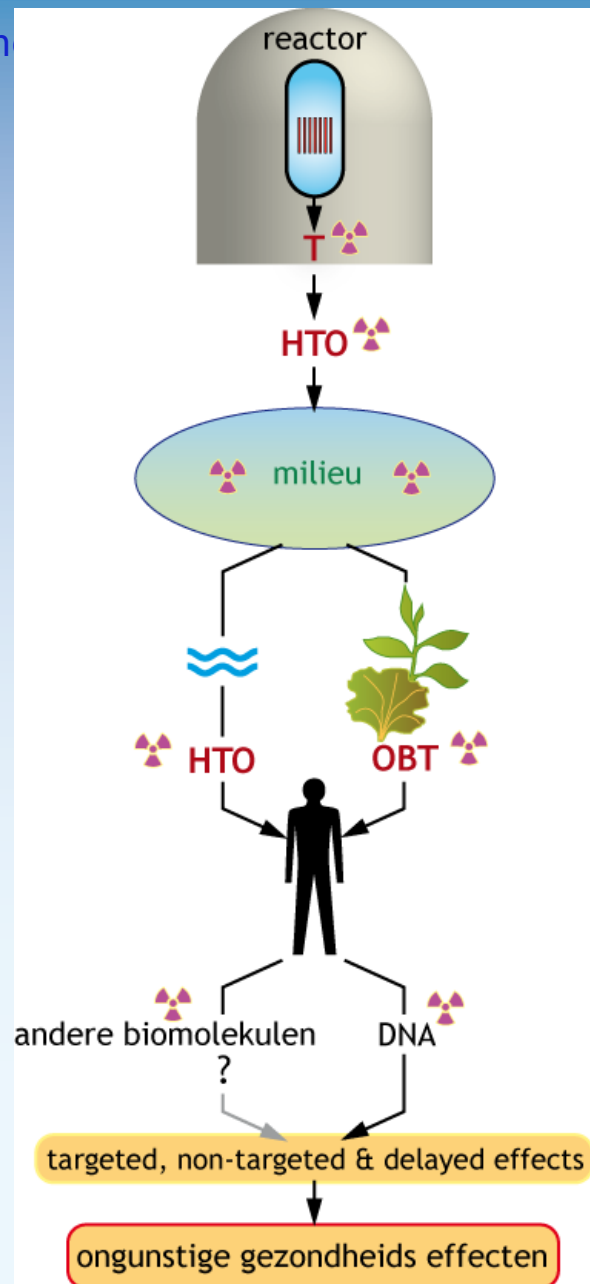
Tritium en koolstof-14

- inbouw tritium en C-14 in DNA
- DNA kwetsbaar voor beta-straling lage energie
- capaciteit reparatiemechanisme?
- levensduur DNA?



Via drinkwater
en voedsel
wordt tritium
opgenomen in
het lichaam

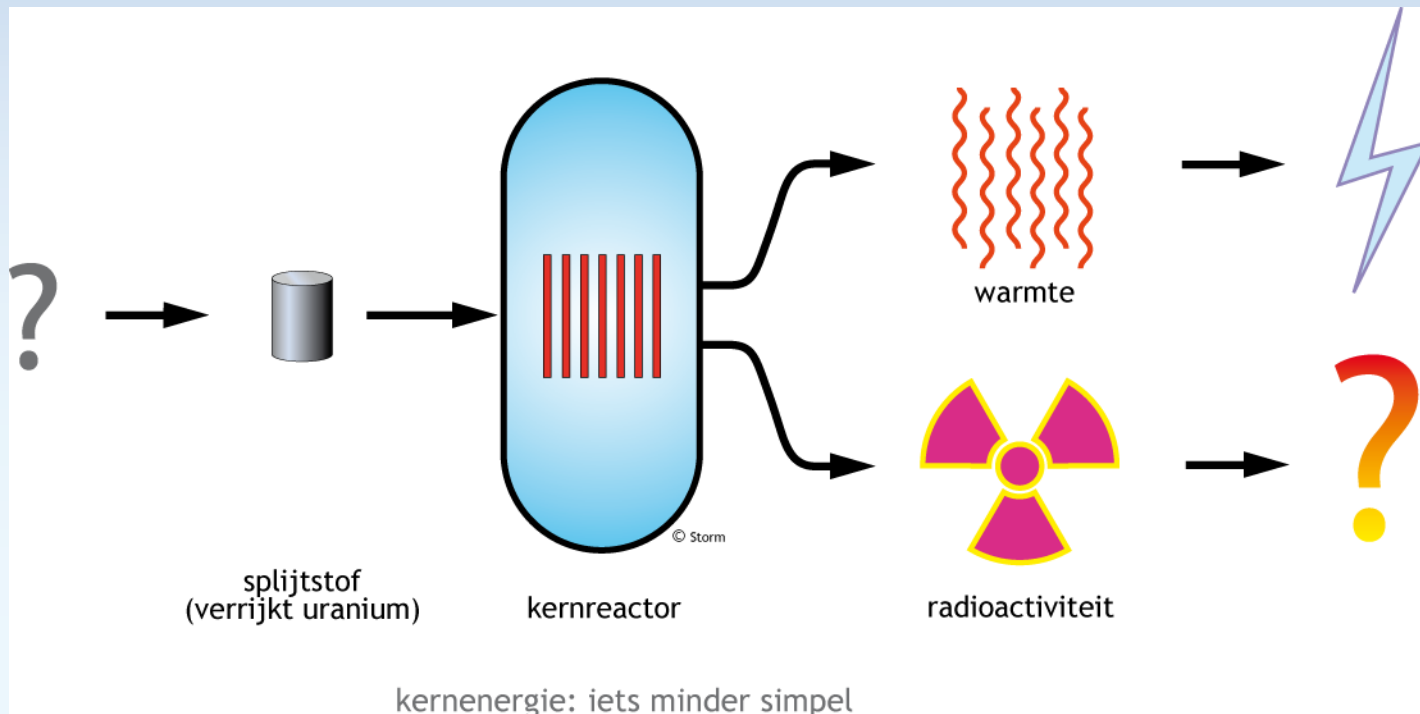
C-14 analoog





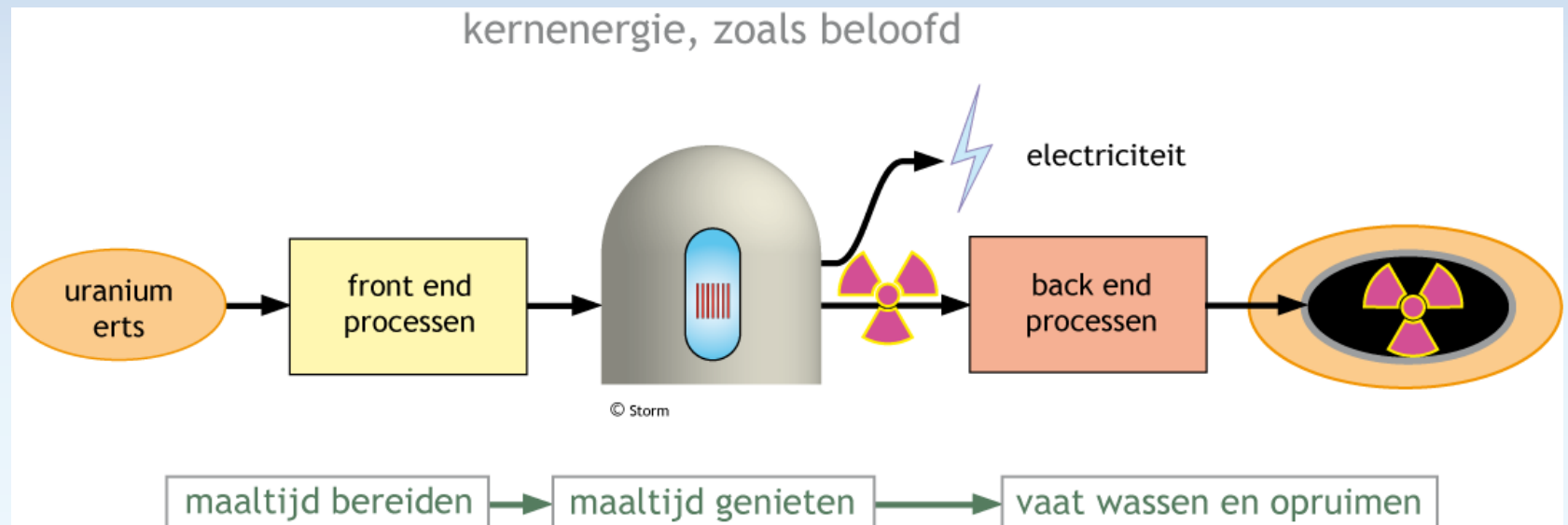
3

De kern van kernenergie



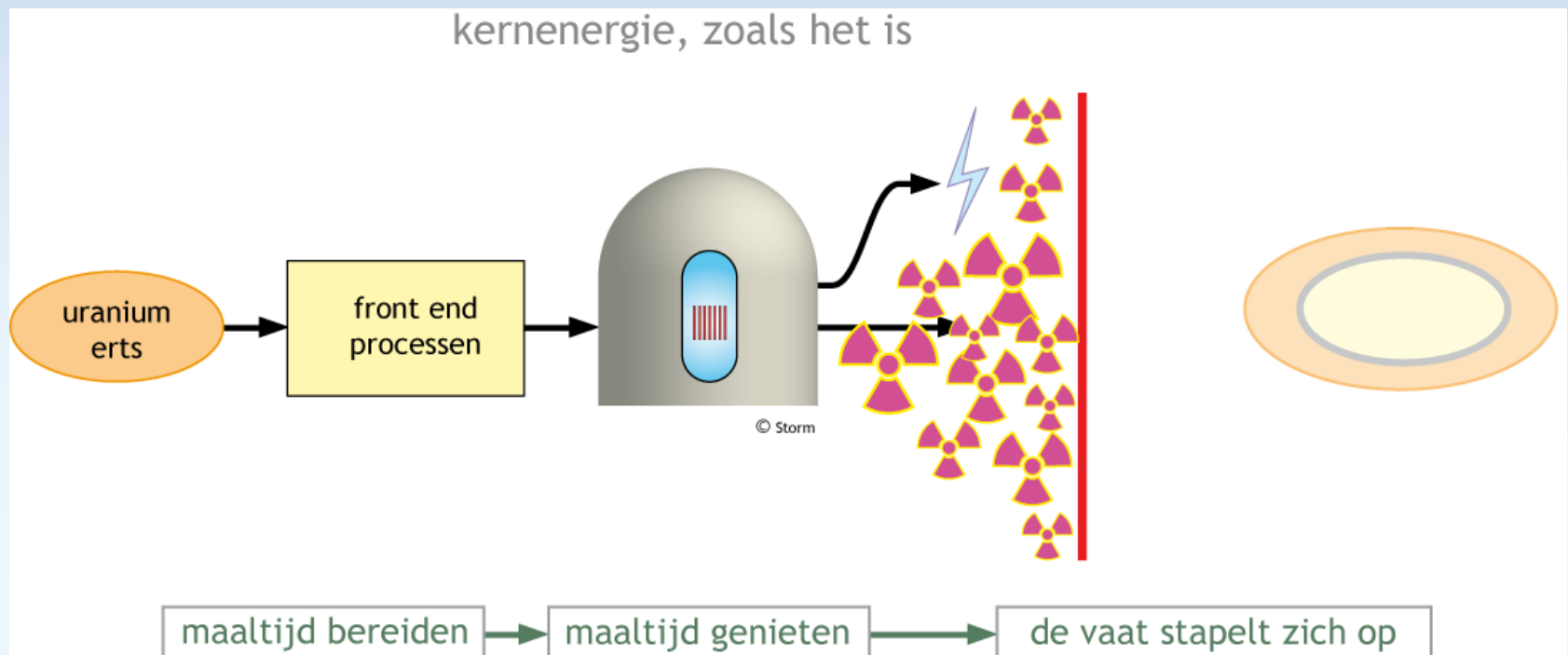


Nucleaire procesketen, zoals beloofd



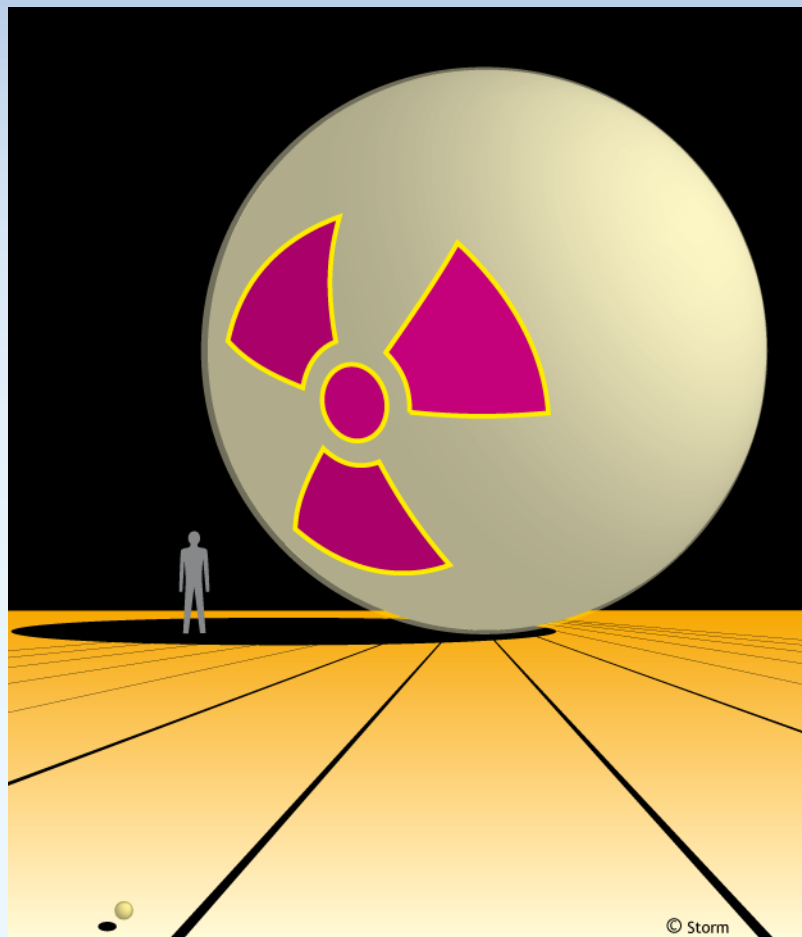


Nucleaire procesketen in de praktijk





Kunstmatige radioactiviteit: miljard-voudige toename

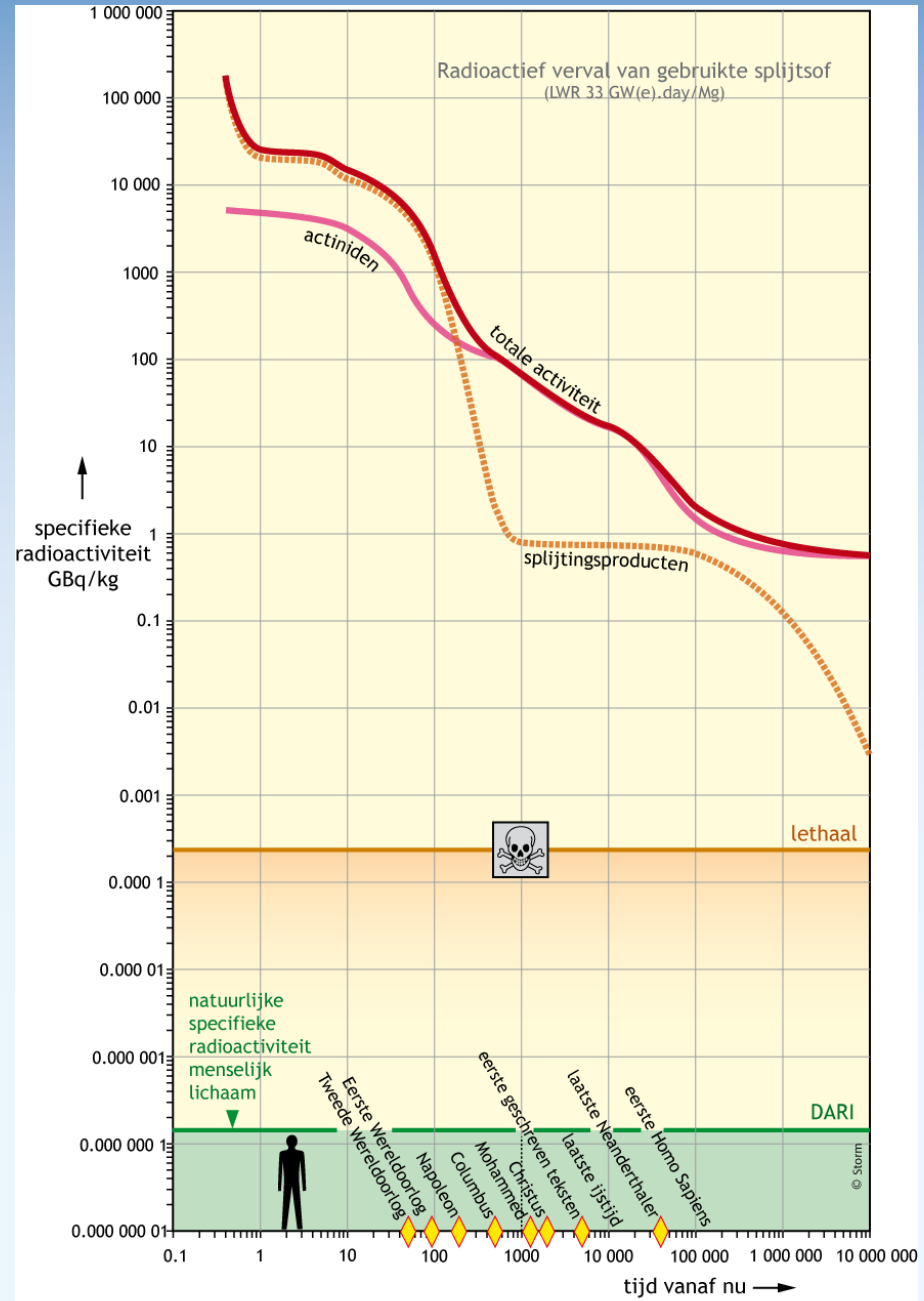




Nucleaire gezondheidsrisico's in vredestijd

Radioactief verval van afgewerkte splijtstof

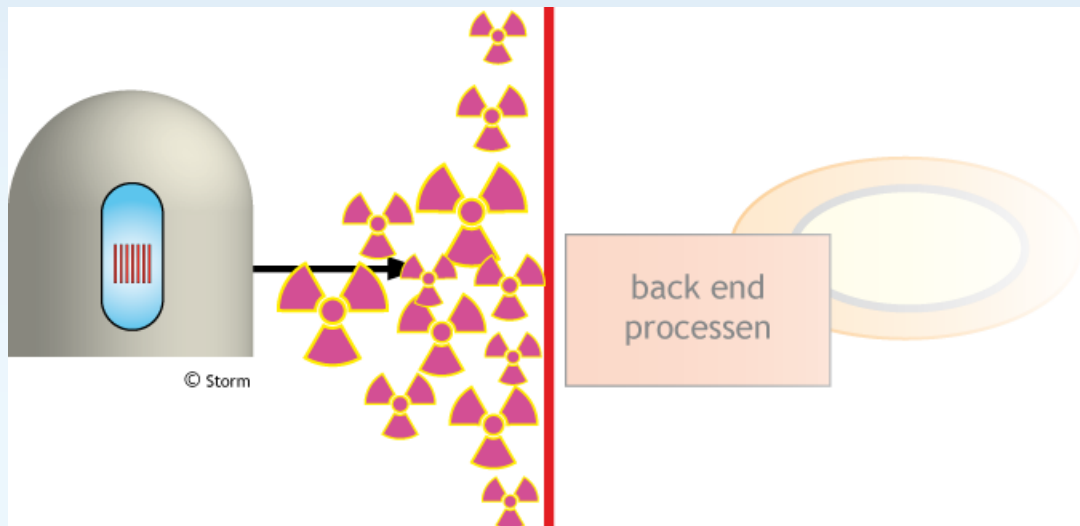
NB: log-log





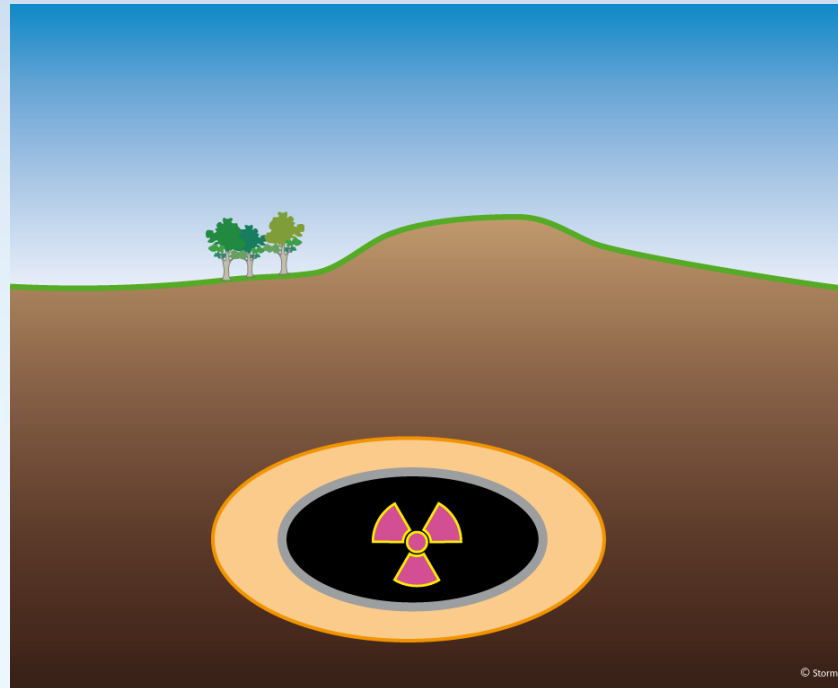
Radioactief afval

Wat gebeurt ermee?
En die barrière?





Beoogd:
definitieve insluiting in geologische bergplaats



Bestaat nog alleen in cyberspace



Barrière
geen technisch
maar
paradigmatisch probleem



Paradigmatische barrière

- après nous le déluge
- geloof in technische vooruitgang
- korte-termijn denken
- graaicultuur
- leven op krediet



Après nous le déluge

- gewoon laten staan voor toekomstige generaties, want die
 - zijn rijker
 - hebben meer technologie
 - kunnen het vast goed gebruiken
- hoezo? welk probleem?
'nucleair afval is een emotie'



'De techniek zal alle problemen oplossen'

- partitionering & transmutatie
- opwerking (reprocessing) + vitrificatie

concepten alleen mogelijk in cyberspace,
gebaseerd op:

- perfecte materialen en
- feilloze machines en
- feilloze mensen



Praktijk

Alle kunstmatige radioactiviteit ooit gegenereerd,
~10 miljoen kernbomequivalenten,
ligt in voorlopige opslag
in toenemende mate kwetsbaar



Dit gebeurt vanzelf . . .

Het voorkomen hiervan
vergt gerichte
inspanning, dus:
energie,
materialen en
menskracht





Inherent veilige kernenergie is inherent onmogelijk

- in techniek alleen engineered safety
- nucleair: geen preflight testing (vgl ruimtevaart)
- imperfecte materialen (Tweede Hoofdwet)
- onvermijdelijke degradatie (Tweede Hoofdwet)
- menselijke factor



4

Verspreiding radioactiviteit

- routinelozingen
 - mijnbouw
 - kerncentrales
- ongecontroleerde incidentele lozingen
 - verarmd uranium
 - ontmanteling
 - illegale handel, criminaliteit
 - oorlogshandelingen
 - terrorisme en MOX
- grootschalige ongelukken



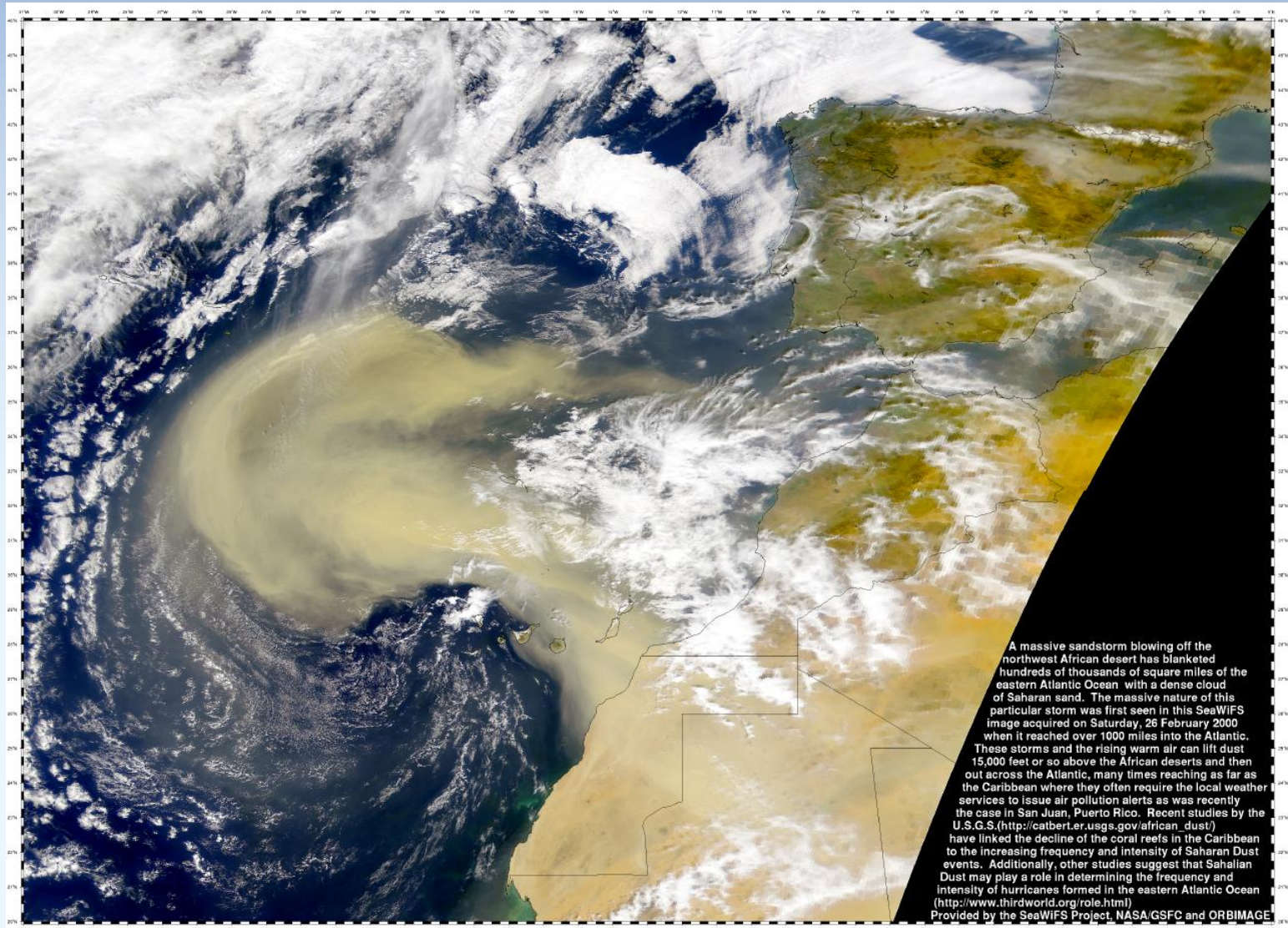
Mijnbouw, Rössing mijn in Namibia





Nucleaire gezondheidsrisico's in vredestijd

Sahara stof met de wind





Routinelozingen kernreactors

Tritium, koolstof-14, splijtingsprodukten

- gassen
- koelwater
- lekkende splijtstofstaven

gevolgen: KiKK en Geocap studies



tritium in voedsel, vegetatie en bodem, Canada

212

I. Fairlie

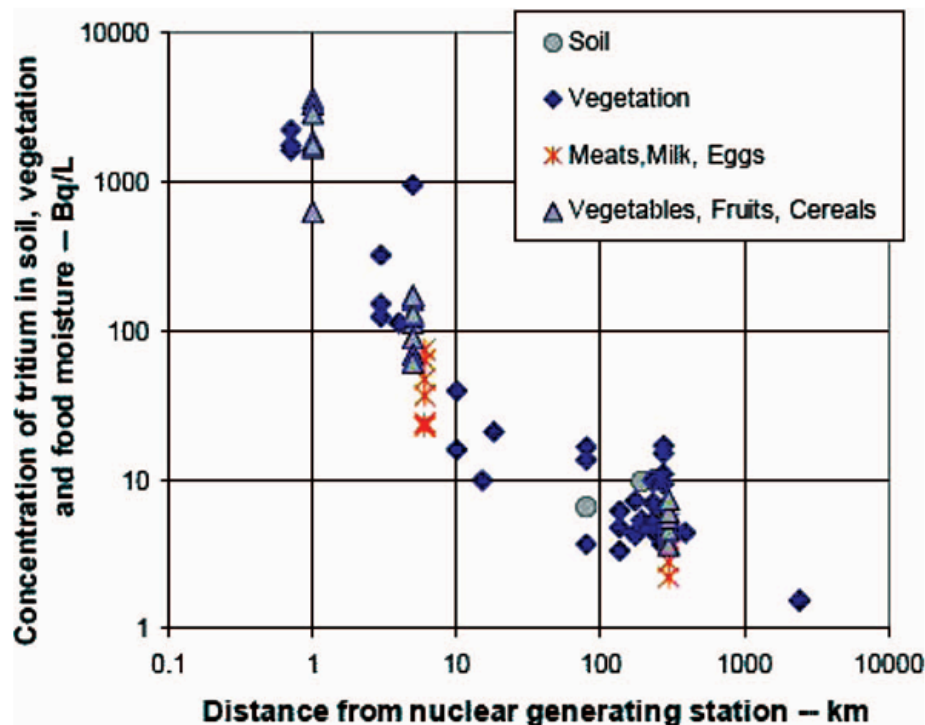


Figure 2. ^3H concentrations in vegetation and food moisture near NPPs.

Source: Reproduced with permission from the Canadian Nuclear Safety Commission from *Tritium in the Canadian Environment: Levels and Health Effects*. Report RSP-0153-1. Prepared for the Canadian Nuclear Safety Commission under CNSC contract no. 87055-01-0184 by Ranasara Consultants and Dr Richard Osborne. Data from Health Canada (2001) Environmental Radioactivity in Canada. Radiological Monitoring Report. Ottawa, Government of Canada.



Gebruikte splijtstof (spent fuel)

- uiterst radioactief
 - bevat ~95% van de kunstmatige radioactiviteit
 - blootstelling: ARS
- produceert nog veel warmte (tientallen jaren)
- smelt zonder koeling
- hete splijtstof
 - brandt in contact met lucht
 - produceert waterstof in contact met water



5

Grootschalige nucleaire ongelukken 1

- mogelijk met:
 - afgewerkte splijtstof in koelbasins
 - opslagtanks opwerkinsfabrieken
 - kernsmelting kernreactoren
- oorzaken
- omvang



Grootschalige nucleaire ongelukken 2

Scenario

- koeling valt weg (reactor, koelbassin)
- splijtstof smelt
- reactie met water → waterstof
- explosie en brand
- radioactieve inhoud in milieu,

vgl Tsjernobyl, Fukushima

Opwerkingsafval vergelijkbaar scenario



Grootschalige nucleaire ongelukken 3

Hoeveelheid radioactiviteit per locatie
(kernbomequivalenten)

- per reactor 1000
- koelbasins bij reactor: vele 1000'n
- opslagtanks opwerkingsfabrieken: 10 000'n

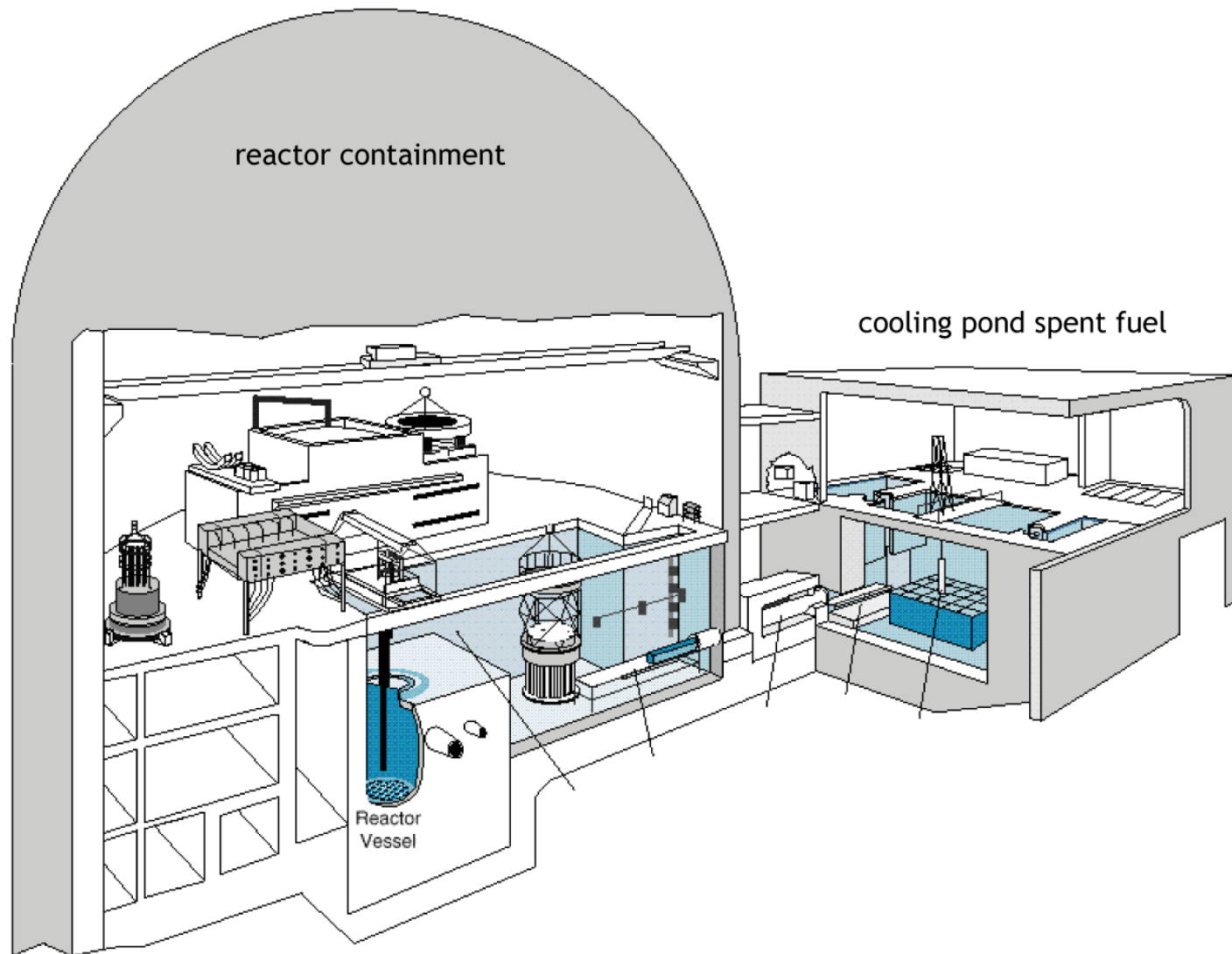


Grootschalige nucleaire ongelukken 4

Denkbare oorzaken/triggers:

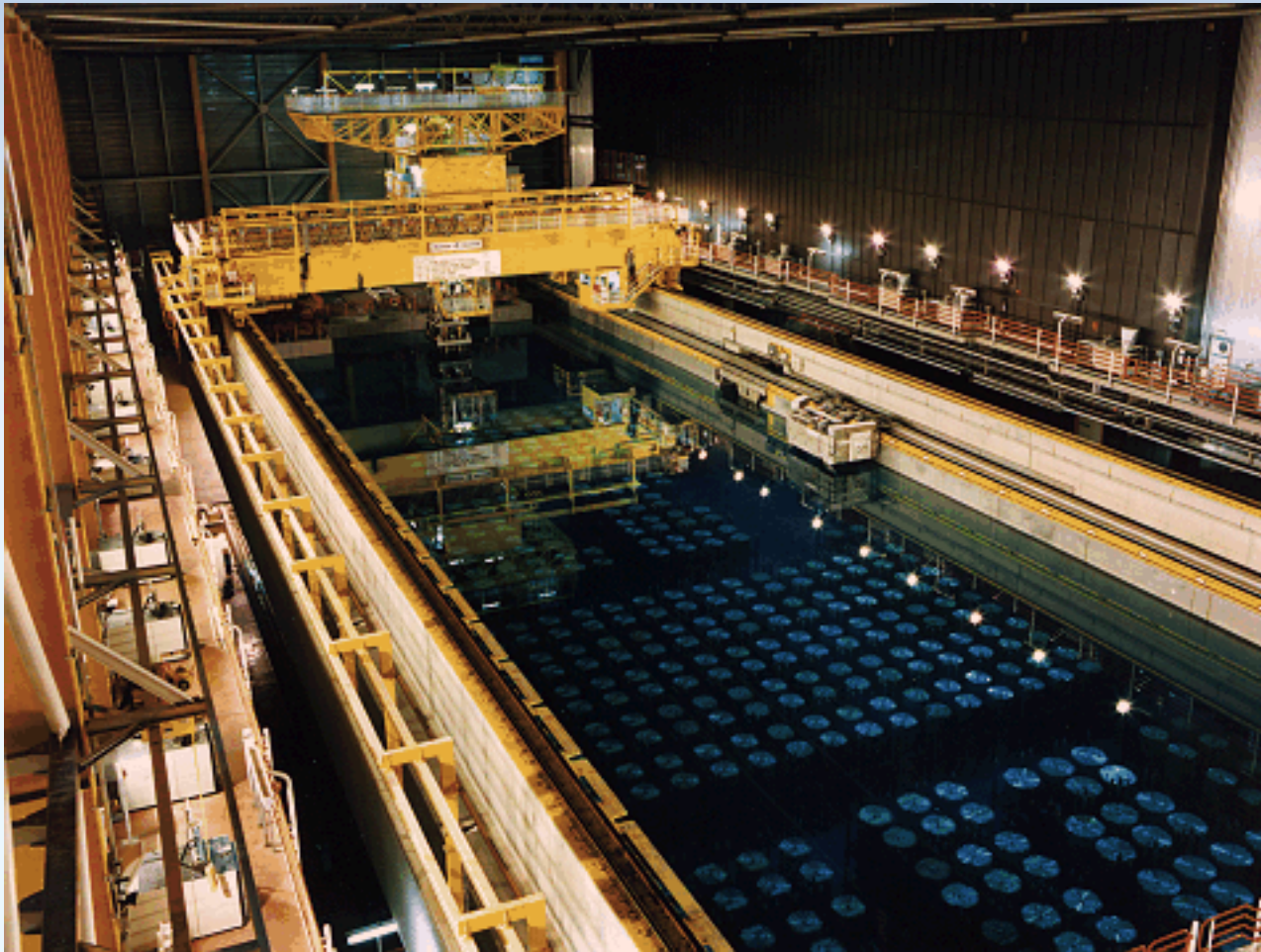
- natuurrampen
- veroudering (materialen en elektronica)
- ongelukken
- sabotage
- terrorisme
- menselijk falen
- economische factoren
- oorlogshandelingen

kerncentrale Sizewell B, UK



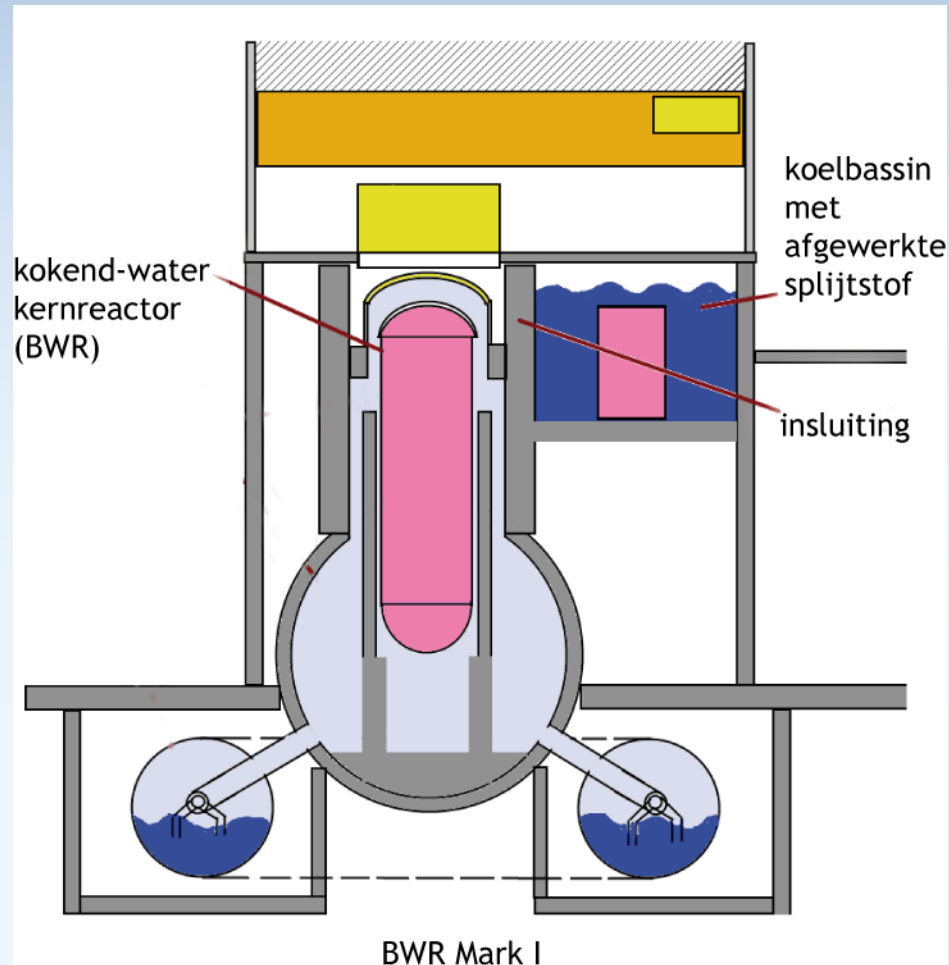


cooling pool THORP opwerkingsfabriek, UK





Reactor en cooling pool Fukushima





Explosie cooling pool reactor 3 Fukushima

14 maart 2011

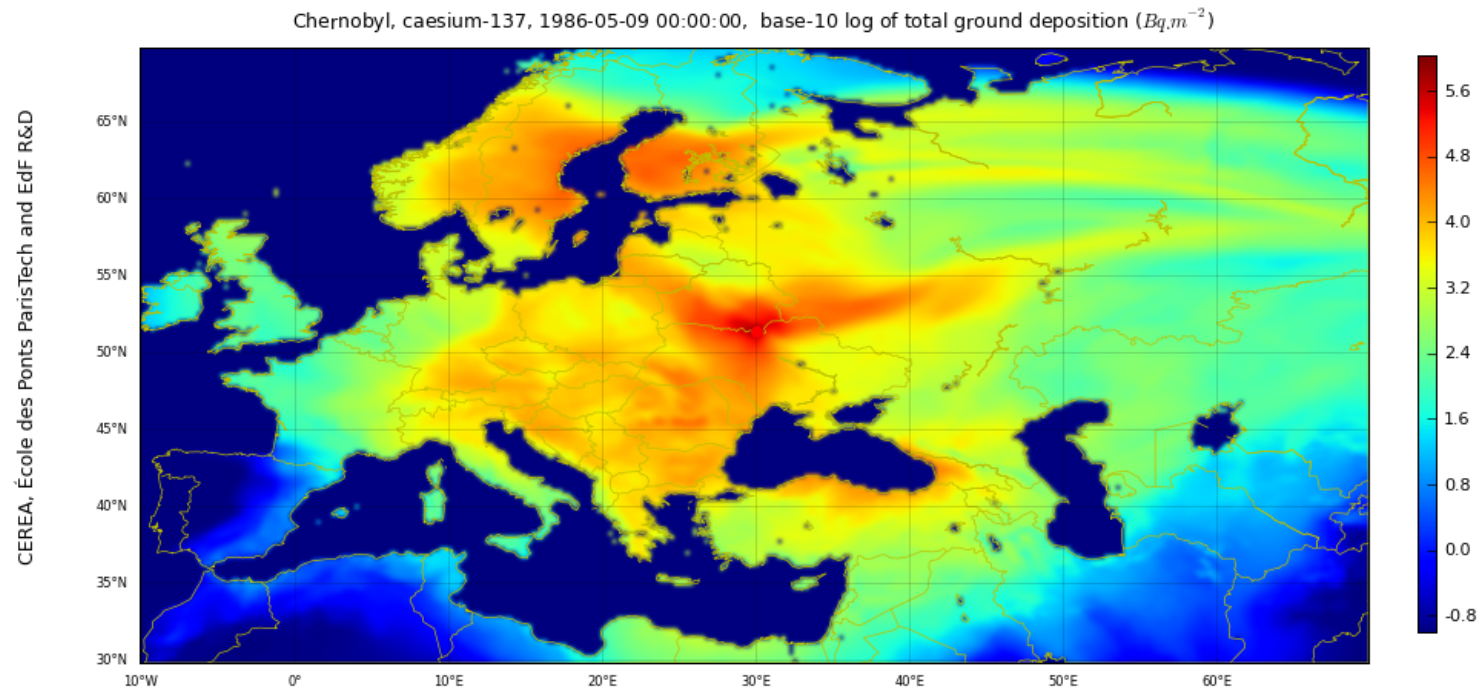


Uitbreiding van Cs-137 na de explosie van Tsjernobyl, 1986 (SCEAR 2012)

The map illustrates the distribution of Cs-137 across Europe following the Chernobyl disaster. The highest concentrations (red) are concentrated in Belarus and Ukraine, with the Chernobyl site marked by a yellow star. Other countries showing significant concentrations (orange and red) include Poland, Germany, and Scandinavia. The map also labels various countries and bodies of water, including the North Sea, Baltic Sea, Black Sea, and Mediterranean Sea.

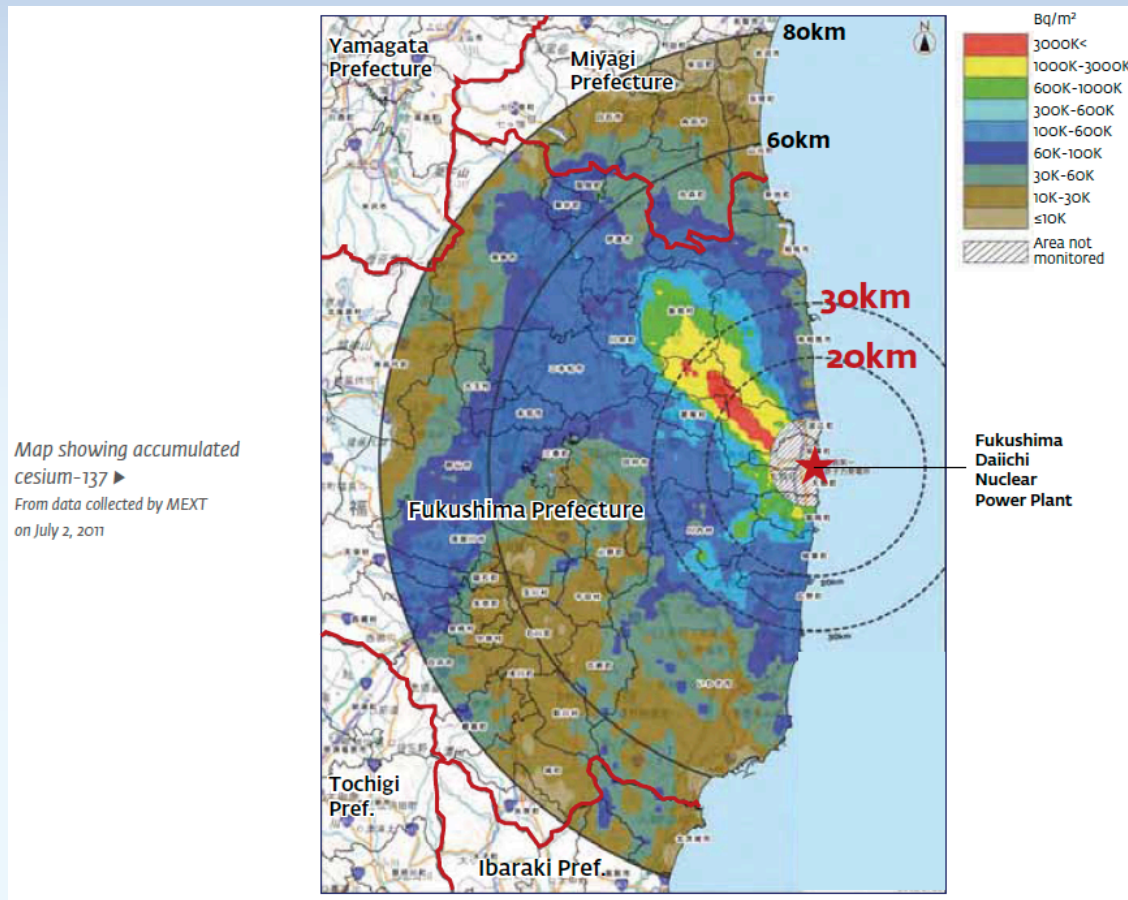


cumulatieve depositie Cs-137 na Tsernoby, 9 mei 1986 (CEREA 2012)



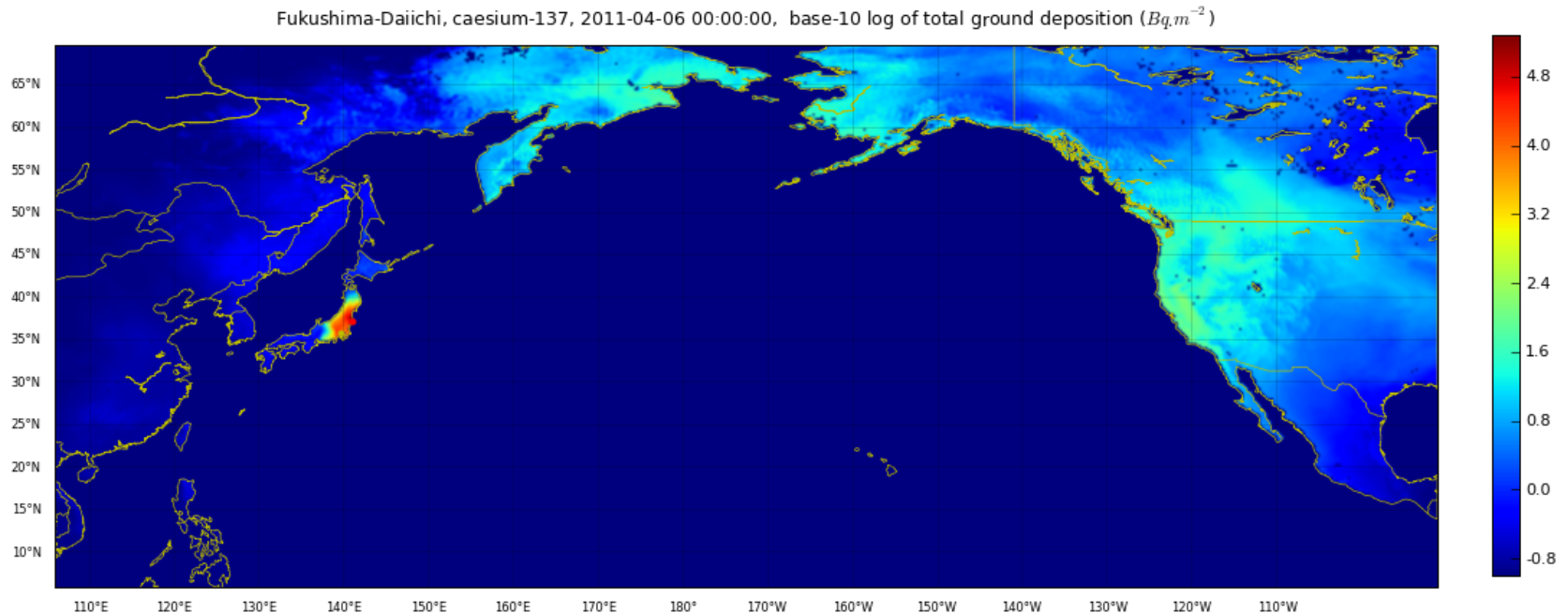


verspreiding Cs-137 bij Fukushima 2 juli 2011 (NAIIC 2012)





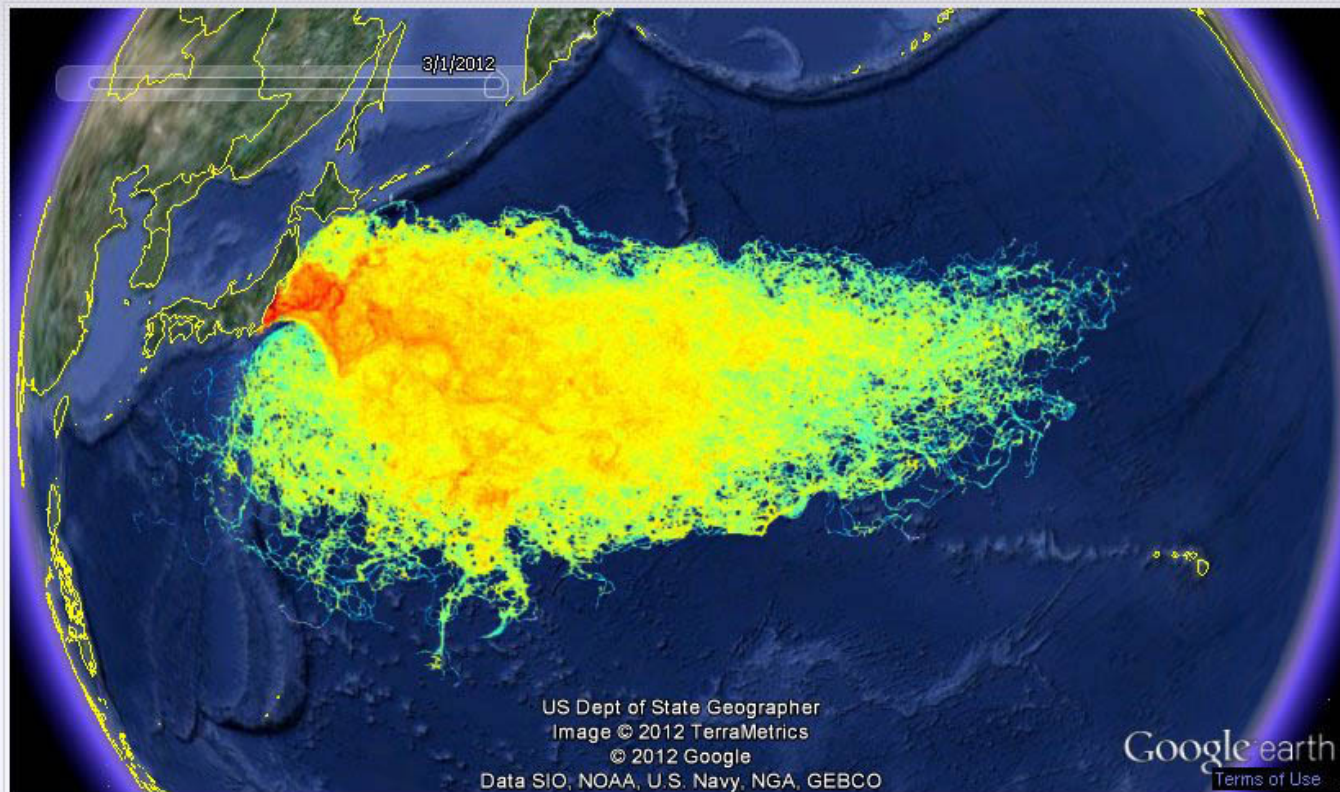
cumulatieve depositie cesium-137 (Cs-137) na Fukushima 6 april 2011 (CEREA 2012)





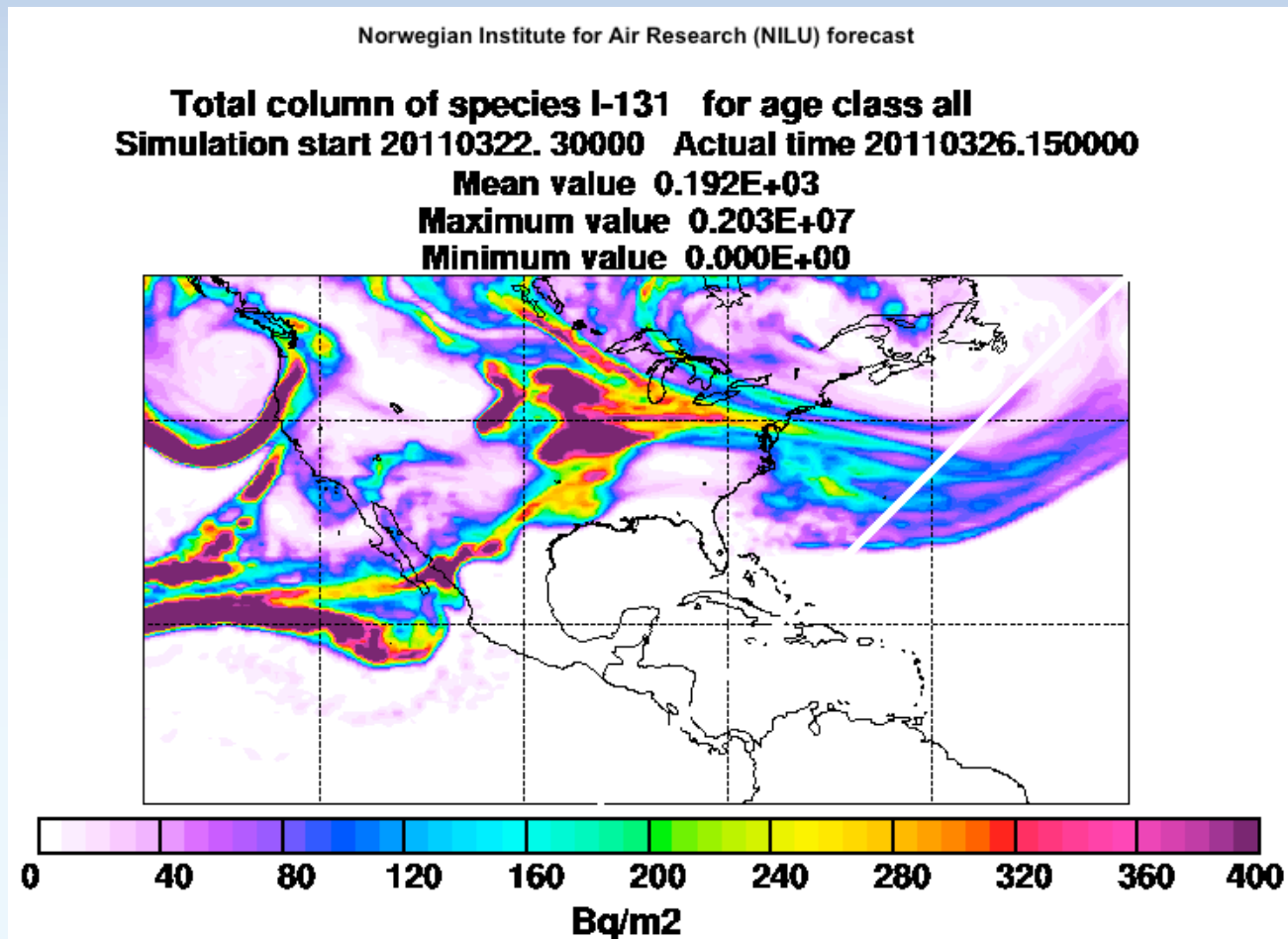
radioactiviteit zeewater na Fukushima maart 2012 (US Department of State)

Radioactive Seawater Impact Map (update: March 2012)



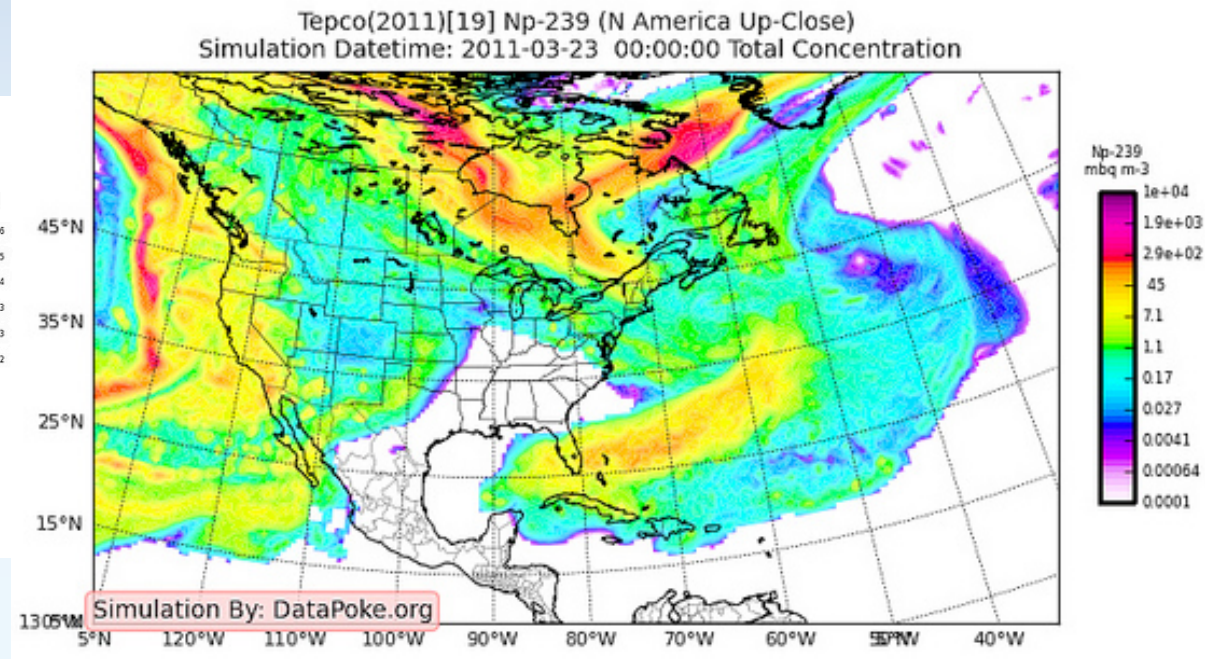
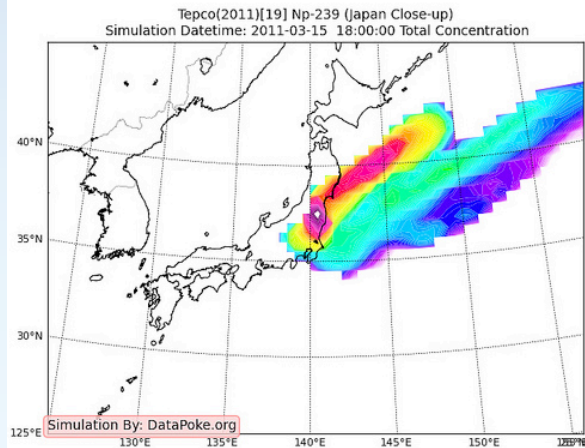


verspreiding van jodium-131 (I-131) na Fukushima 26 maart 2011 (NILU 2011)





verspreiding neptunium-239 (Np-239) tijdens 1e
100 uur na Fukushima (DataPoke 2011)
aerosol: niet-vluchtige verbindingen, $T_{1/2} = 2,35$ dag





Getroffenen Tsjernobyl (IPPNW 2011)

- liquidators: 830 000 (> 125 000 overleden)
- evacuees: 350 000
- bevolking ernstig besmette gebieden:
8,3 miljoen
- bevolking Europese besmette gebieden:
600 miljoen
- sterfgevallen 935 000 wereldwijd
(Yablokov et al 2010, NAS (USA) publicatie)



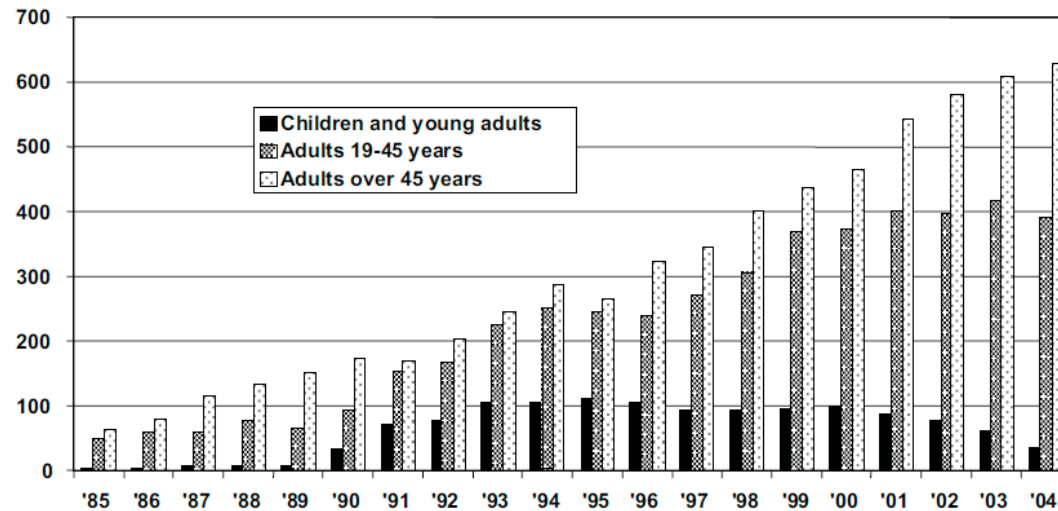
Gezondheidseffecten Tsjernobyl (IPPNW 2011)

- kanker: schildklier, borst, hersenen, andere
- leukemie
- aangeboren misvormingen
- erfelijke afwijkingen
- non-targeted effects, genomic instability
- niet-carcinomateuze aandoeningen
- stillbirths, miskramen, onvruchtbaarheid
- snelle veroudering



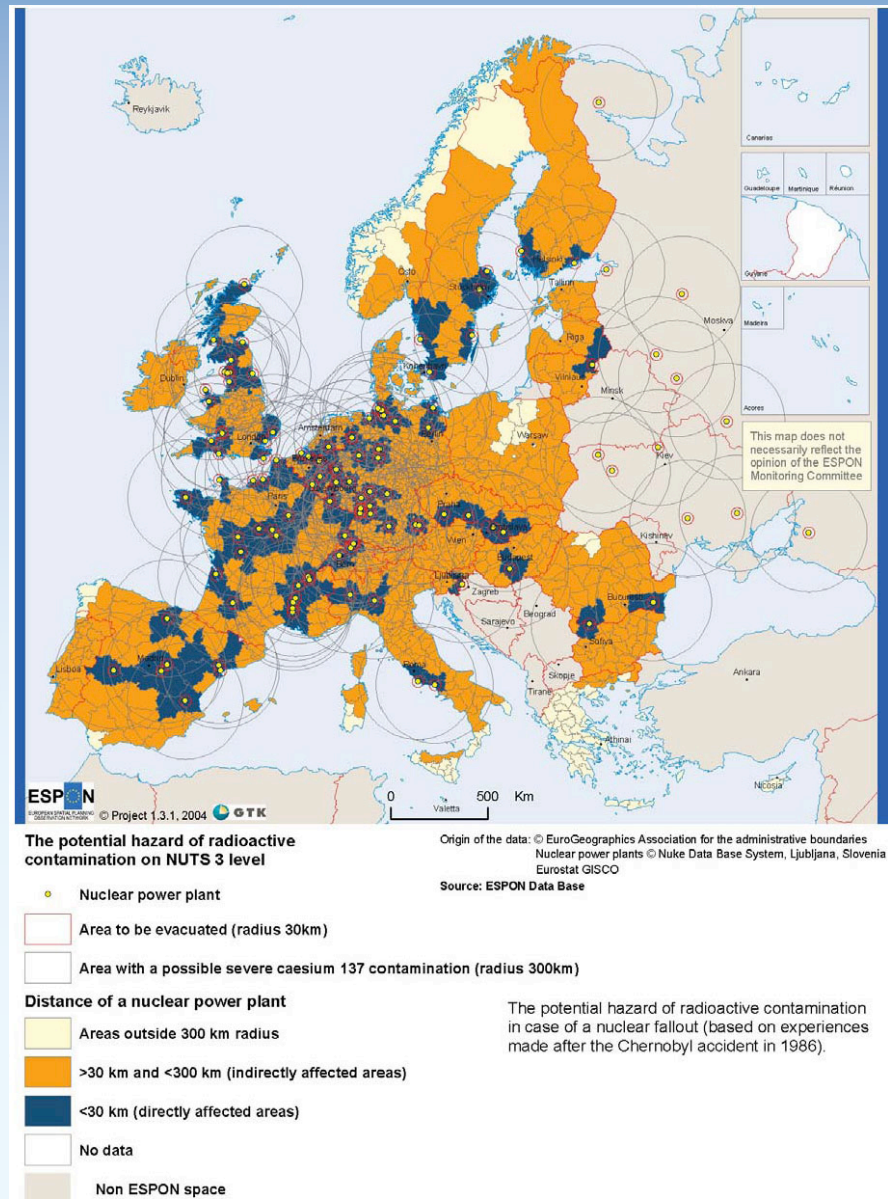
Incidentie van schildklierkanker in Belarus

Fig. Incidence of thyroid cancer in Belarus 1985-2004¹⁵⁸



Nucleaire gezondheidsrisico's in vredetijd

30 km + 300 km zones
Europese kerncentrales





6

Risicofactoren

- smalle marges: kleine oorzaken, grote gevolgen
- extreem lange looptijden (>100 jaar)
- transport
- proliferatie
- politieke instabiliteit
- meten en modellen: onzekerheden
- menselijke factor
- geheimhouding en belangenverstrengeling
- economische druk
- degradatie materialen en structuren (2e Hwet)



Onzekerheden 1

- schattingen dosis en risico
op grond van modellen,
niet op grond van empirie
- cumulatie van onzekerheden door stapeling
van 4 of meer modellen
- ondoorzichtig voor wetenschappers
- basis 1940s en 1950s
- inbouw van arbitraire aannamen
- alleen uitwendige bestraling in model
(x-ray en gamma)



Onzekerheden 2

Beperkingen modellen

- inherent: vereenvoudigde voorstelling
- keuze invoergegevens
- alleen geldig binnen systeemgrenzen

Empirische gegevens

- zeer schaars
- financiële en politieke belangen



Onzekerheden 3

- Aantal radionucliden moeilijk te detecteren
 - tritium
 - koolstof-14
 - jodium-129
 - aantal alfa-stralers, o.a. plutonium
- Inwendige of uitwendige besmetting?



De menselijke factor

- fouten bij onderhoud en bedrijfsvoering
- gebrekkige opleiding personeel
- onvoldoende controle uit financiële overwegingen
- onder de pet houden



Economische druk

=> verhoging gezondheidsrisico's

- versoepeling normen
 - radioactieve lozingen
 - vrijgeven radioactief materiaal in publiek domein, 'recyclen'
- vermindering (dure) controles
 - onveilige situaties onveiliger
 - meer illegale handel en criminaliteit
- keuze voor 'economisch haalbare' oplossingen



Toename van de risico's met de tijd

- toename hoeveelheid radioactief materiaal
- toename aantal voorlopige opslagplaatsen
- onvermijdelijke fysisch-chemische achteruitgang
insluiting (containment): Tweede Hoofdwet
- toenemende economische druk



7

Geheimhouding en eenzijdige voorlichting

- complexiteit systeem: ondoorzichtig
- bedrijfs- en militaire belangen
- monopolieposities
- belangenverstrengeling:
 - IAEA, WNA, NEI, NEA, Areva, EdF
- WHO afhankelijk van IAEA op nucleair gebied
- sterke connecties IAEA met UNSCEAR en ICRP



IAEA

International Atomic Energy Agency, 1954, rapporteert direct aan General Assembly en Security Council UN, de 'nucleaire waakhond',

is wetenschappelijk niet onafhankelijk:

- mission statement: bevorderen van kernenergie
- behartigen belangen lidstaten
- rapporten en documenten moeten worden goedgekeurd door alle lidstaten



IAEA/WHO rapportage gevolgen Tsjernobyl: (Chernobyl Forum 2005)

- bedenkelijke methode:
 - waarnemingen strijdig met de modellen zijn onjuist,
omdat ze strijdig zijn met de modellen
 - negeren van gegevens die niet passen in paradigma
 - theorie postuleren zonder empirische onderbouwing
 - geen falsifiering van concurrerende theoriën
die waarnemingen ook kunnen verklaren
- 'onwetenschappelijk en onbetrouwbaar' (IPPNW)



Systematisch bagatelliseren van gezondheidsschade door radioactiviteit

- grootste gevaar: radiophobie
 'victim' in plaats van 'survivor'
- alleen directe doden (ARS) genoemd
- niet-carcinomateuze aandoeningen niet erkend als mogelijke gevolgen van radioactiviteit
- geloof in modellen



Dilemma voor beleidsmakers bij nucleaire ramp

- wat maken we niet bekend?
 - voorkomen van paniek bevolking
 - financiële schade
- wat maken we wel bekend?
 - snelle hulp mogelijk
 - wat zijn de fysieke mogelijkheden hulpdiensten?
 - hoe betrouwbaar zijn de meldingen?



Nucleaire gezondheidsrisico's in feite een economisch bepaalde notie

Wat zijn we bereid te betalen voor de gezondheid van onszelf,
onze kinderen, kleinkinderen en hun nakomelingen?

Om welke reden denken we dat civiele kernenergie (2% van
de wereld-energievoorziening) onmisbaar is?