



CEEDATA energy analysis

Kernenergie – de lange termijn

WISE masterclass, Amsterdam, 2 september 2009

J.W. Storm van Leeuwen

storm@ceedata.nl

www.stormsmith.nl



Vraagstelling

Welke rol kan kernenergie spelen in de klimaatbeheersing en energievoorziening?



Perspectief

mondiale en lange-termijn problematiek:

- Klimaat
- Energievoorziening
- Geopolitieke stabiliteit

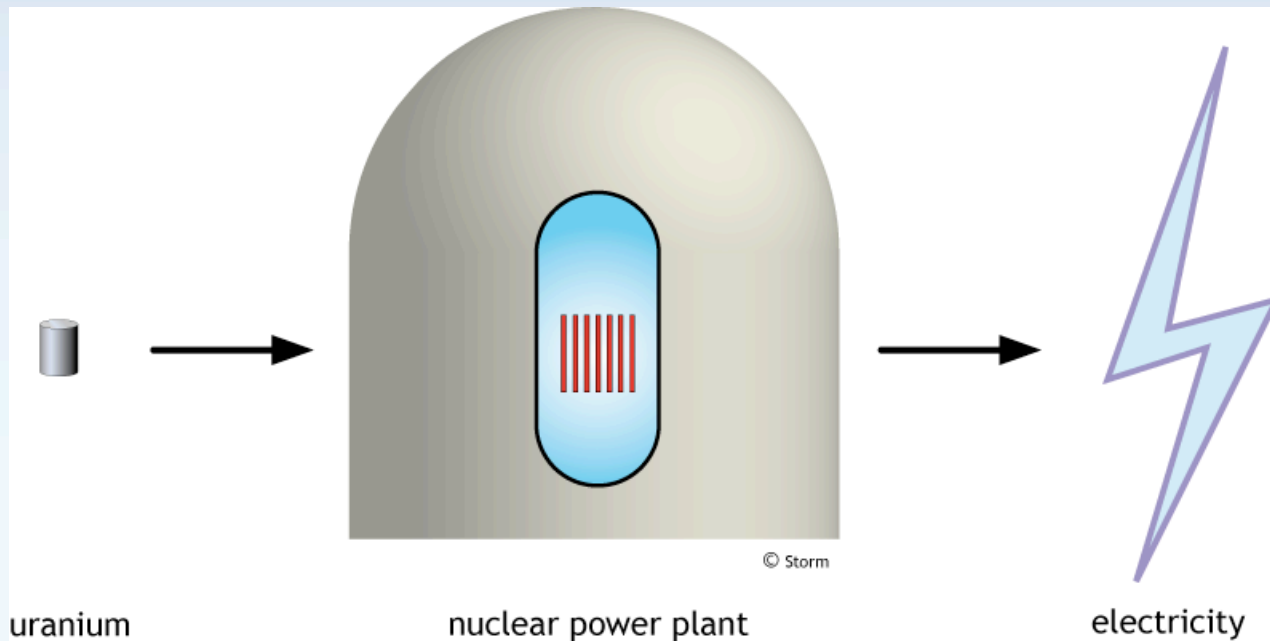


Een verleidelijk beeld.
Is dit het hele plaatje?



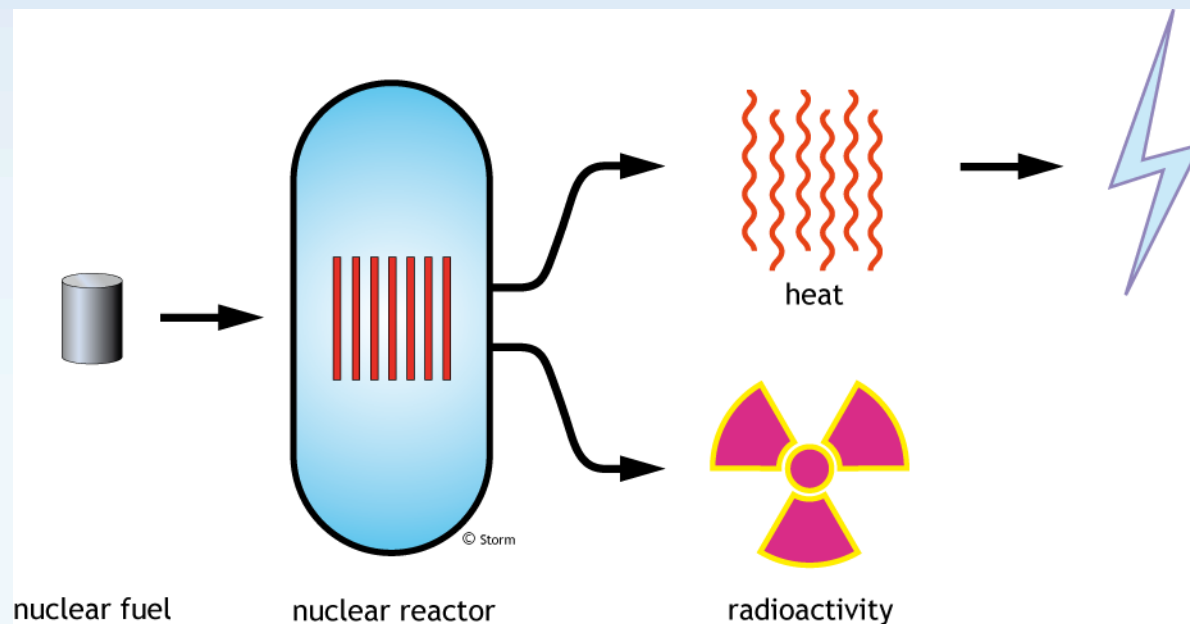


Een simpel beeld van kernenergie



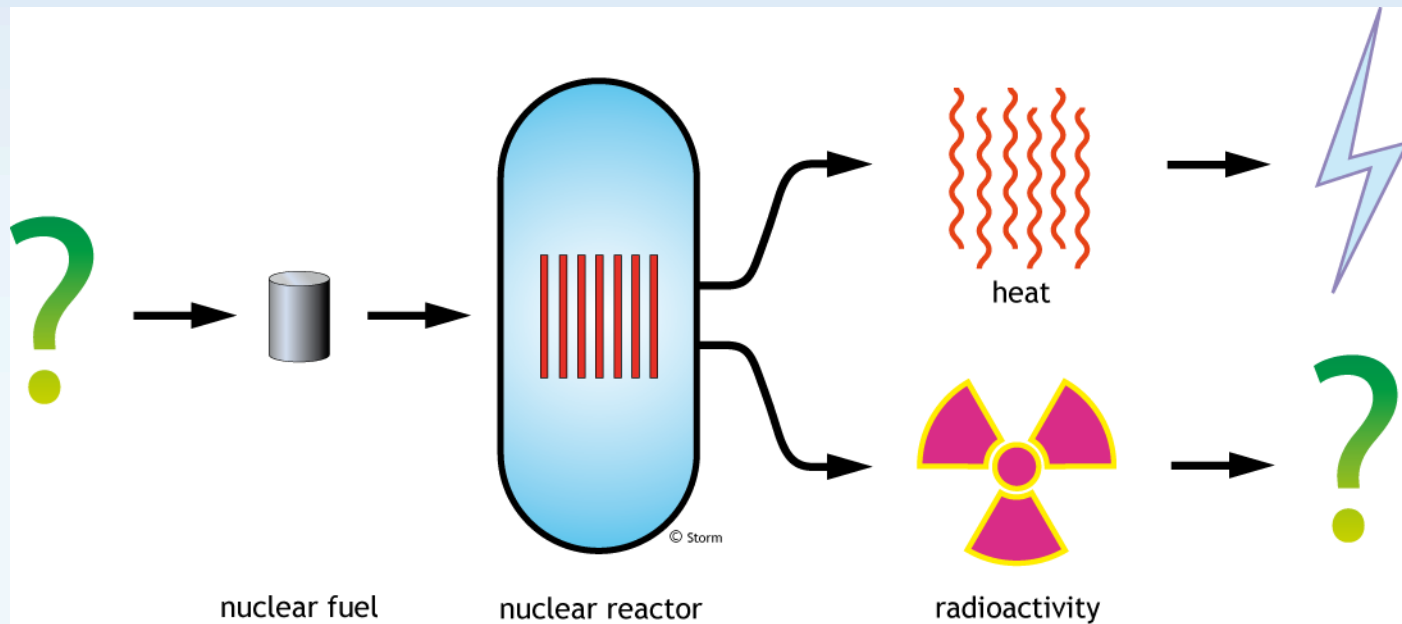


Een kernreactor genereert tegelijkertijd
warmte en **radioactiviteit**
onverbrekkelijk en onomkeerbaar



Twee sleutelvragen:

- 1 Waar komt de splijtstof vandaan?
- 2 Wat gebeurt er met de radioactiviteit?





1

Van erts tot electriciteit:
de upstream processen

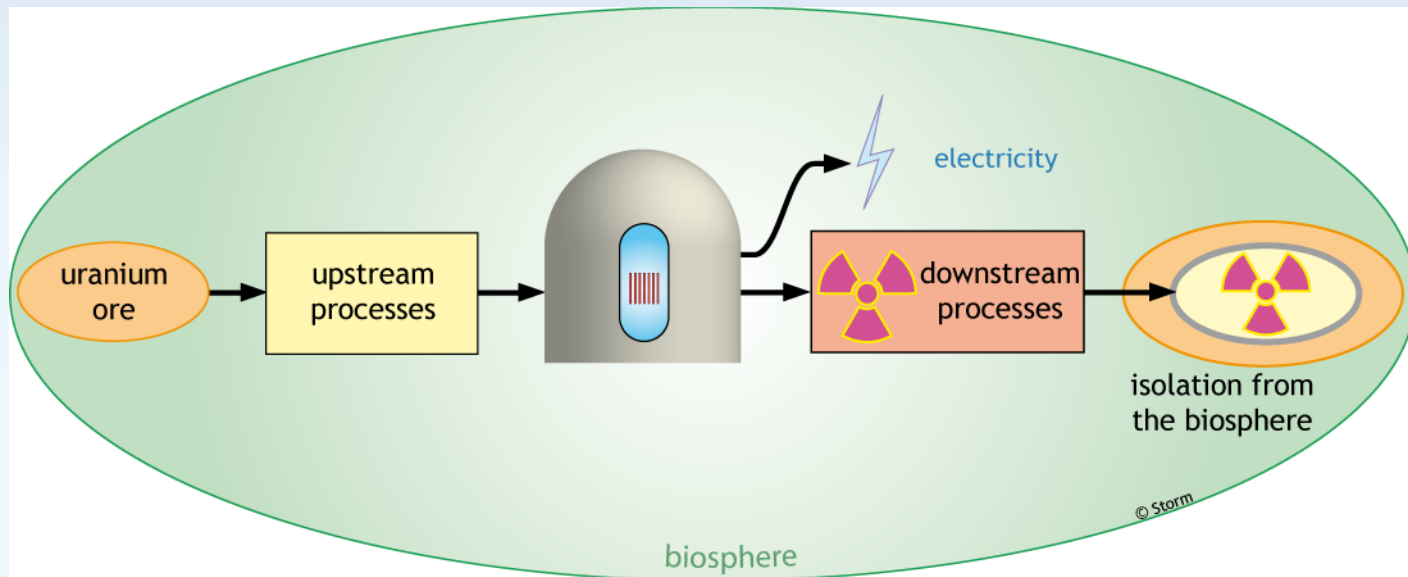


2

Omgaan met radioactiviteit:
de downstream processen



Minder simpel beeld van kernenergie





Kernenergie – de lange termijn cruciale kwesties:



kwestie 1 uranium

Hoe zit het met de uraniumvoorziening?



kwestie 2 radioactiviteit

Hoe gaan wij daarmee om?



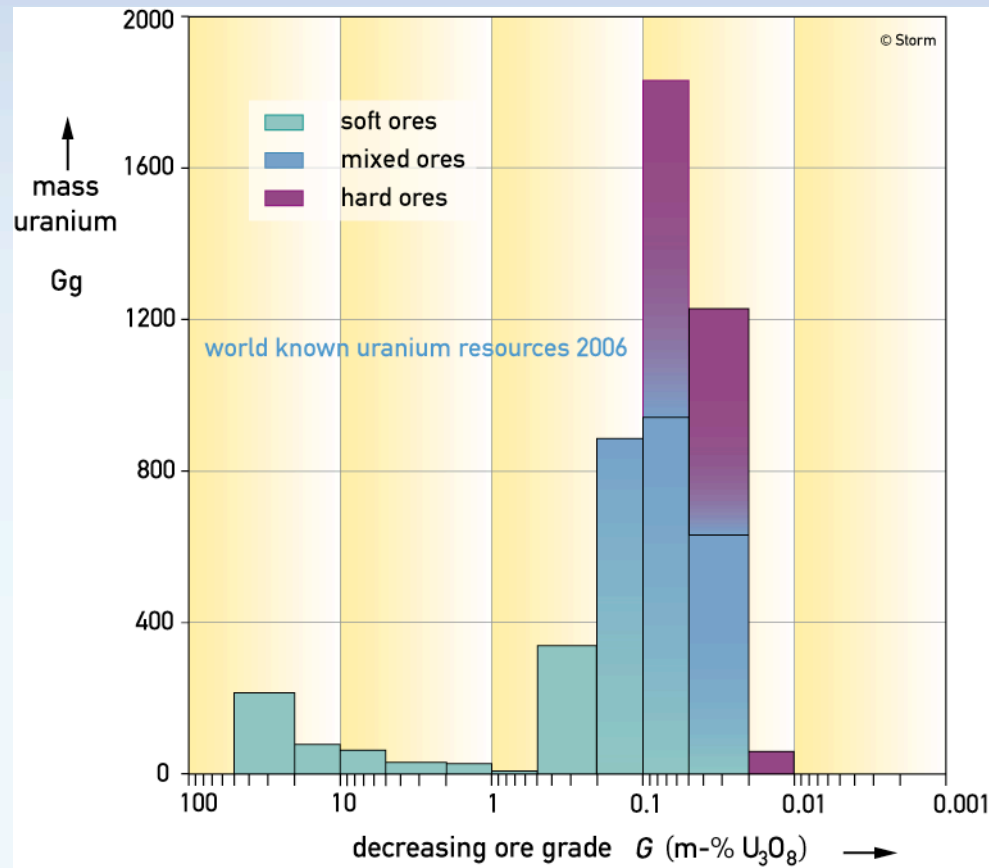
Kwestie 1

Uranium

- uraniumertsen
- verdunningsfactor
- steenkool equivalentie
- extractierendement
- energie-kwaliteit ertsen
- energieklijf
- CO₂-fuik

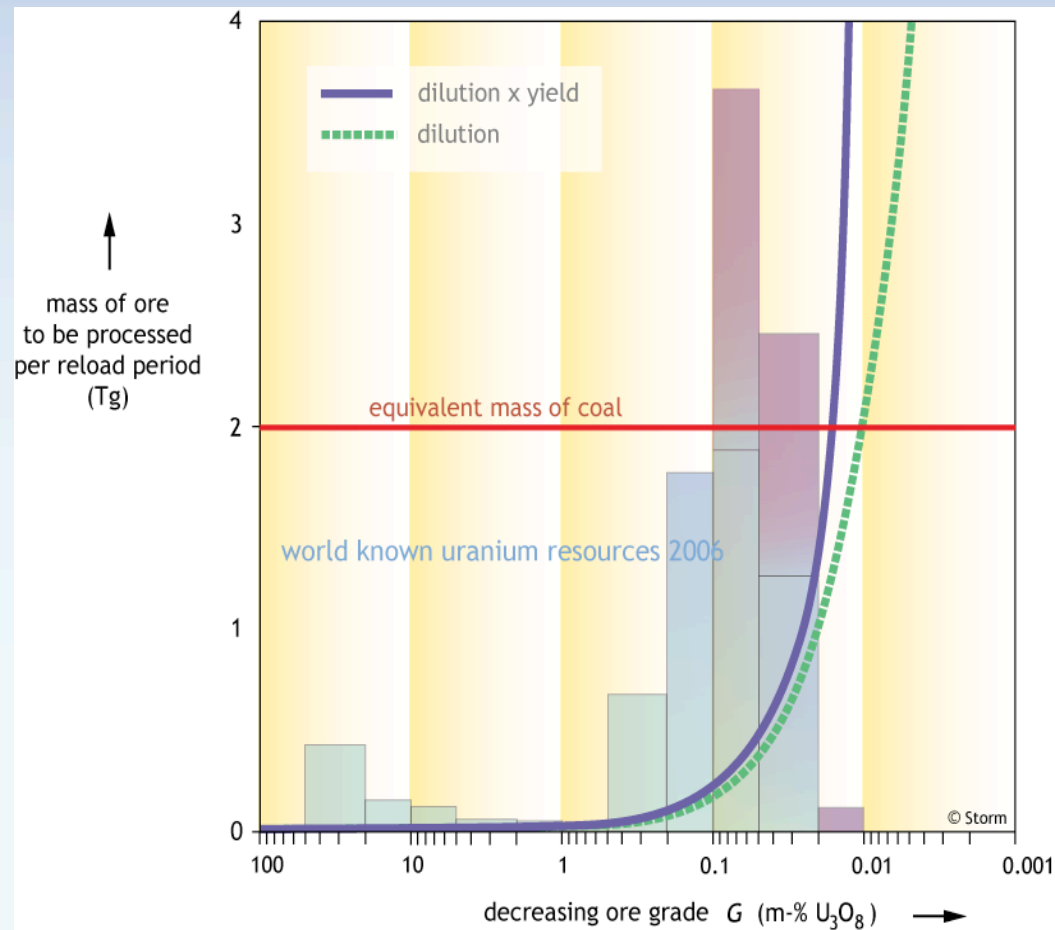


Uraniumreserves en ertsgehalte



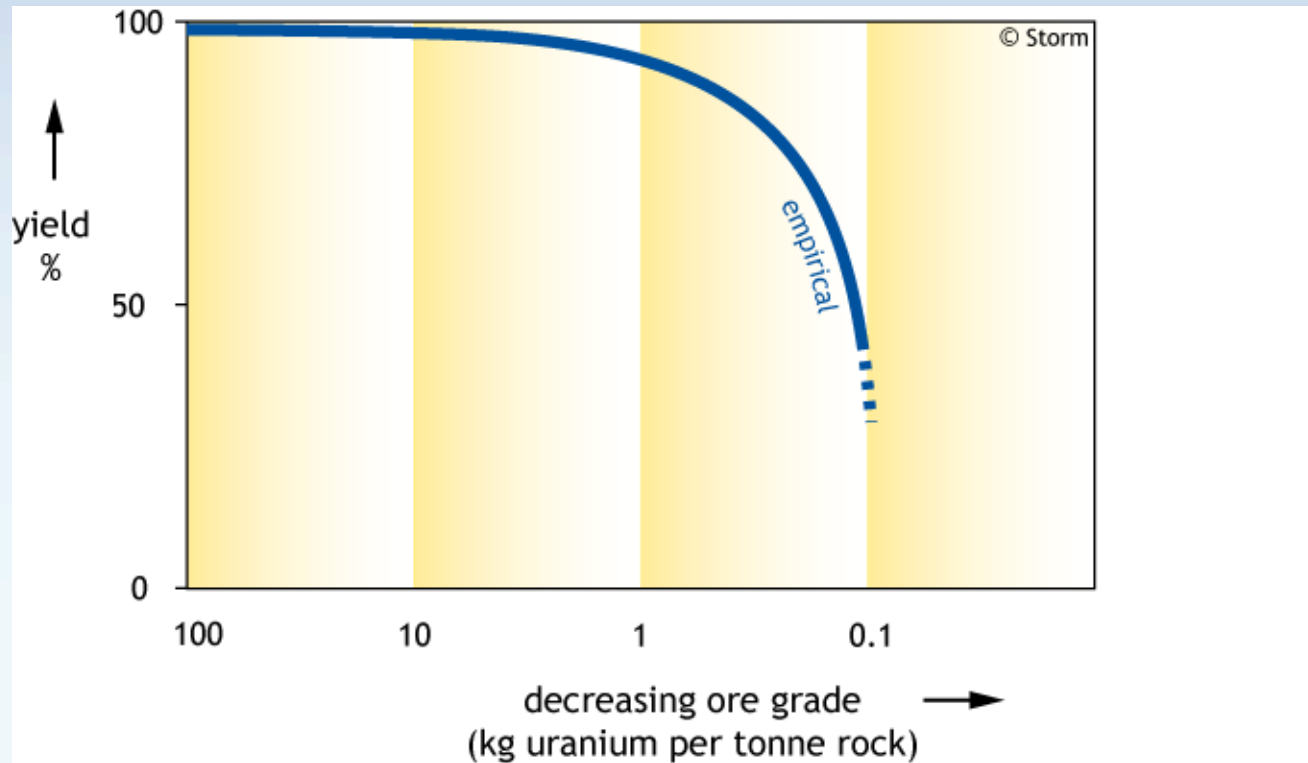


Uraniumwinning: verdunningsfactor



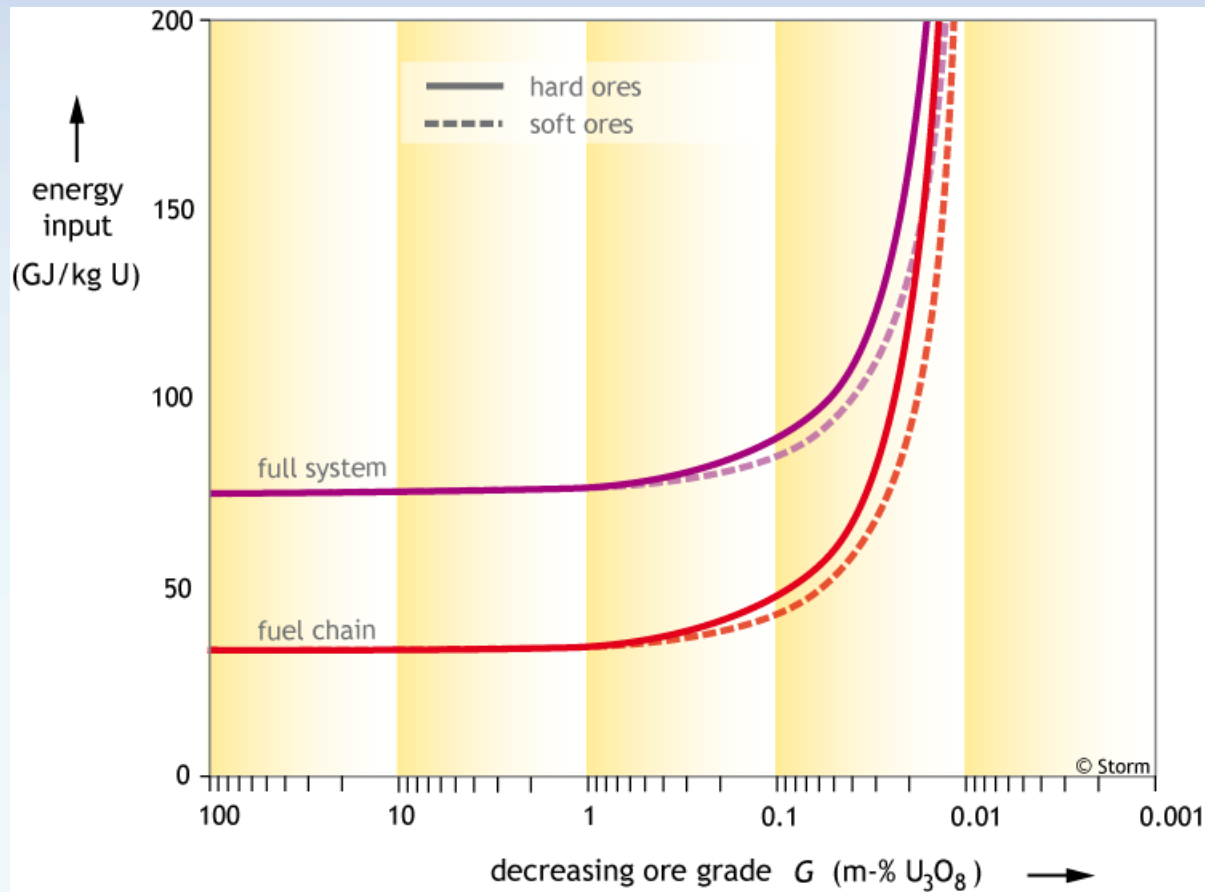


Uraniumwinning: extractierendement

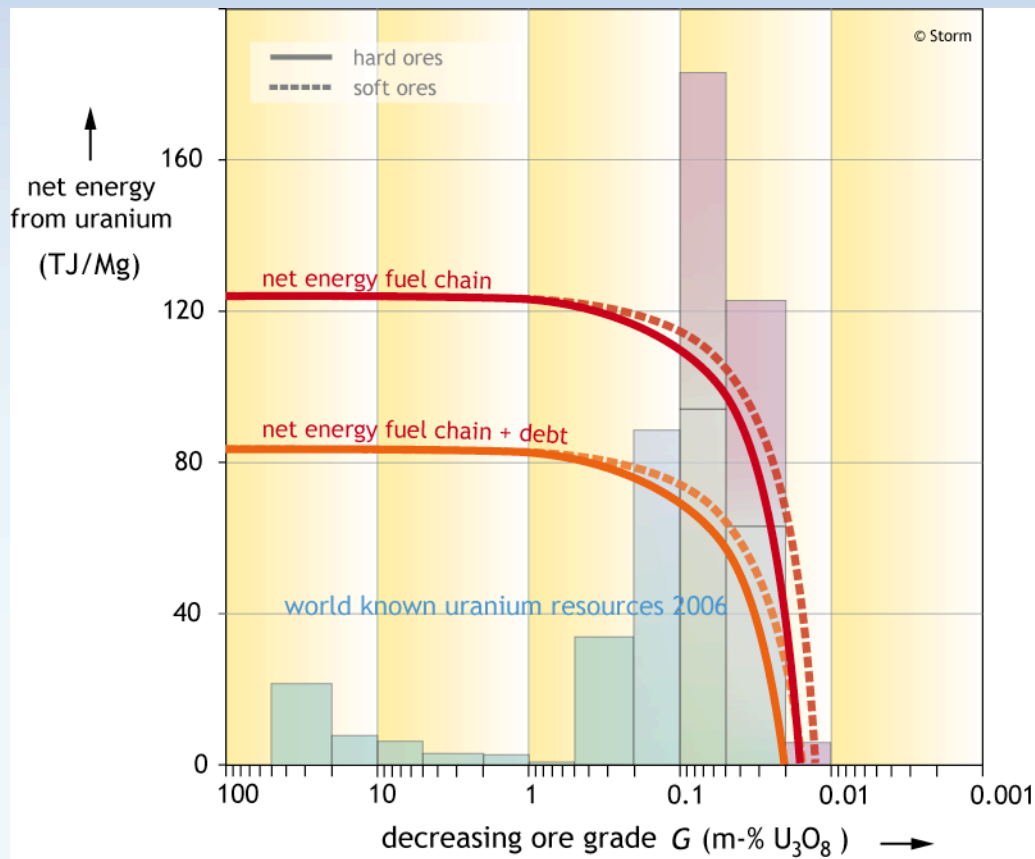




Energieverbruik nucleaire procesketen per kg uranium

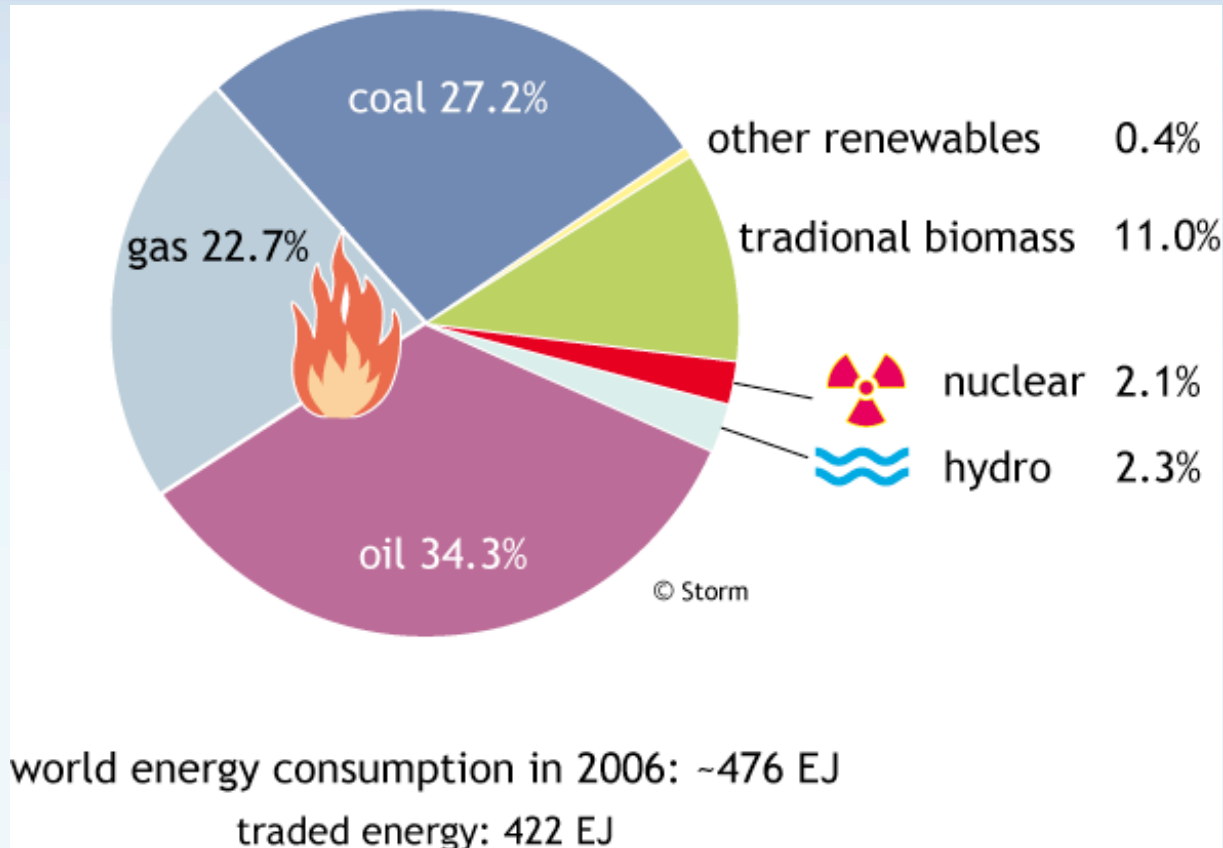


Uraniumreserves en energieklijf





Nucleaire bijdrage wereldenergie in 2006





Scenario 1

Mondiale nucleaire capaciteit constant (370 GWe)

Nucleair aandeel (2% in 2008) daalt $<1\%$ in 2050

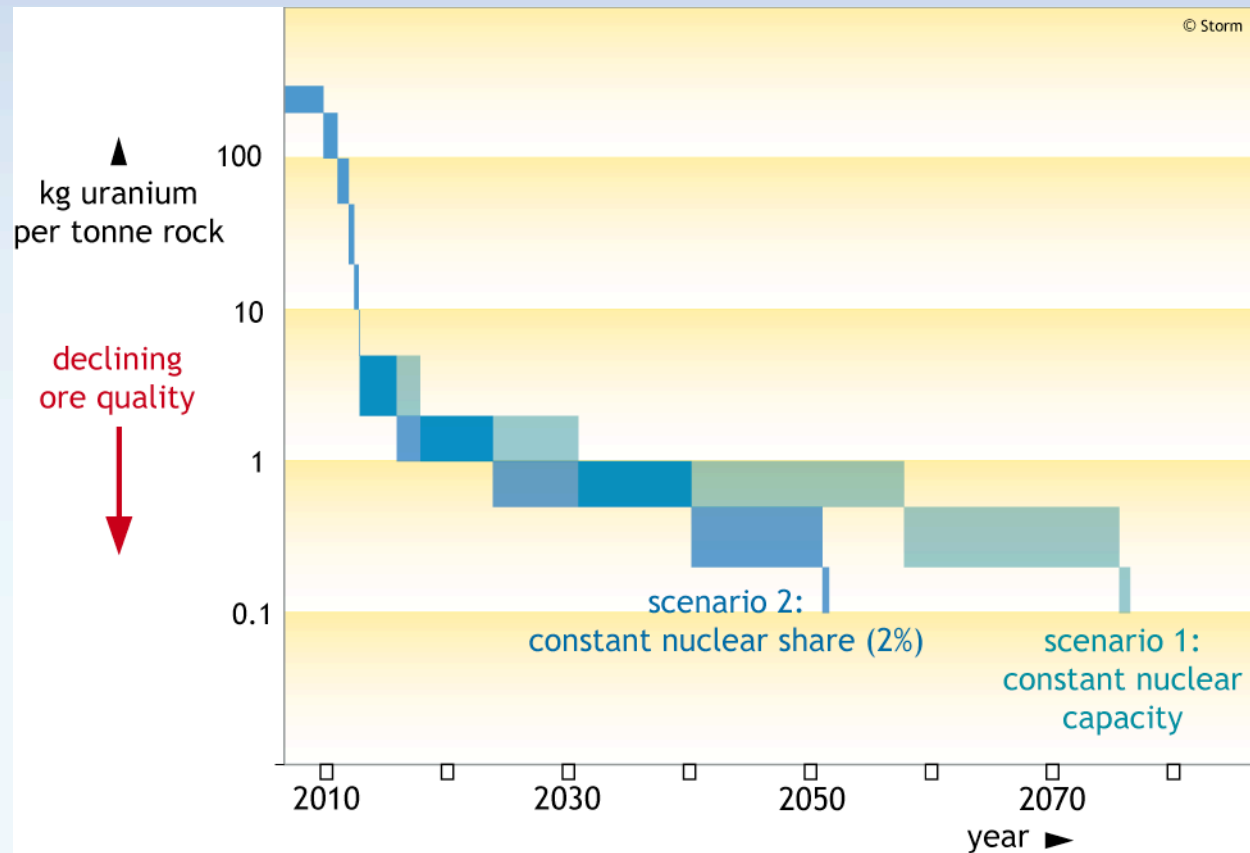
Scenario 2

Nucleair aandeel constant 2%

Mondiale nucleaire capaciteit groeit 800-1500 GWe

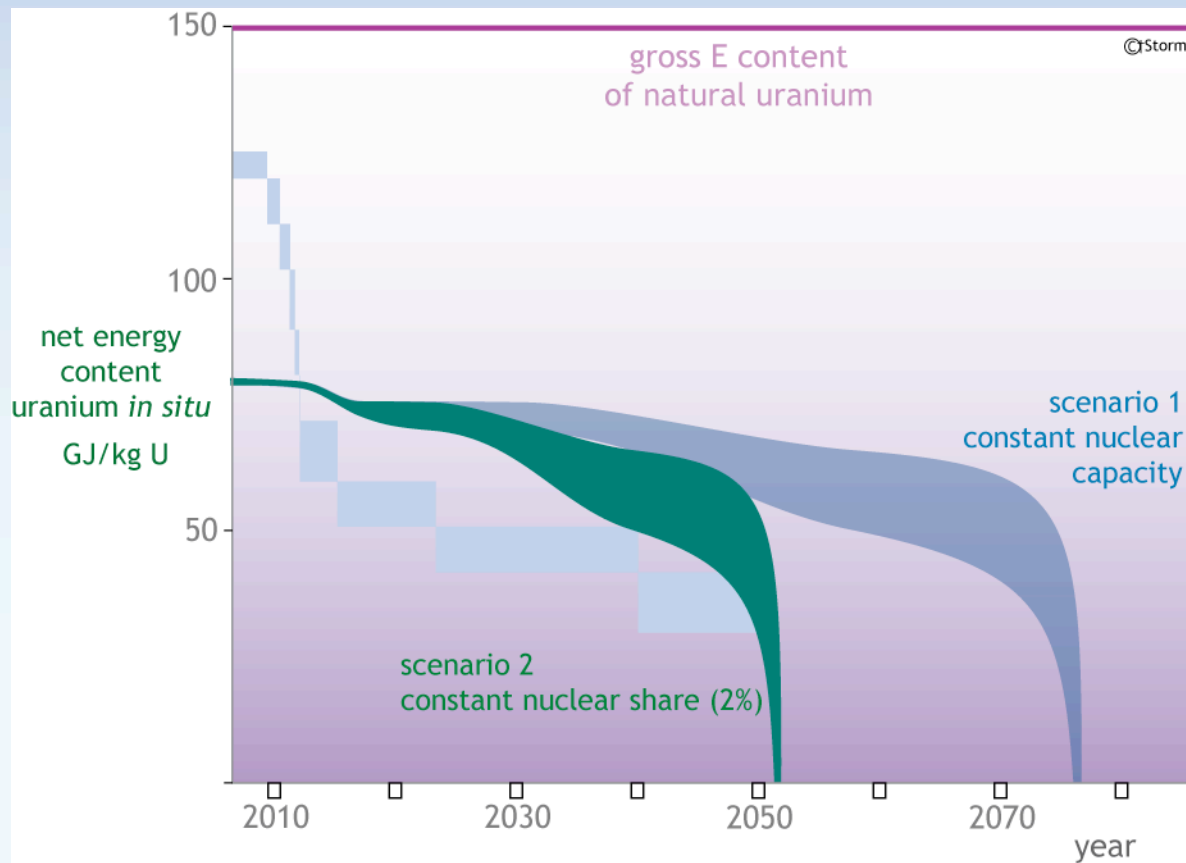


Uitputting van de bekende uranium resources





Energieklif met de tijd



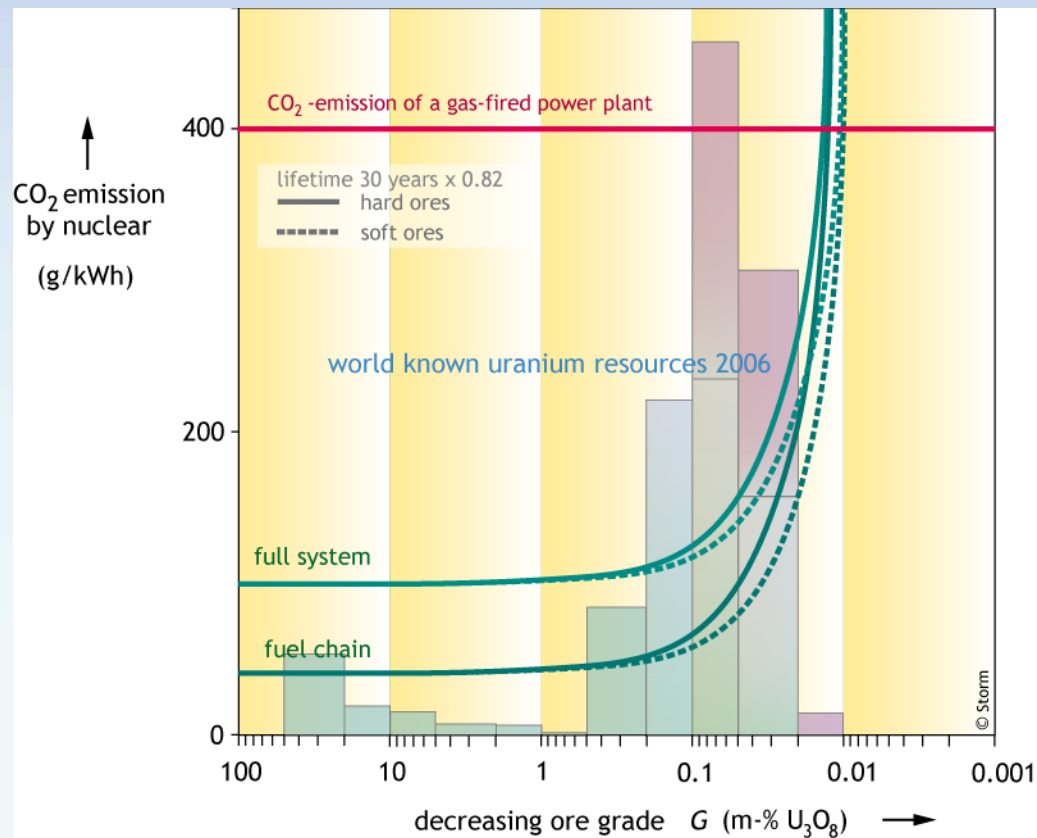


Kernenergie en klimaat

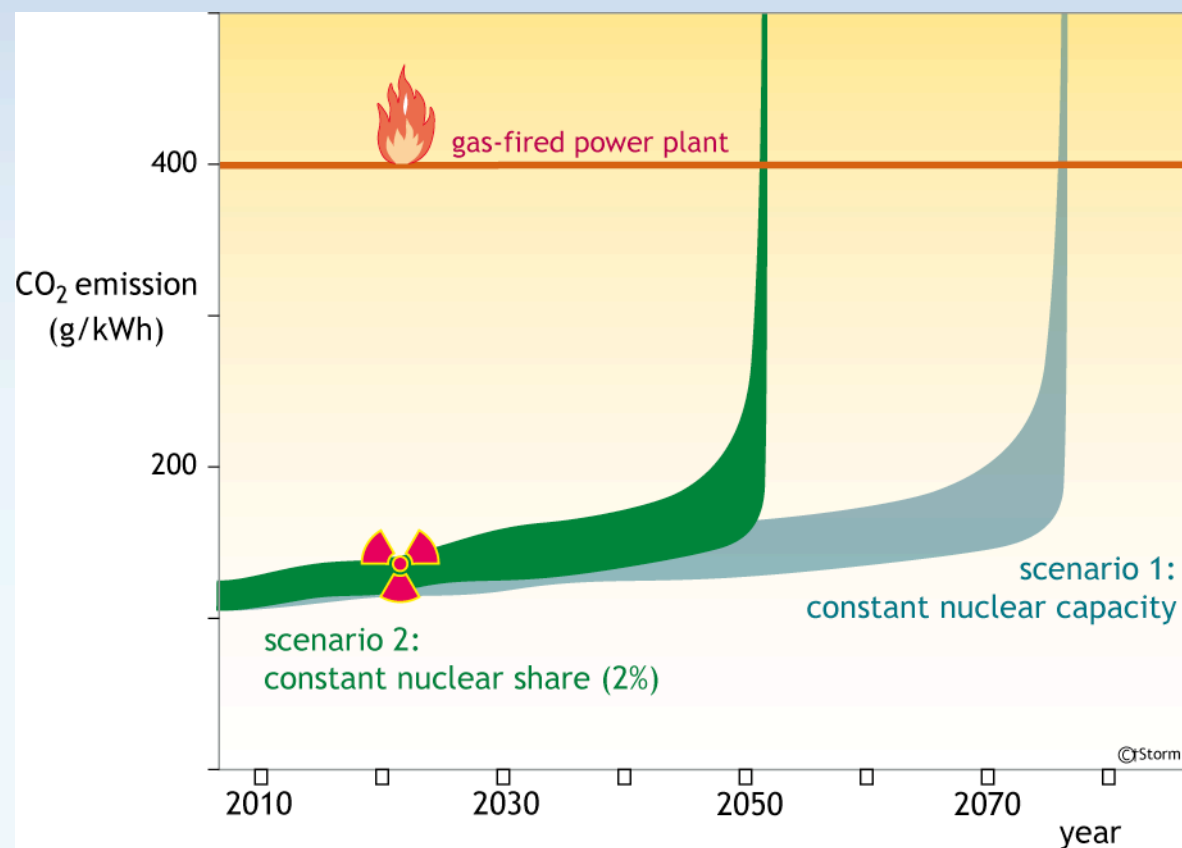
- deze studie alleen CO₂ emissie onderzocht
- huidige emissie 85-130 gram CO₂/kWh
- neemt toe in de tijd door armer U erts
- emissie andere broeikasgassen niet bekend, wel waarschijnlijk
- 'geen gegevens' is *niet hetzelfde* als 'geen emissie'



Nucleaire CO₂ emissie en ertsgehalte



De CO₂ fuik: nucleaire emissie met de tijd





Uranium resources: economisch gezichtspunt

- criterium: uraniumprijs
- hogere U prijs >
 meer exploratie >
 meer ontdekkingen >
 grotere U resources
- uraniumprijs nauwelijks invloed op stroomprijs
- *ergo*: U resources praktisch onuitputtelijk



Uranium resources: energetisch gezichtspunt

- criterium: extractie-energie
- niet U prijs, maar erts kwaliteit bepalend
- voorbij energieklimaat:
kernenergie = netto energieverbruiker
- *ergo*:
netto energie-inhoud van wereld uranium
resources beperkt



Kweekreactoren?

- Al 50 jaar lang een technische belofte
(kosten: \$100 miljard)
- Blijft een belofte komende 50 jaar



Vooruitzichten uraniumvoorziening 1

- ertsen van hoogste energiekwaliteit worden het eerst gemijnd: hoogste return on investment
- gemakkelijk te ontdekken en te bereiken ertsvoorkomens al 20 jaar bekend



Vooruitzichten uraniumvoorziening 2

gemiddelde energiekwaliteit ontgonnen U
voorkomens daalt:

- afnemend ertsgehalte
- toenemende diepte
- moeilijker te ontsluiten mineralen



Vooruitzichten uraniumvoorziening 3

- recente toename U reserves Red Book door economische opwaardering van reeds bekende ertsafzettingen
- toegevoegde reserves van lage E kwaliteit
- huidige mijnbouw dekt ~60% vraag
- ~40% uit militaire voorraden,
na 2013 uitgeput



Vooruitzichten uraniumvoorziening 4

kans op ontdekking nieuwe U voorkomens
groter naarmate:

- lager uranium gehalte
- kleiner ertslichaam
- grotere diepte
- moeilijker toegankelijk

⇒ kans groter naarmate lagere
energiekwaliteit



Vooruitzichten uraniumvoorziening 5

- geen signalen uit U industrie bekend over mogelijke nieuwe U voorkomens van hoge E-kwaliteit
- kans op ontdekking nieuwe hoge E-kwaliteit U voorkomens onbekend



Kwestie 2

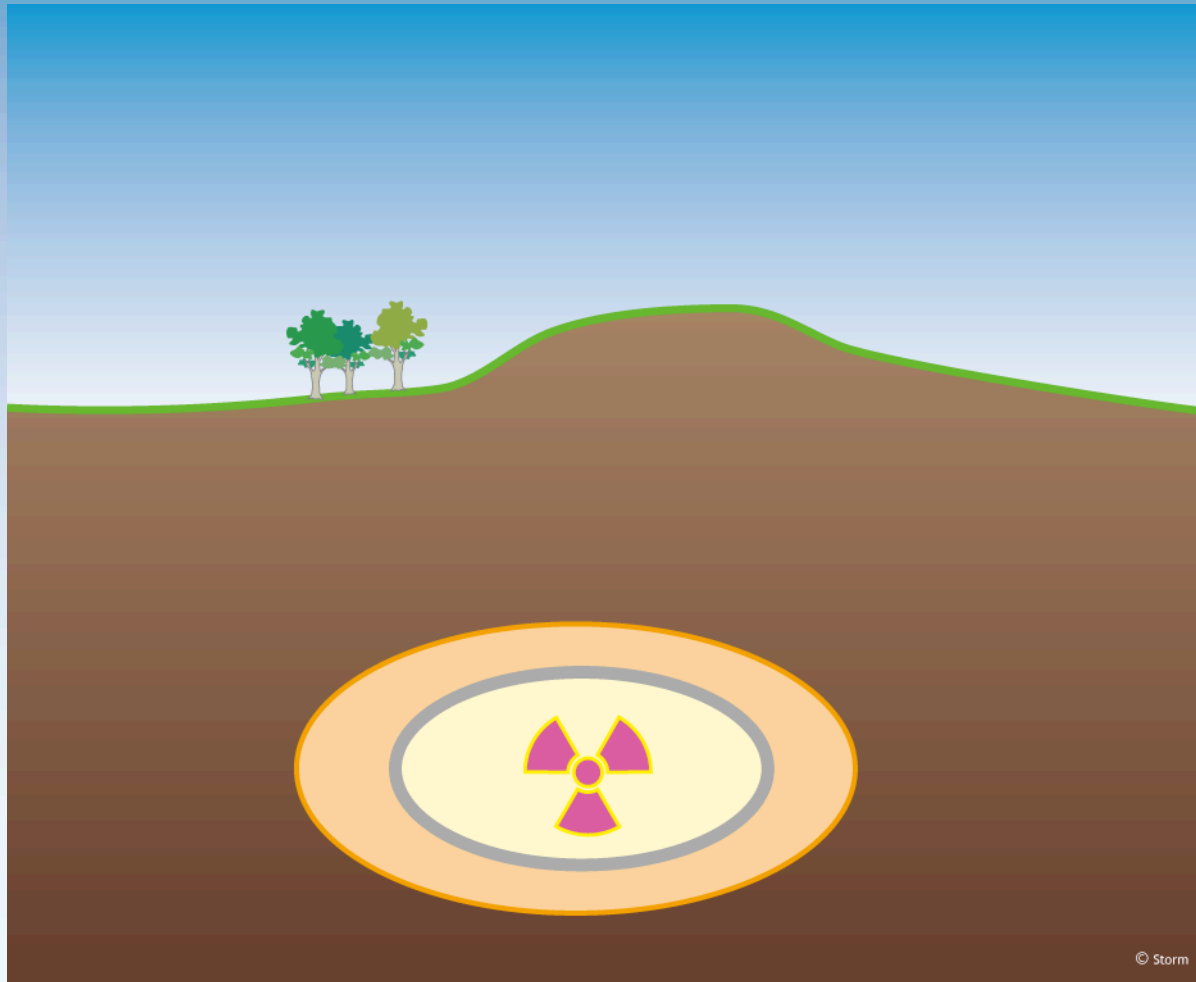
Radioactiviteit

- kernbom equivalenten
- isolatie
- energie op de pof
- paradigma barrière
- wet van de chaos
- verspreiding van radioactiviteit



Eén reactor (1GWe) genereert elk jaar een hoeveelheid radioactiviteit gelijk aan 1000 kernsplitsingsbommen (15 kt)

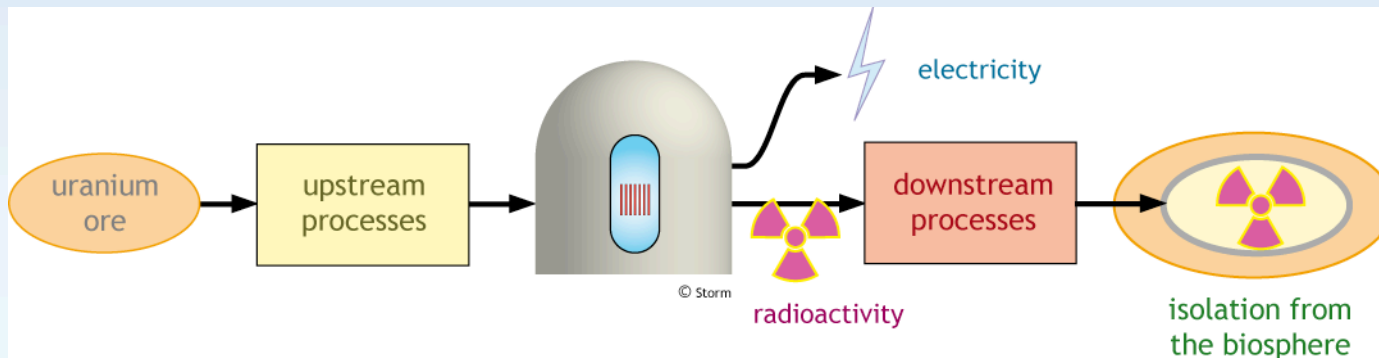
Elk jaar worden 370000 Hiroshima bom-equivalenten toegevoegd aan de wereldinventaris radioactiviteit



Afscherming van radioactiviteit van de biosfeer in een geologische bergplaats



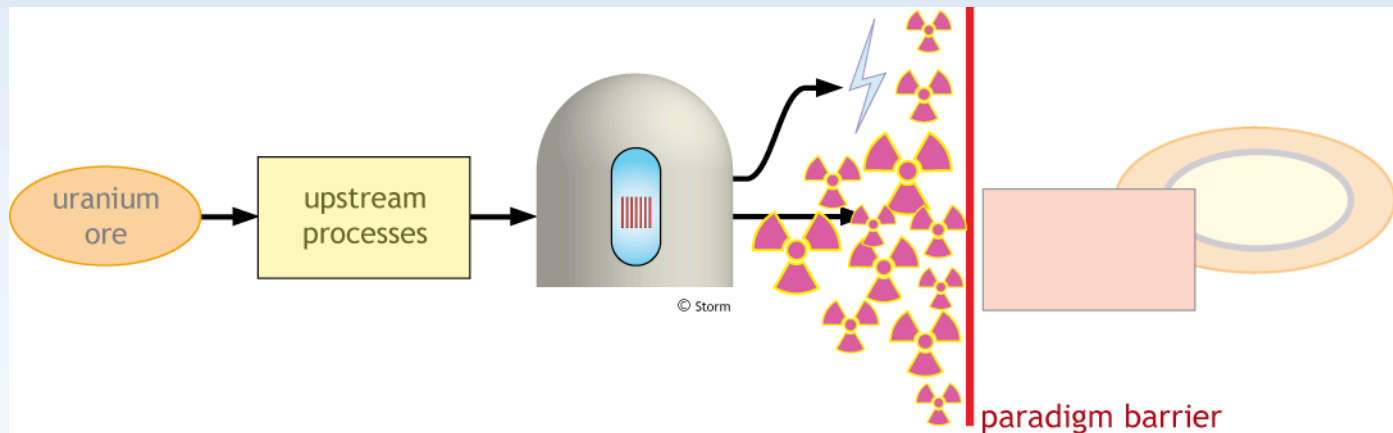
De nucleaire keten zoals die zou moeten zijn



cooking the meal consuming the meal washing the dishes



De nucleaire keten zoals die blijkt te zijn



the dishes are piling up



Paradigma barrière

- Korte-termijn winstbejag
- *Après nous le déluge* houding
- Geloof in onbeproefde technische concepten



We hebben slechts twee opties

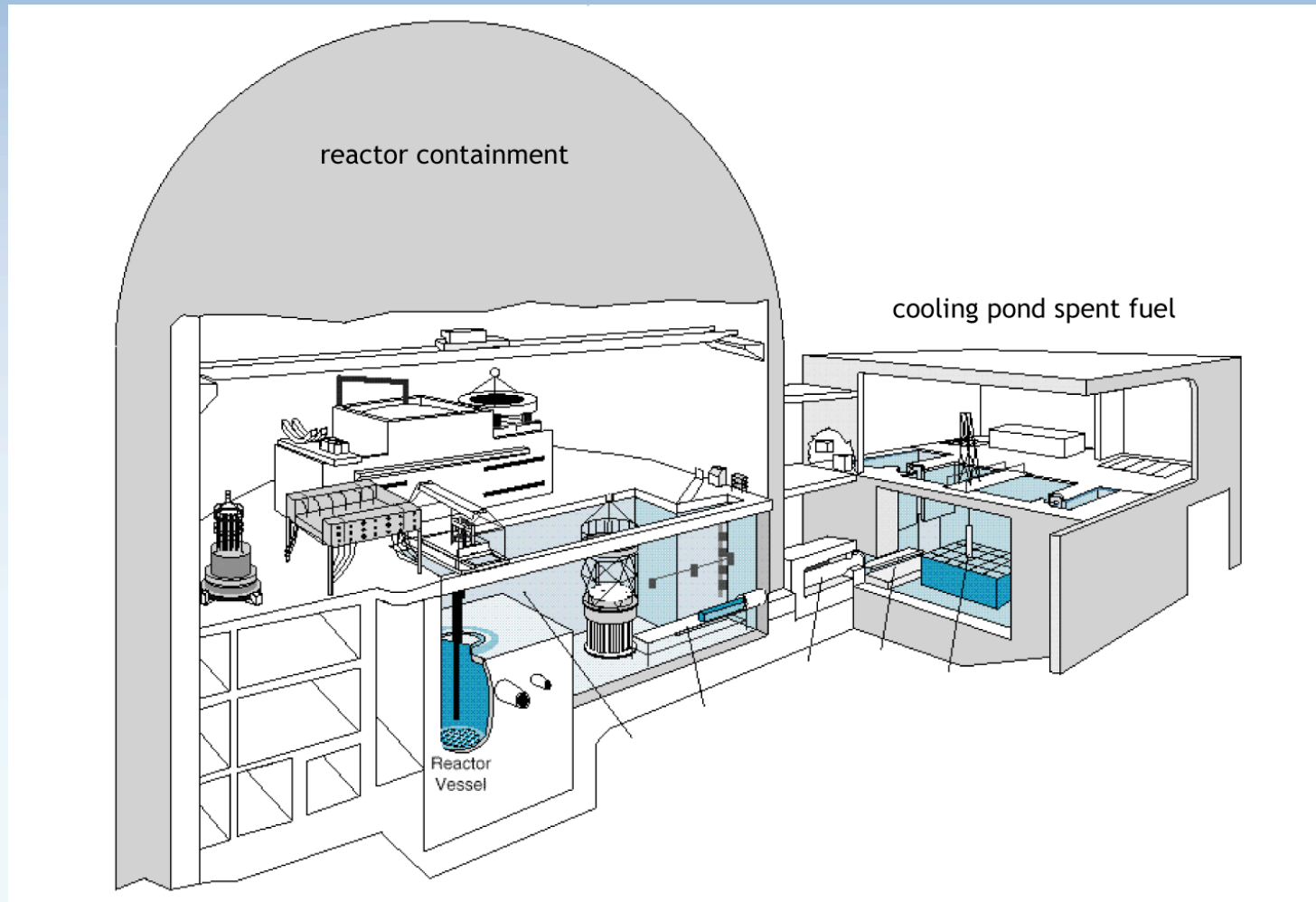
- 1 ons habitat bewoonbaar houden:
onze verantwoordelijkheid nemen
- 2 wachten tot er rampen gebeuren:
Après nous le déluge



Après nous le déluge

De wet van
de chaos





Opslag afgewerkte splijtstof bij de reactor



Opwerkingsfabrieken

- grote volumina
- grote hoeveelheden radioactiviteit
- complex



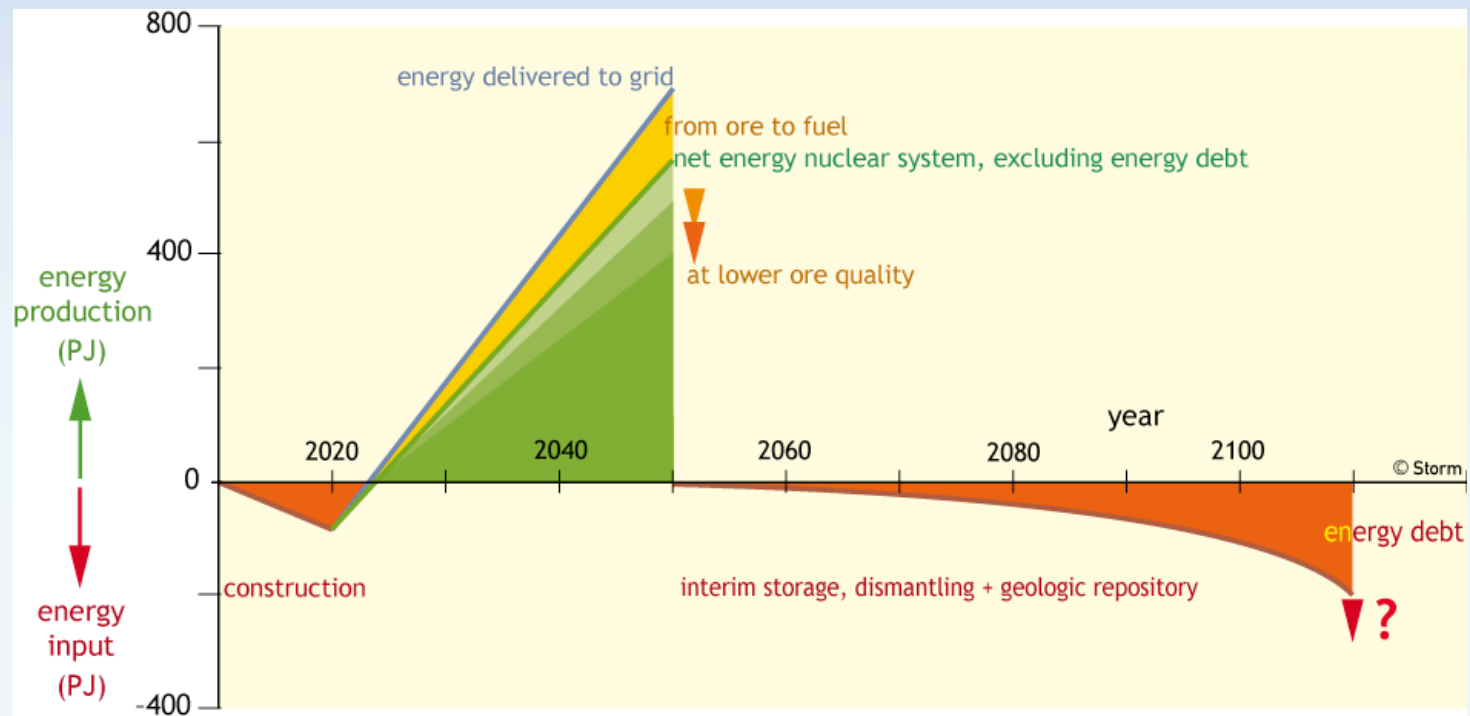


Kernenergie = energie op de pof

- energieschuld
- CO₂ schuld
- monetaire schuld
- privatisering van de winsten,
socialisatie van de kosten



Energieschuld





Monetaire schuld, NDA eerste kostenraming:

miljard GBP

- schoonmaak en afbraak
exclusief definitieve opberging
 - Sellafield opwerkinsfabriek **50-100**
 - 1 kerncentrale (1 GWe) **4-8**
- geologische bergplaats **?**

Vergelijk: uiteindelijke kosten Apollo project
(man op de maan): ongeveer £(2008) 80 miljard



Socialisatie van de kosten

- UK
- France
- USA



Samenvatting

Energie uit uranium problematischer in toekomst

Fuik 1	energieklif CO ₂ fuik
--------	-------------------------------------

Fuik 2	energieschuld
--------	---------------



Nodig: duurzame energiebronnen

- onuitputtelijk (constante stroom)
- constante kwaliteit
- zonder verdere aantasting milieu
- voldoende capaciteit voor wereldbevolking
- voor ieder toegankelijk



Energie uit uranium
voldoet aan geen enkel
duurzaamheidscriterium



Energie uit uranium is niet nodig

Er zijn betere oplossingen

- sneller
- veiliger
- goedkoper
- grotere capaciteit
- minder belastend voor milieu
- duurzamer



Nucleaire technologie onmisbaar

- medische toepassingen
- onderzoek

Uranium als energiebron:
achterhaald concept



Keuze voor energie uit uranium vertraagt transitie naar duurzame energievoorziening

- investering van middelen in doodlopende weg
- energie op de pof



Energievoorziening gebaseerd op zon (PV, wind, CSP, hydro, biomassa)

- onuitputtelijk
- constante levering (afgezien korte fluctuaties)
- constante hoge kwaliteit
- verhoogt kwaliteit van de biosfeer
- toegankelijk voor iedereen
- ruim voldoende capaciteit voor wereldbevolking
- geen energieschuld
- geen grondstoffenproblemen



Niet nodig: nieuwe technologie
Wel nodig: nieuw denkraam

Benutting volledig potentieel van

- energie efficiency
- hernieuwbare bronnen



Nieuw denkraam

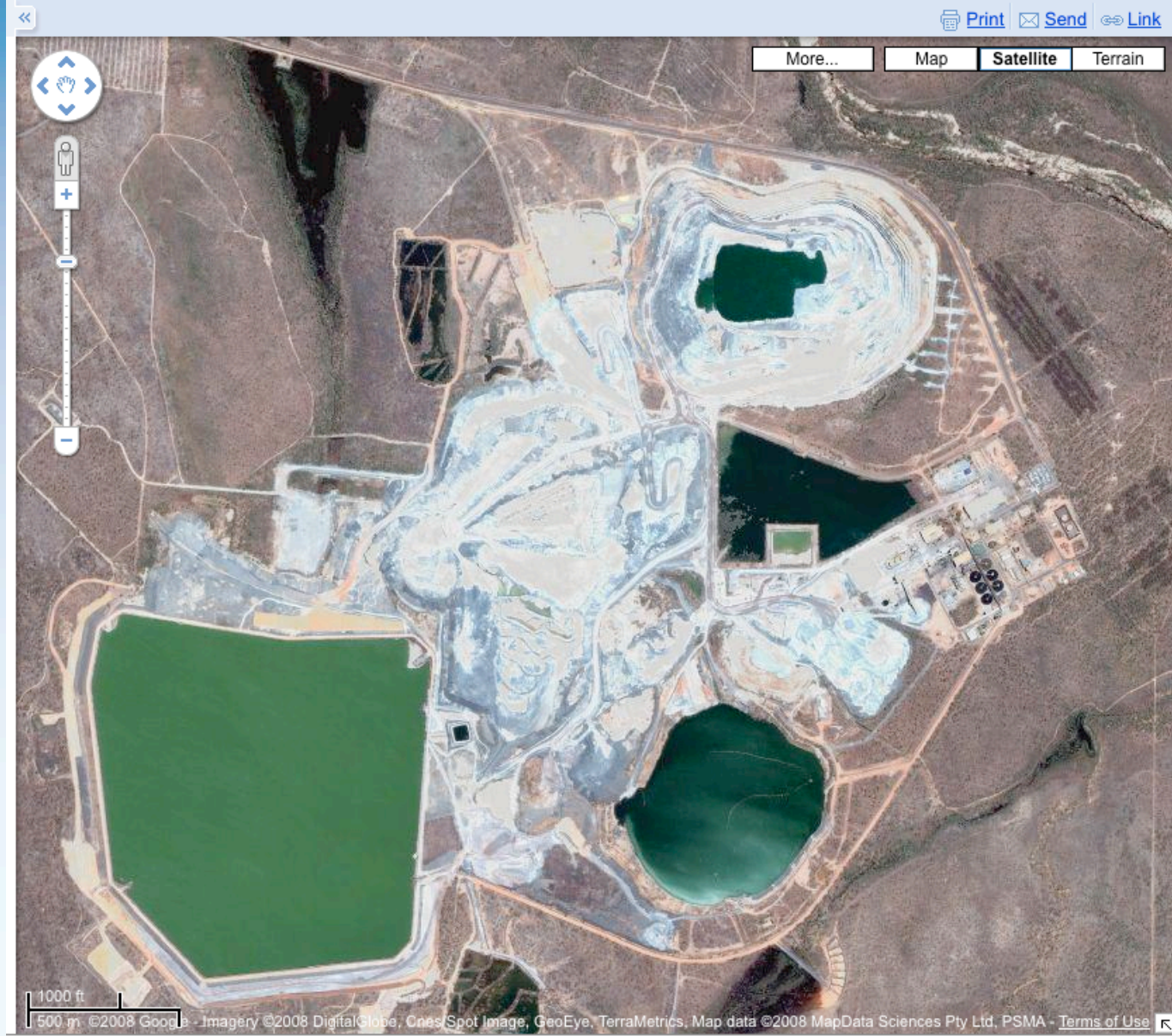
- korte-termijn markt-denken
binnen zekere grenzen
- lange-termijn natuurwetenschappelijk kader



Materials involved in nuclear and wind power

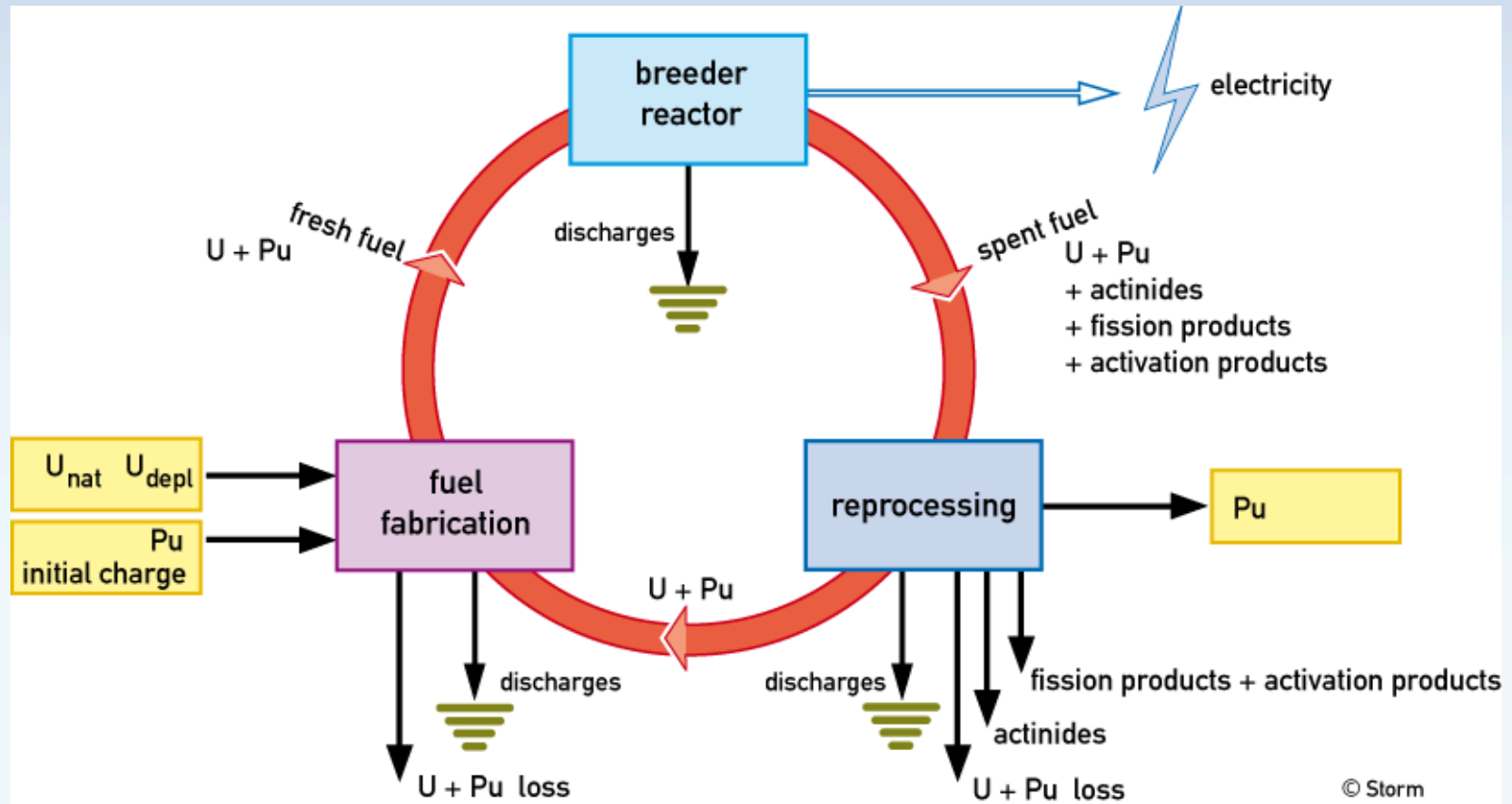
	nuclear gram/kWh	wind gram/kWh
construction	6.2	2.6 - 5.7
high-grade, lost forever	1.8	–
ore processed *	0.24 - 480	–
rock mined U mine * + repository	40 - 1000	–
CO ₂ emission *	80 - 400	6 - 12

* ore grade dependent



Uranium mine (Ranger, Australia)

Breeder cycle





Hebben we energie uit uranium
nodig?



Energie uit uranium is niet nodig

- niet voor klimaatbeheersing
- niet voor veiligstelling energievoorziening
- niet voor geopolitieke stabiliteit

Energie uit uranium is niet duurzaam