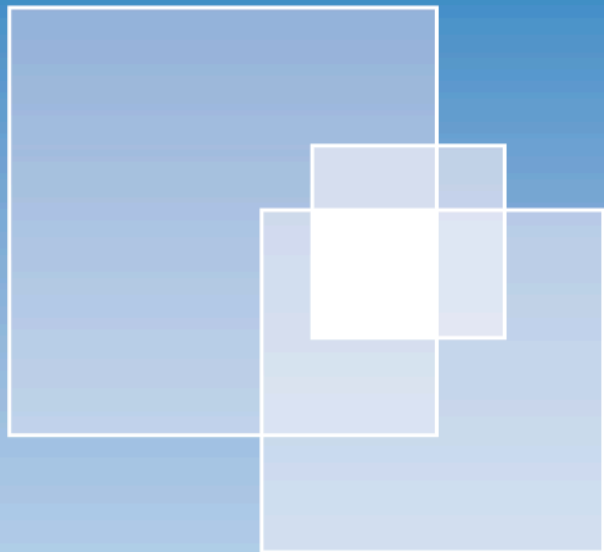




CEEDATA energy analysis



Kernenergie: de lange termijn

Amsterdam, 3 februari 2009

J.W. Storm van Leeuwen

storm@ceedata.nl



Kernenergie

- maatschappelijk/economisch complex
- bijdrage wereld energievraag
- technisch systeem
- energie op de pof
- uranium en vrije energie
- klimaat
- vooruitzichten

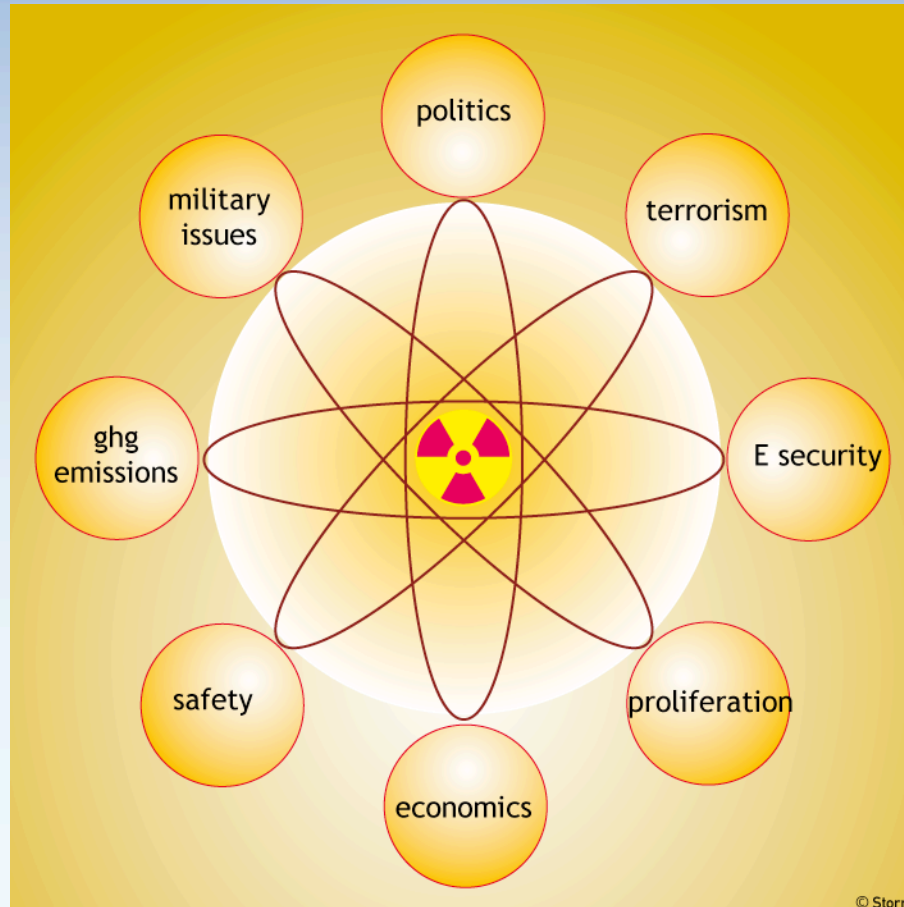


Kernenergie in de samenleving

- industriële en politieke belangen
- militaire en veiligheidsaspecten
- klimaat en zekerheid van energievoorziening



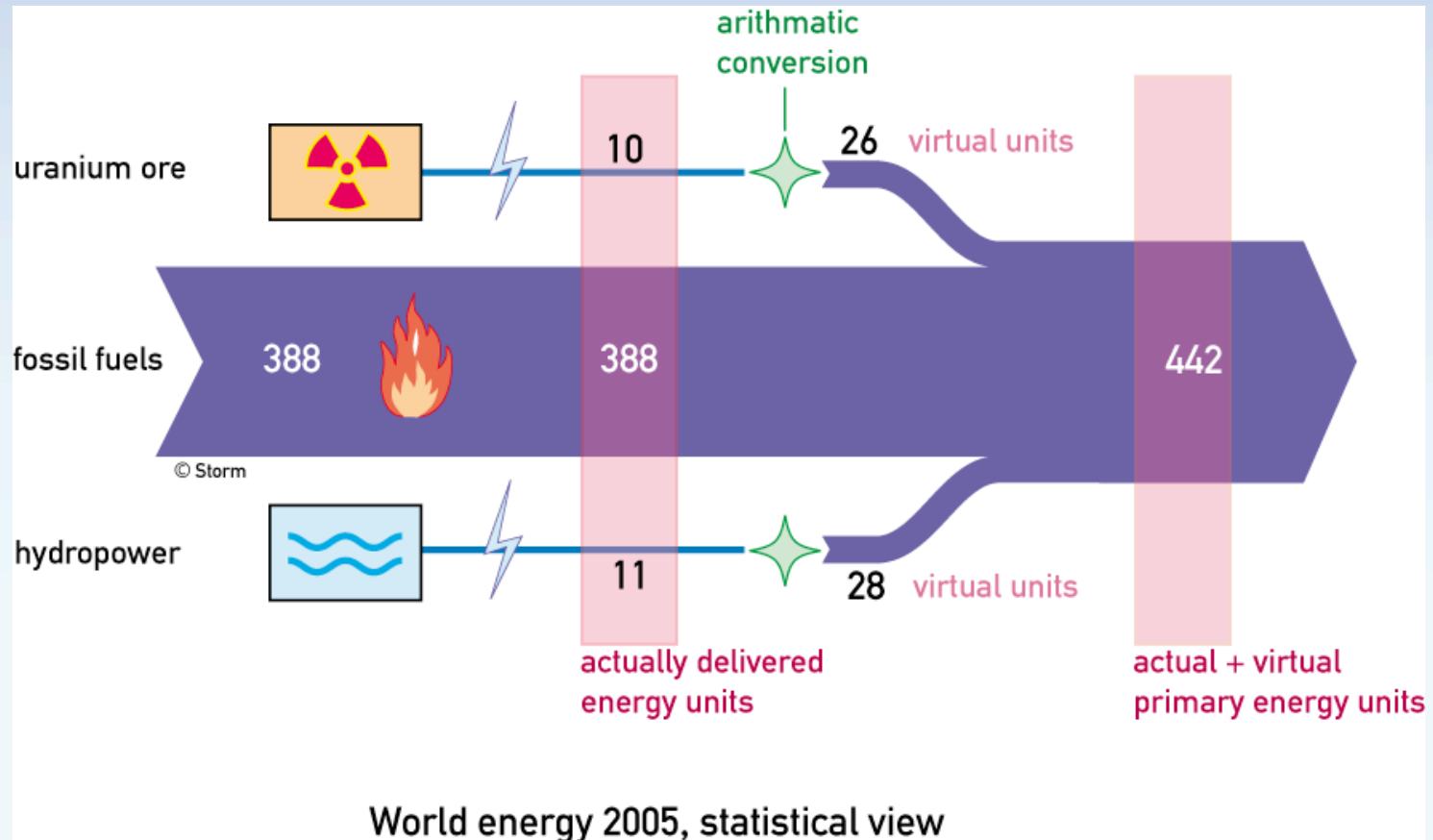
Kernenergie: de lange termijn





Kernenergie: de lange termijn

Wereld energie, statistisch gezien (alleen verhandelde energie), ref: BP 2006

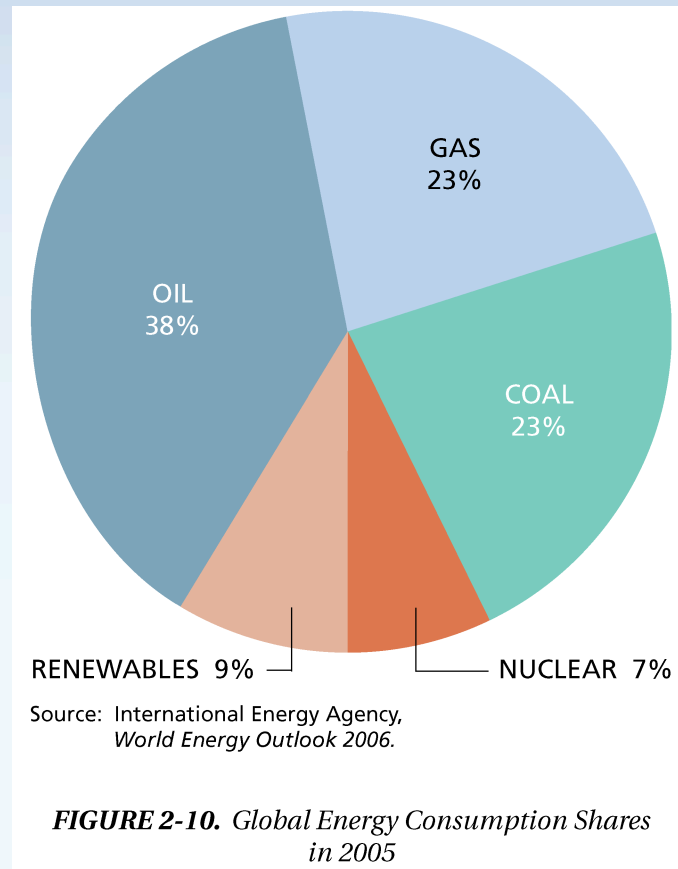




Kernenergie: de lange termijn

verhandelde 'primaire' energie

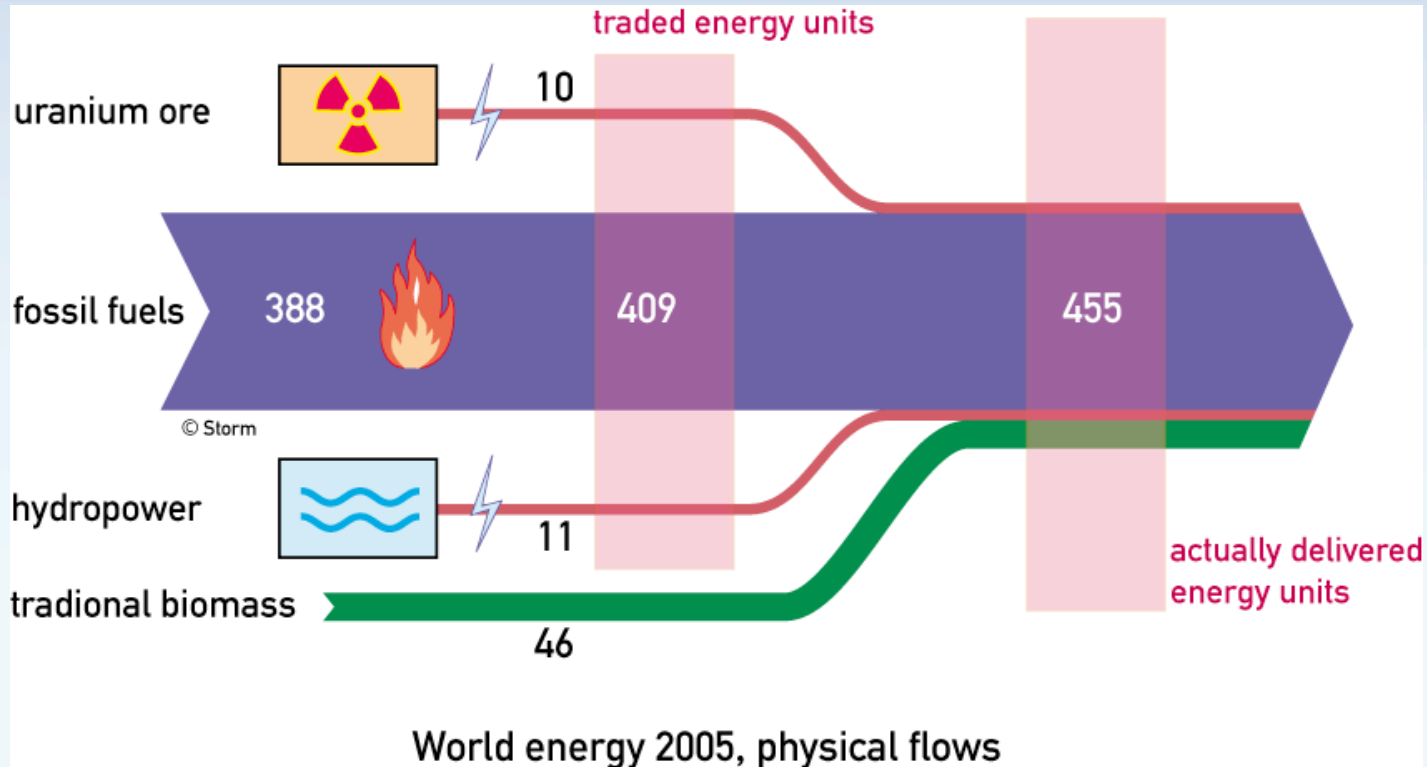
bron: International Energy Agency, WEO 2006





Kernenergie: de lange termijn

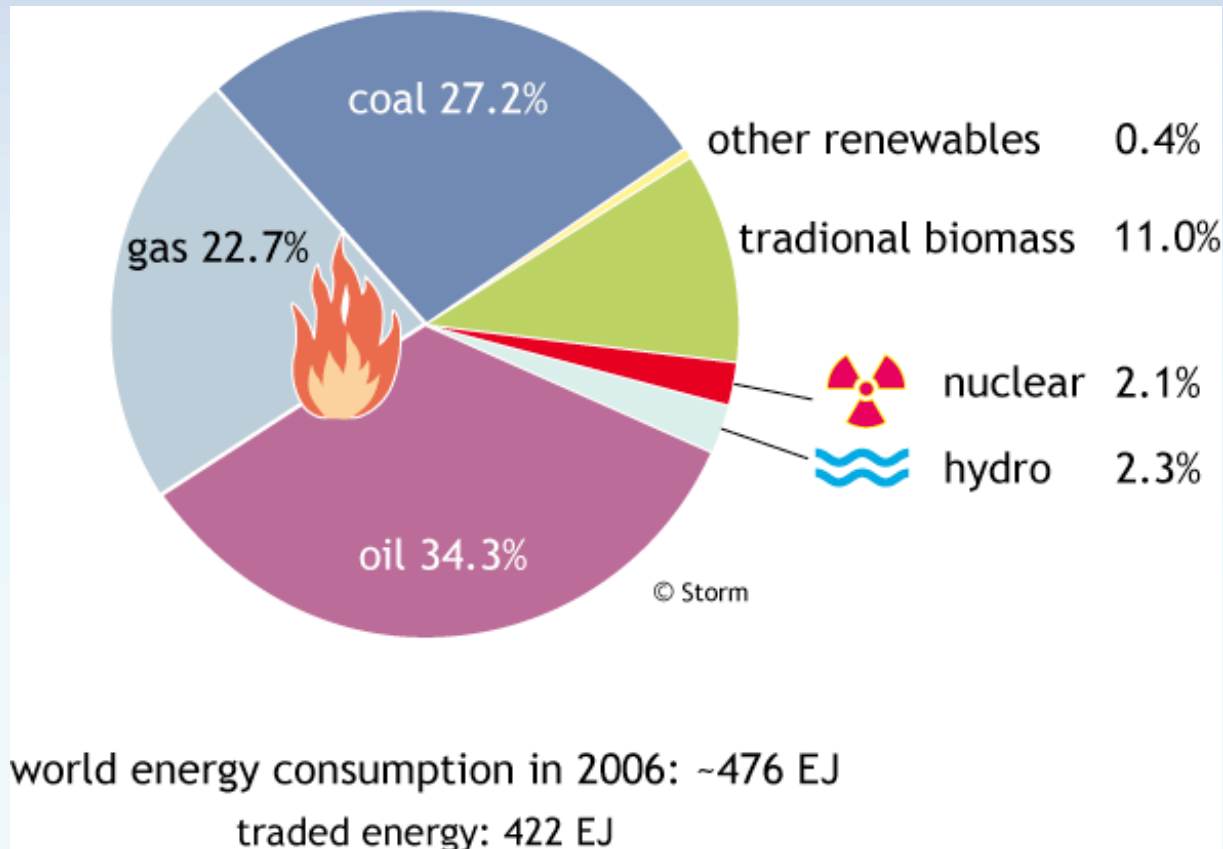
Wereld energie, fysische stromen daadwerkelijk geleverde bruikbare energie





Kernenergie: de lange termijn

Wereld energie, 2006





Kernenergie: de lange termijn

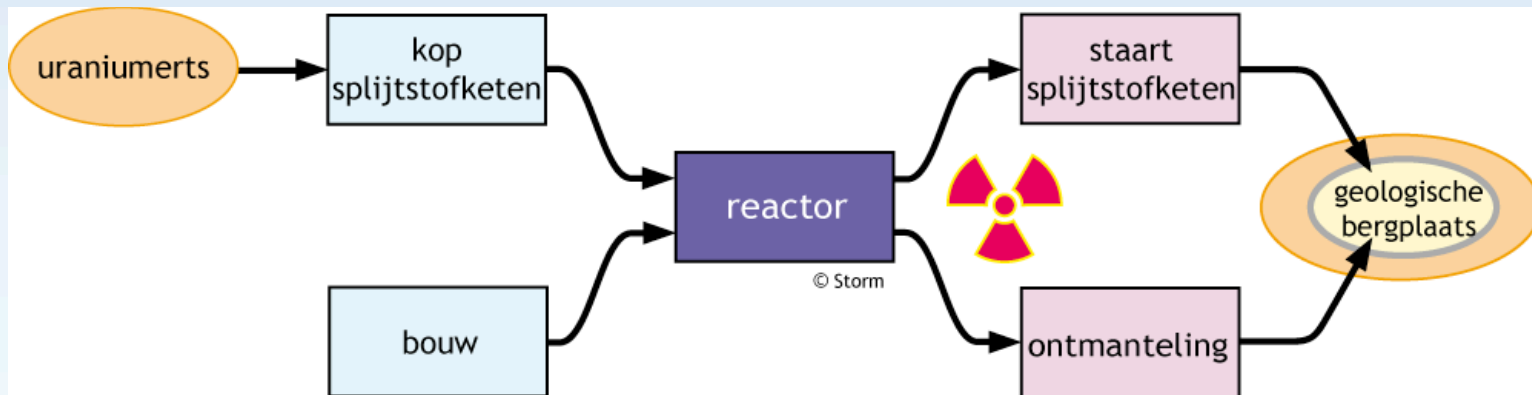
Kernenergie:
technisch het meest complexe
energiesysteem ooit ontworpen

- onoverzichtelijk voor beleidsmakers
- kosten en veiligheid vrijwel onbeheersbaar



Kernenergie: de lange termijn

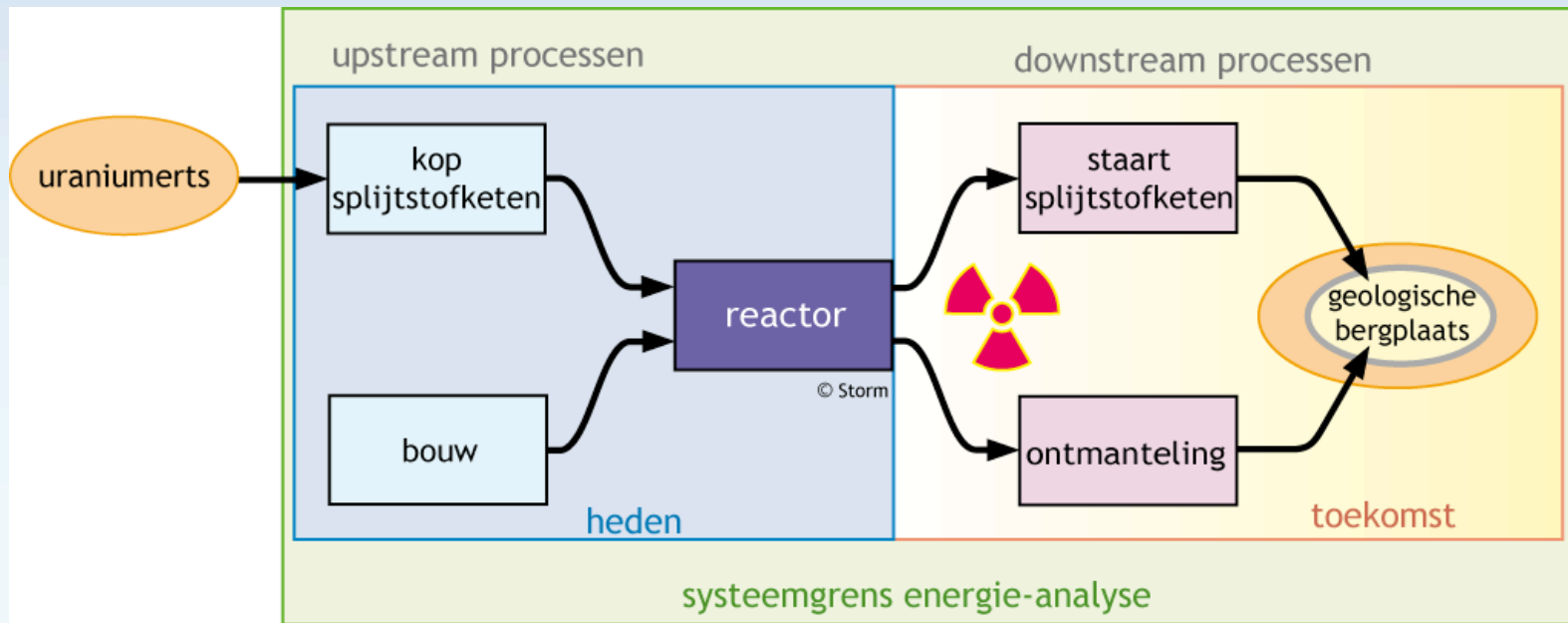
Kernenergie van wieg tot graf





Kernenergie: de lange termijn

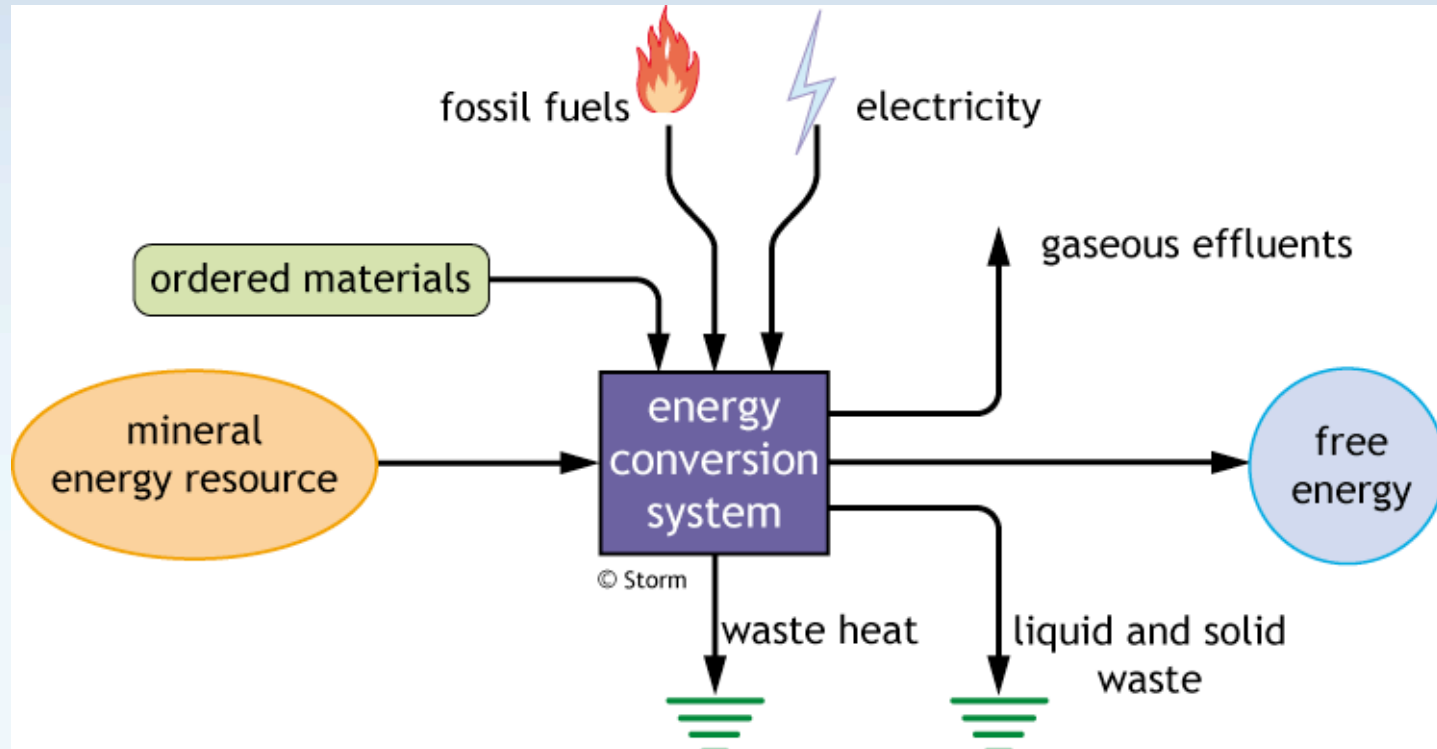
Het nucleaire energiesysteem: heden, toekomst en systeemgrenzen





Kernenergie: de lange termijn

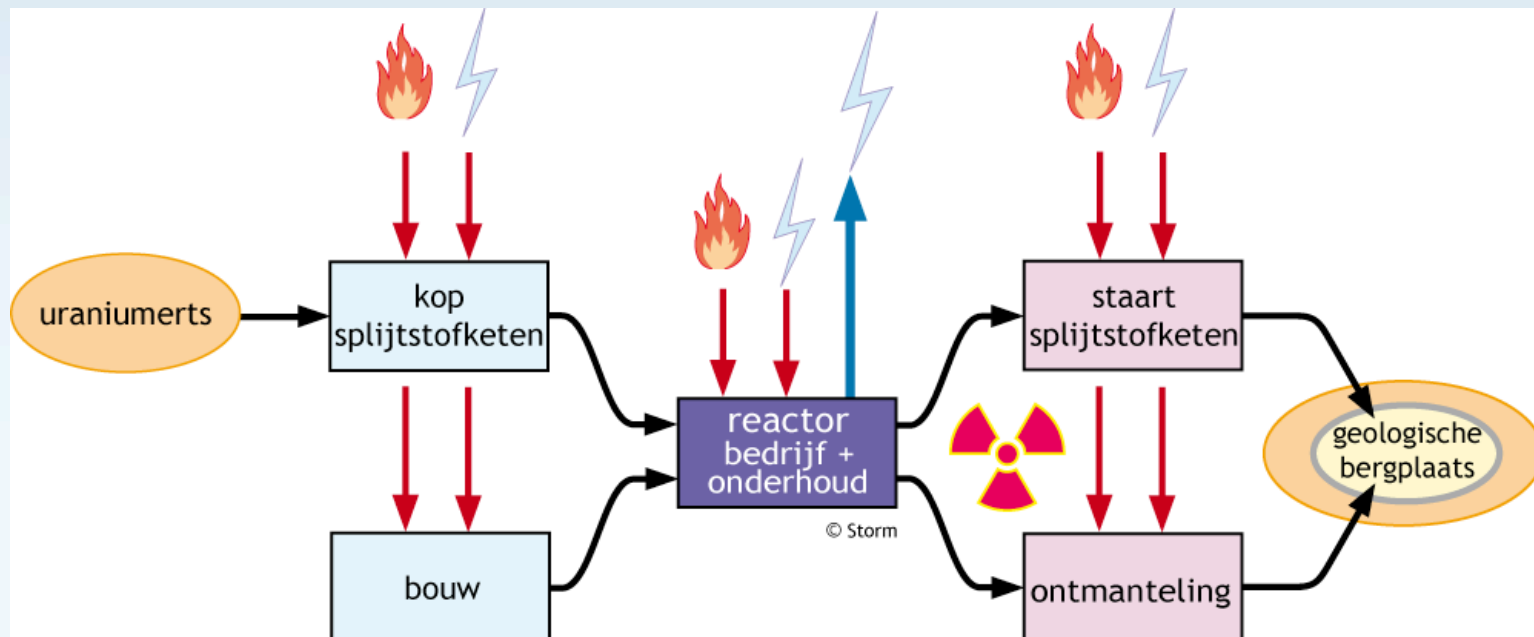
Vrije energie uit minerale energiebron





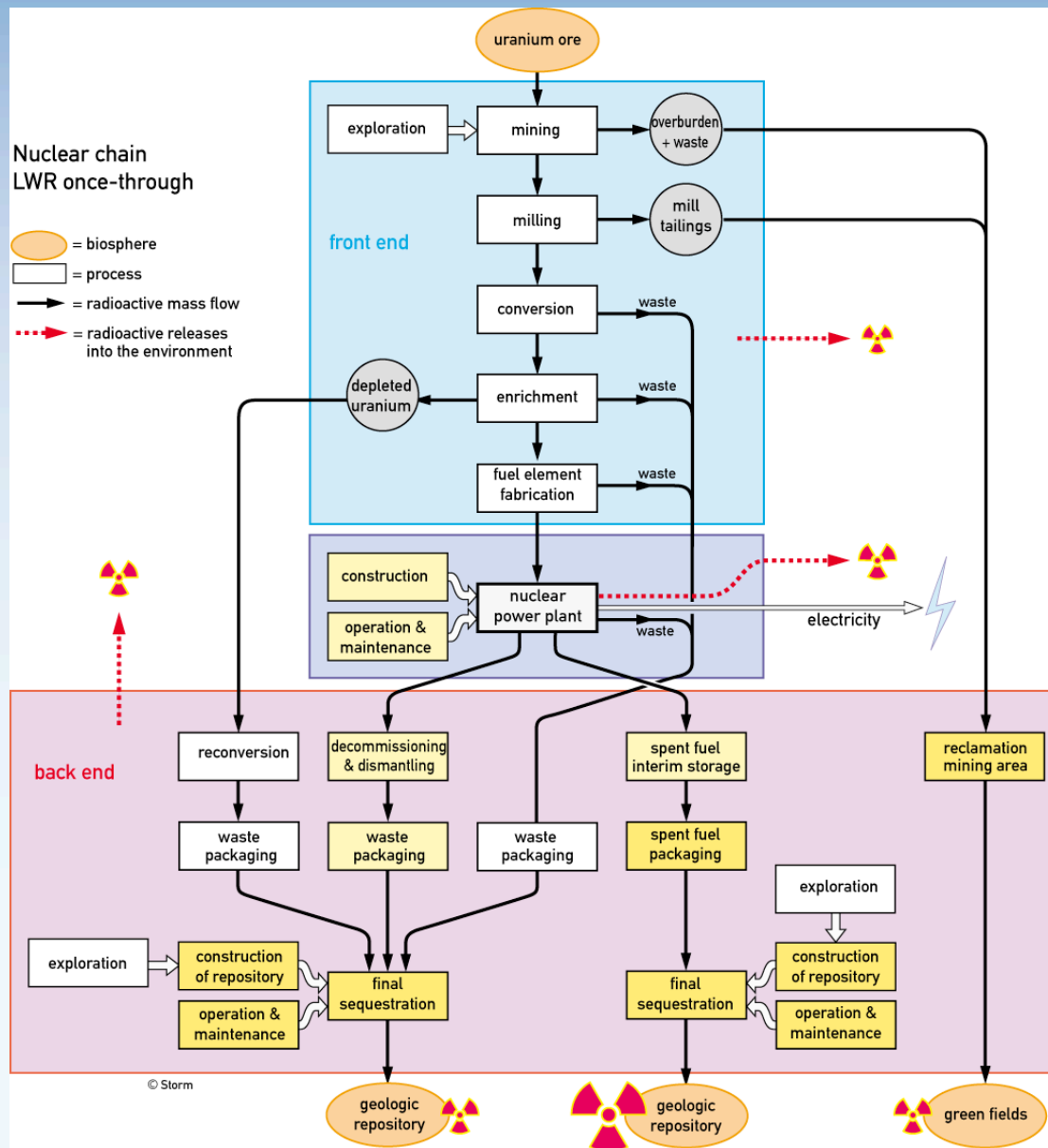
Kernenergie: de lange termijn

Het nucleaire energiesysteem: de energiebalans



Kernenergie: de lange termijn

Procesketens van het nucleaire energiesysteem





Kernenergie: de lange termijn

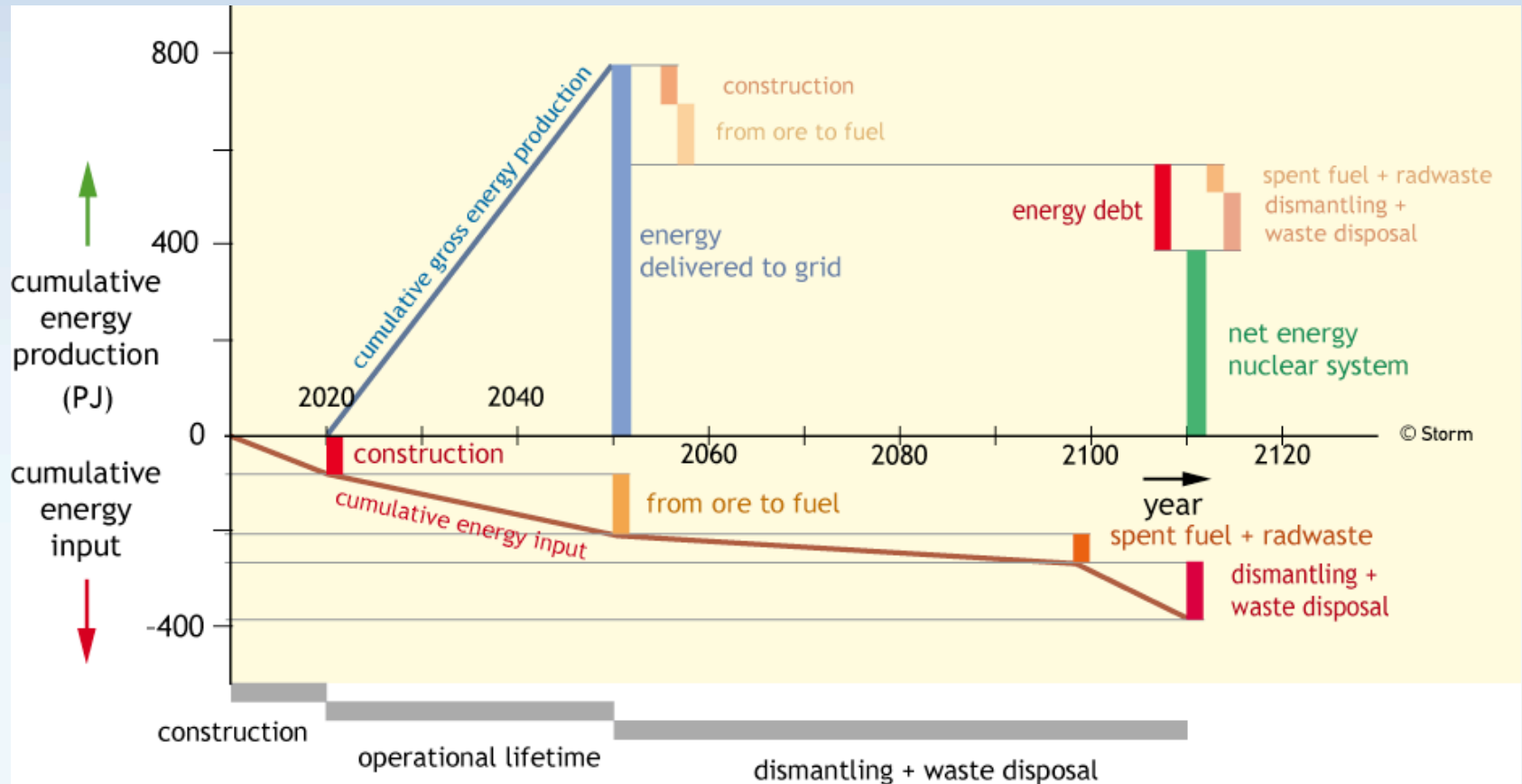
Energie op de pof:
de rekening komt later.

De downstream processen (moeten)
worden uitgevoerd in de eeuw volgend
op de definitieve sluiting van de reactor.



Kernenergie: de lange termijn

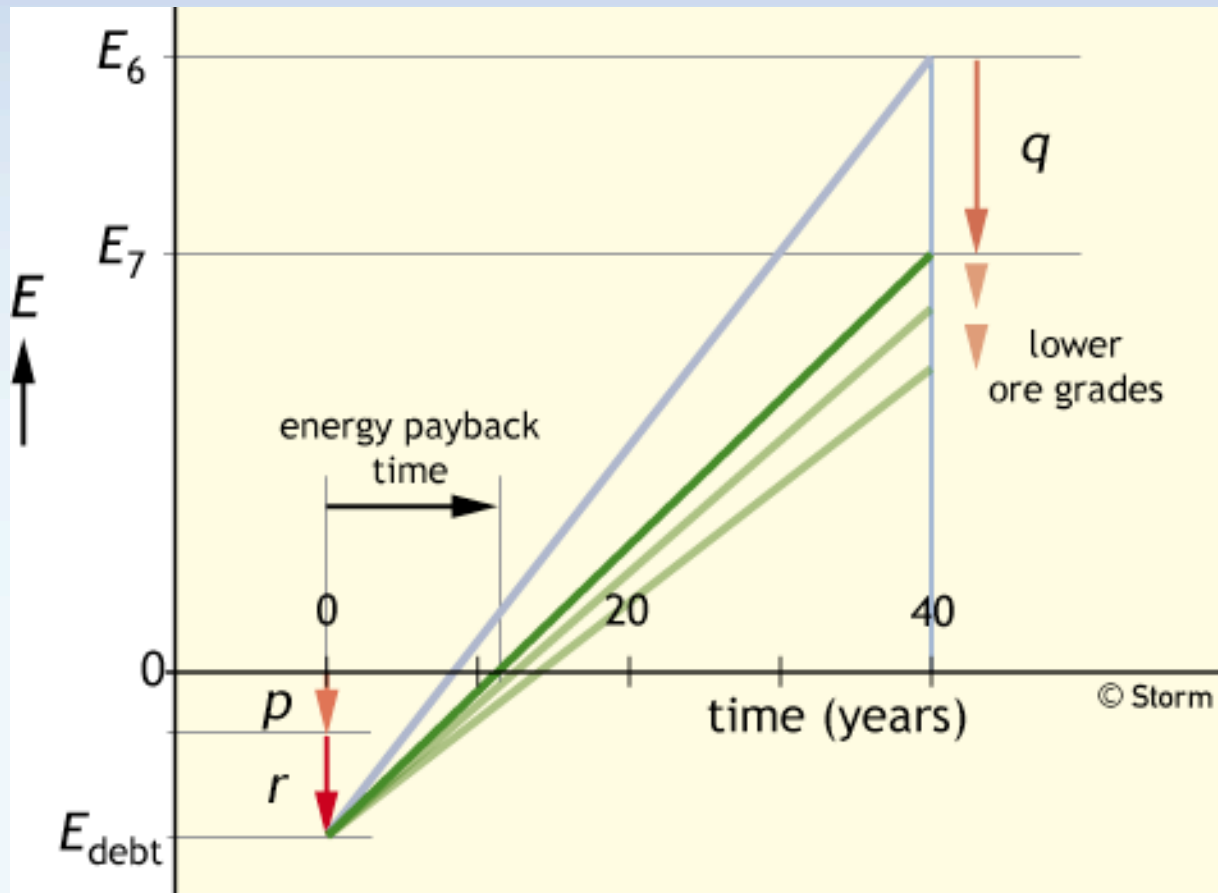
Energie op de pof: de energieschuld





Kernenergie: de lange termijn

Energie op de pof: de energieschuld 'gekapitaliseerd'





Uranium reserves (Engels: resources)

- economische benadering
- natuurwetenschappelijke visie



Uranium reserves, economisch gezien

- miljarden tonnen uranium in aardkorst
- criterium winbaarheid: uraniumprijs
- hogere prijs > meer exploratie >
meer ontdekkingen
- hoe hoger U prijs, hoe groter U reserves
- ergo: voor eeuwen genoeg U



Uranium reserves, fysisch gezien

- miljarden tonnen uranium in aardkorst
- criterium winbaarheid: energie voor winning
- energieklimaat
- niet kwantiteit maar kwaliteit telt
- netto energie U-reserves beperkt



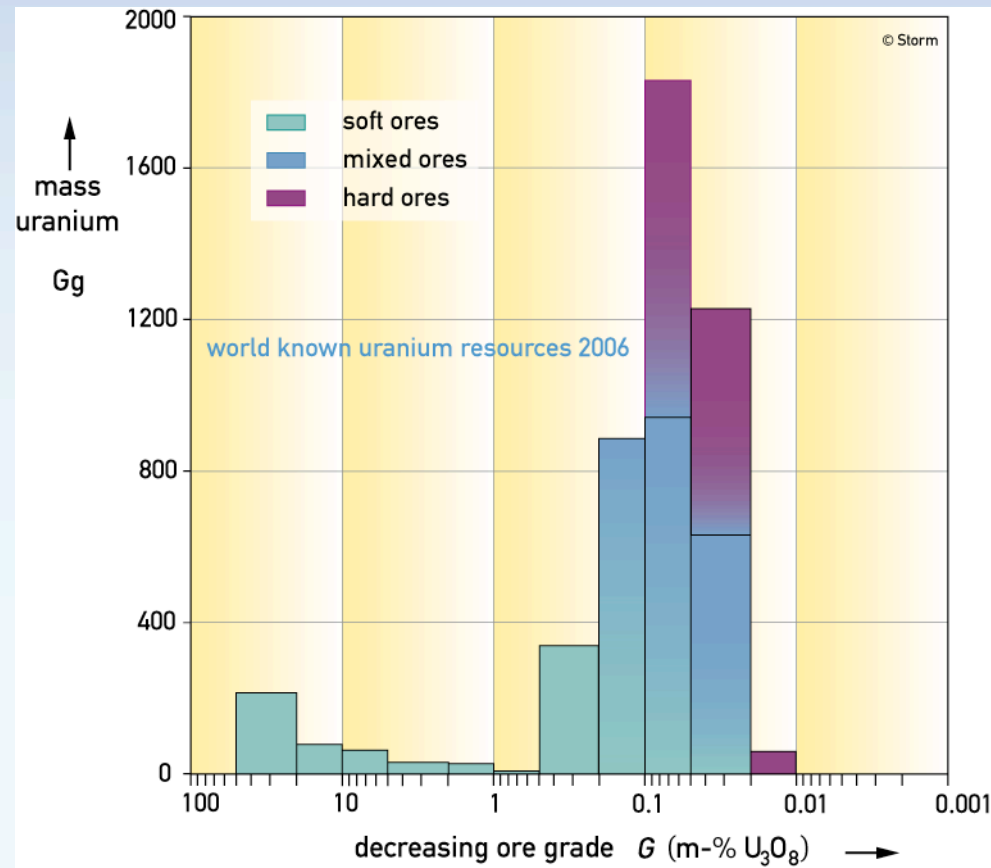
Energiekwaliteit uraniumvoorkomens

- uraniumgehalte
- diepte
- omvang
- mineralogie
- hardheid gesteente
- toegankelijkheid, geologie



Kernenergie: de lange termijn

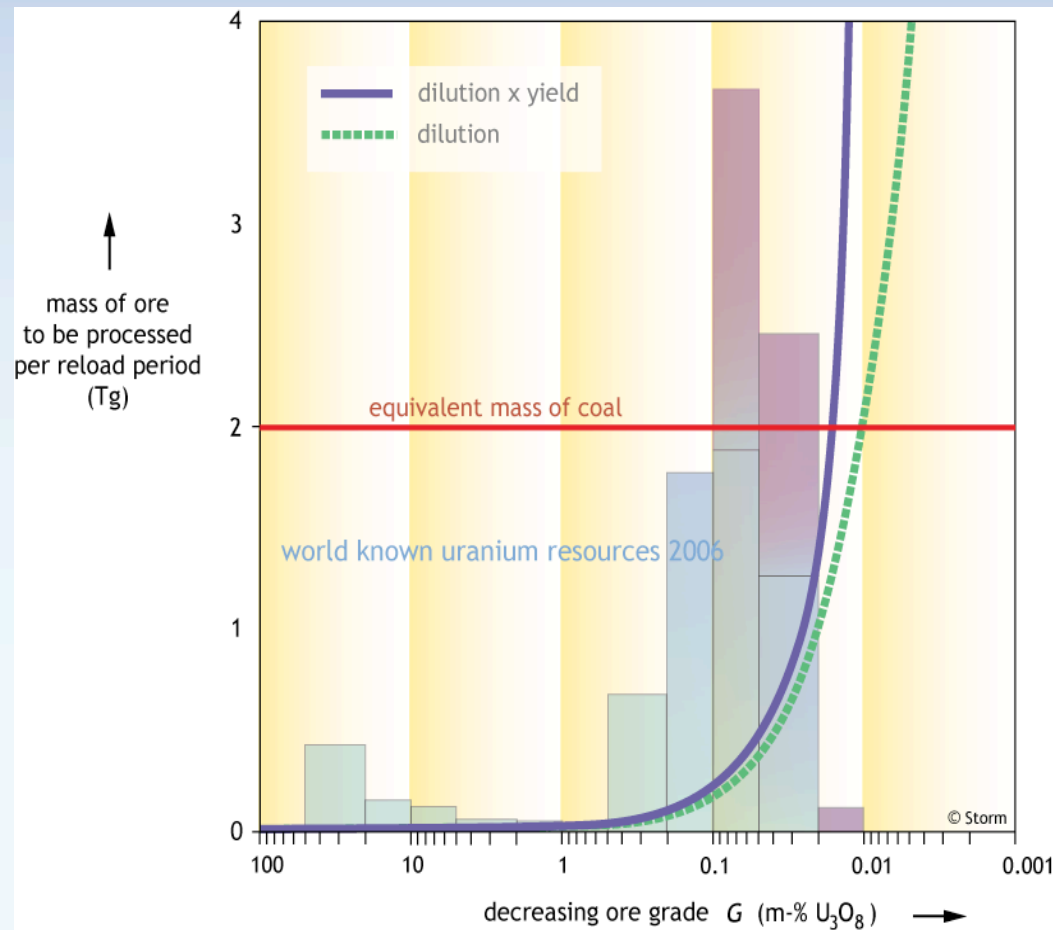
Uraniumreserves en ertsgehalte





Kernenergie: de lange termijn

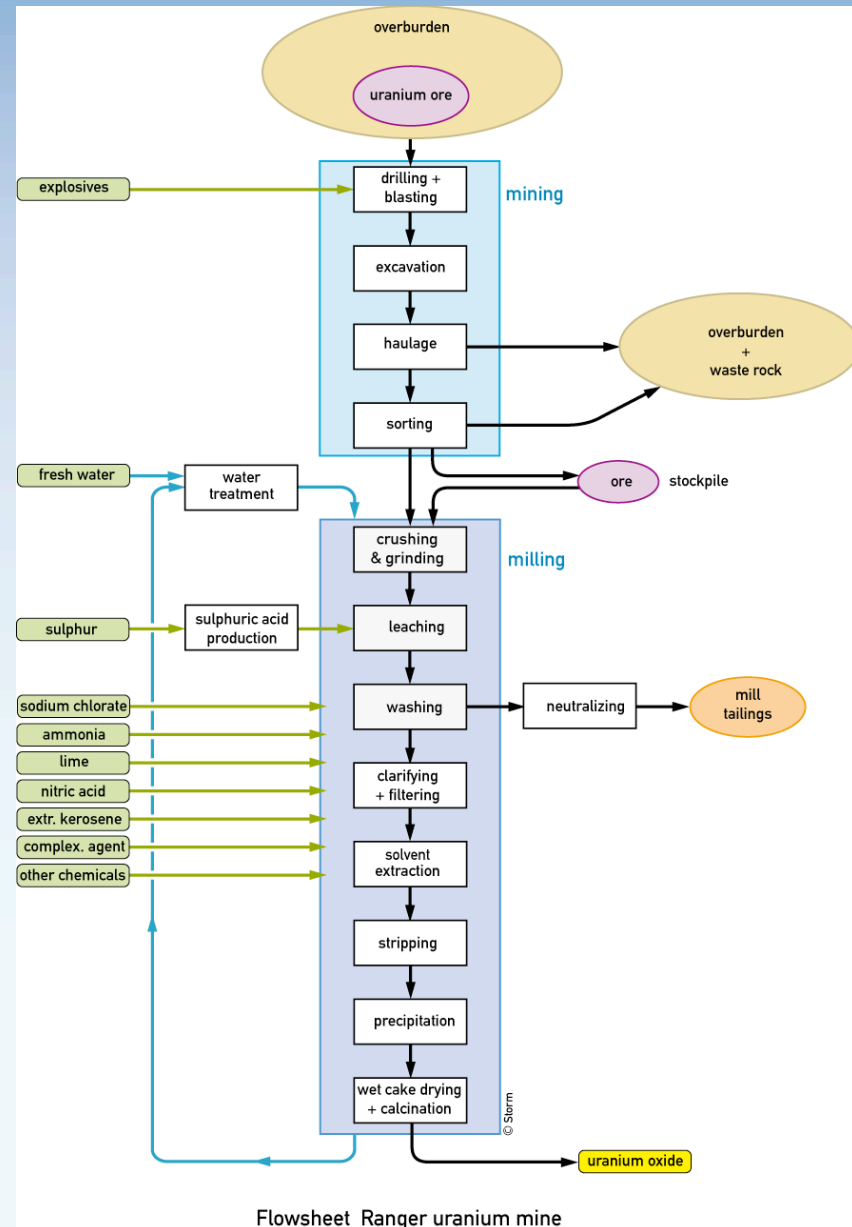
Uraniumwinning: verdunningsfactor





Kernenergie: de lange termijn

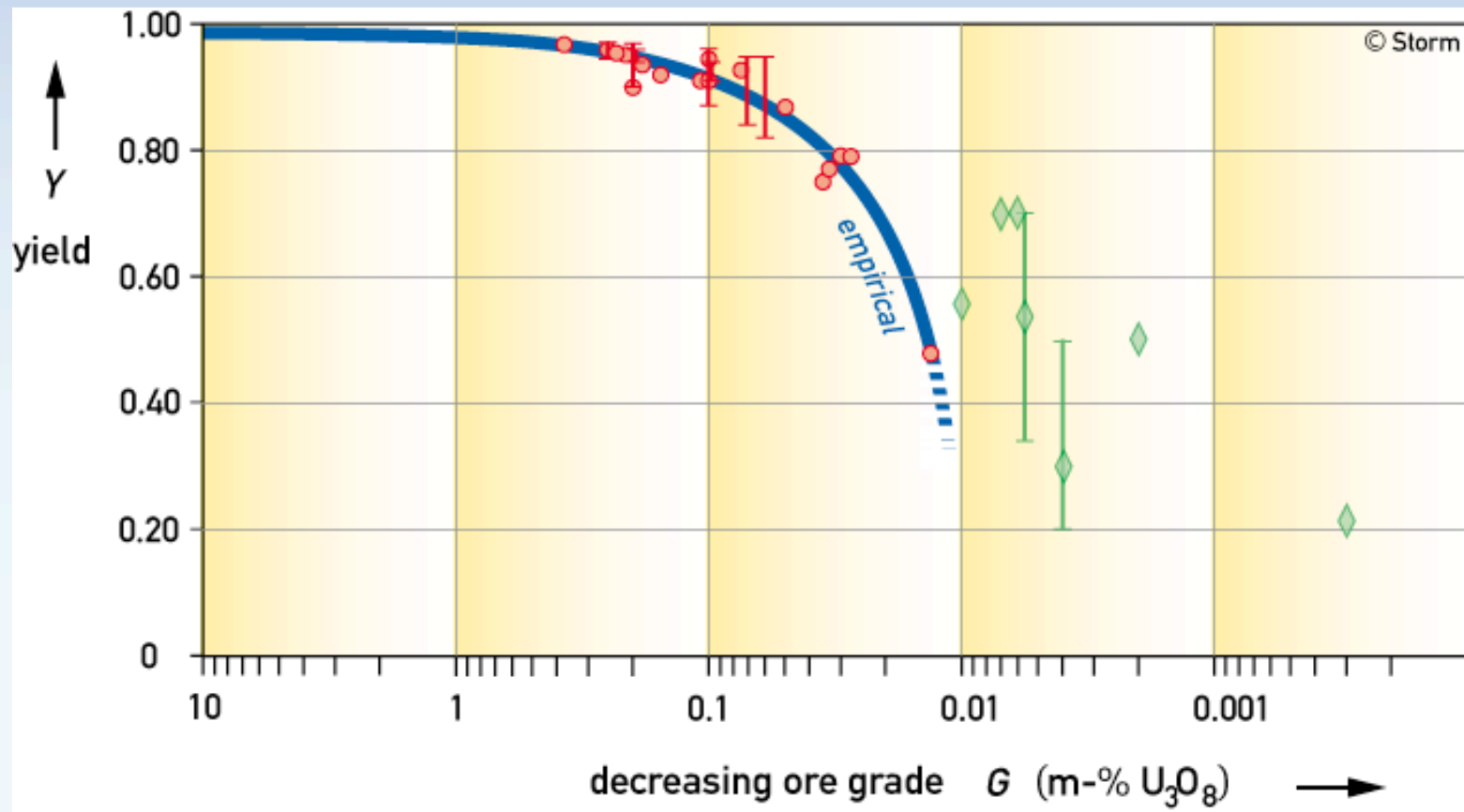
Uraniumwinning, mijnbouw en extractie





Kernenergie: de lange termijn

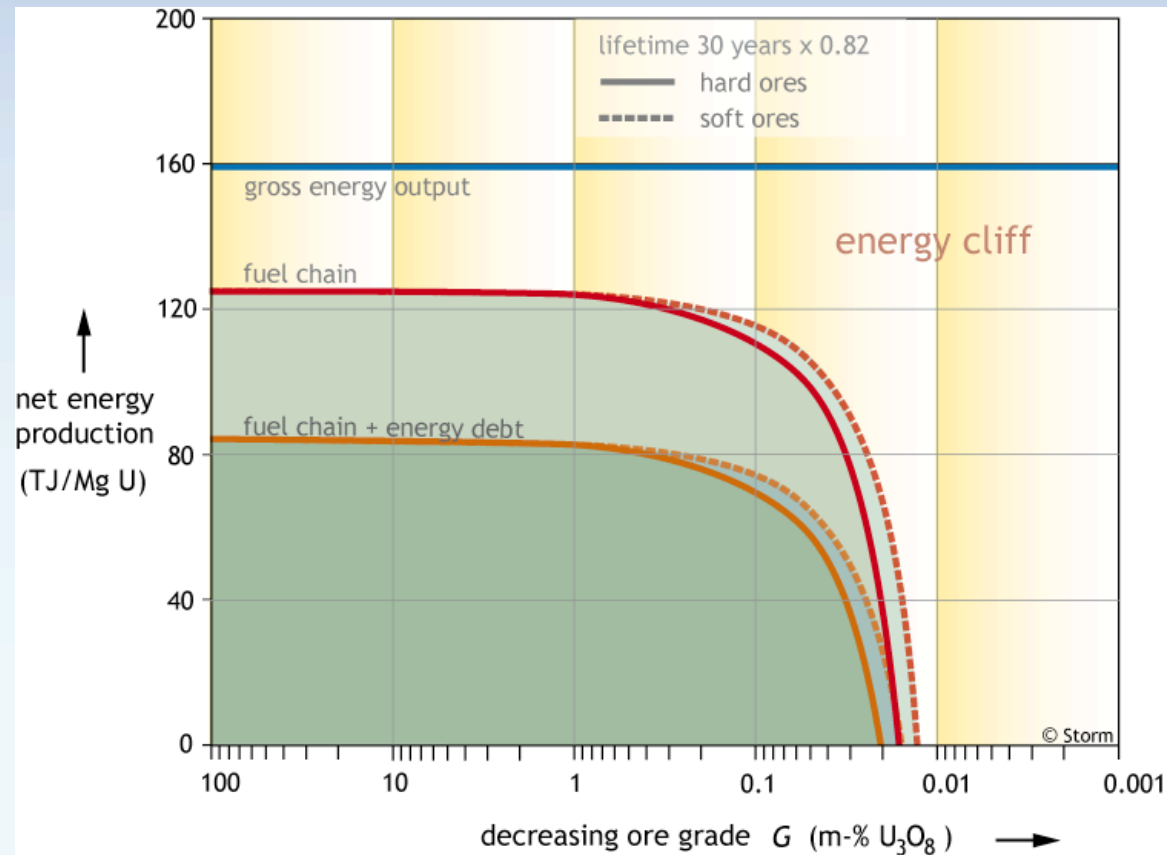
Uraniumwinning: extractierendement





Kernenergie: de lange termijn

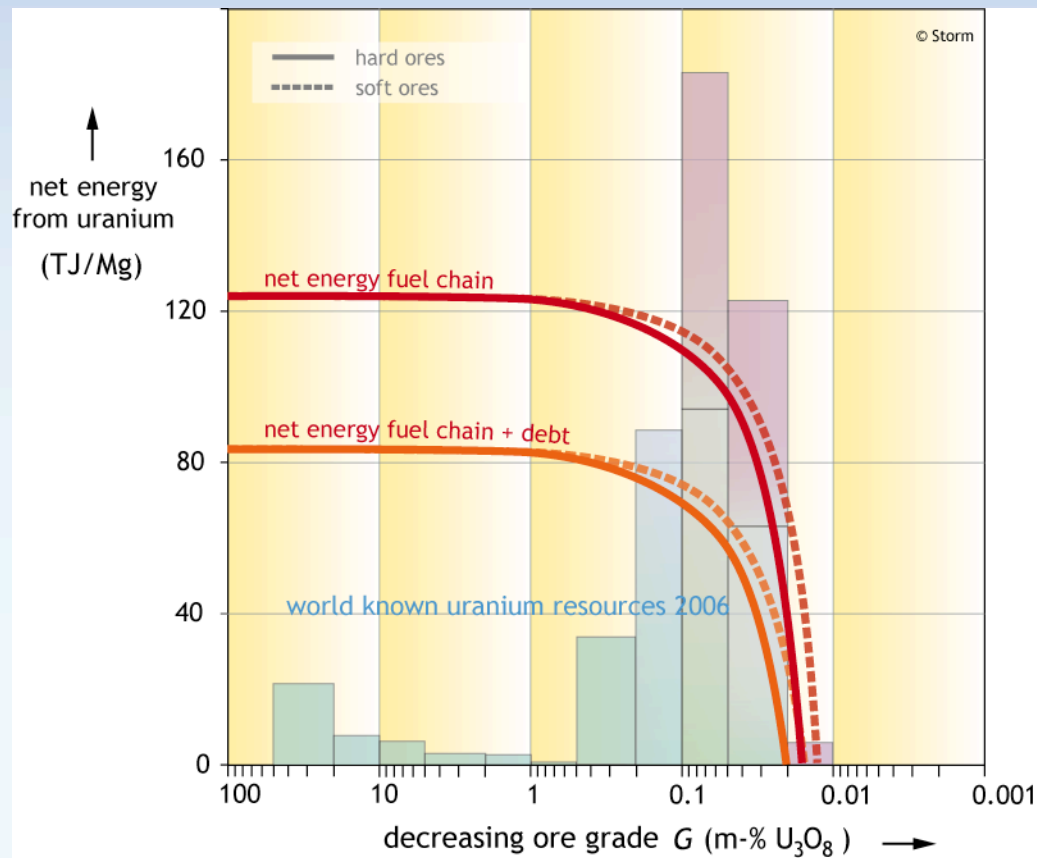
Uraniumwinning: energieklim





Kernenergie: de lange termijn

Uraniumreserves en energieklijf





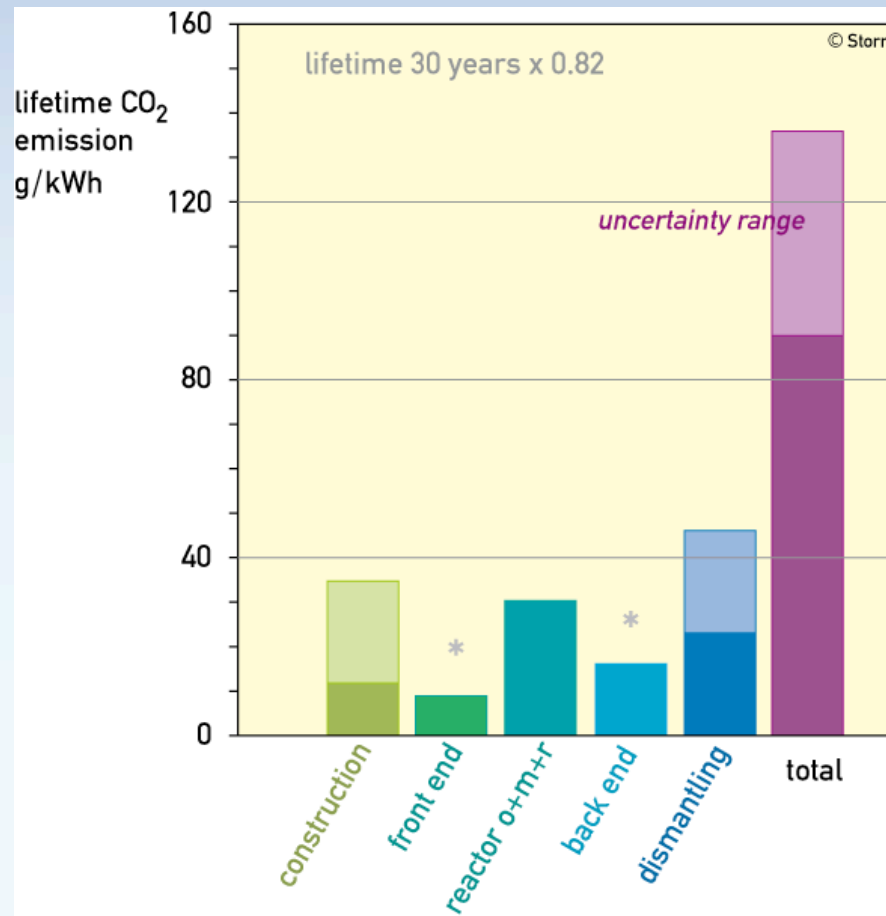
Kernenergie en klimaat

- deze studie alleen CO₂ emissie onderzocht
- huidige emissie 85-131 gram CO₂/kWh
- neemt toe in de tijd door armer U erts
- emissie andere broeikasgassen niet bekend:
wel waarschijnlijk
- geen gegevens betekent niet geen emissie
- verrijking in USA: ~5 CO₂-eq/kWh freon-114



Kernenergie: de lange termijn

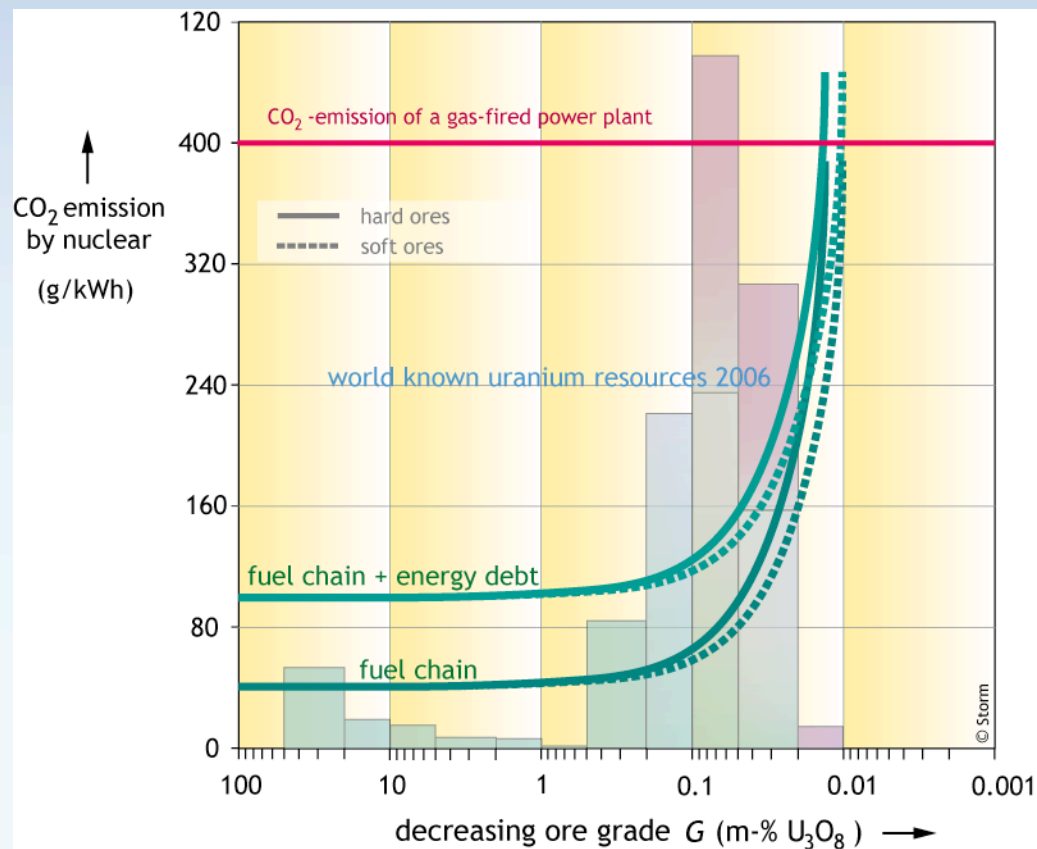
Nucleaire CO₂ emissie, huidige situatie





Kernenergie: de lange termijn

Nucleaire CO₂ emissie en ertsgehalte





Vooruitzichten uraniumvoorziening 1

- ertsen van hoogste energiekwaliteit worden het eerst gemijnd: hoogste return on investment
- gemakkelijk te ontdekken en toegankelijke 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 $\sim 50\%$ vraag
- $\sim 50\%$ uit militaire voorraden,
binnen enkele jaren uitgeput



Vooruitzichten uraniumvoorziening 4

kans op ontdekking nieuwe U voorkomens
groter naarmate:

- lager U gehalte
- kleiner ertslichaam
- grotere diepte



Vooruitzichten uraniumvoorziening 5

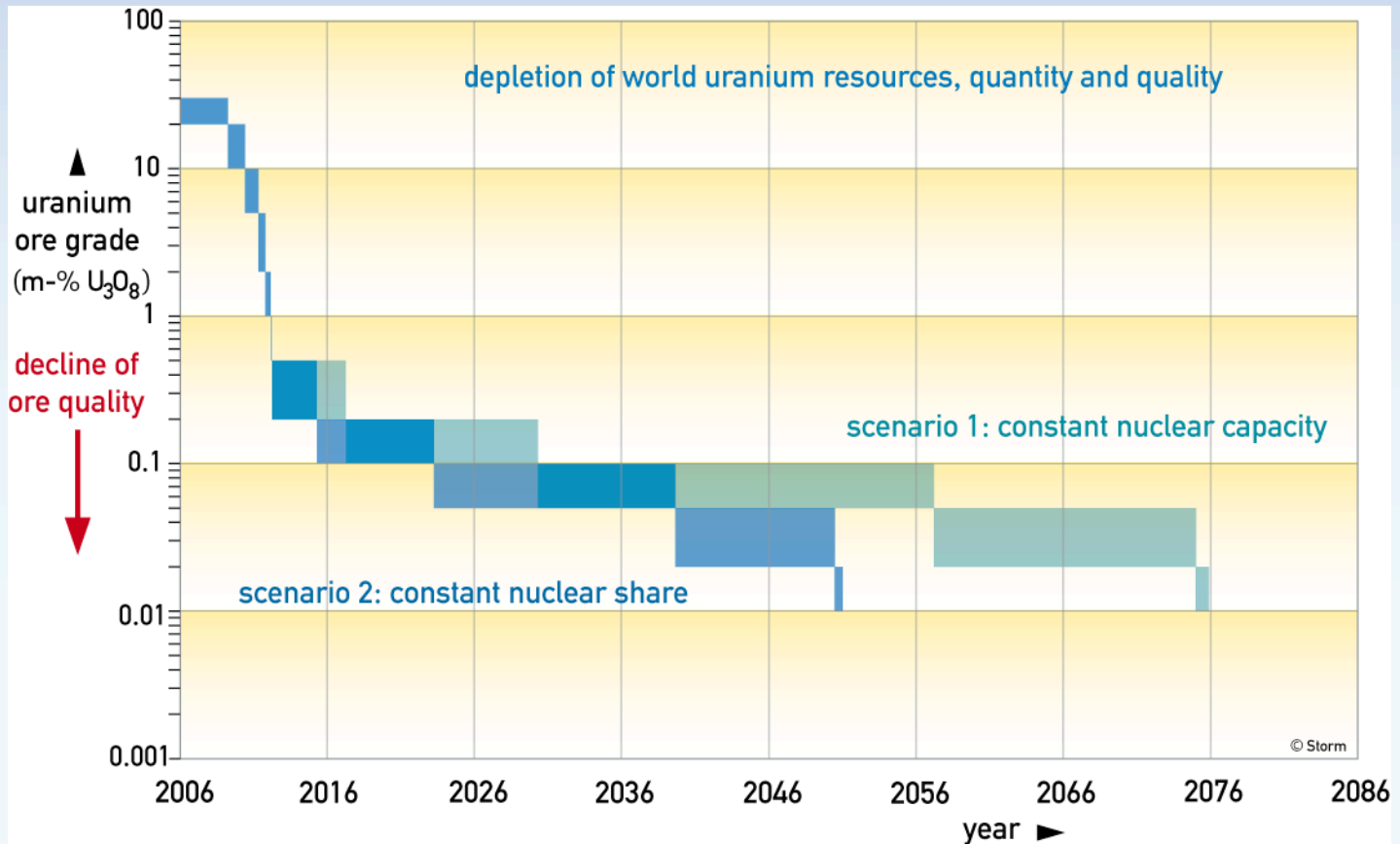
geen signalen uit U industrie bekend over
mogelijke ontdekking nieuwe U voorkomens
van hoge energiekwaliteit, integendeel

kans op ontdekking nieuwe hoge-kwaliteit U
voorkomens onbekend



Kernenergie: de lange termijn

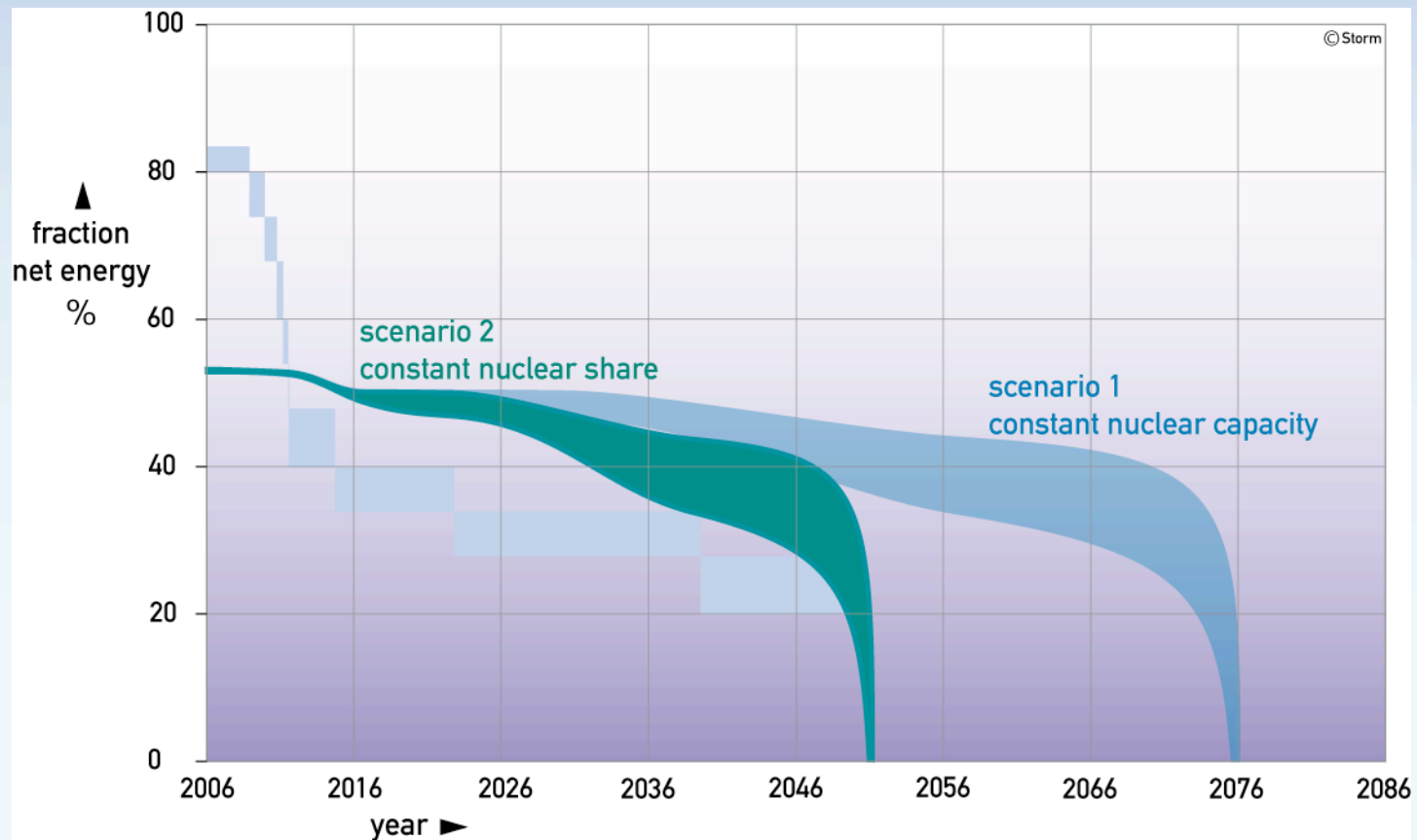
Uitputting van thans bekende U reserves





Kernenergie: de lange termijn

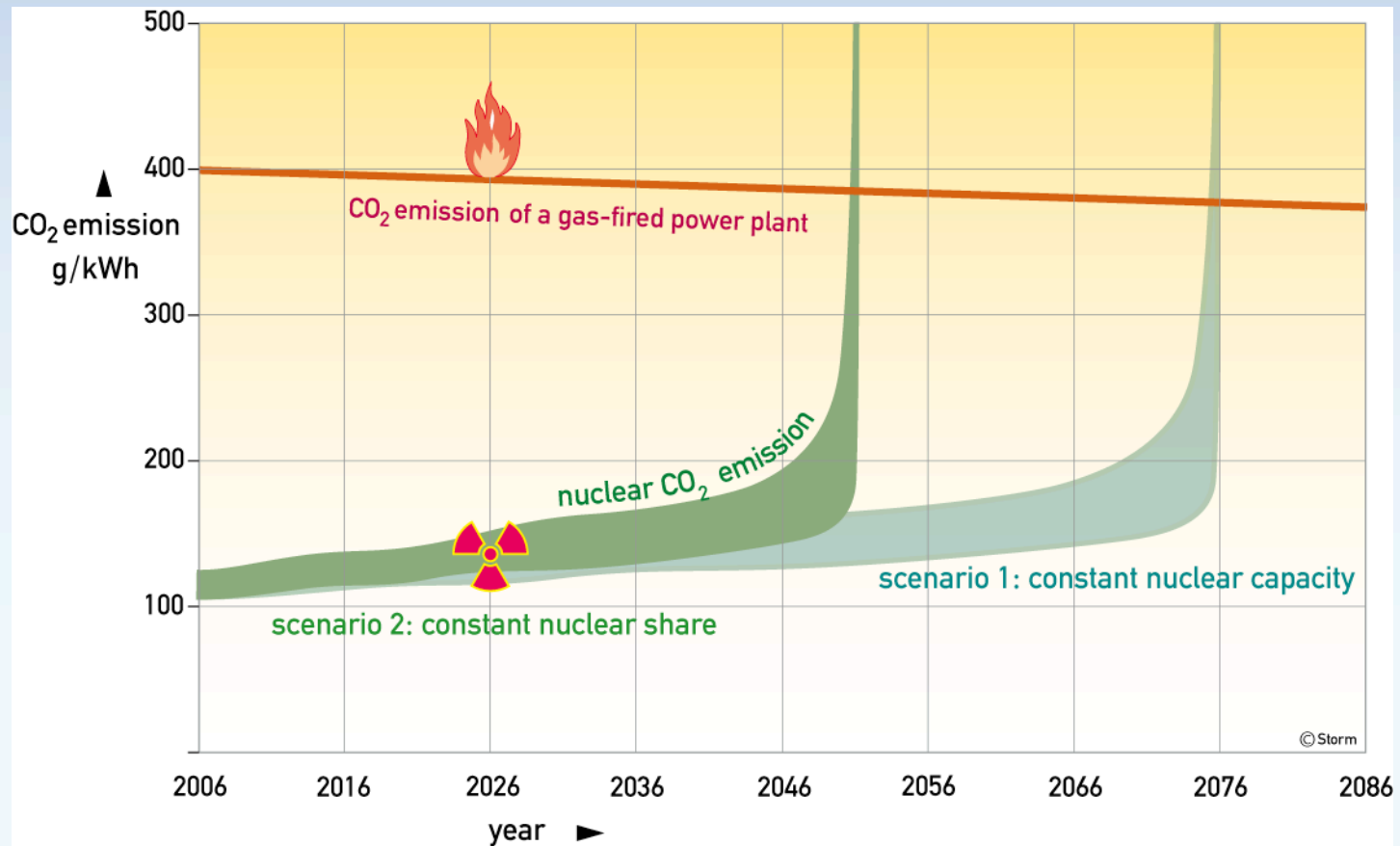
Netto energie uit nucleair systeem in de tijd: de energieklijf



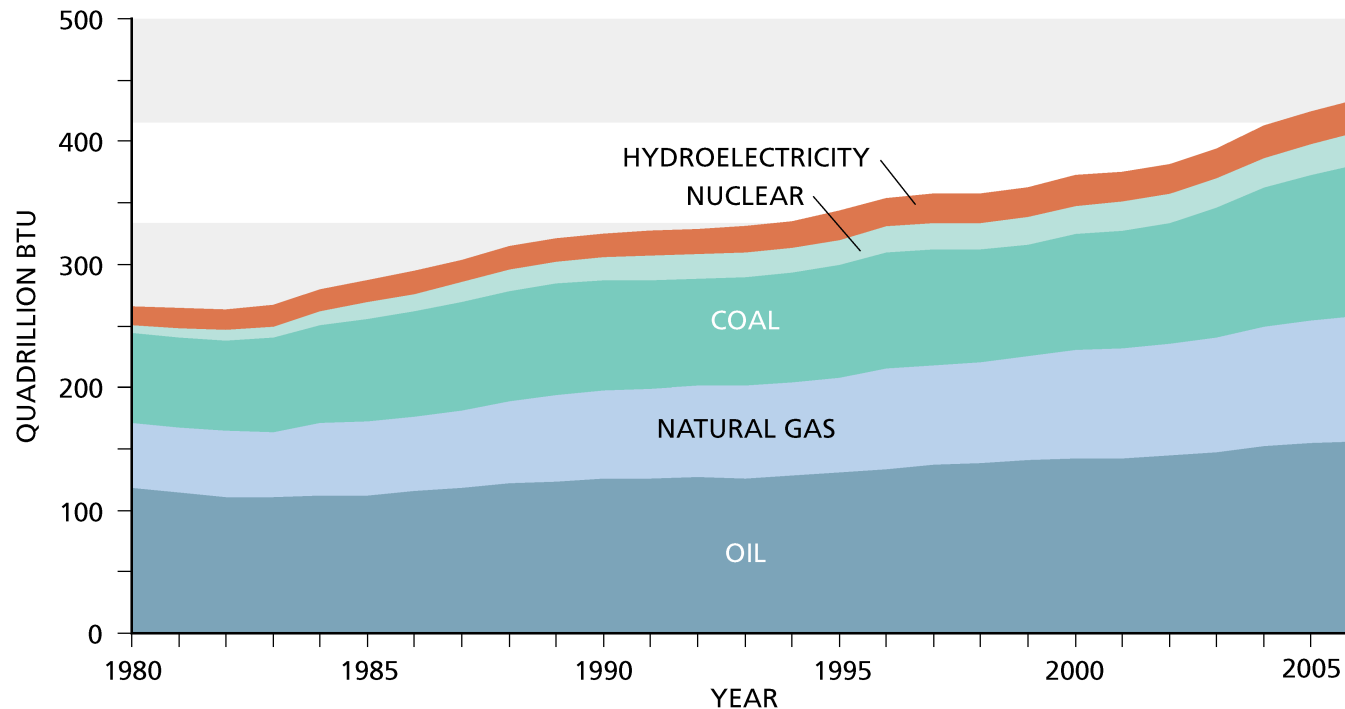


Kernenergie: de lange termijn

Nucleaire CO₂ emissie in de tijd



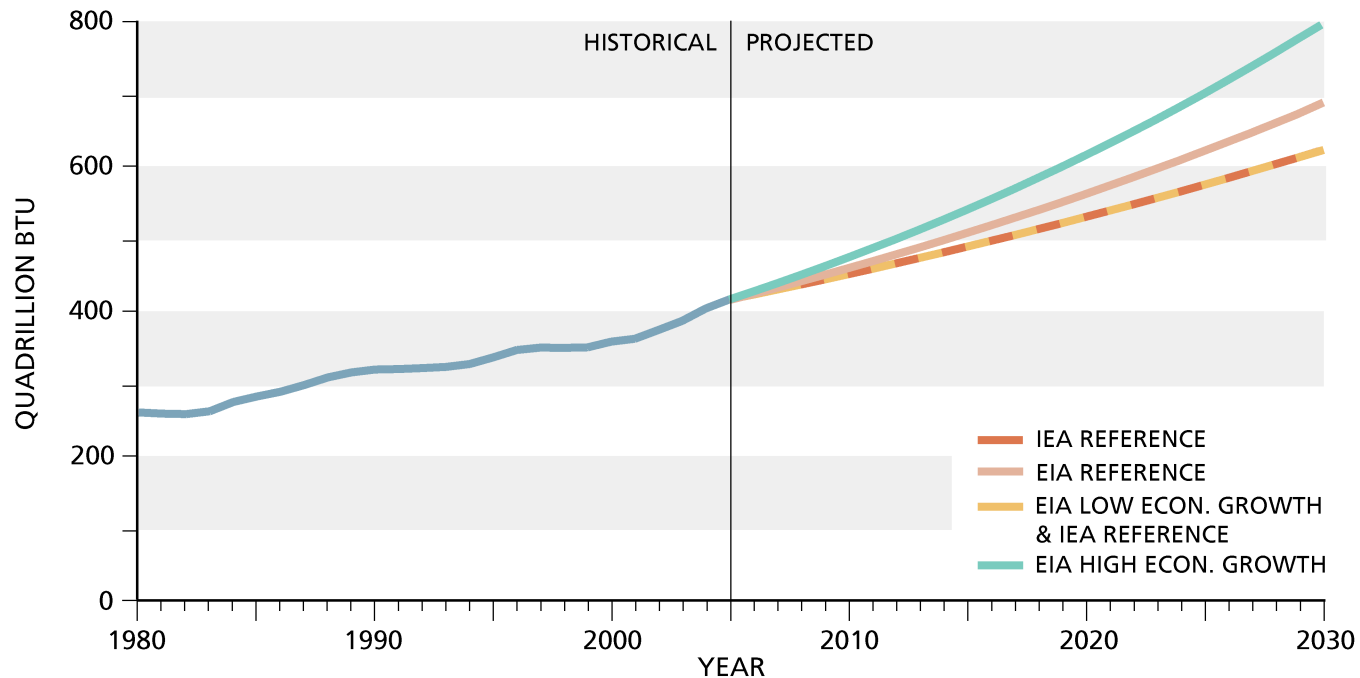
world primary (traded) energy consumption



Source: BP Statistical Review of World Energy 2007.

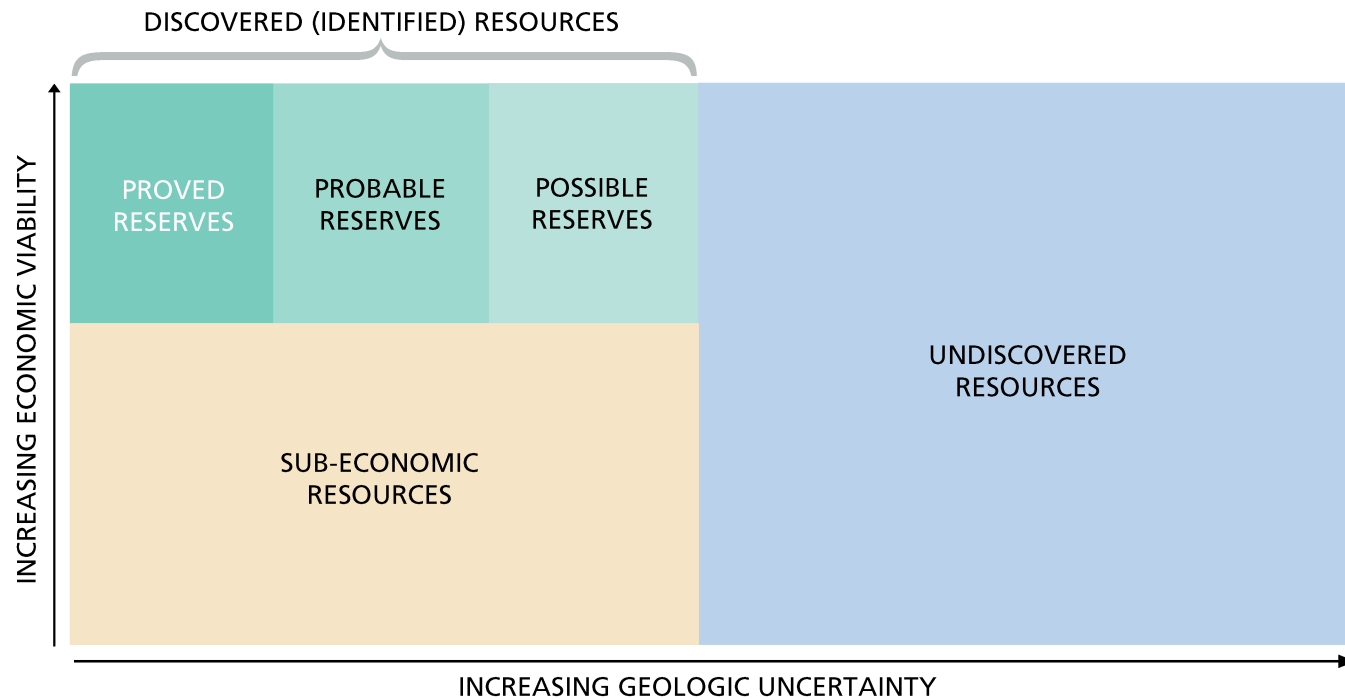
FIGURE 2-8. Global Primary Energy Consumption, 1980-2006

world energy consumption scenarios (IEA & EIA)



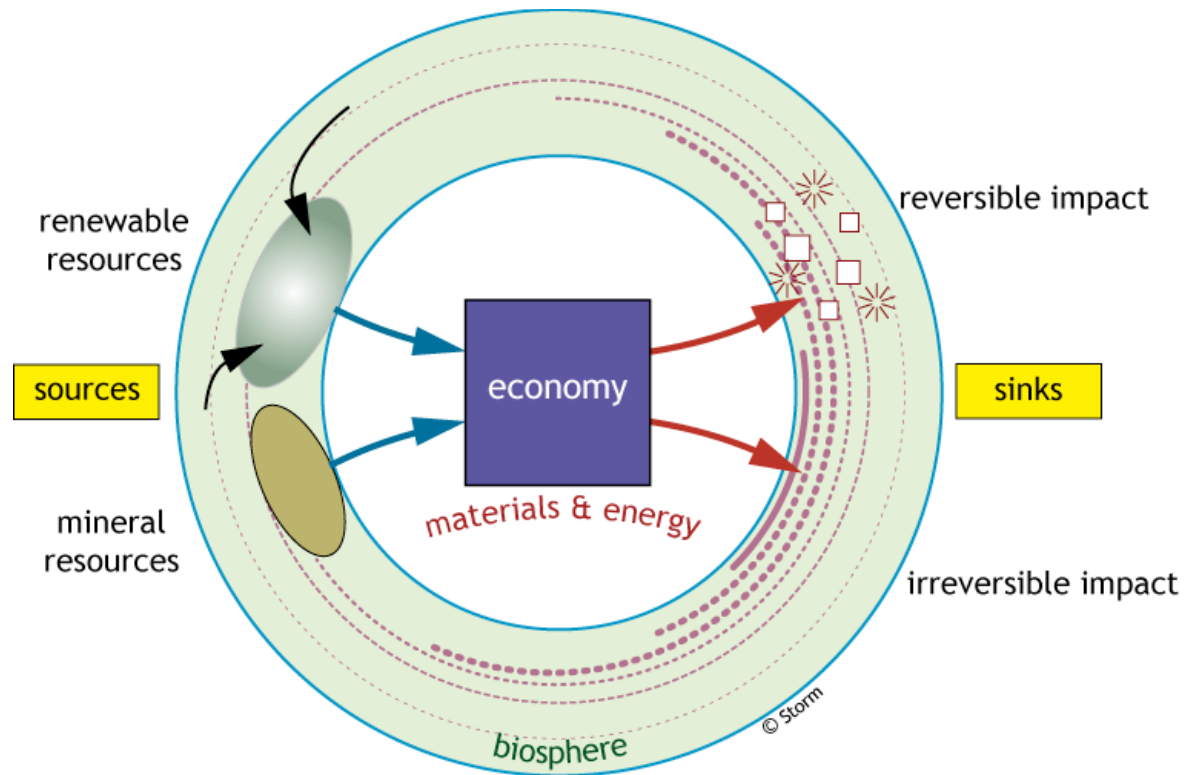
Sources: International Energy Agency (IEA) *World Energy Outlook 2006*; and Energy Information Administration (EIA) *International Energy Outlook 2006*.

McKelvey diagram



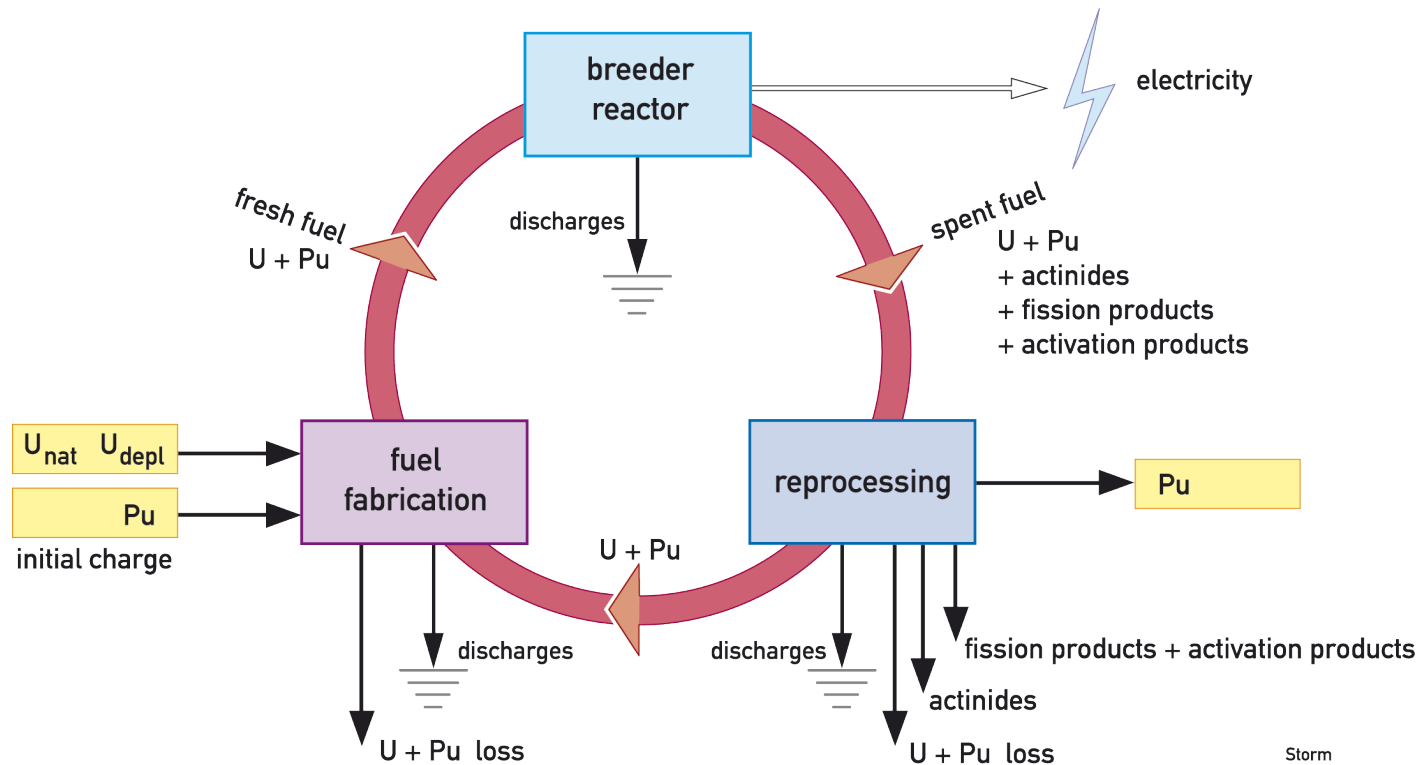
Source: McKelvey, V.E., "Mineral Resource Estimates and Public Policy," *American Scientist*, 1972.

the biosphere as system, with the economy as subsystem



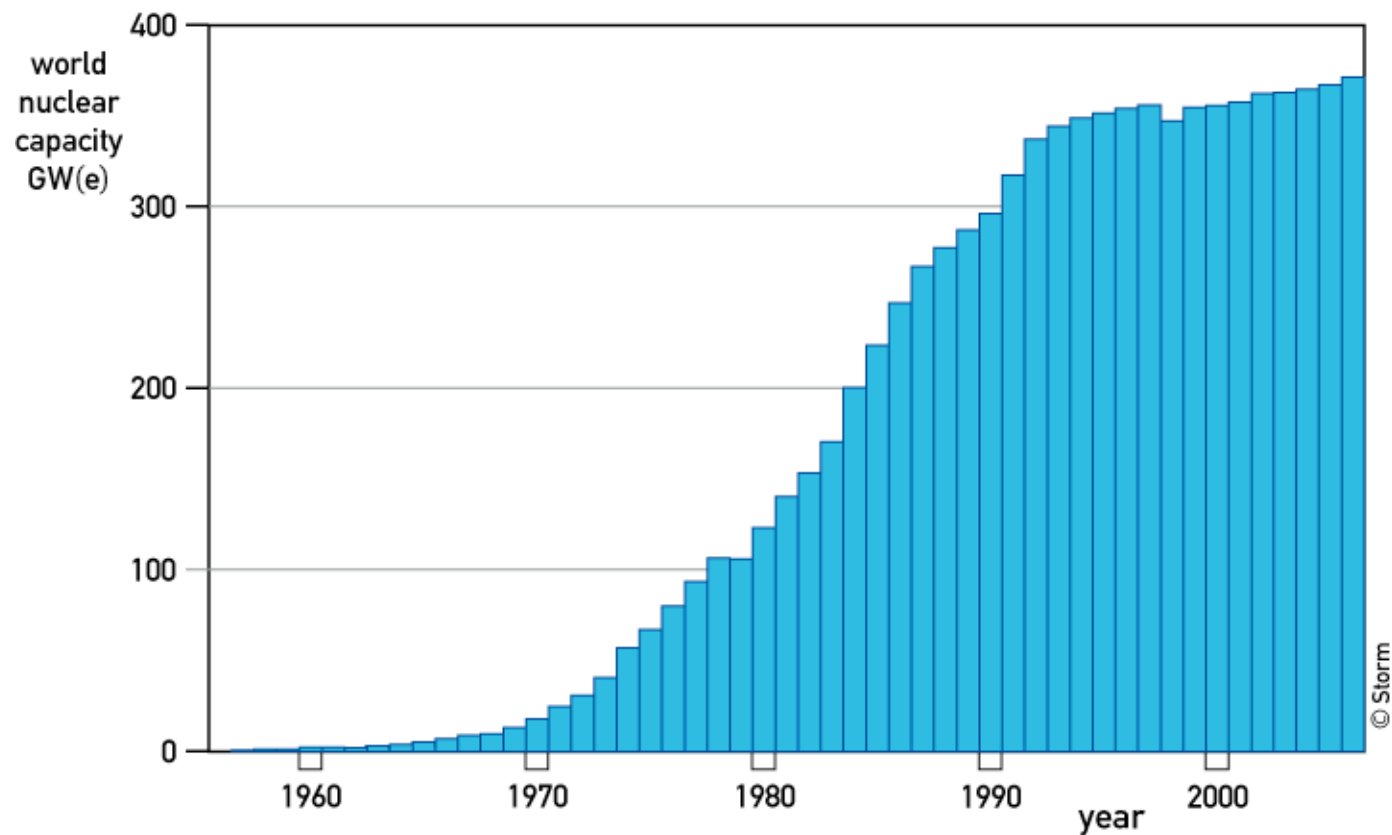
The economy as a subsystem of the biosphere

Breeder cycle

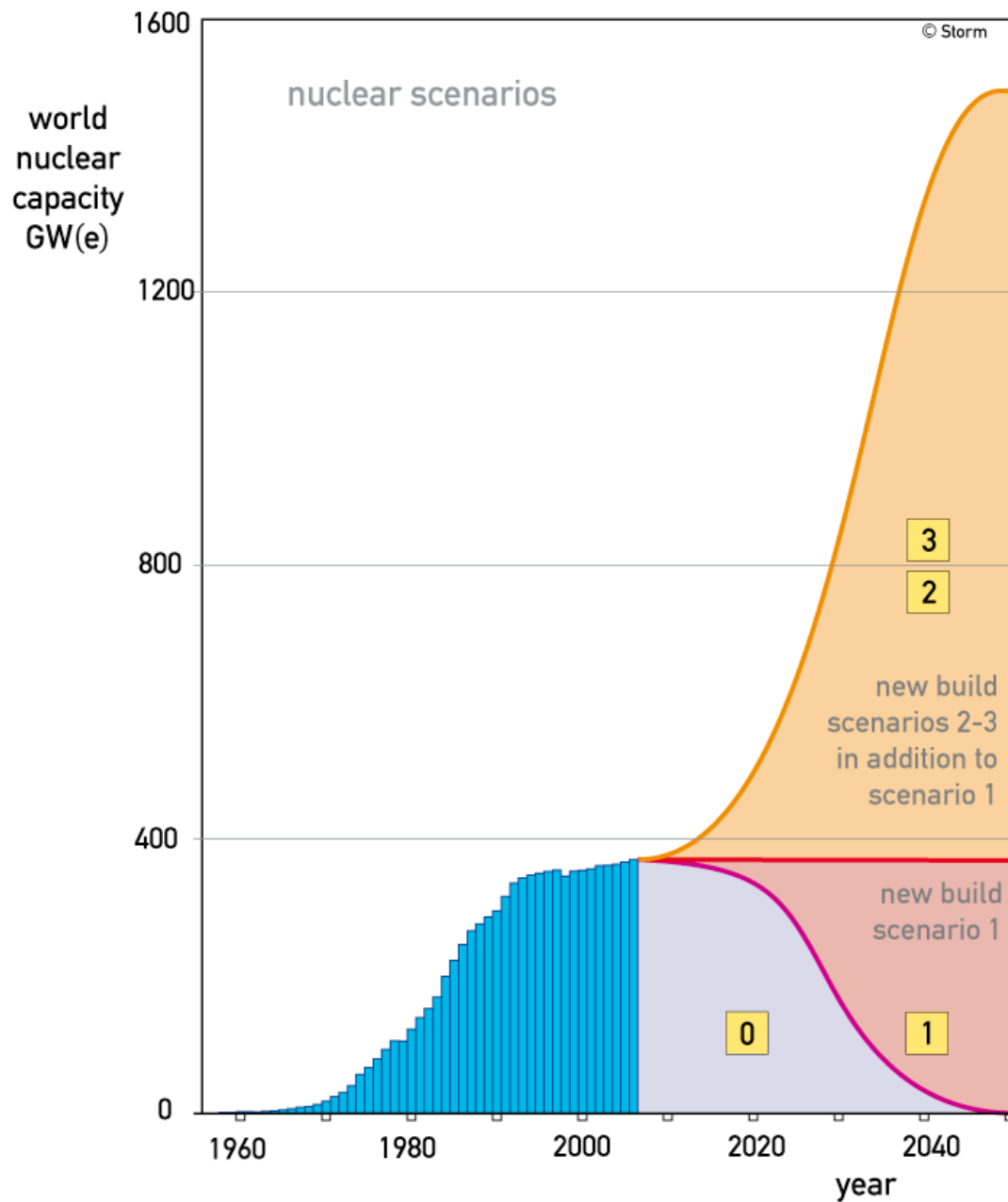


Storm

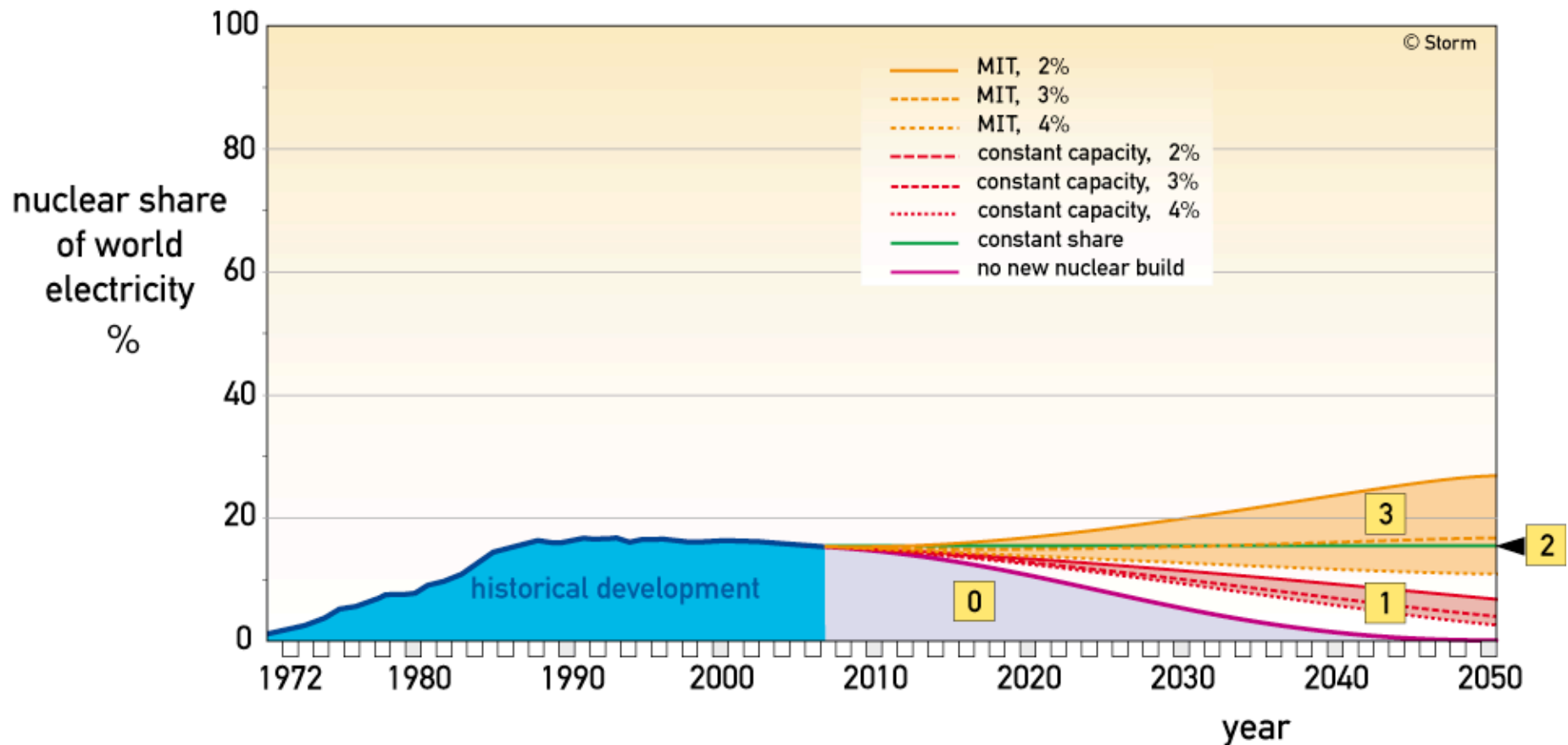
World nuclear capacity



Nuclear scenarios



Nuclear share of world electricity



Uranium requirements

