

Analyse, inform and activate

LAKA

Analyseren, informeren, en activeren

Stichting Laka: Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie

De Laka-bibliotheek

Dit is een pdf van één van de publicaties in de bibliotheek van Stichting Laka, het in Amsterdam gevestigde documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie.

Laka heeft een bibliotheek met ongeveer 8000 boeken (waarvan een gedeelte dus ook als pdf), duizenden kranten- en tijdschriften-artikelen, honderden tijdschriftentitels, posters, video's en ander beeldmateriaal. Laka digitaliseert (oude) tijdschriften en boeken uit de internationale antikernenergie-beweging.

De [catalogus](#) van de Laka-bibliotheek staat op onze site. De collectie bevat een grote verzameling gedigitaliseerde [tijdschriften](#) uit de Nederlandse antikernenergie-beweging en een verzameling [video's](#).

Laka speelt met oa. haar informatie-voorziening een belangrijke rol in de Nederlandse anti-kernenergiebeweging.

The Laka-library

This is a PDF from one of the publications from the library of the Laka Foundation; the Amsterdam-based documentation and research centre on nuclear energy.

The Laka library consists of about 8,000 books (of which a part is available as PDF), thousands of newspaper clippings, hundreds of magazines, posters, video's and other material. Laka digitizes books and magazines from the international movement against nuclear power.

The [catalogue](#) of the Laka-library can be found at our website. The collection also contains a large number of digitized [magazines](#) from the Dutch anti-nuclear power movement and a [video-section](#).

Laka plays with, amongst others things, its information services, an important role in the Dutch anti-nuclear movement.

Appreciate our work? Feel free to make a small [donation](#). Thank you.



www.laka.org | info@laka.org | Ketelhuisplein 43, 1054 RD Amsterdam | 020-6168294



**Welkom bij het
Reactor Instituut Delft !**

Kerncentrales ↔ Onderzoeksreactoren

**European
Pressurized Water Reactor**



produceert elektriciteit

**vermogen =
4500 MW**

Kerncentrale Borssele



produceert elektriciteit

**vermogen =
1500 MW**

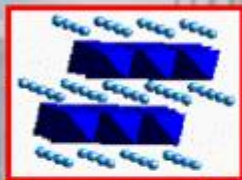
**HOR
Reactor Instituut Delft**



**produceert straling en
elementaire deeltjes**

**vermogen =
2 MW**

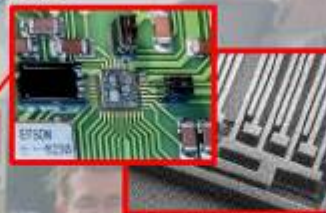
Pace Maker
Li-Batteries
New Materials for Energy



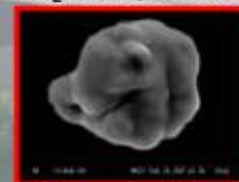
GPS Navigation
Functional Materials



Air Bag
Acceleration Sensors
MEMS



Cosmetics
 TiO_2 Nanoparticle



Mobile Phone
SAW Structures



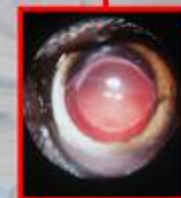
Artificial Hips
Biocompatible
Materials



Glasses and Coatings
Optical Materials
UV Filter



Digital Camera
CCD Chip



Artificial Lens
Biocompatible
Polymers



Bike Frame
Carbon Fibres
Composite Materials



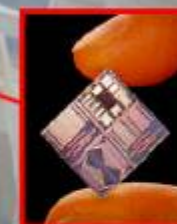
GMR Read Head
Magnetic
Multilayers



LED Display
Photonic Materials



Intelligent Credit Card
Integrated Circuits



Exact Time via satellite
Semiconducting devices
Micro-Batteries

Taylored Materials at Work

RID: Reactor Instituut Delft

Neutrons & Positrons for Science & Society

faciliteiten en diensten

- reactor HOR
- neutronenverstrooiing
- neutronenactivering
- positronenbundels
- radiochemische laboratoria
- stralingshygiëne



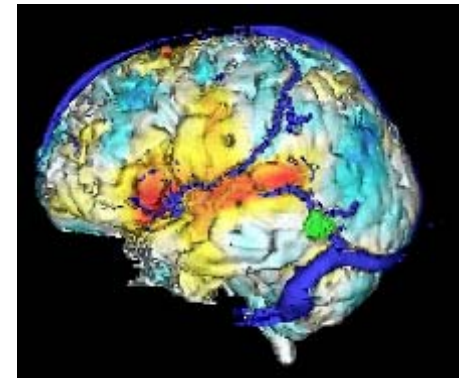
Huidige onderzoeksthema's R³

Energie

- zonnecellen
 - batterijen
 - waterstofopslag
 - kernreactoren
- } materiaalonderzoek

Gezondheid

- straling en radioactieve stoffen voor therapie
- " en " voor diagnostieken
- stralingsdetectiesystemen voor imaging
- ontwikkeling van productieroutes voor radionucliden



Microsoft®
MapPoint

ISIS

HOR

FRG-2

BER-2

ORPHEE

FRM-2



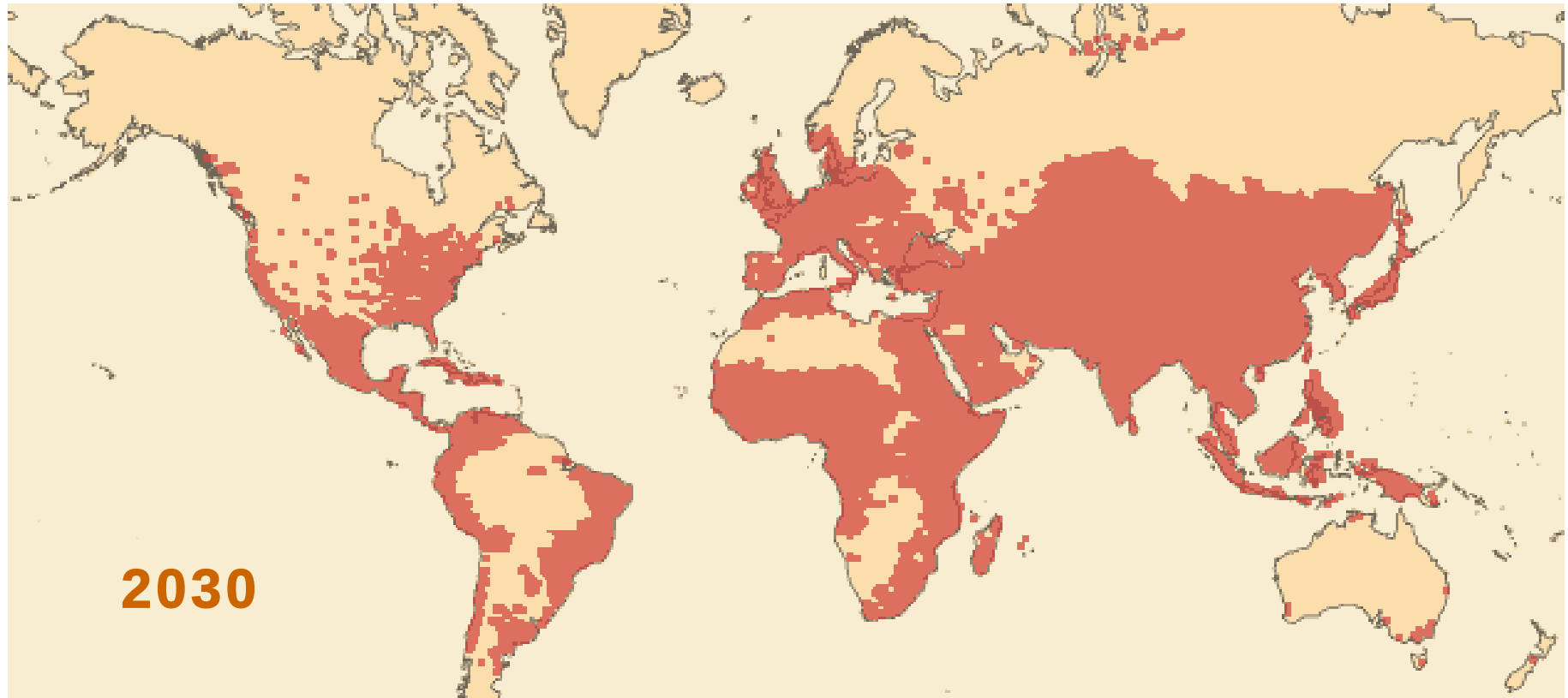
SINO

ILL

het
probleem

Wereldbevolking

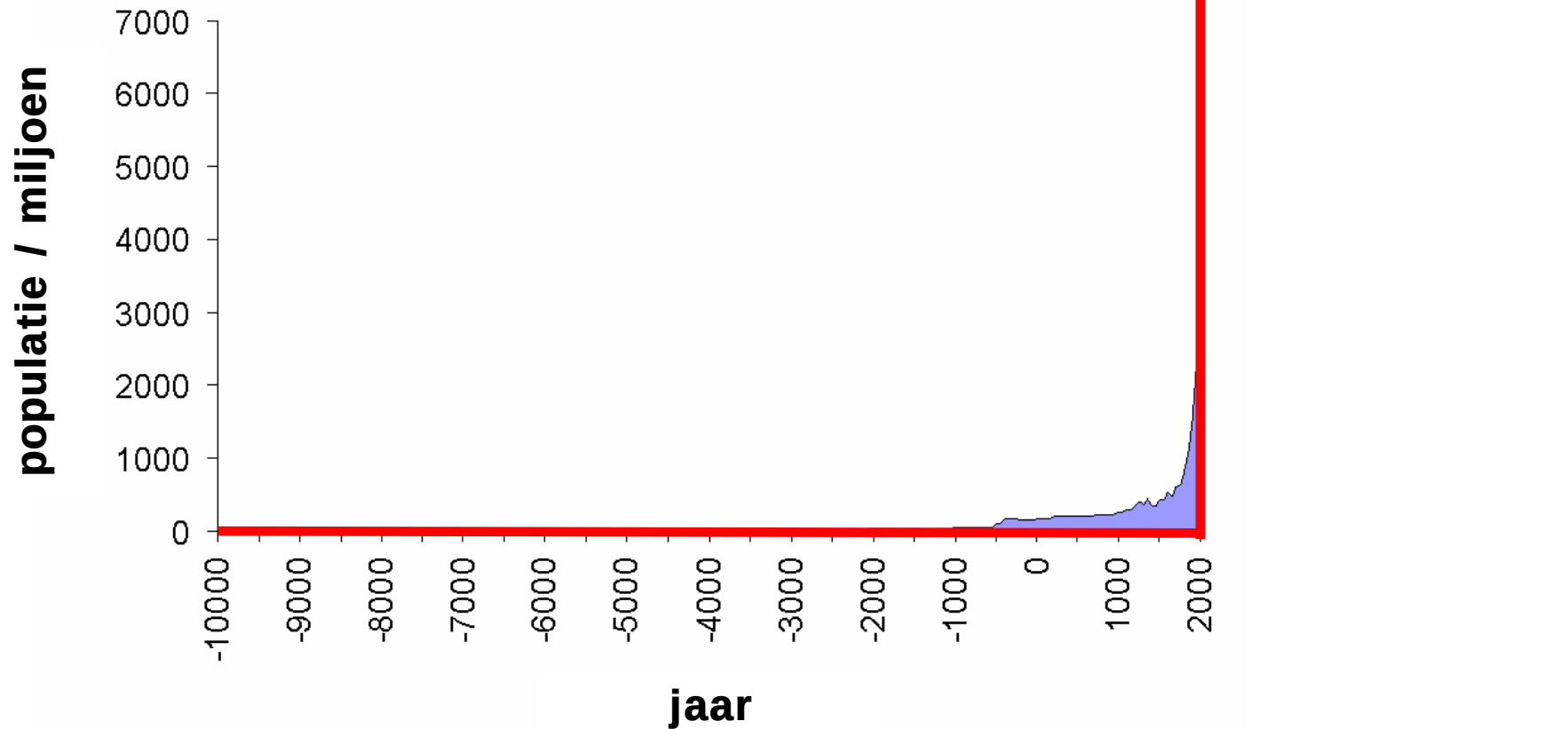
■ = 1 miljoen mensen



*het
probleem*

Wereldbevolking

Historische bevolkingsgroei



het
probleem

Mon... e energievraag

'morgen'

+ 55 %

2030

15.000 miljard euro
aan investeringen nodig
in de energiesector

nu

2005

elektriciteit:

+ 100% in 2030

+ 160% in 2050

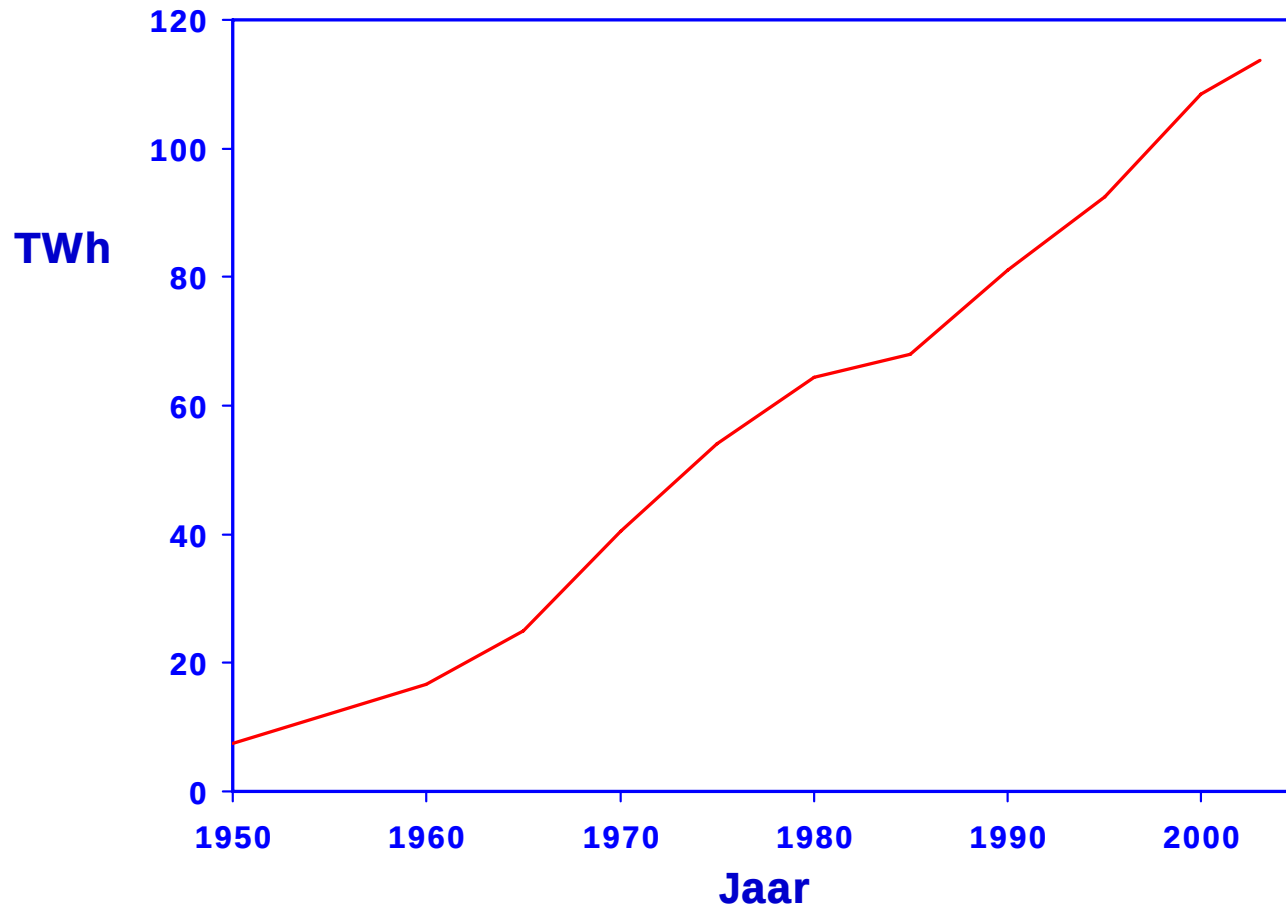
'gisteren'

1970



*het
probleem*

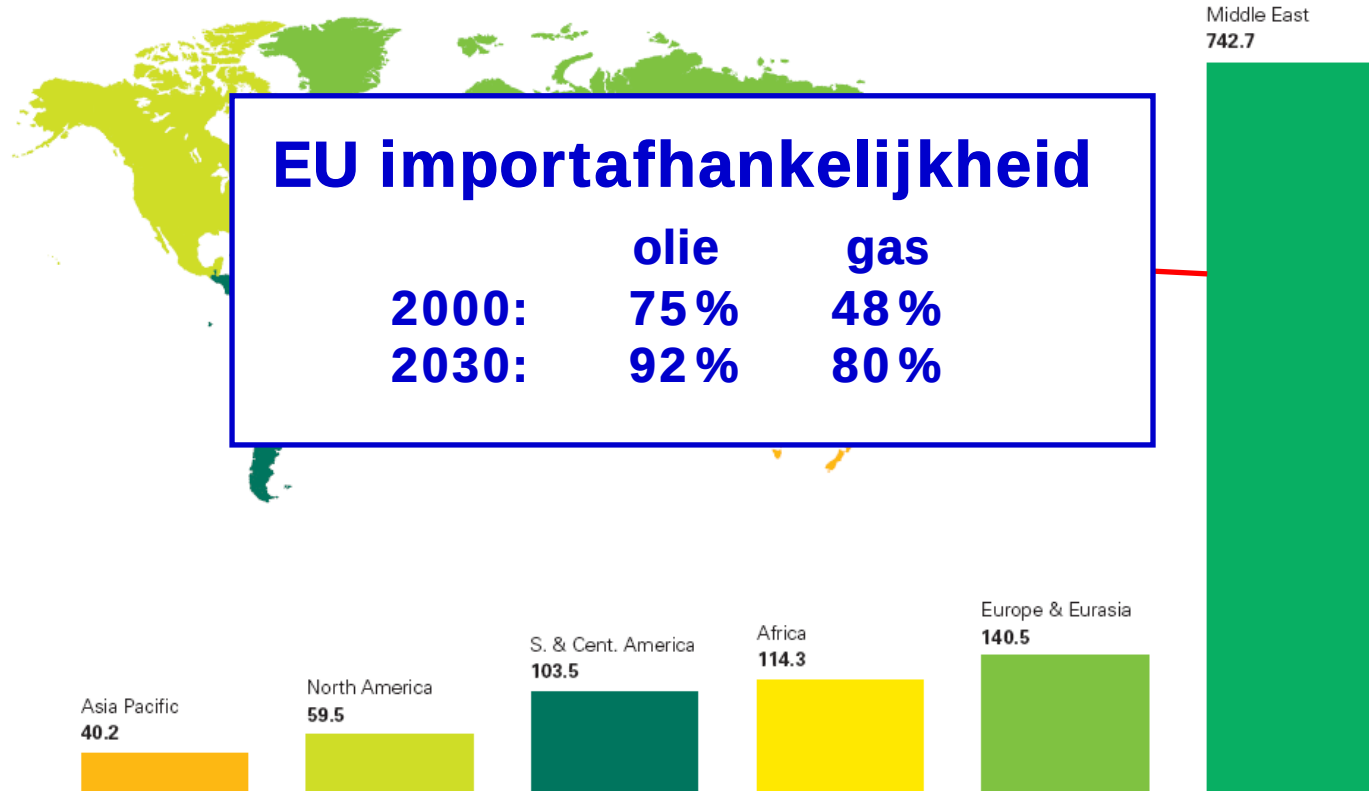
Elektriciteitsverbruik Nederland



het
probleem

Bewezen oliereserves (2005)

Thousand million barrels



het
probleem

CO₂ concentratie

De laatste 160.000 jaar
(uit ijsboringen)
en de komende 100 jaar

CO₂ in 2100
(met *business as usual*)

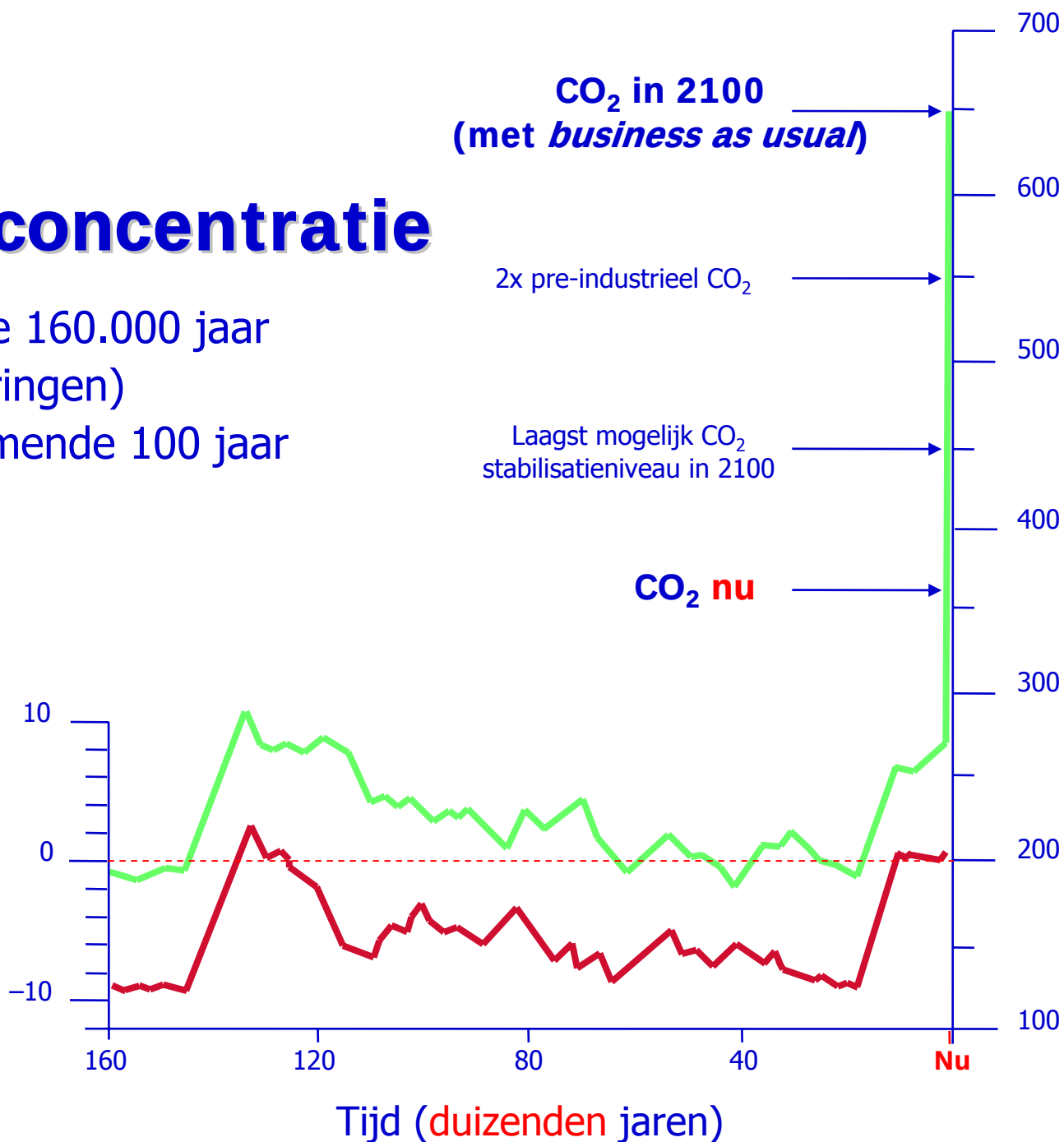
2x pre-industrieel CO₂

Laagst mogelijk CO₂
stabilisatieniveau in 2100

CO₂ nu

CO₂ concentratie (ppmv)

Temperatuur-
verschil met
nu in °C

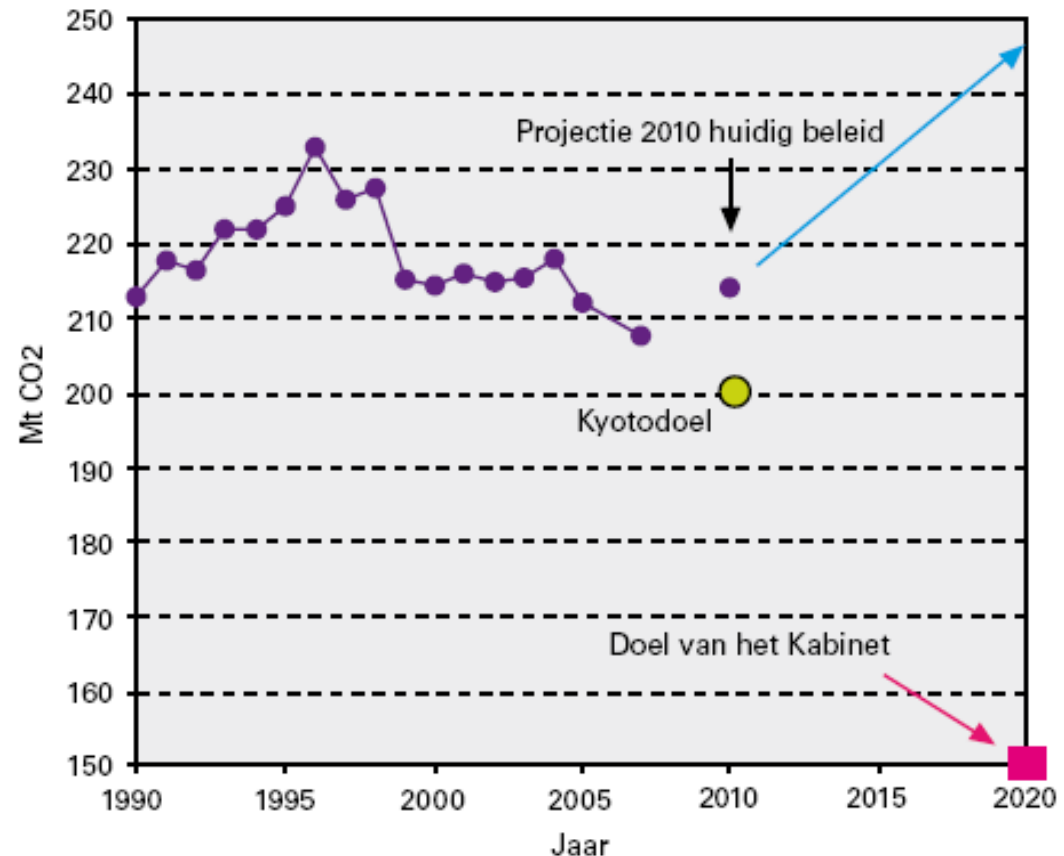


Bron: IPCC

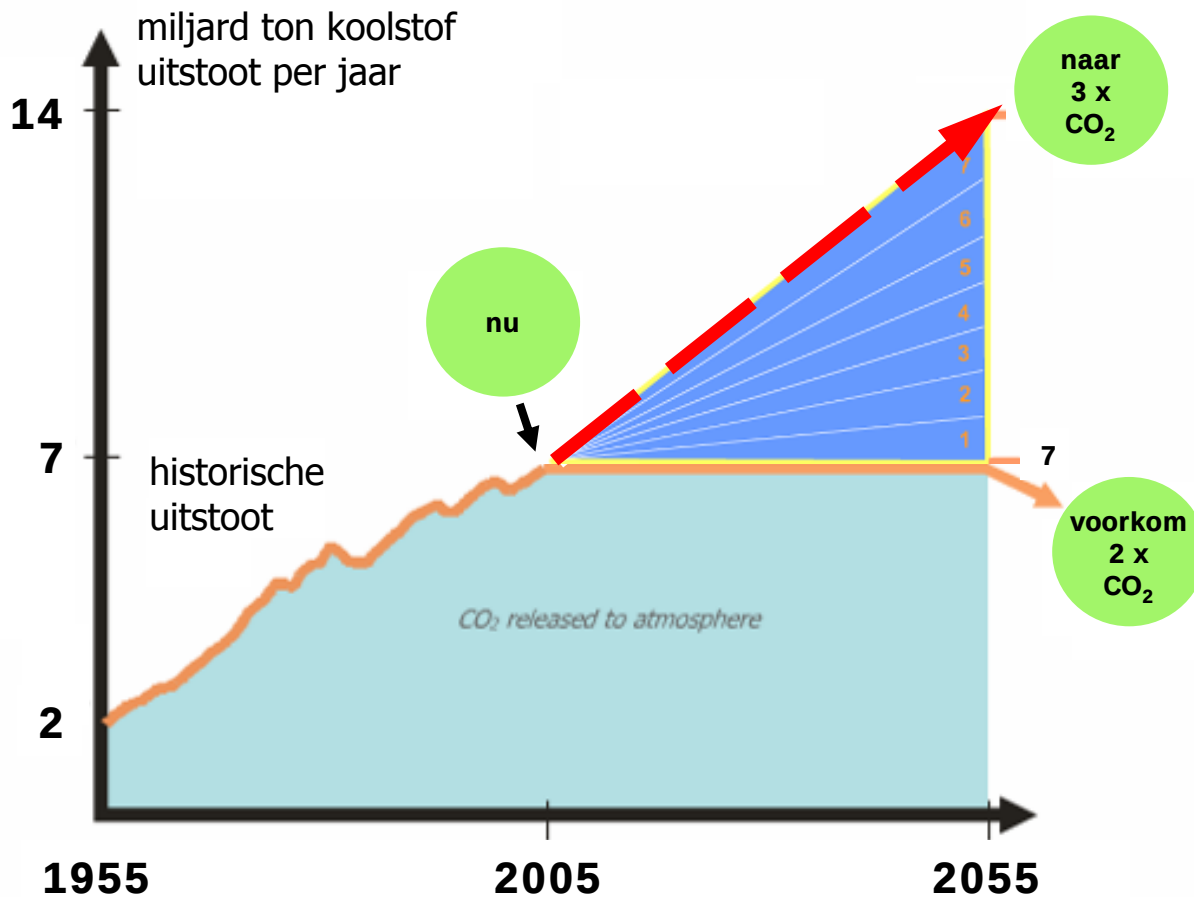
Nederlandse ambities

- 30% reductie uitstoot broeikasgassen (1990→2020)
- 2% energiebesparing per jaar
- 20% hernieuwbare energie in 2020

Kosten: 8 à 9 miljard € per jaar



Stabiliseren van CO₂-uitstoot: actie nodig



Om de CO₂-uitstoot in 2050 **gestabiliseerd** te hebben, moeten we bijvoorbeeld ... (alle 7!)

Besparingen

Alle auto's:
Verdubbel het rendement



Alle woonhuizen en bedrijven:
Gebruik de beste voorzieningen



Evolutie

Kernenergie:
Verdrievoudig het aantal kerncentrales



'Schoon fossiel':
Berg de CO₂ van 800 fossiel gestookte centrales op



Revolutie

Zonnecellen:
700 x meer capaciteit



Windenergie:
50 x meer windenergie



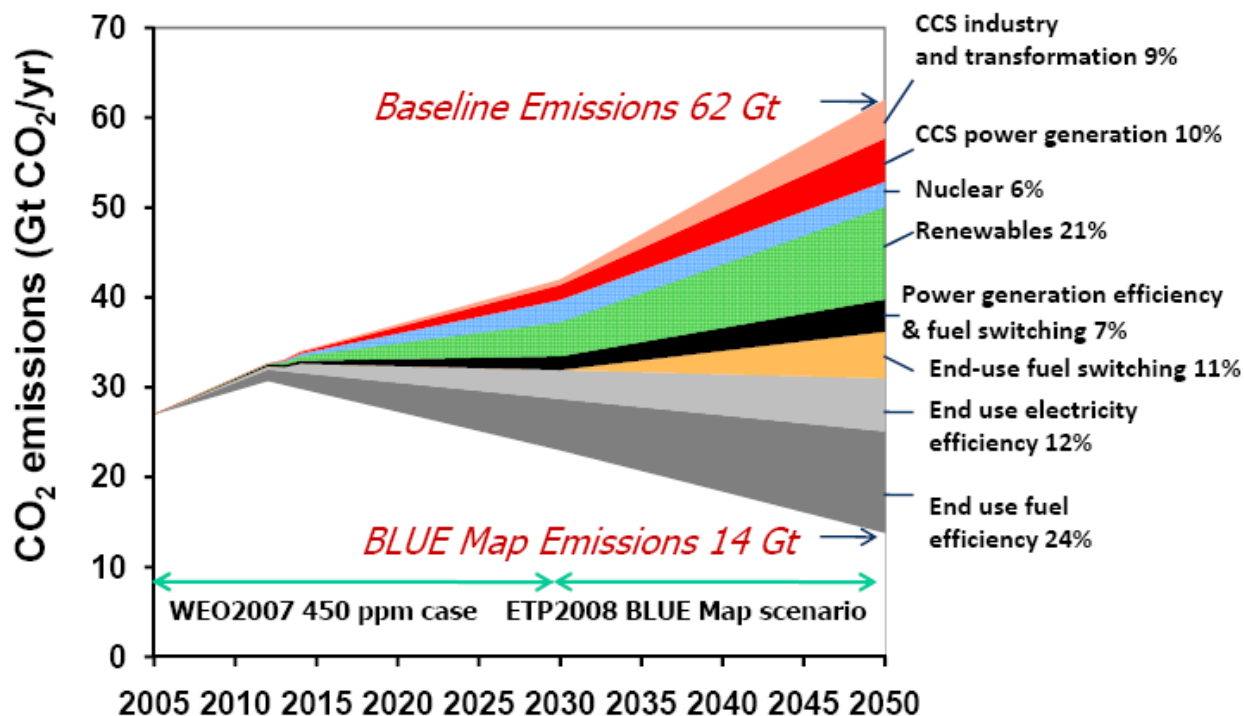
Bio-energie:
50 x meer ethanolproductie



IEA Energy Technology Perspectives 2008

June 6, 2008

A New Energy Revolution: Cutting Energy Related CO₂ Emissions



ENERGY
TECHNOLOGY
PERSPECTIVES
2008

Scenarios &
Strategies
to 2050

INTERNATIONAL

ENERGY

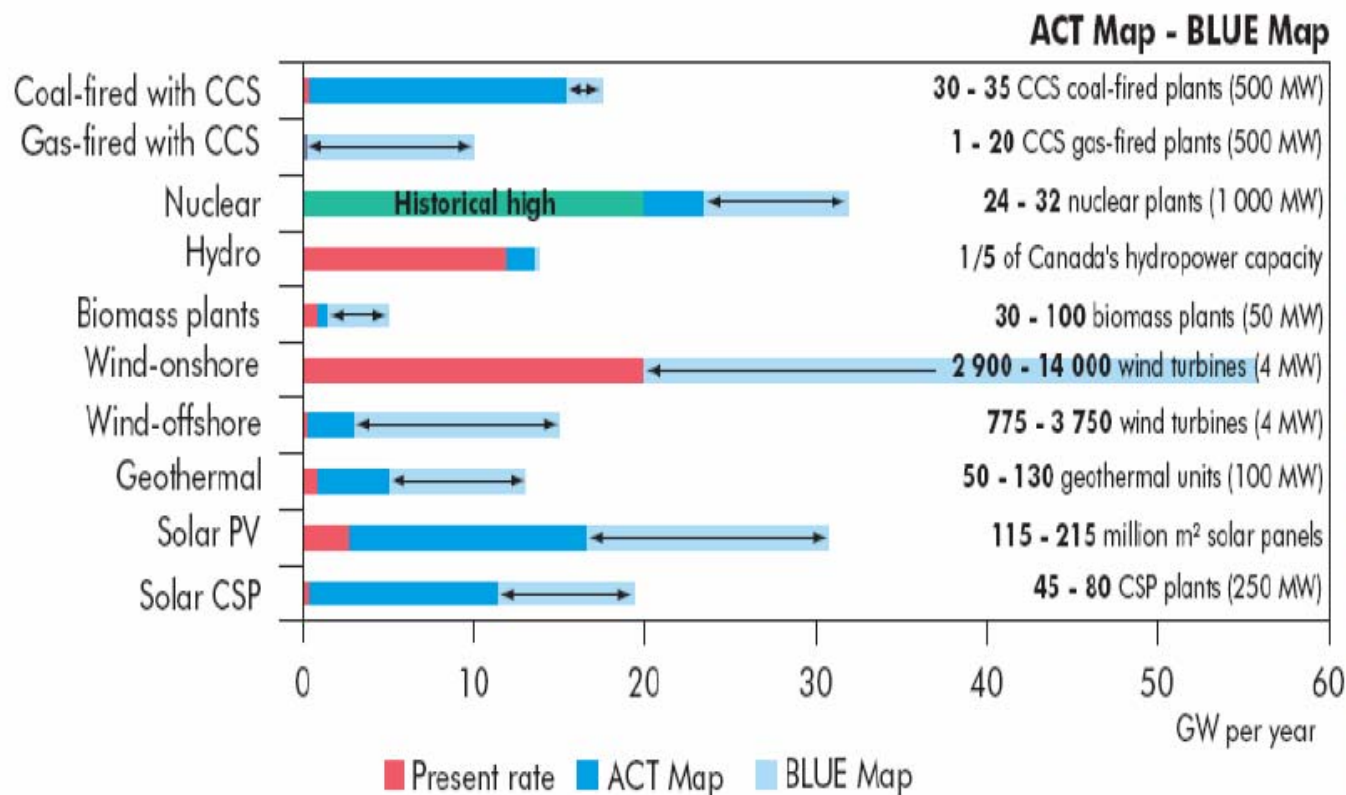
AGENCY



IEA Energy Technology Perspectives 2008

June 6, 2008

Average Annual Power Generation Capacity Additions, 2010 – 2050 *An Energy Revolution*



ENERGY
TECHNOLOGY
PERSPECTIVES
2008

Scenarios &
Strategies
to 2050

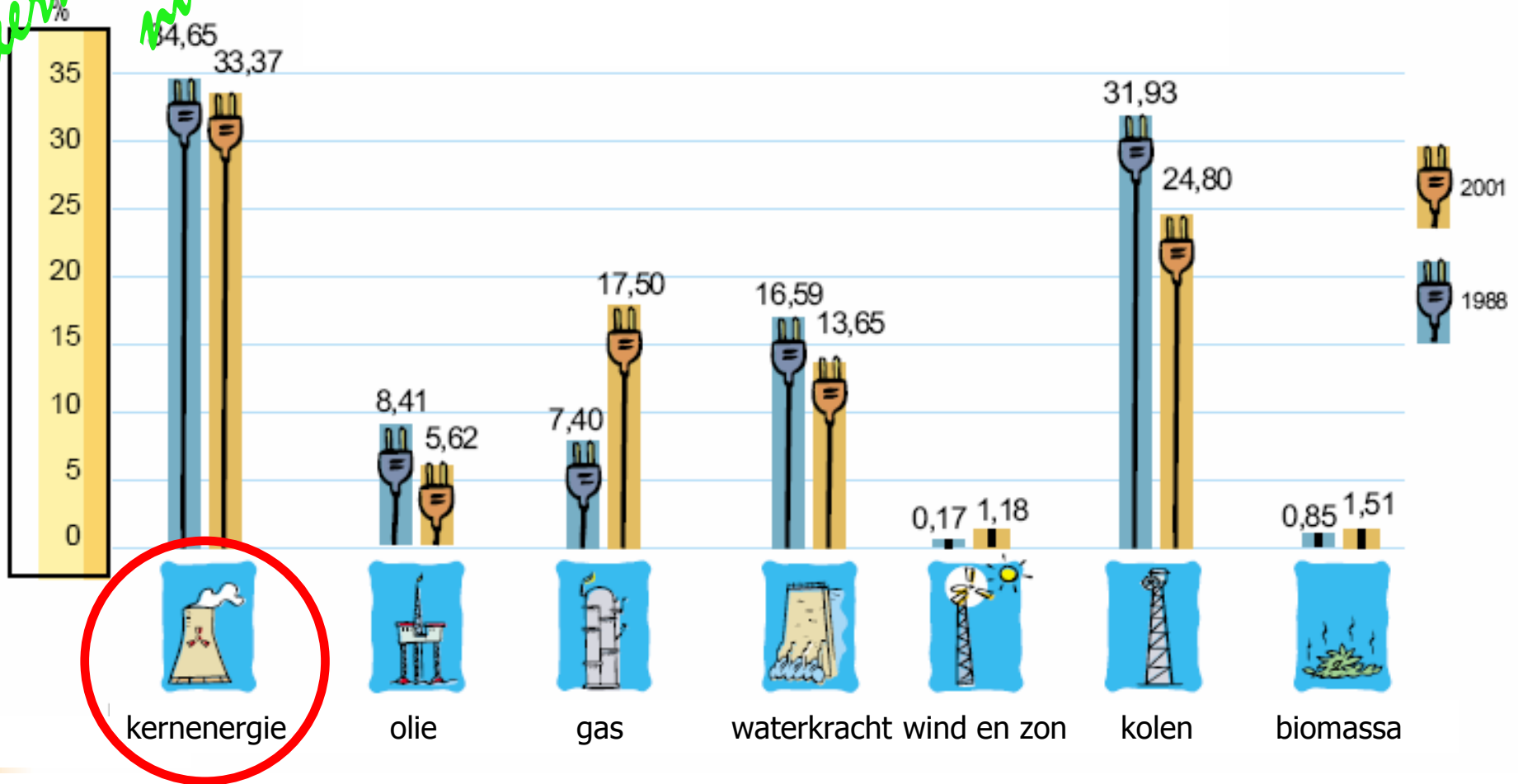
INTERNATIONAL

ENERGY
AGENCY



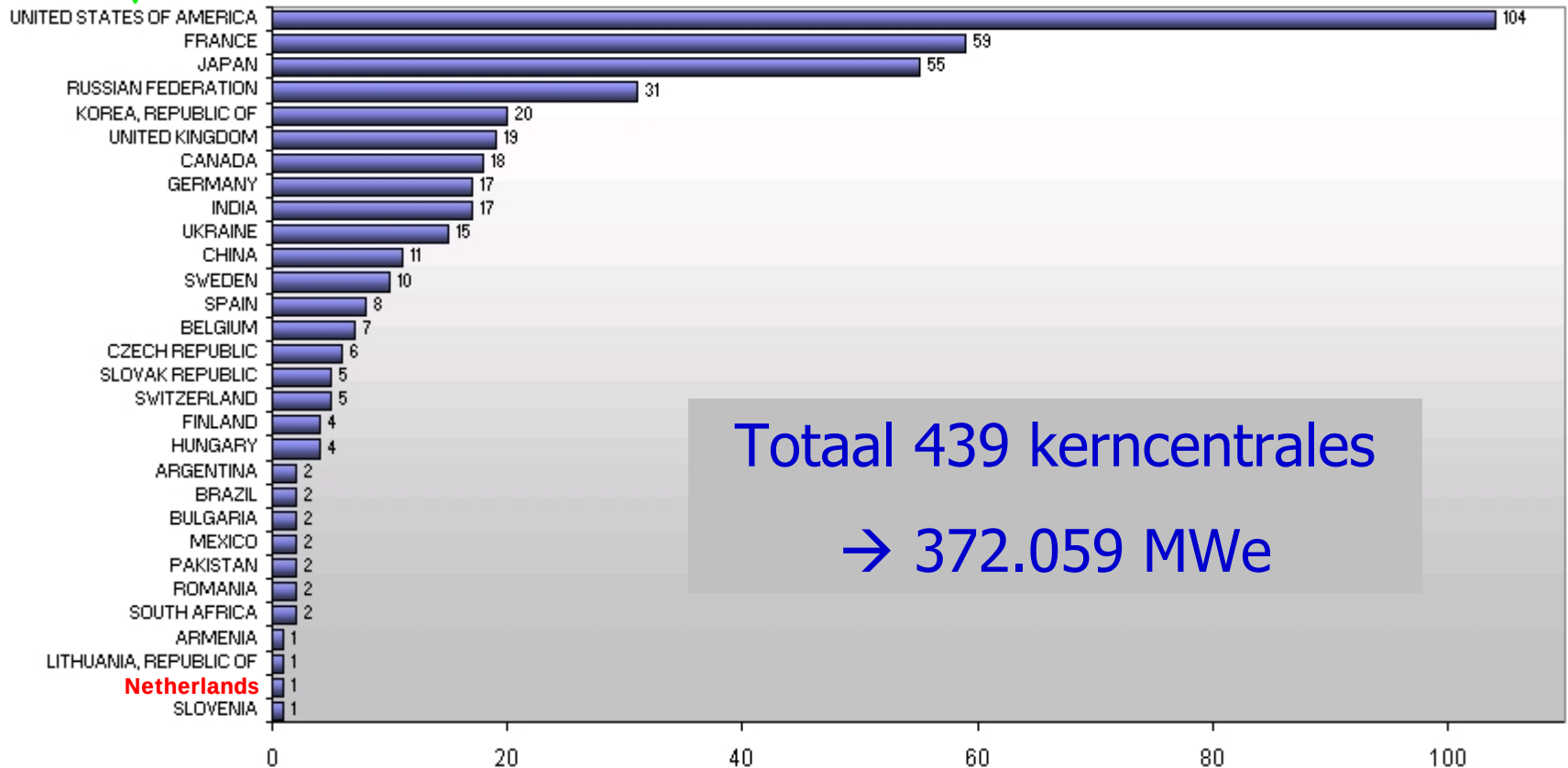
Elektriciteitsproductie EU

kernenergie nu



kernenergie
nu

Kerncentrales in bedrijf, augustus 2007

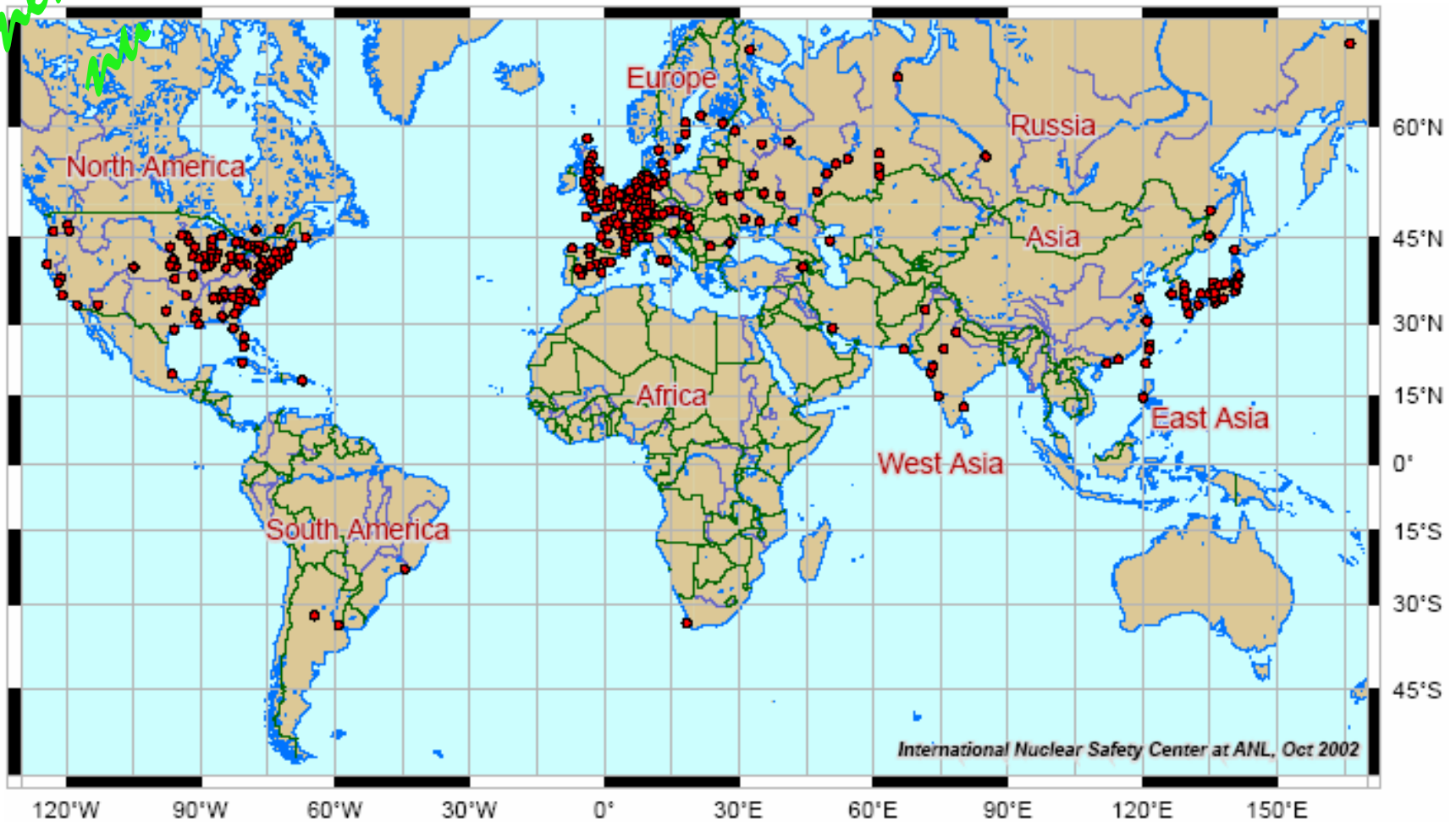


Totaal 439 kerncentrales
→ 372.059 MWe

Note: Long-term shutdown units (5) are not counted

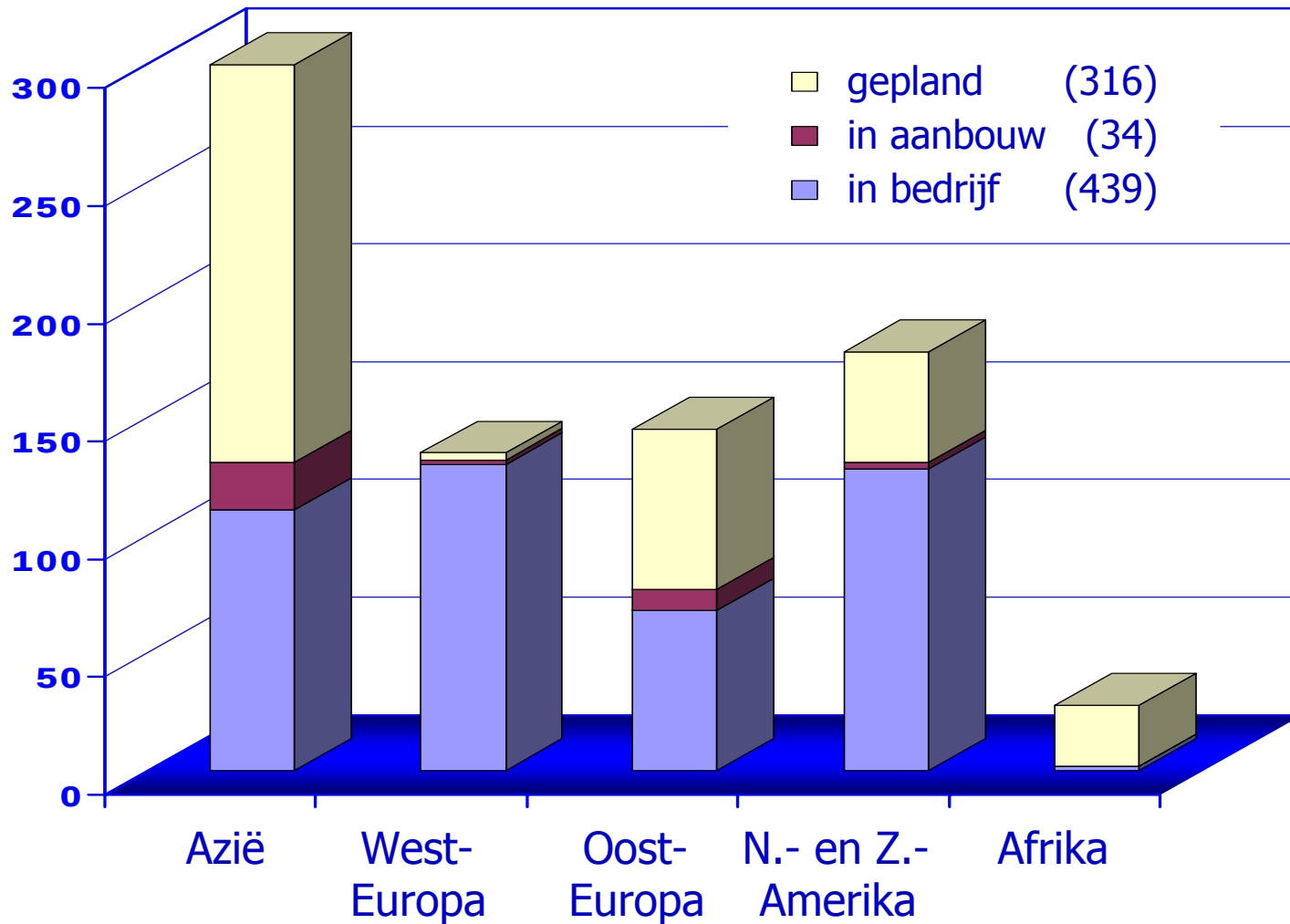
kernenergie
na

Kerncentrales

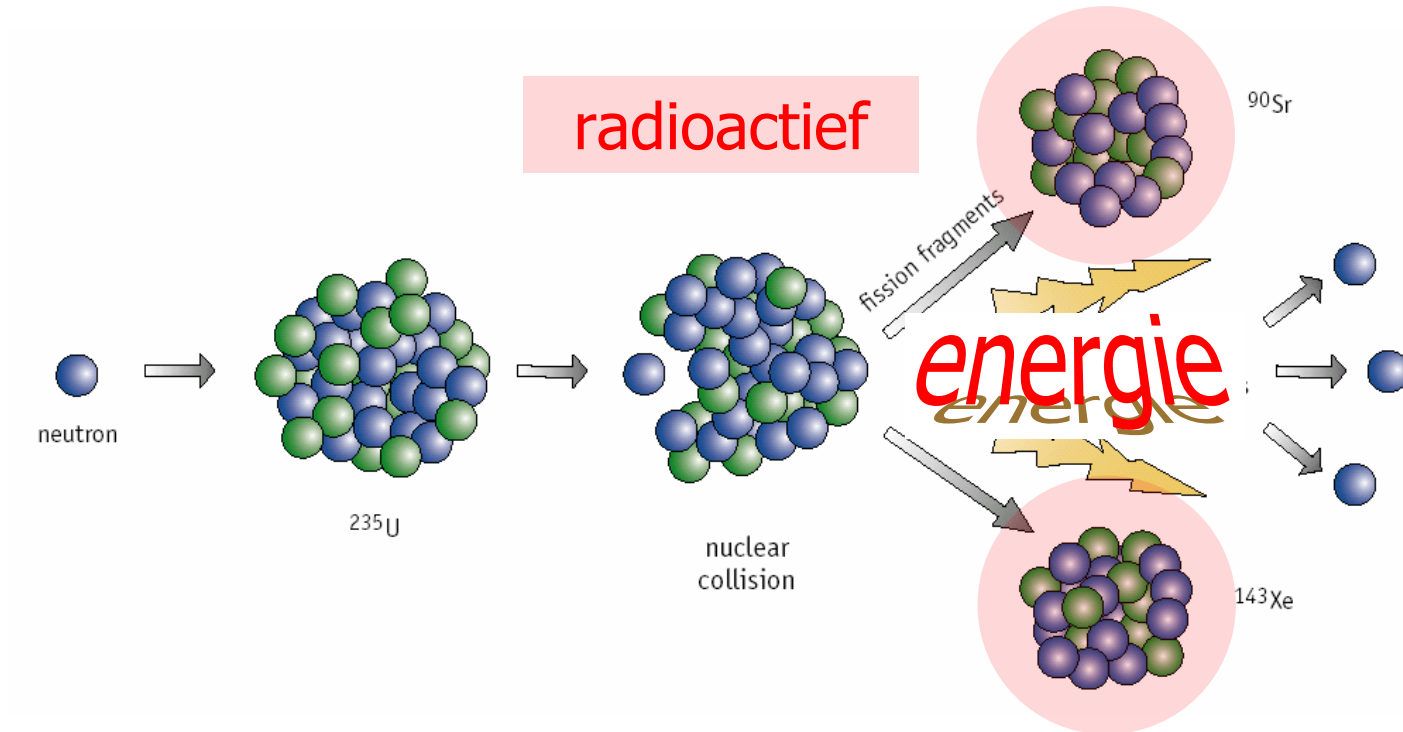


Status kerncentrales

januari 2008



Kernsplijting



**Splijting van 1 gram uranium levert evenveel energie als
het verbranden van 2500 liter benzine
of 3000 kilogram kolen**

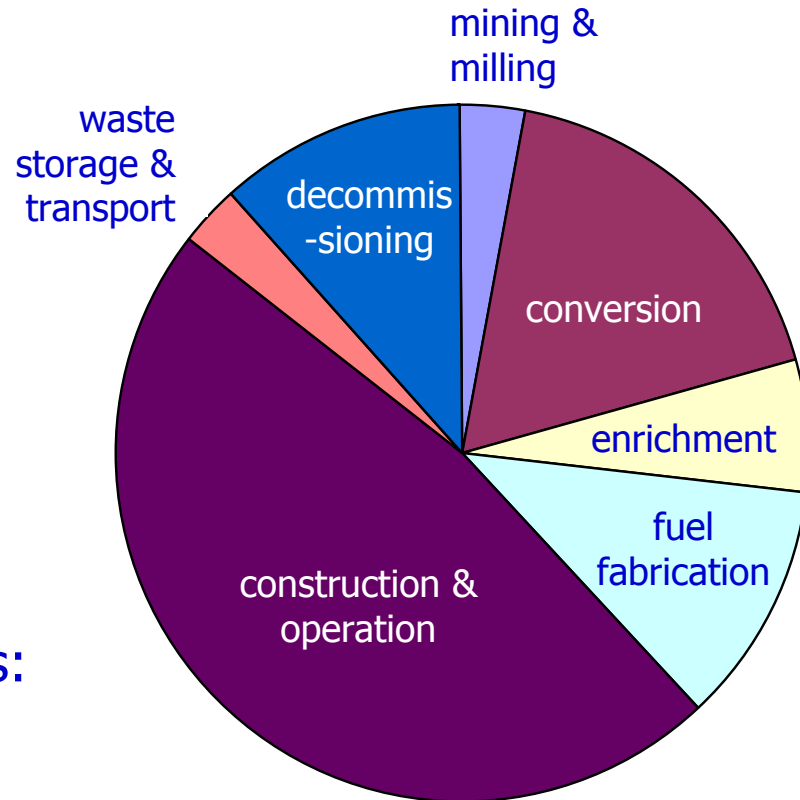
Weinig materiaal nodig

→ strategische voorraden
→ weinig afval

- alle elektriciteit in Nederland nucleair:
0,4 gram uranium verspleten (=afval)
per gezin per jaar
- in een heel mensenleven: volume van 1 biljartbal
- 'Borssele' produceert 1,3 m³ afval per jaar en
voorkomt de uitstoot van 2 miljard kilogram CO₂
per jaar
- afval straalt → ruimt zichzelf op
(een sterke straler verdwijnt snel)

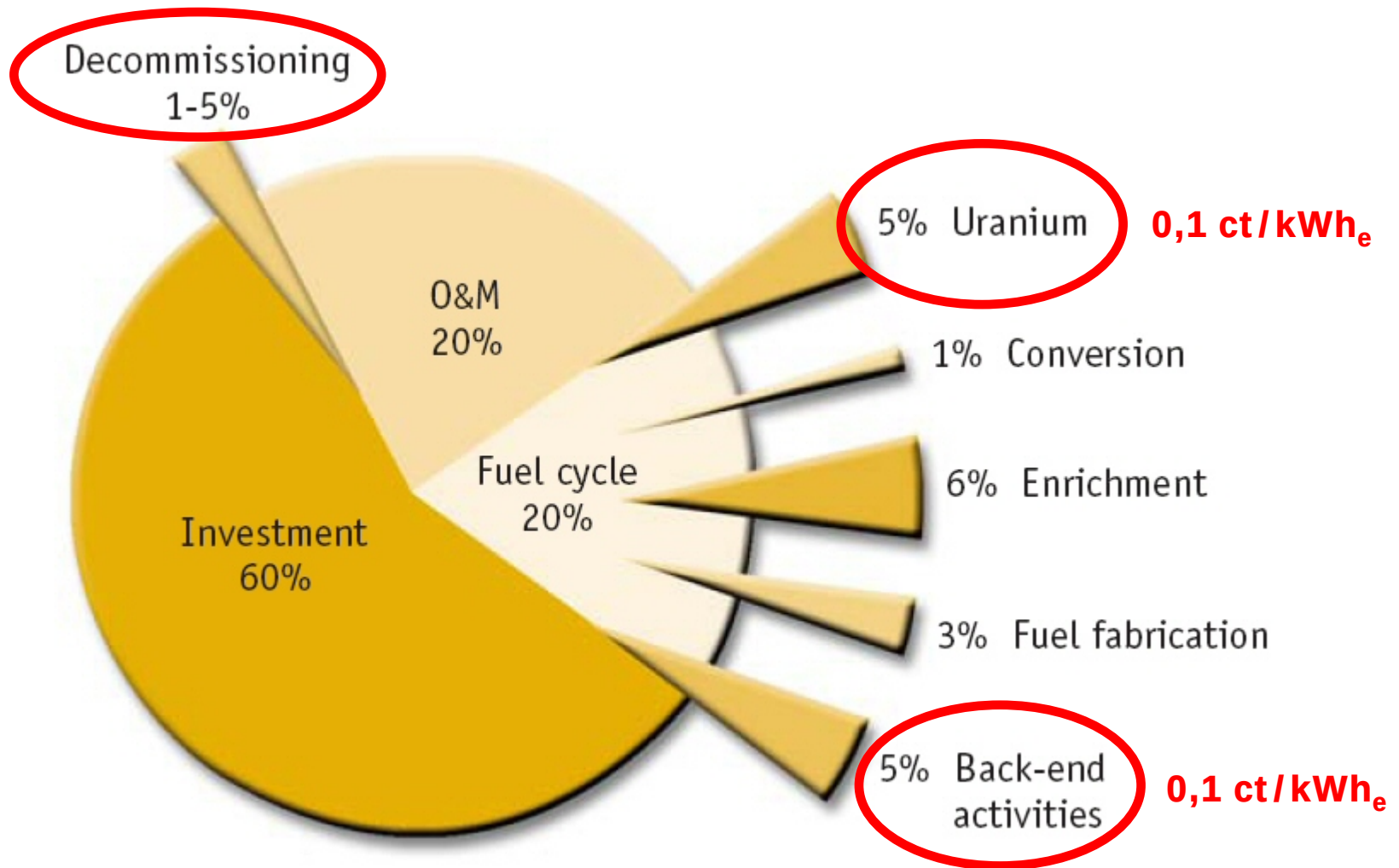
Energiebalans (*Life Cycle Analysis*)

(1000 MWe PWR, 80% beschikbaarheid, 40 jaar bedrijfstijd)

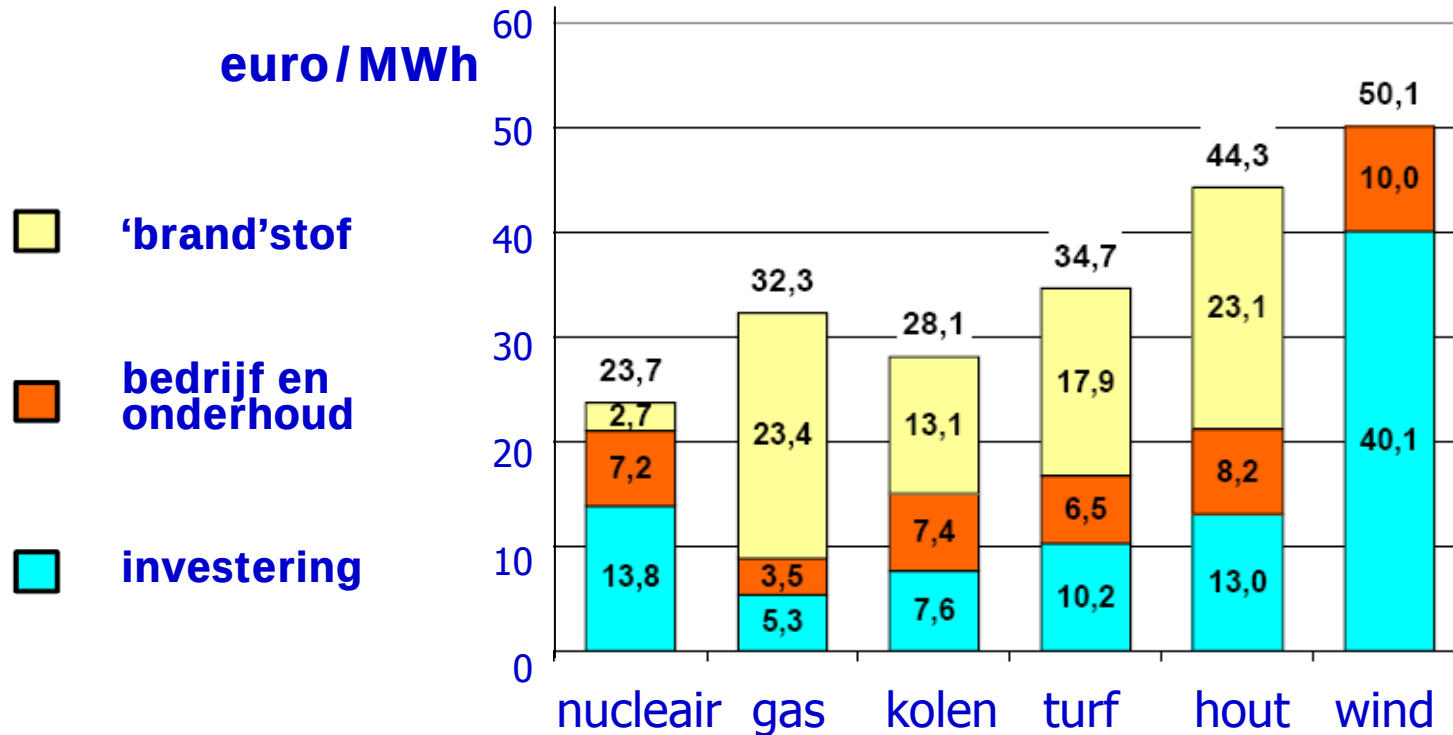


Verrijking met centrifuges:
input / output = **1,7 %**

Opbouw kosten van nucleaire elektriciteitsproductie



Kosten, de Finse situatie



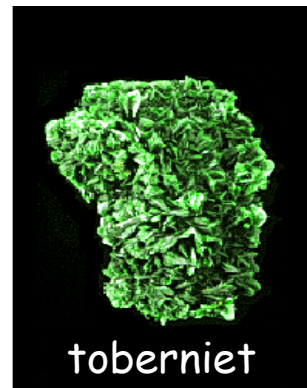
March 2003 prices
5 % real interest rate

bron: Lappeenranta University of Technology, 2003

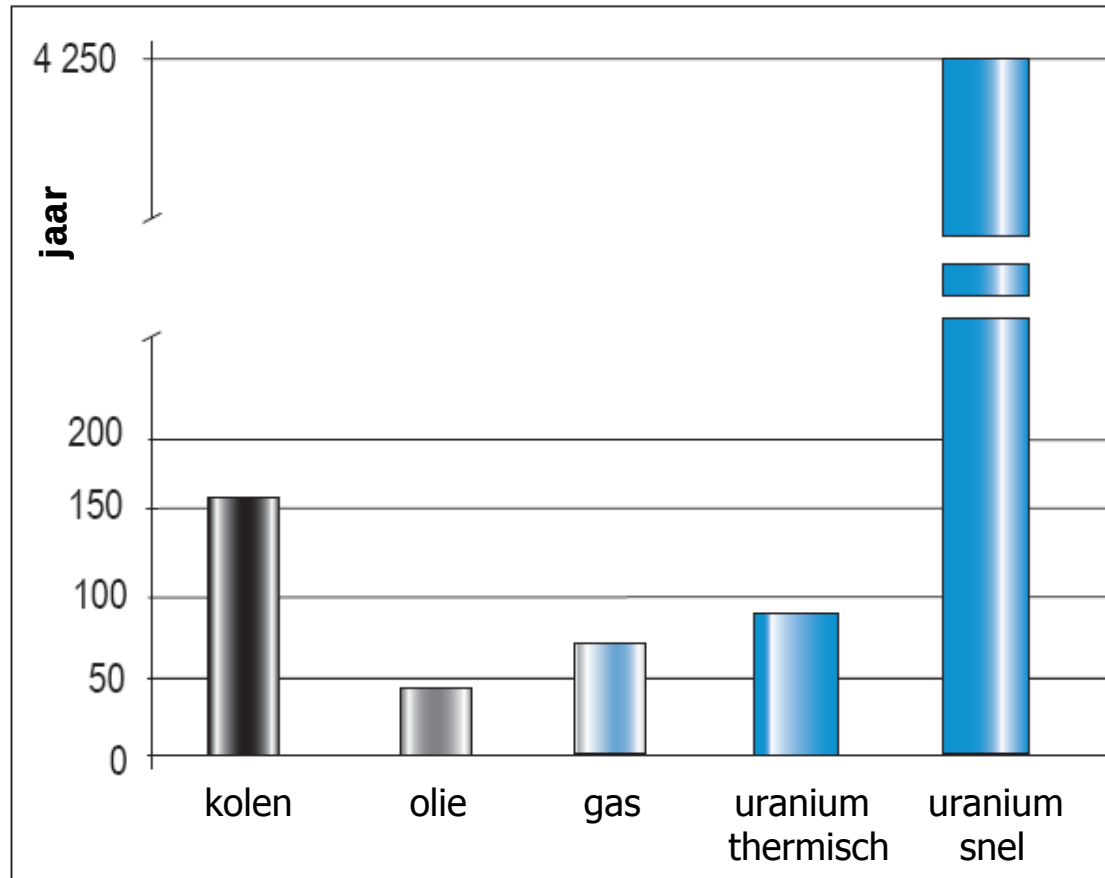
Uraniumvoorraden

- de aardkorst bevat 40 x zoveel uranium als zilver; evenveel uranium als tin
- goedkoop uranium (tot 80\$ per kg):
3,5 miljoen ton; voldoende voor 50 jaar
(0,1 ct/kWh)
- voor de dubbele grondstofprijs:
35 miljoen ton; voldoende voor 500 jaar
bij gebruik van snelle reactoren: 50.000 jaar
- uranium uit zeewater (450\$ per kg):
4 miljard ton; voldoende voor 6.000.000 jaar

De uraniumvoorraad is onuitputtelijk !



Levensduur* van energiegrondstoffen



***Bronnen waarvan nu bekend is dat ze tegen een redelijke prijs zijn te exploiteren**

Generaties van reactorconcepten



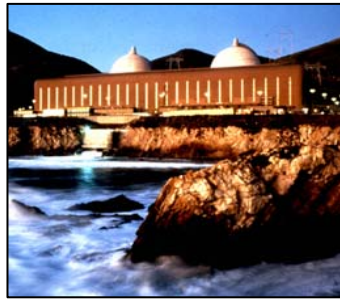
Generation I

Early Prototype Reactors



- Shippingport
- Dresden, Fermi I
- Magnox

Generation II



- LWR-PWR, BWR
- CANDU
- VVER/RBMK

Generation III

Advanced LWRs

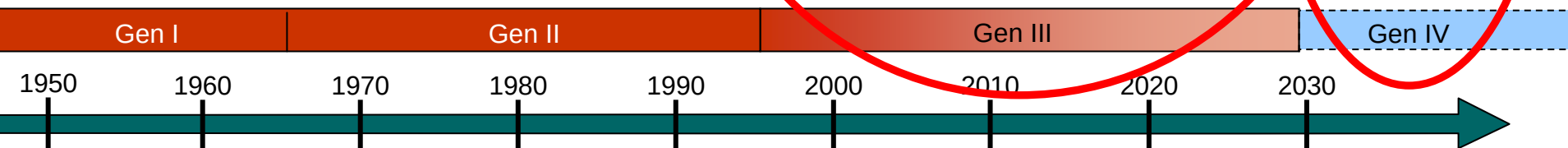


- ABWR
- System 80+
- AP600
- EPR

Evolutionary Designs Offering Improved Economics

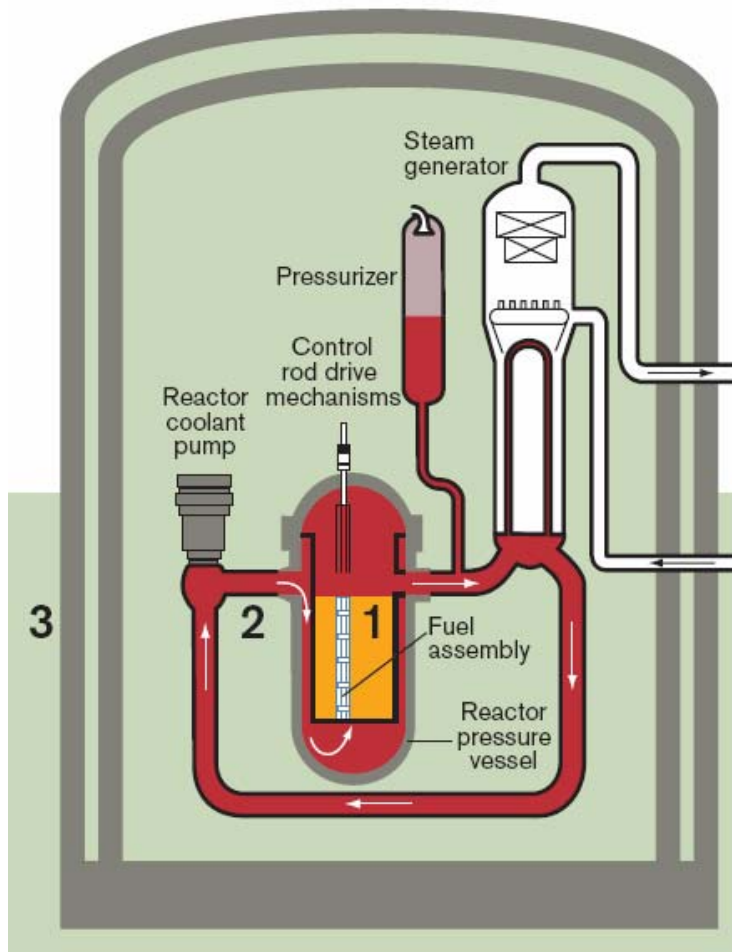
Generation IV

- Highly Economical
- Enhanced Safety
- Minimal Waste
- Proliferation Resistant



Veiligheid (1):

meerdere barrières om radioactief materiaal binnen te houden



- | | | |
|--|----------|--|
|  | 1 | Splijtstof (tablet en bekleding) |
|  | 2 | Primair systeem (staal) |
|  | 3 | Veiligheidsomhulling
(2x beton + staal) |

Veiligheid (2): kettingreactie altijd beheerst

Alle kernreactoren (behalve Tsjernobyl)
zijn zo ontworpen dat:

→ de kettingreactie vanzelf uitdooft
bij een hogere temperatuur

Dit betekent:

- 1) stabiel systeem (zelfregeling)
- 2) verlies van koelcapaciteit schakelt de reactor af
- 3) verlies van moderatie schakelt de reactor af

Geavanceerde reactoren

Generatie III

betrouwbaar en veilig op basis van:

- redundantie
- separatie
- diversificatie
- kortere/minder pijpleidingen
- grote watervolumes

ABWR (in bedrijf sinds 1995), EPR, ACR1000,
System-80+, BWR-90+, KNGR, VVER-91, ...

actieve veiligheidssystemen viervoudig redundant

reactorgebouw

turbinegebouw

reactorvat



4 veiligheidsgebouwen
4 x 100 %

EPR in aanbouw in Finland (Olkiluoto-3)



Geavanceerde, evolutionaire ontwerpen Generatie III⁺

met 'passieve' componenten:

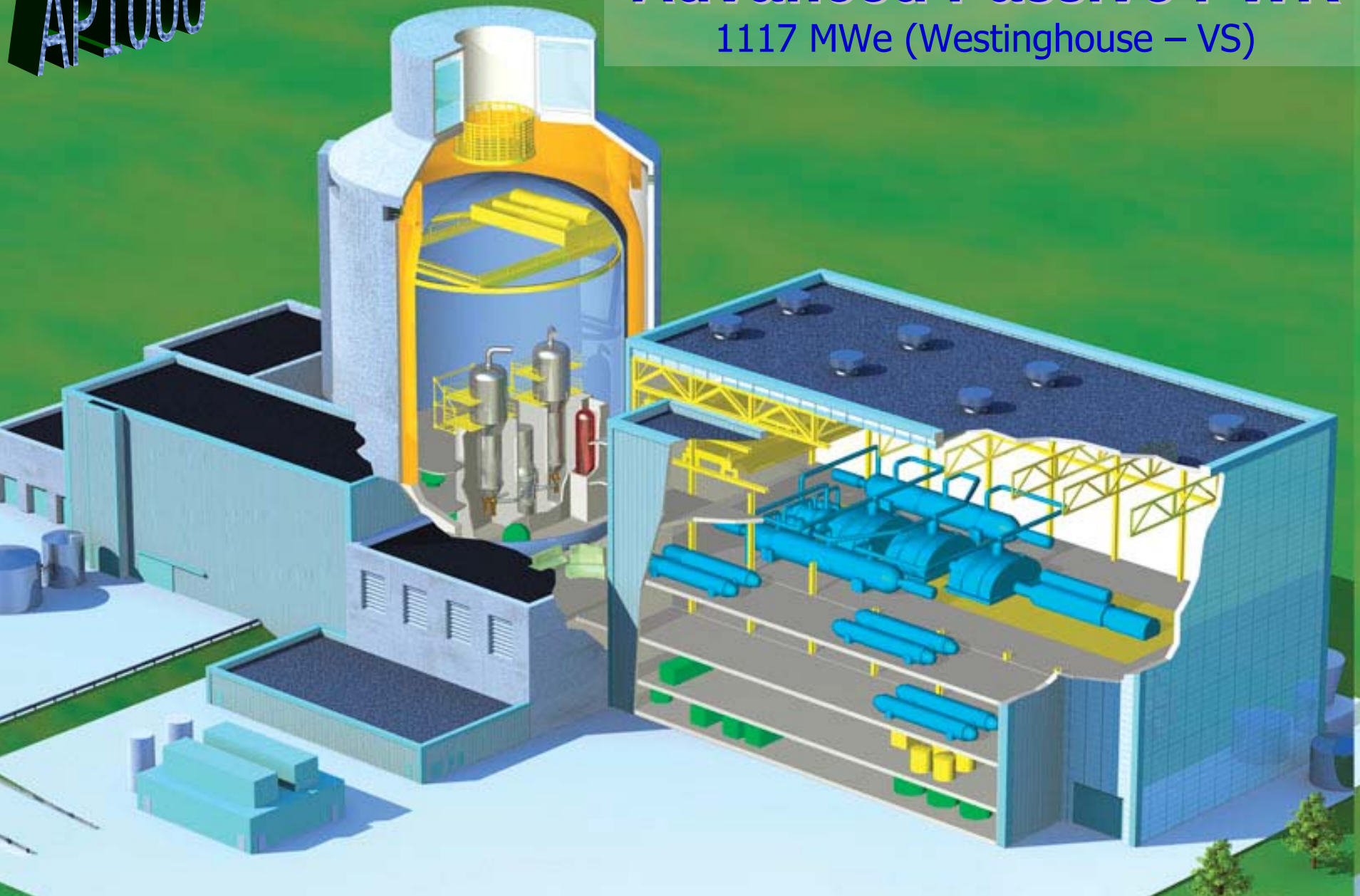
- natuurlijke-circulatie kernkoeling
- convectieve koeling van veiligheidsomhulsel
- warmteafvoer door straling

AP1000, ESBWR, SWR-1000, PBMR, GT-MHR,
APWR, EP-1000, AC-600, MS-600, V-407, V-392, JSBWR,
JSPWR, HSBWR, CANDU-6, CANDU-9, AHWR, ...

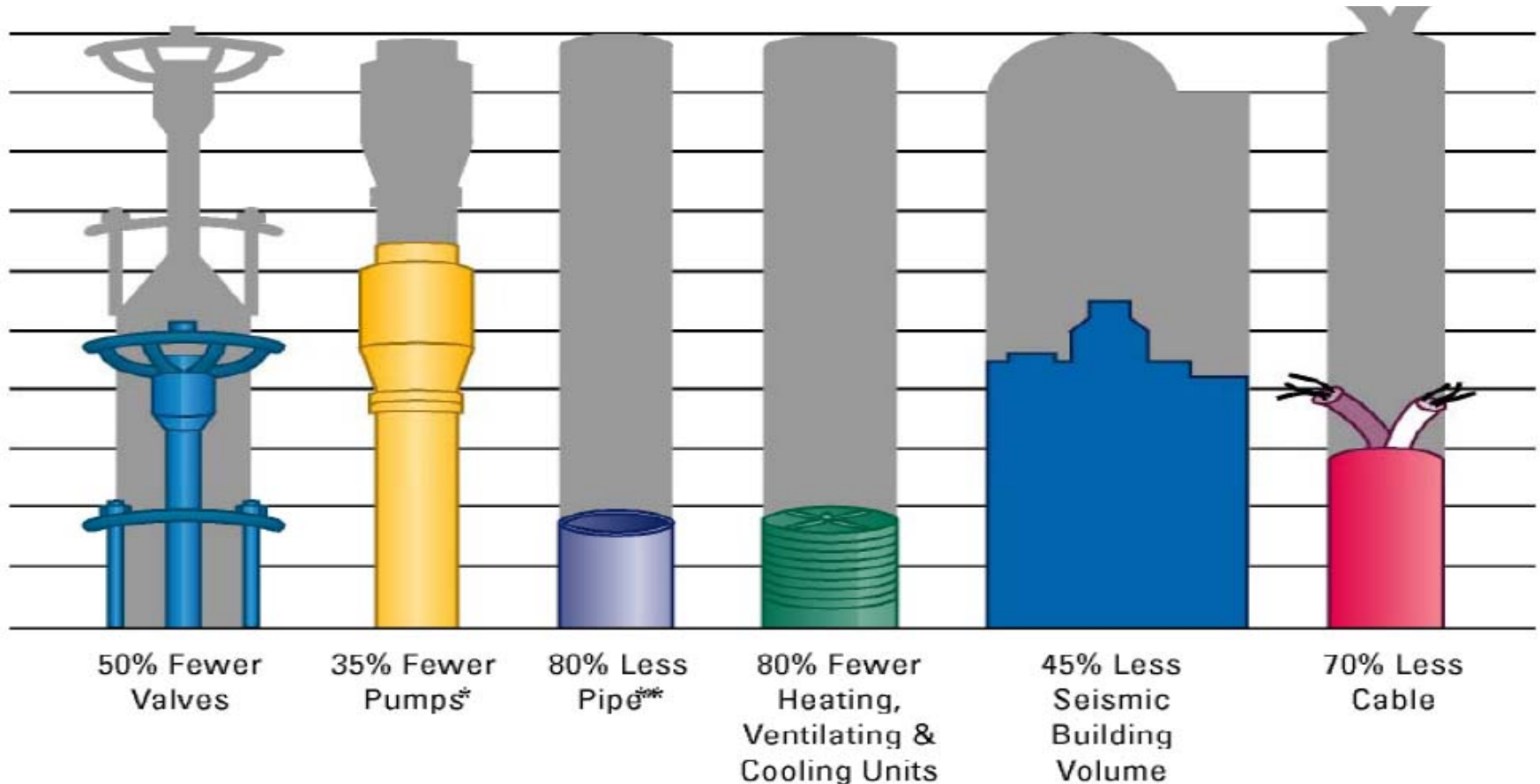
AP1000

Advanced Passive PWR

1117 MWe (Westinghouse – VS)

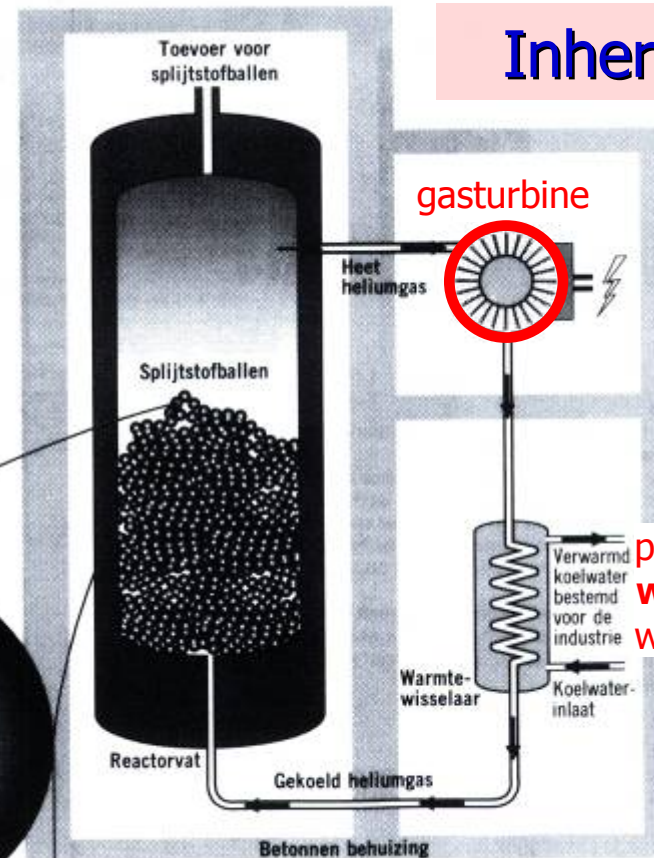
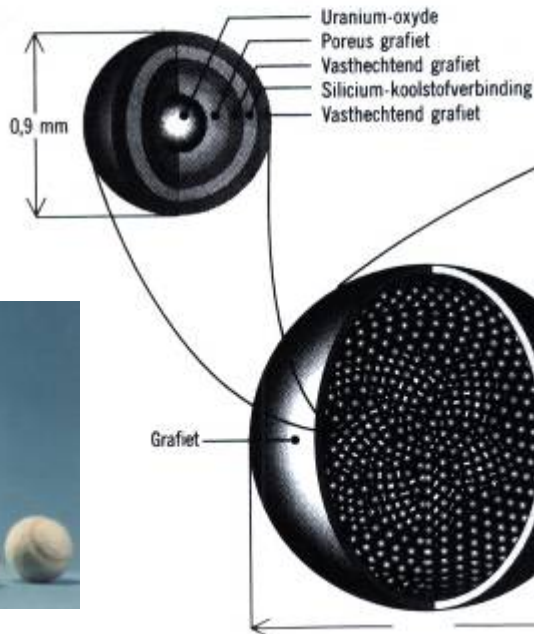
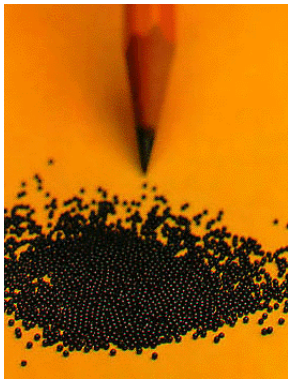


Passieve veiligheidssystemen: minder componenten



* No safety grade pumps
** Safety Grade

Helium als koelmiddel



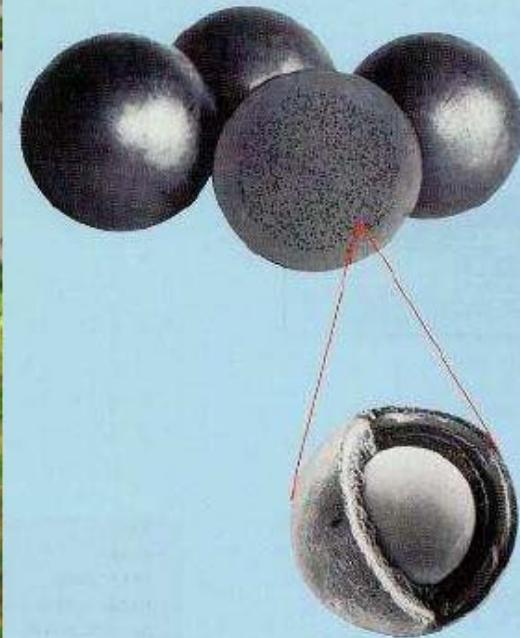
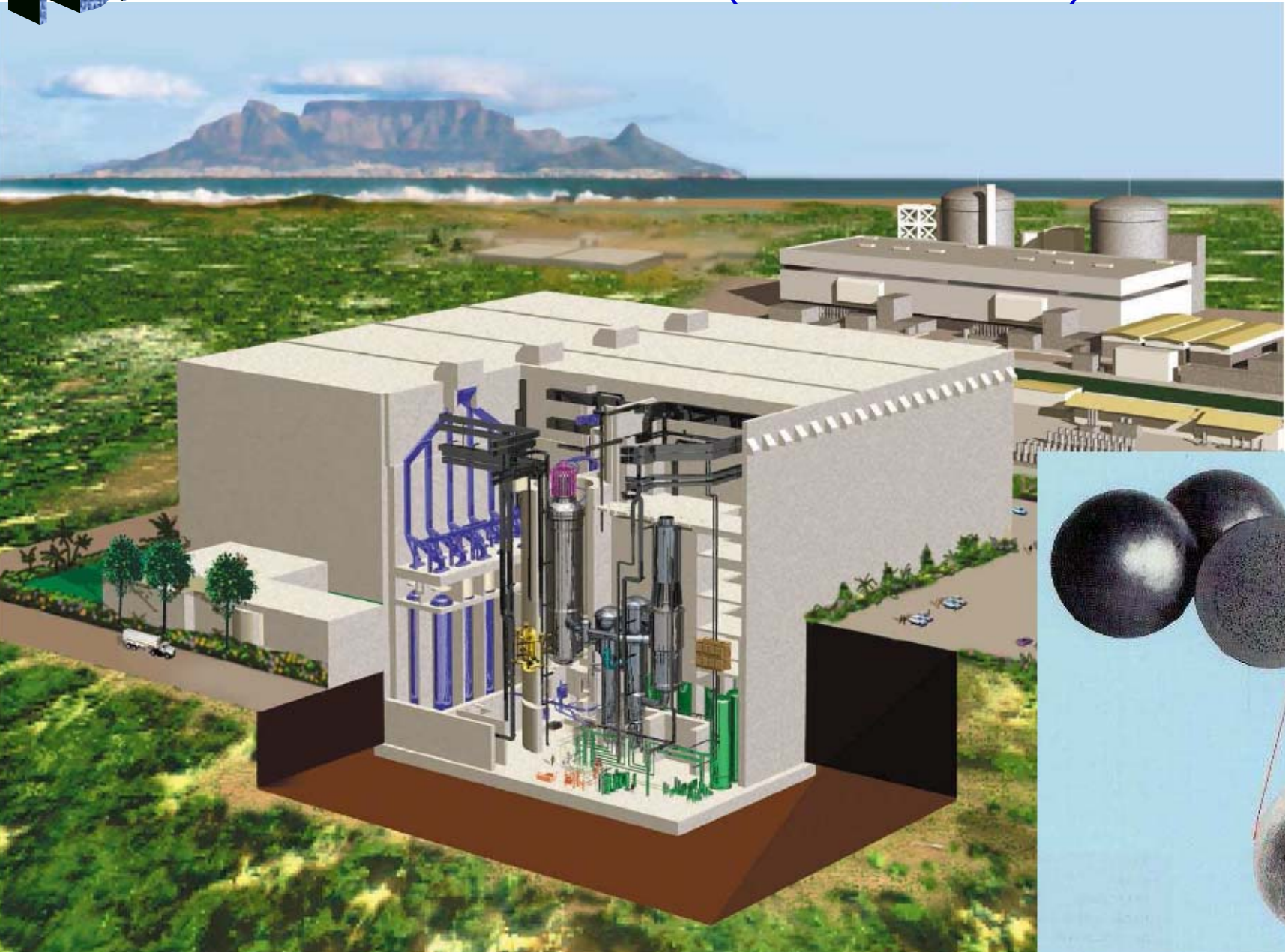
Inherent veilig

proceswarmte:
waterstofproductie
waterontziltling ...

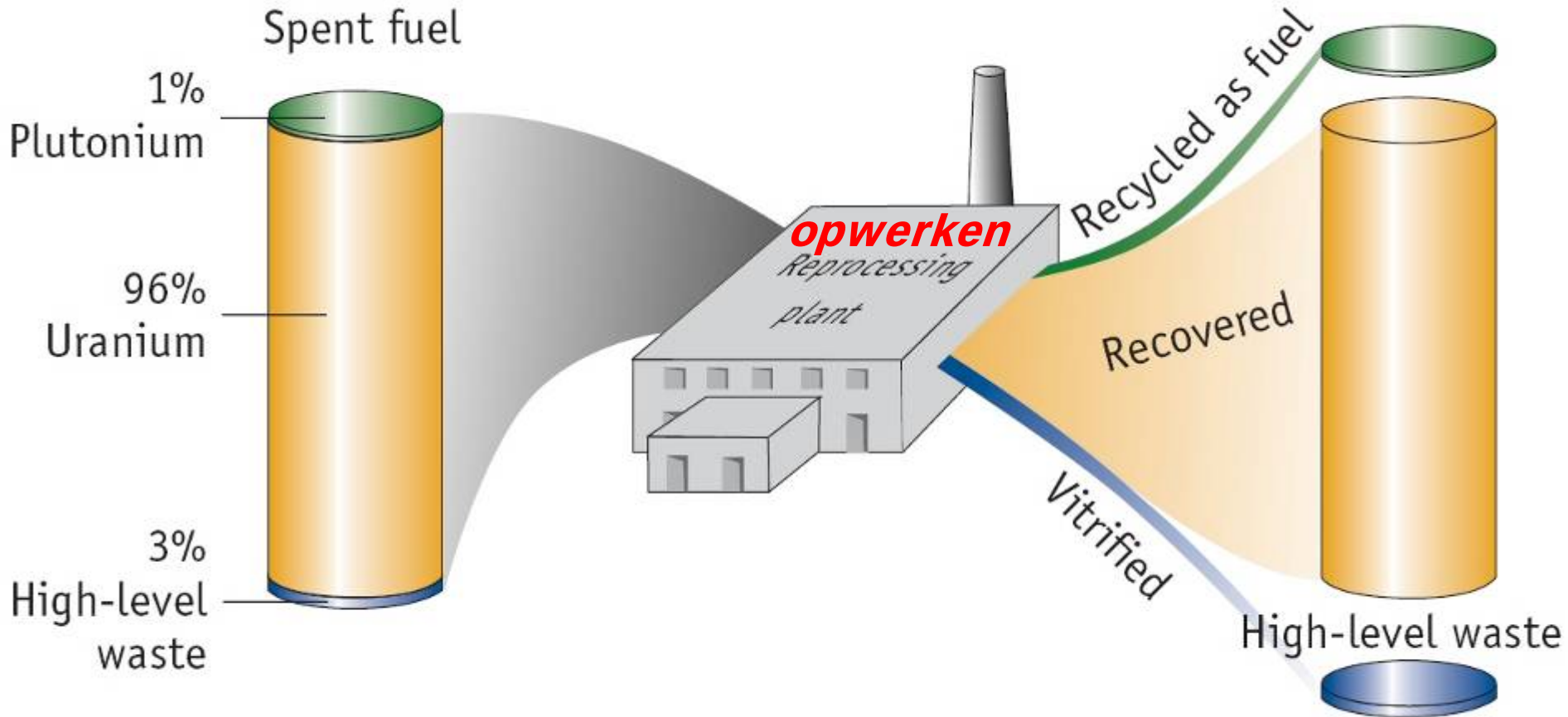
PBMR

Pebble Bed Modular Reactor (HTR)

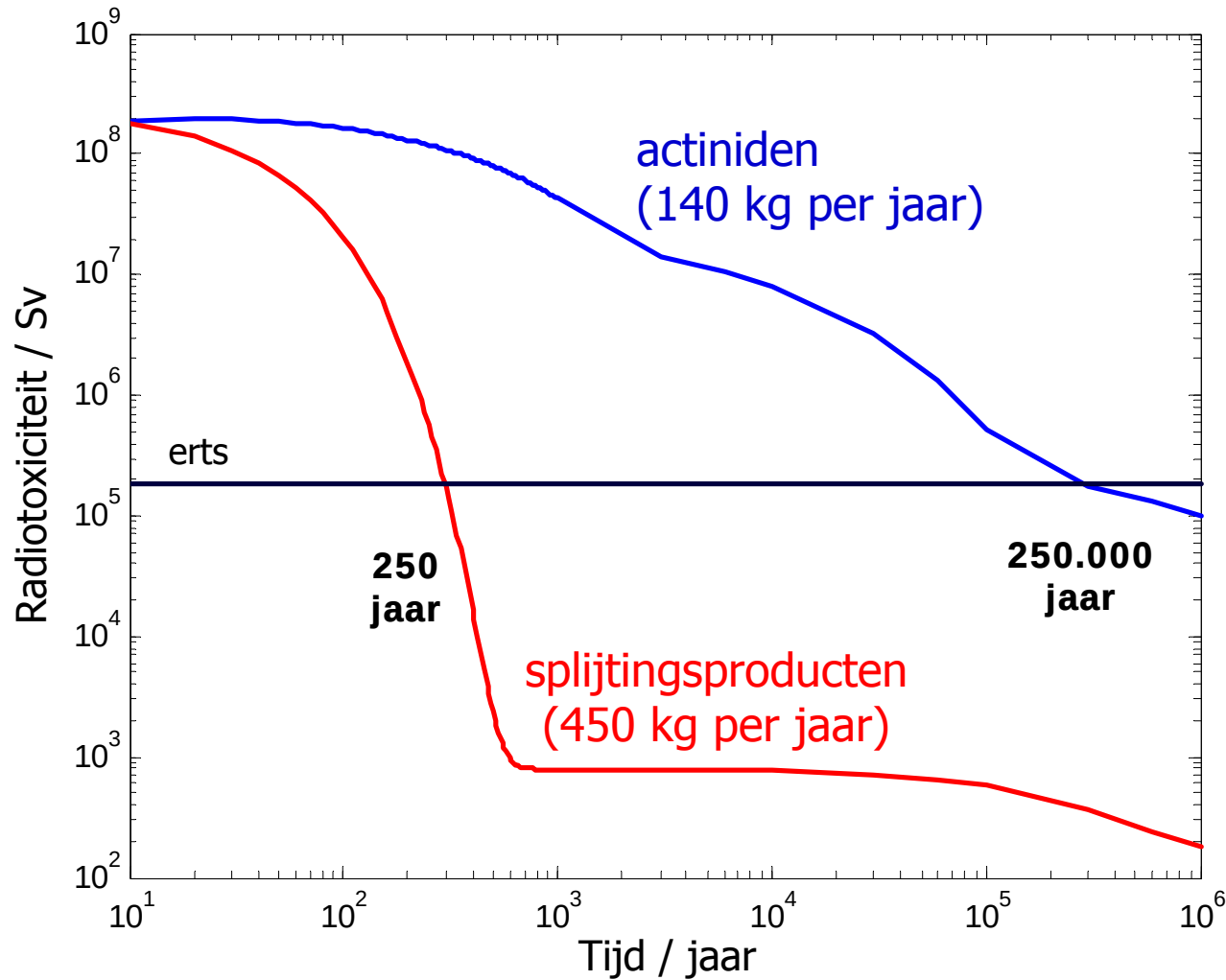
165 MWe (ESKOM – Zuid Afrika)



Gebruikte splijtstof: slechts 3 % is echt **afval**

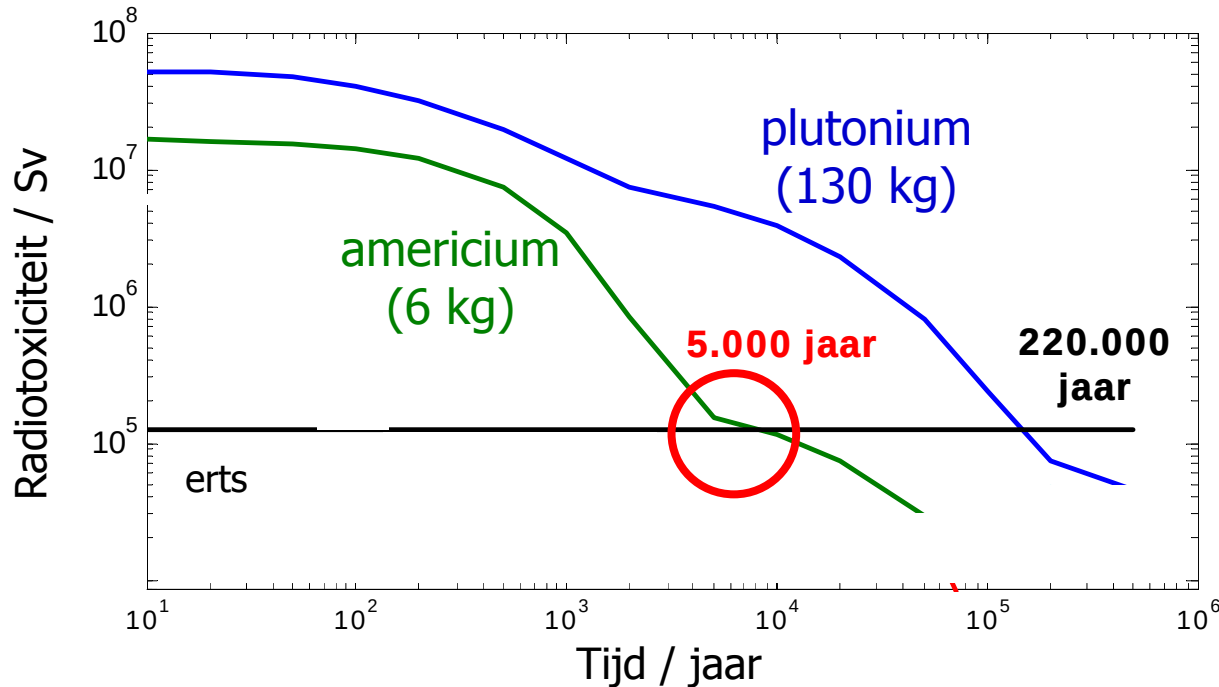


Twée soorten radioactief afval



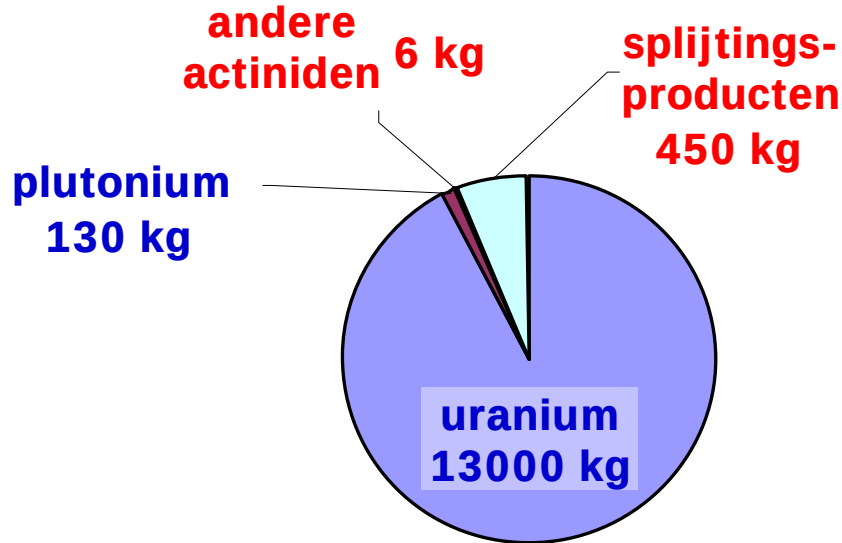
Radiotoxiciteit van de actiniden

(weer 2 componenten)



- plutonium is splijtstof; wordt in 35 Europese centrales gebruikt
- americium is echt afval

Radioactief afval



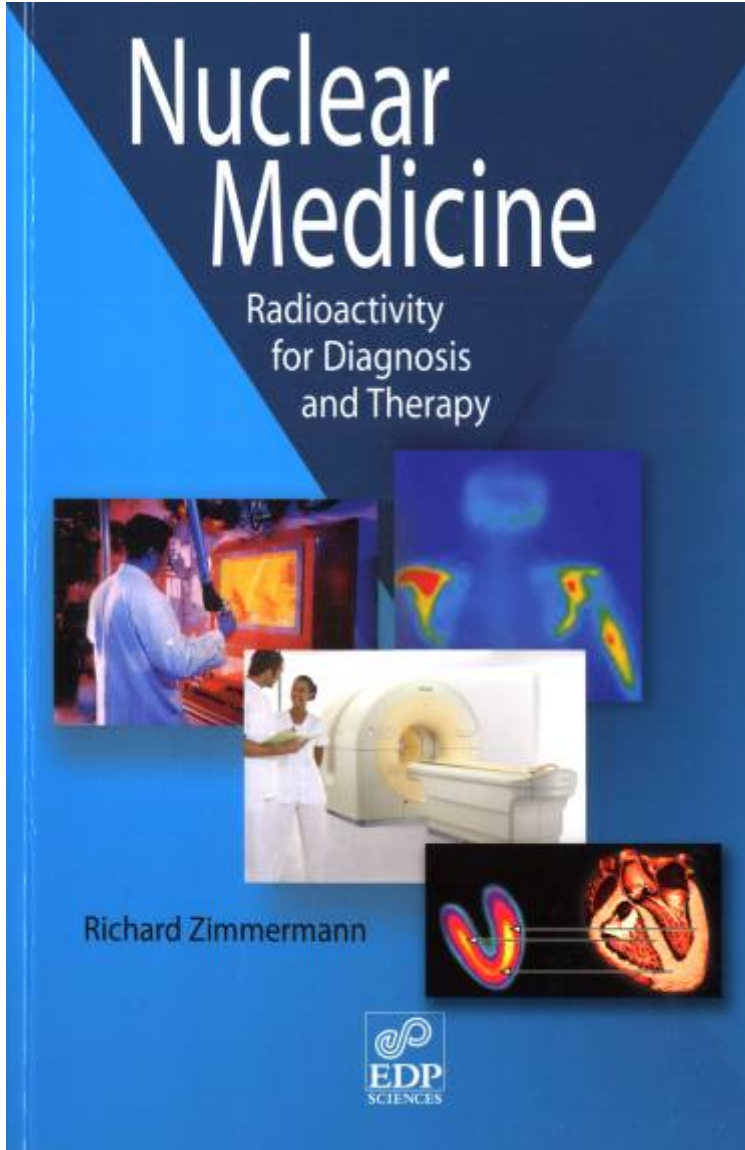
getallen: jaarproductie Borssele

Two routes mogelijk:

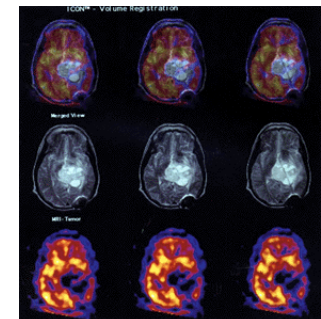
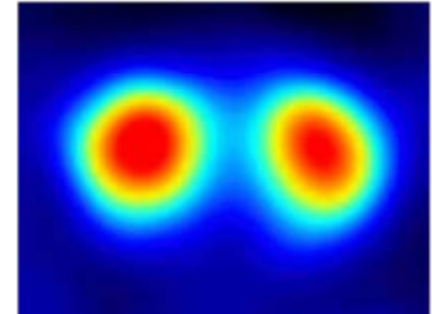
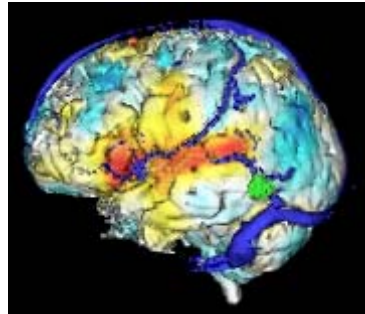
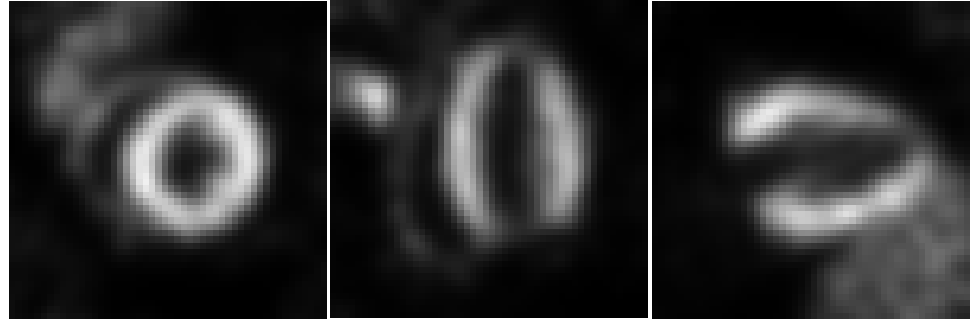
- 1) Niet opwerken:
 - 'levensduur' reststof 220.000 jaar
- 2) Wel opwerken + **snelle reactoren**:
 - 'levensduur' afval 500-5.000 jaar
 - volume gereduceerd tot 4%
 - tot 100x beter grondstofgebruik



Radioactief *afval*?



- 10 miljoen behandelingen per jaar in Europese ziekenhuizen
- dagelijks worden miljoenen radioactieve bronnen gebruikt (industrie, gezondheid)



Generaties van reactorconcepten



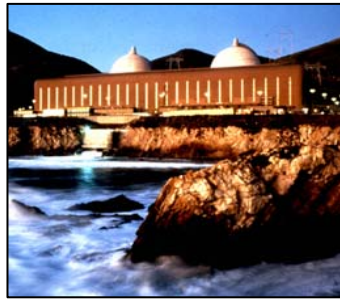
Generation I

Early Prototype Reactors



- Shippingport
- Dresden, Fermi I
- Magnox

Generation II



- LWR-PWR, BWR
- CANDU
- VVER/RBMK

Generation III

Advanced LWRs

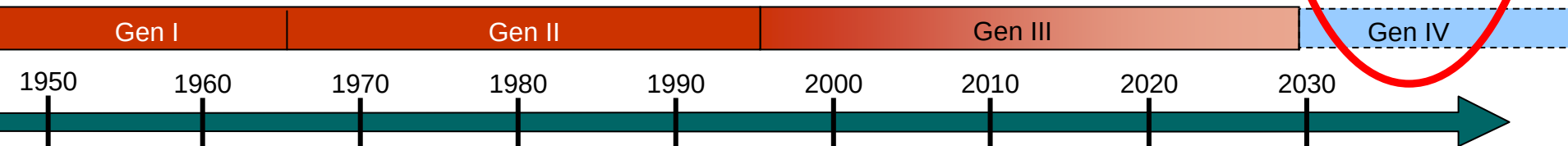


- ABWR
- System 80+
- AP600
- EPR

Evolutionary Designs Offering Improved Economics

Generation IV

- Highly Economical
- Enhanced Safety
- Minimal Waste
- Proliferation Resistant



Het **Generatie-IV** Initiatief: *sustainable nuclear energy*

Argentinië, Brazilië, Canada, Frankrijk, Japan, Zuid Afrika, Zuid Korea,
Zwitserland, Groot-Brittannië, Verenigde Staten en de Europese Unie

geselecteerde concepten

Waterstofproductie:

- Zeer hoge temperatuur gasgekoelde reactor

Voortbordurend op lichtwaterreactoren:

- Superkritische watergekoelde reactor (thermisch/**snel**)

Afvalreductie en efficiënt uranium gebruik:

- Gasgekoelde **snelle** reactor
- Natriumgekoelde **snelle** reactor
- Loodgekoelde **snelle** reactor

Zeer innovatief:

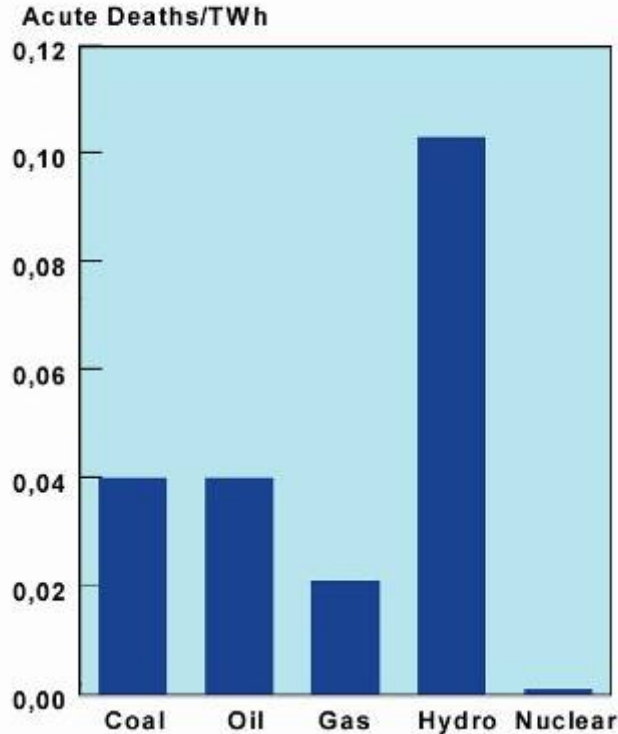
- Gesmolten zout reactor (epithermisch)



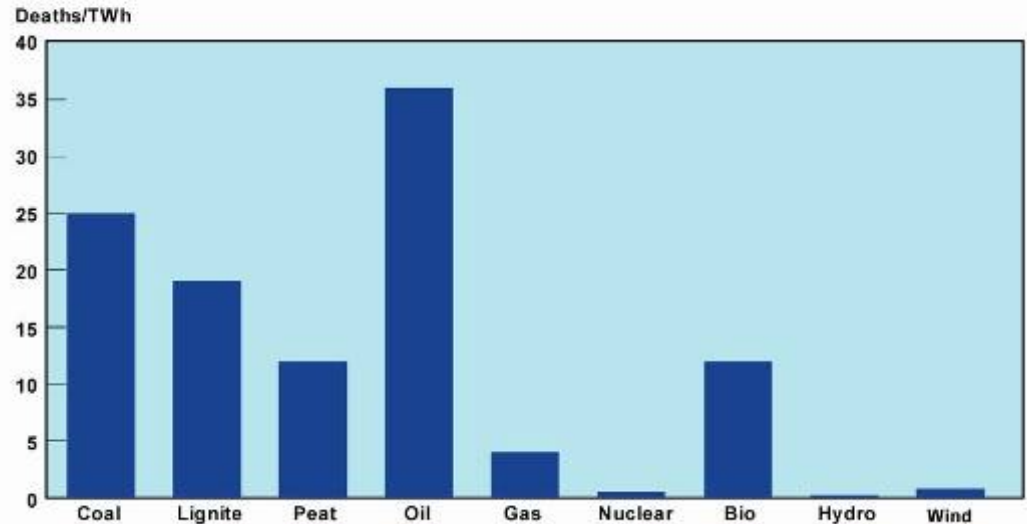
closed
fuel cycle

Ernstige ongevallen in de energiesector

30 jaar historische data



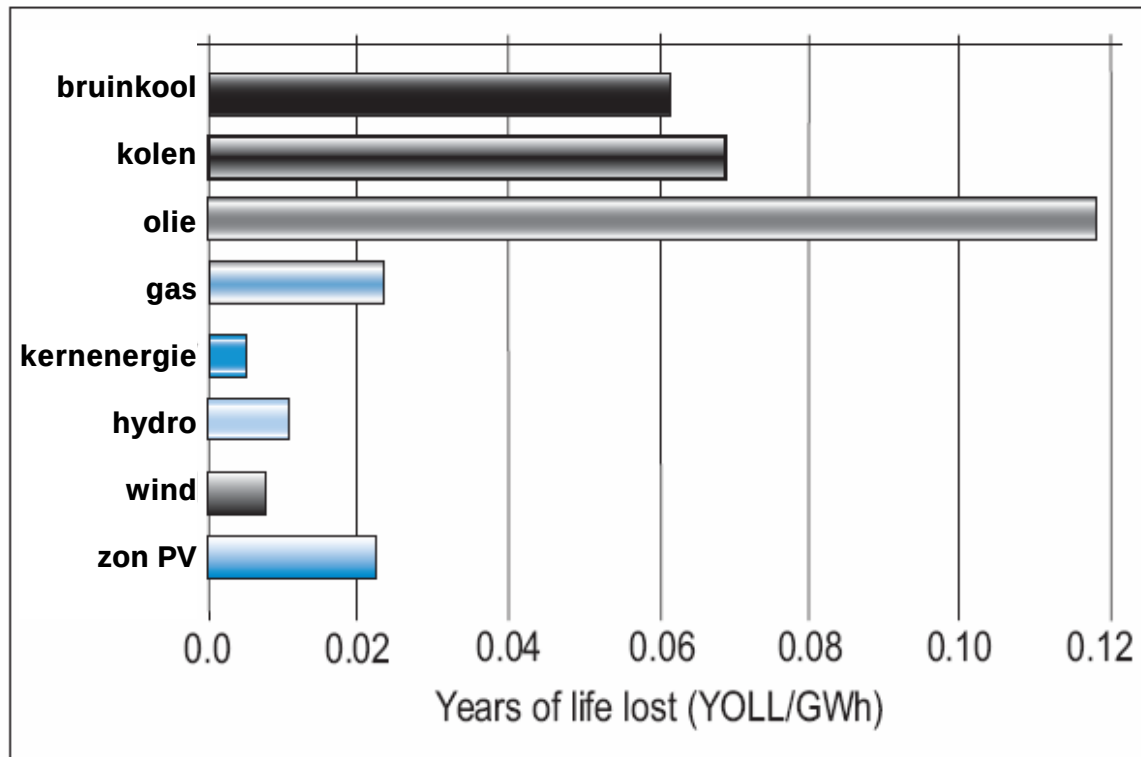
EU: geschatte doden (direct en vertraagd) met huidige technologie



Nederland: 100 TWh_e / jaar
wereld: 16.000 TWh_e / jaar

Verhoogd risico bij *normaal* functioneren van energieconversieopties

Duitsland 2000 *full cycle analysis*



Nederland:
100.000 GWh_e / jaar

wereld:
16.000.000 GWh_e / jaar

Resumé kernenergie

Pluspunten

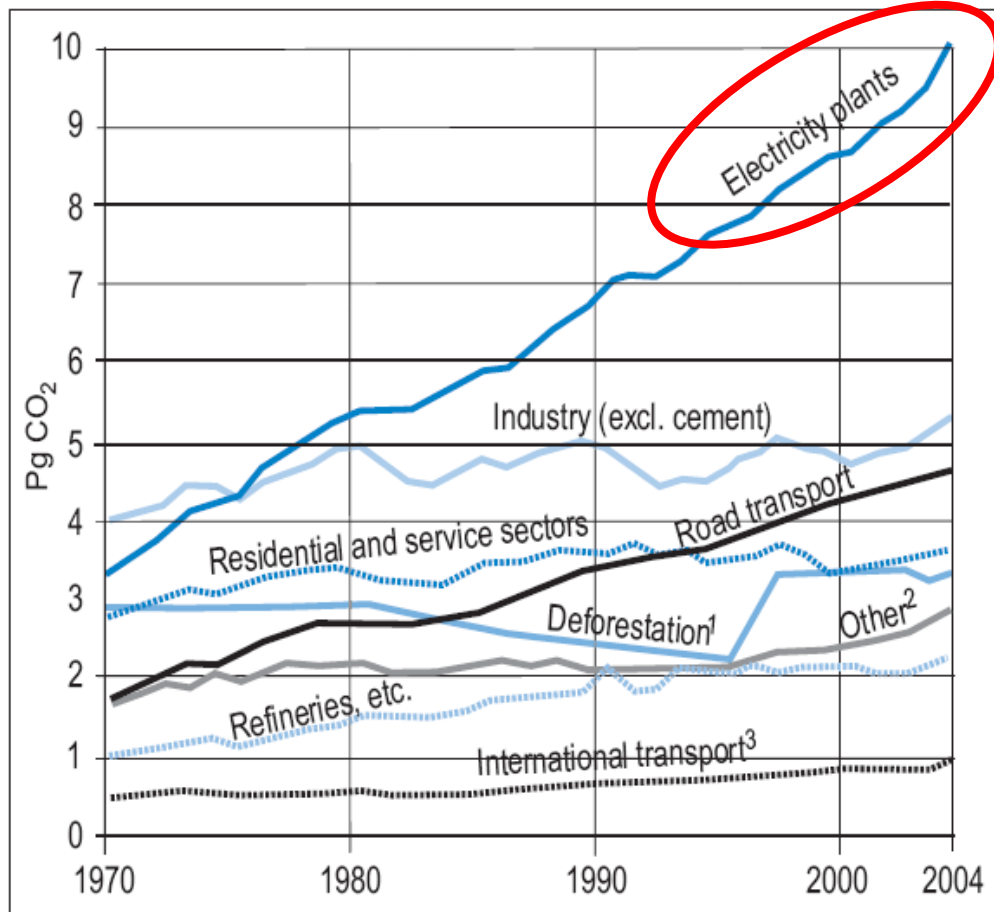
- grootschalig inzetbaar
- geen CO₂, geen luchtvervuiling
- voorzieningszekerheid
- economisch concurrerend

Minpunten

- radioactief afval
- draagvlak (veiligheid)
- grote investering
- proliferatie

kernenergie past goed in een **mix** van opties
voor een duurzame energievoorziening

CO₂ bronnen (jaarlijkse mondiale uitstoot)

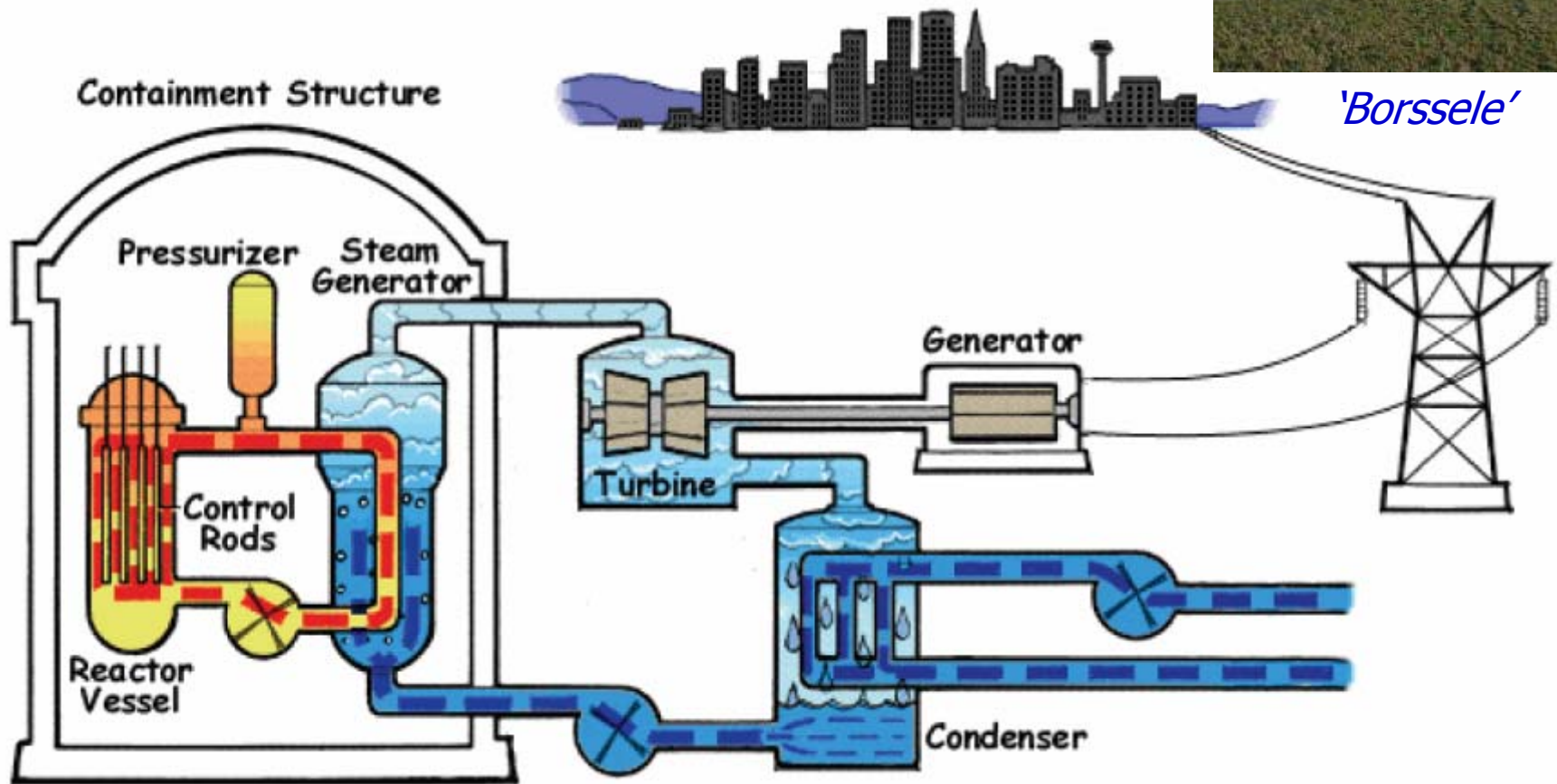


10 Pg = 10¹⁶ g =
10 miljard ton =
10.000.000.000.000 kg

Drukwaterreactor



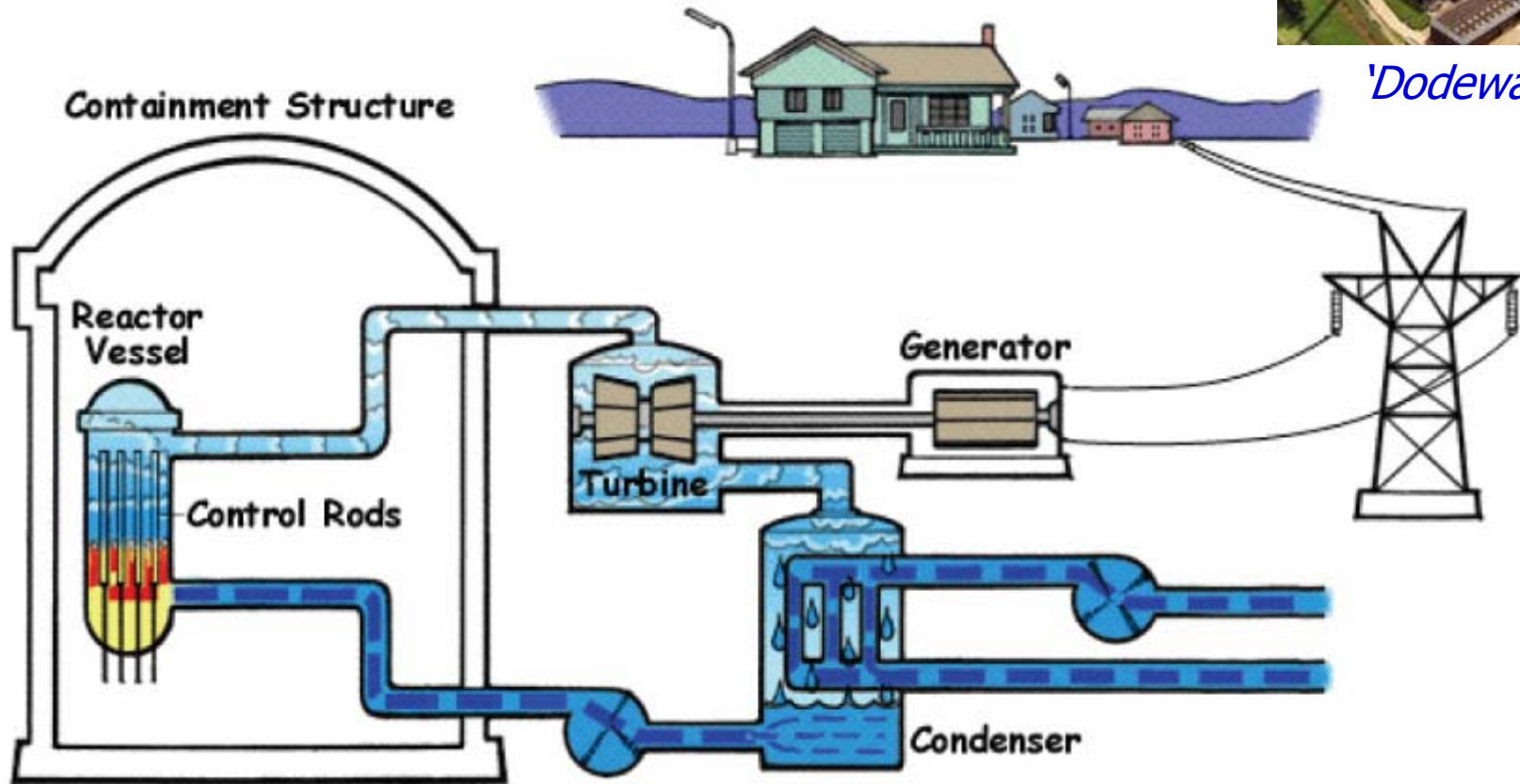
'Borssele'



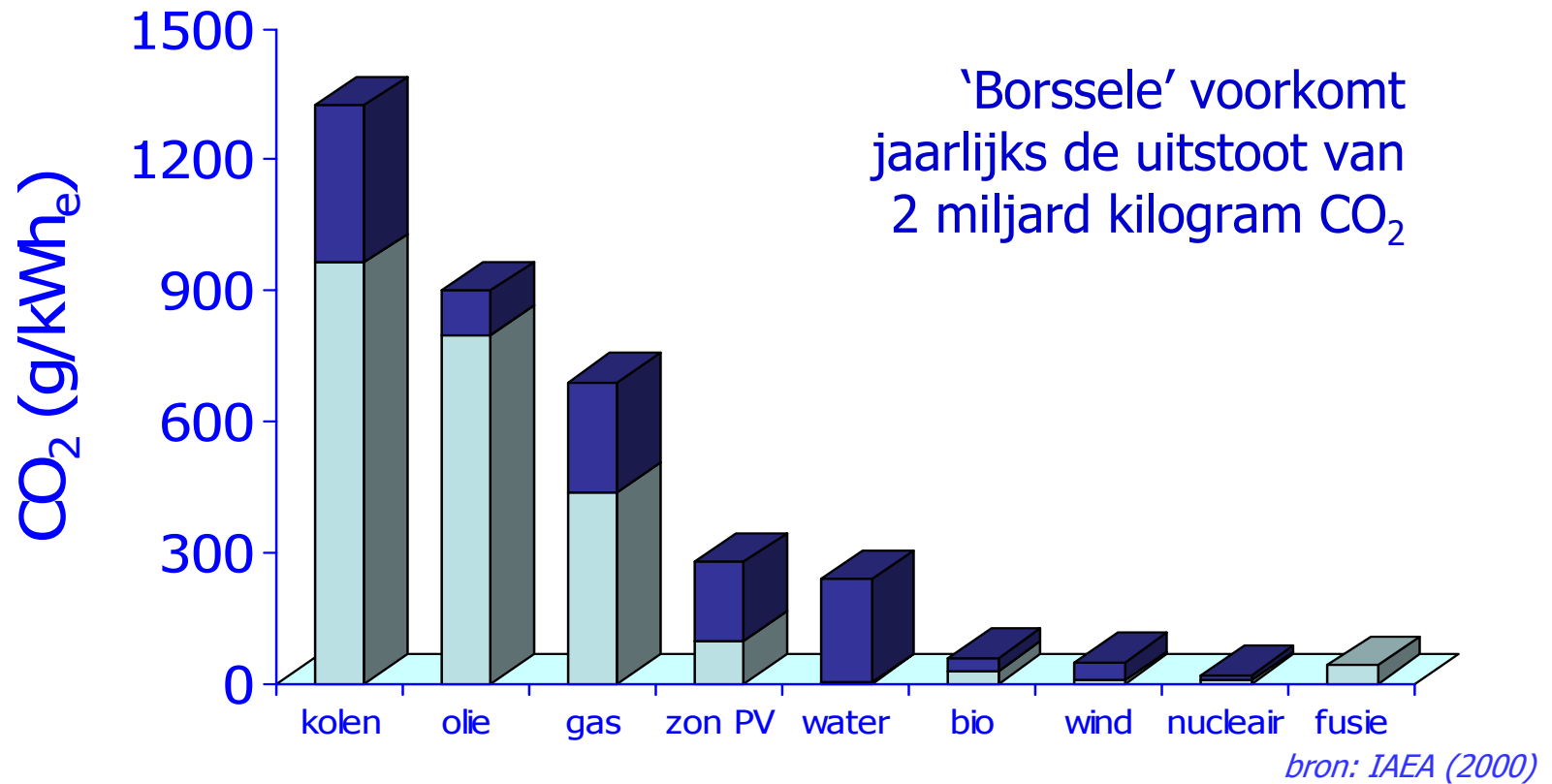
Kokendwaterreactor



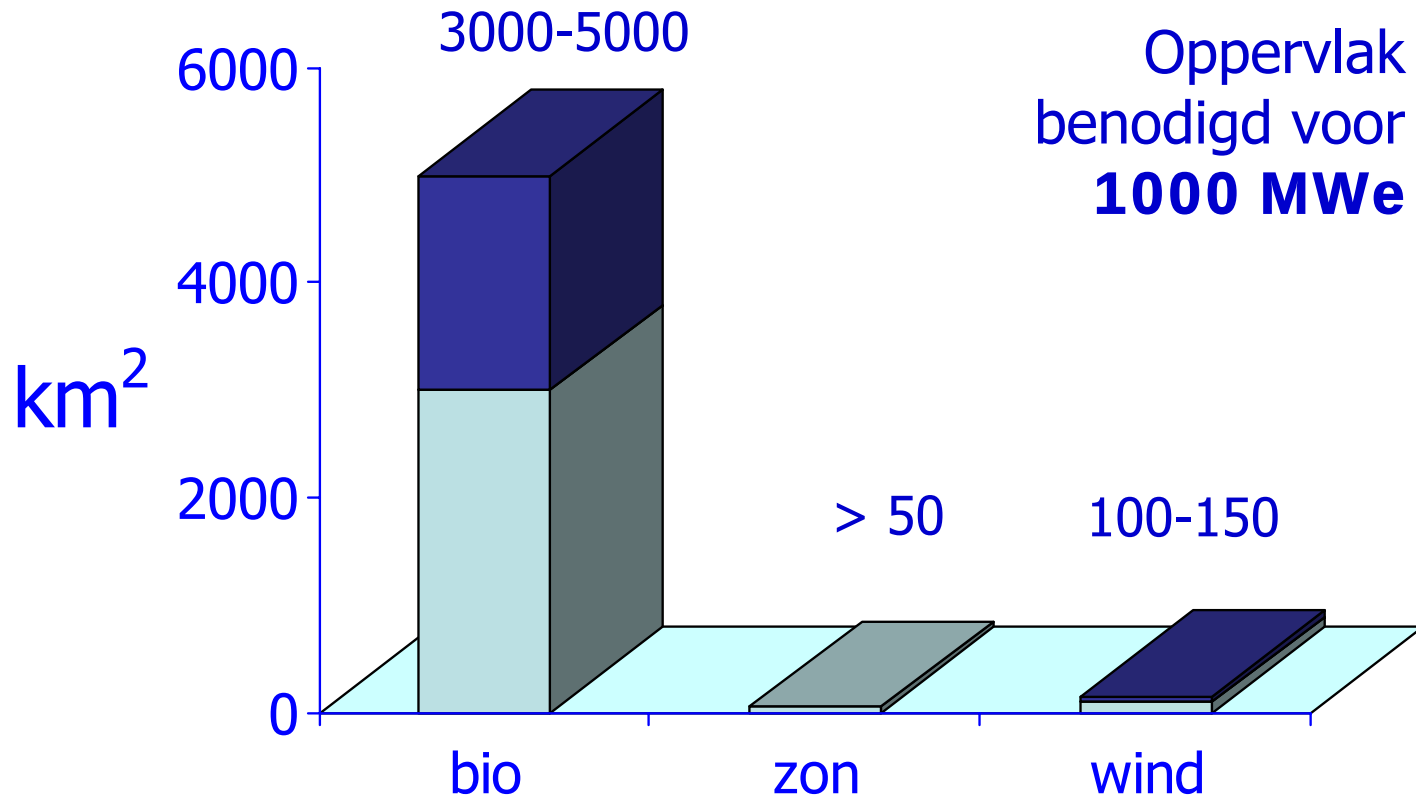
'Dodewaard'



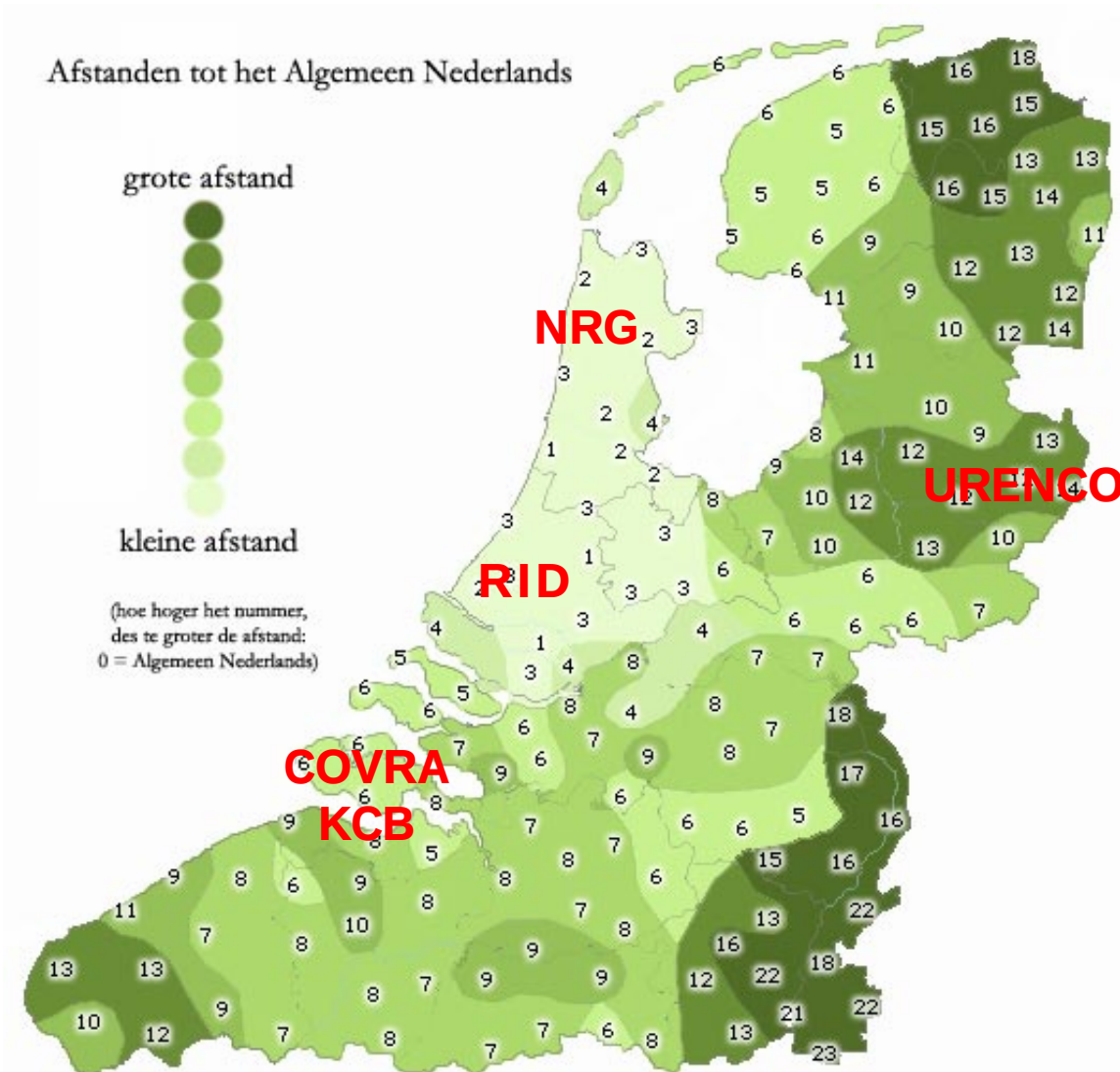
CO₂ productie



Landgebruik



De Nederlandse nucleaire sector



Overzicht

	Generatie III		Generatie III ⁺			
	ABWR	EPR	AP1000	ESBWR	PBMR	HTR-PM
Type	BWR	PWR	PWR	BWR	HTR	HTR
Generatie	III	III	III ⁺	III ⁺	III ⁺	III ⁺
Vermogen	1350	1600	1150	1550	165	190
VS certificatie	ja	nee ^{a)}	ja	nee ^{b)}	nee	nee
In gebruik	3	0	0	0	0	0
In aanbouw	3	1	0	0	0	0
Respijtperiode	72 uur	30 min.	72 uur	24 uur	∞	∞
Kernsmeltfrequentie (1/jaar)	$2 \cdot 10^{-7}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-8}$	0	0
'core catcher'	nee	ja	<24 uur	<24 uur	onnodig	onnodig
Constructietijd (jr)	4	4	3	3	2	?
Technische levensduur (jr)	60	60	60	60	?	?

a) aanvraag in 2007

b) in behandeling, 2010?

Generatie-IV Kerncentrales



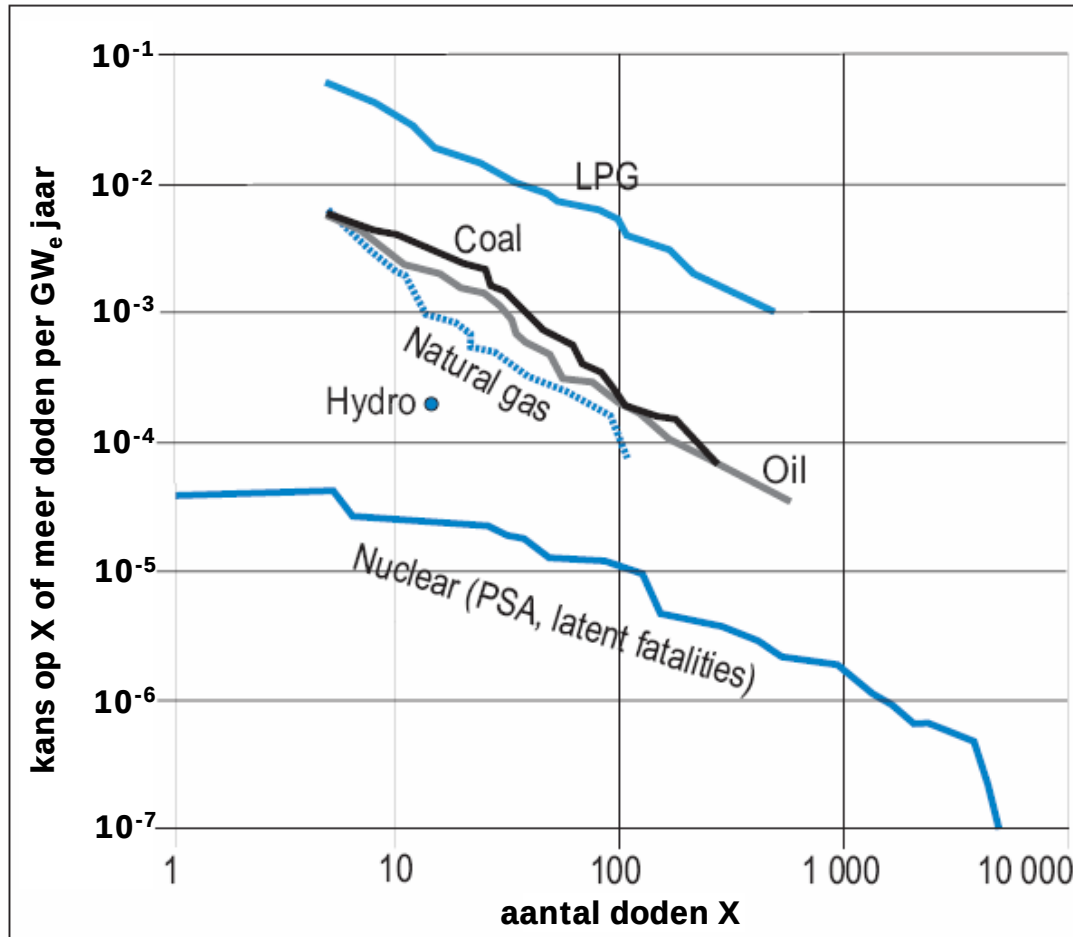
0/+/++ voor onderlinge vergelijking

	thermische reactoren		snelle reactoren			
	VHTR	MSR	SCWR	SFR	LFR	GFR
Veiligheid	++	+	0	+	+	0
Grondstoffengebruik	0	+	+ / ++	++	++	++
Economie	++	0	+	+	++	+
Non-proliferatie	+	+	+	+	++	+
Vermogen (MWe)	300	1000	1700	150-1500	50-1200	300
Koelmiddel	helium	gesmolten zout	water	natrium	lood	helium
Jaartal introductie na	2020	2030	2030	2020	2030	2030

Ernstige ongevallen in de energiesector

(full chain analysis)

OECD 1969-2000



Nederland:
~ 12 GW_e jaar/jaar

wereld:
~ 2000 GW_e jaar/jaar