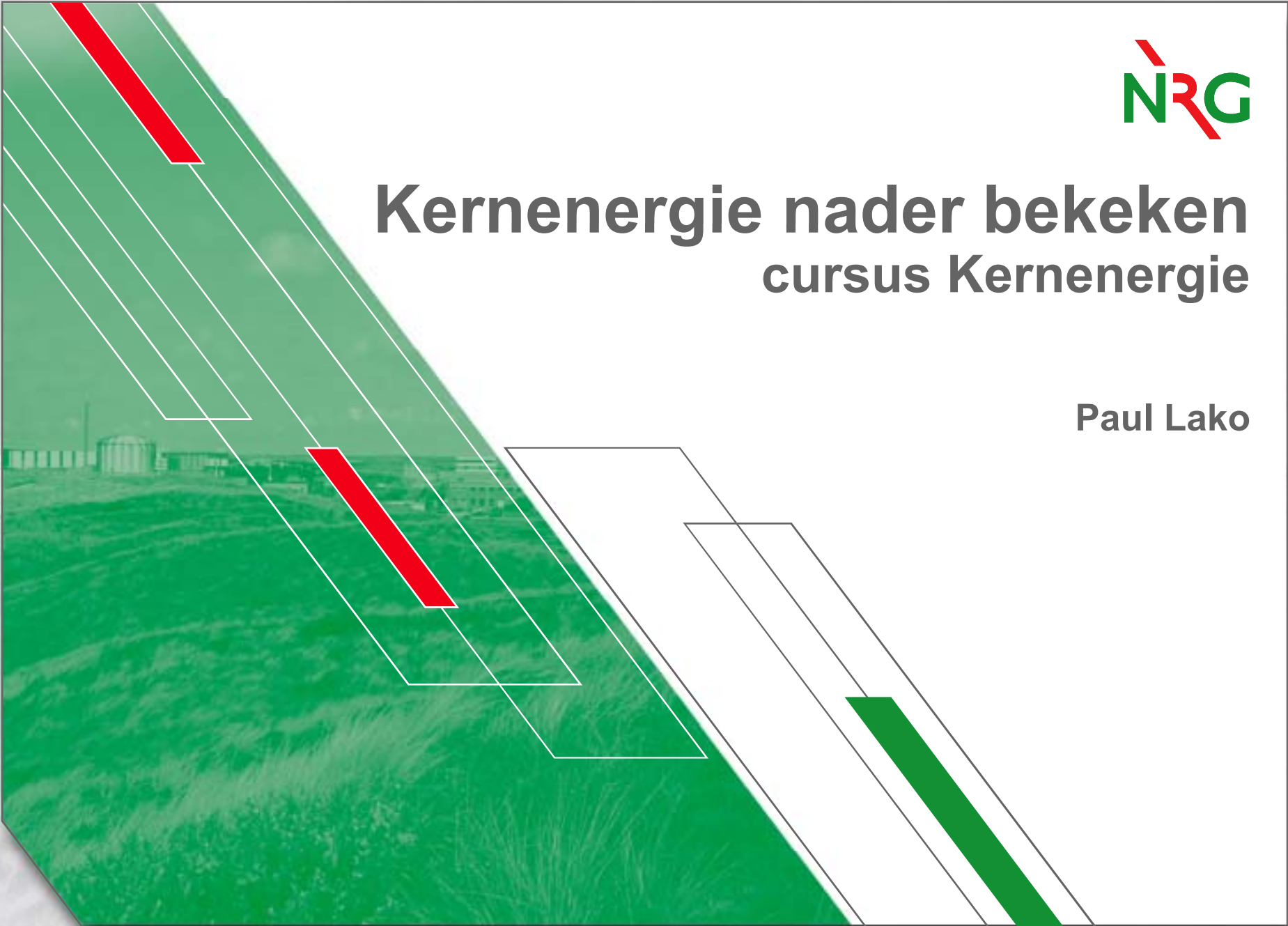




Kernenergie nader bekeken

cursus Kernenergie

Paul Lako





Inhoud



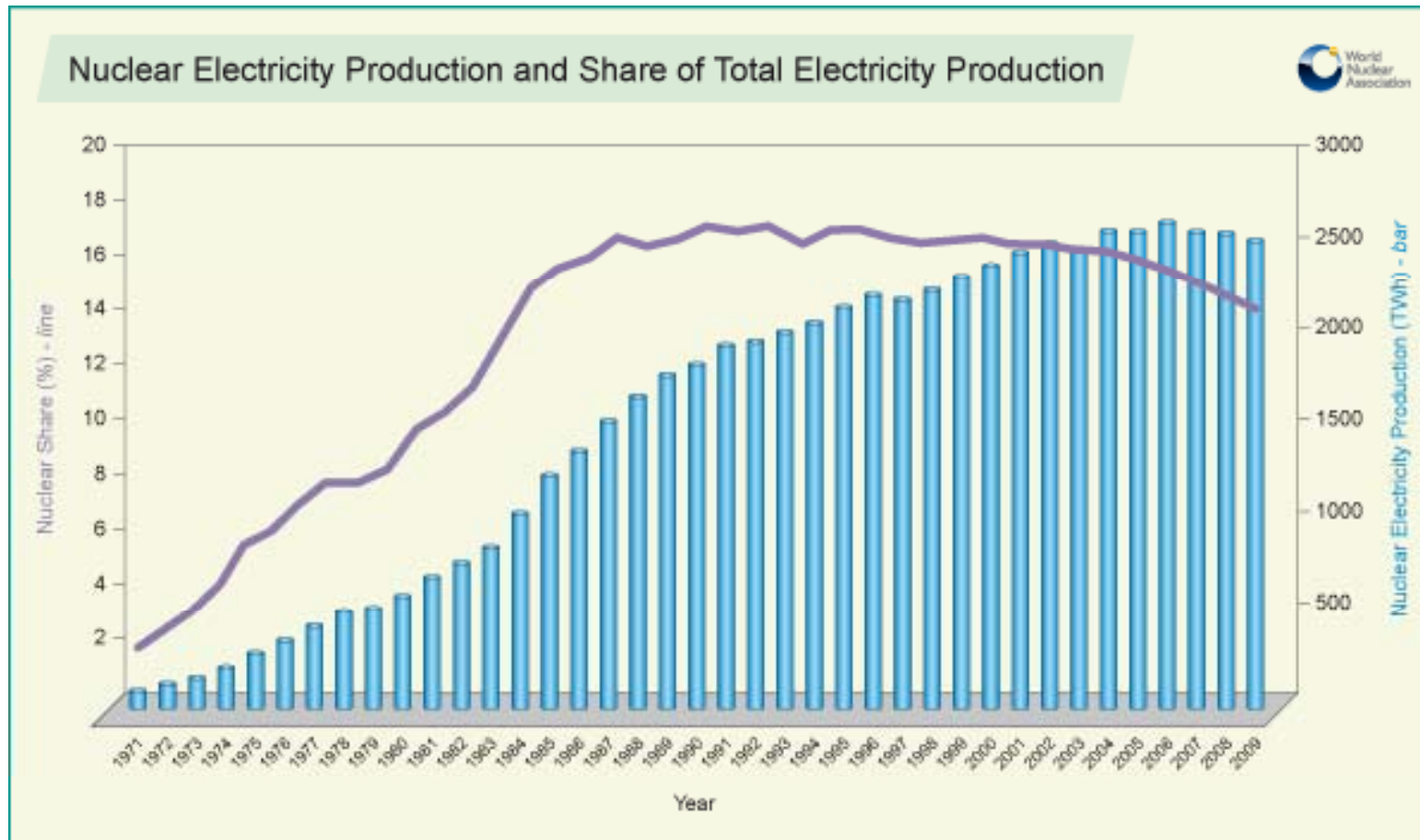
- **Introductie**
- **Economie**
- **Milieu en veiligheid**
- **Publieke acceptatie**
- **Lange termijn perspectief**

Introductie



- **Status quo 2008**
- **Kernenergie in de VS**
- **Vervolg in Duitsland en Frankrijk**

Status quo 2008



Figuur 1 *Nucleaire elektriciteitsopwekking, 1971-2009*

Bron: WNA (2010): *Nuclear Power in the World Today*. WNA, USA, 2010.

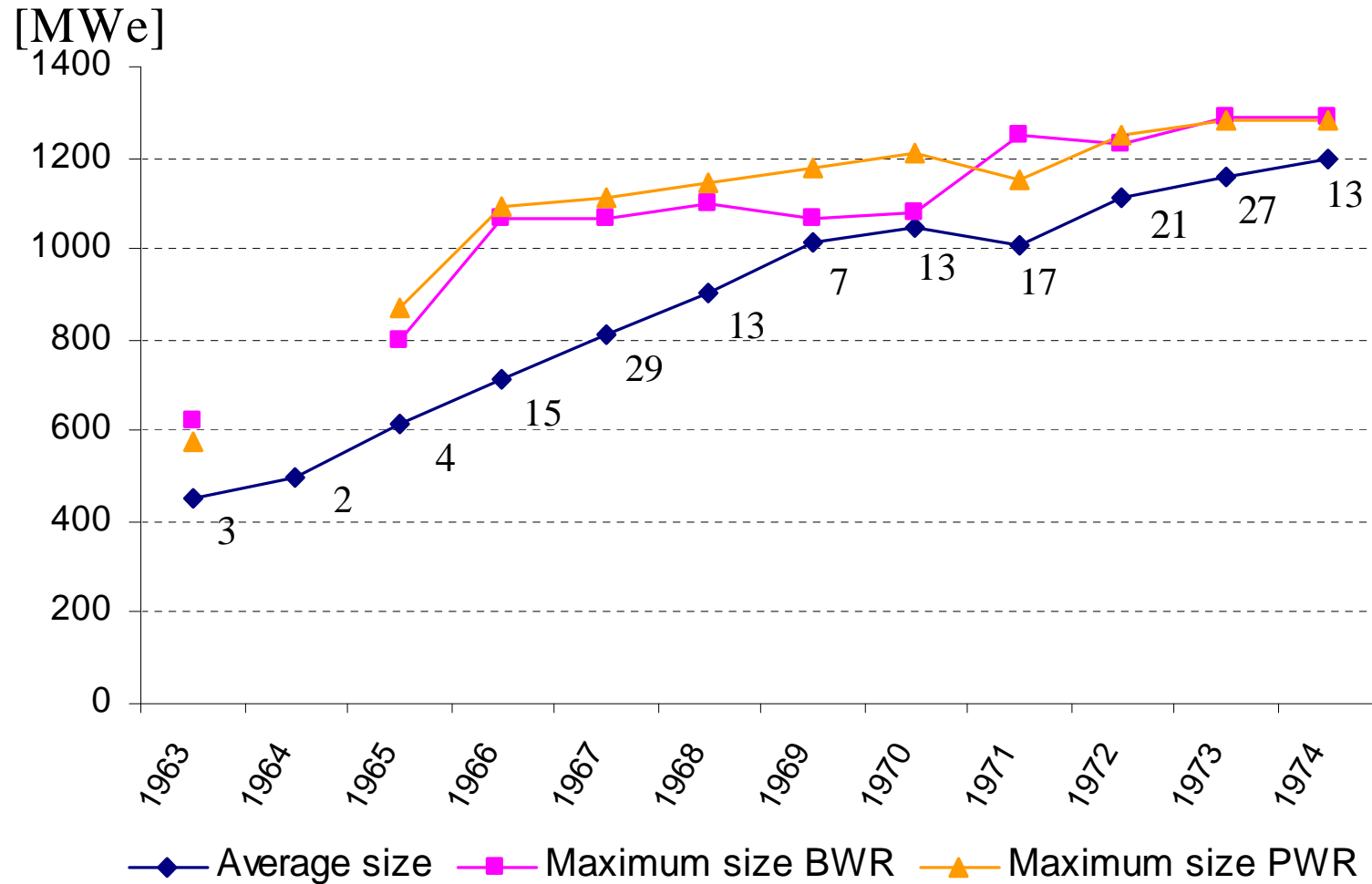
<http://www.world-nuclear.org/info/inf01.html>

Kernenergie in de VS



- Bakermat Licht Water Reactor (LWR)
- In bedrijf 104 reactoren, elektriciteitsproductie 809 TWh (2008)
- Aandeel kernenergie in elektriciteitsopwekking 19,7% (2008)
- Periode 1970-1990: lange vergunningprocedures en bouw tijden
- Daarom sindsdien vergunningprocedure gestroomlijnd; en
- Reactorontwerpen gestandaardiseerd
- In het bijzonder sinds 2000:
 - Levensduurverlenging voor 59 reactoren;
 - Ontwerpcertificatie voor 5 reactoren;
 - President Obama: 'To meet our growing energy needs and prevent the worst consequences of climate change, we'll need to increase our supply of nuclear power' (februari 2010)

Ontwikkeling reactorvermogen VS



Figuur 2 Aantal en vermogen reactororders VS, 1963-1974

Vergunningverlening VS



- **‘Design certification’**
- **‘Early site permit’**
- **‘Construction permit combined with operating license’**
- **‘Opportunity for public hearing’**

Kernenergie in Duitsland



- **LWR verder ontwikkeld (Siemens)**
- **Aandeel kernenergie elektriciteitsopwekking 28,8% (2008)**
- **Jaren zeventig: verdubbeling bouwkosten**
- **Oorzaken: hoge veiligheidseisen en lange vergunningprocedures**
- **Jaren tachtig: standaardisering ('Konvoi')**
- **'Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen' (14 juni 2000)**
- **Aangevuld met 'disclaimer' (2009): alternatieve CO2-vrije opties moeten op tijd beschikbaar zijn**

Kernenergie in Frankrijk



- **Vanaf jaren zeventig: LWR**
- **In bedrijf 58 reactoren, totaal vermogen 63.000 MW**
- **Aandeel kernenergie elektriciteitsopwekking 76,2% (2008)**
- **Standaardontwerpen: P2 (900 MW), P4 (1300 MW), N4 (1450 MW), EPR (European Pressurized Reactor, 1590 MW)**
- **Grote aantallen per ontwerp (serie-effect)**
- **EPR in aanbouw in Finland en Frankrijk**

Economie

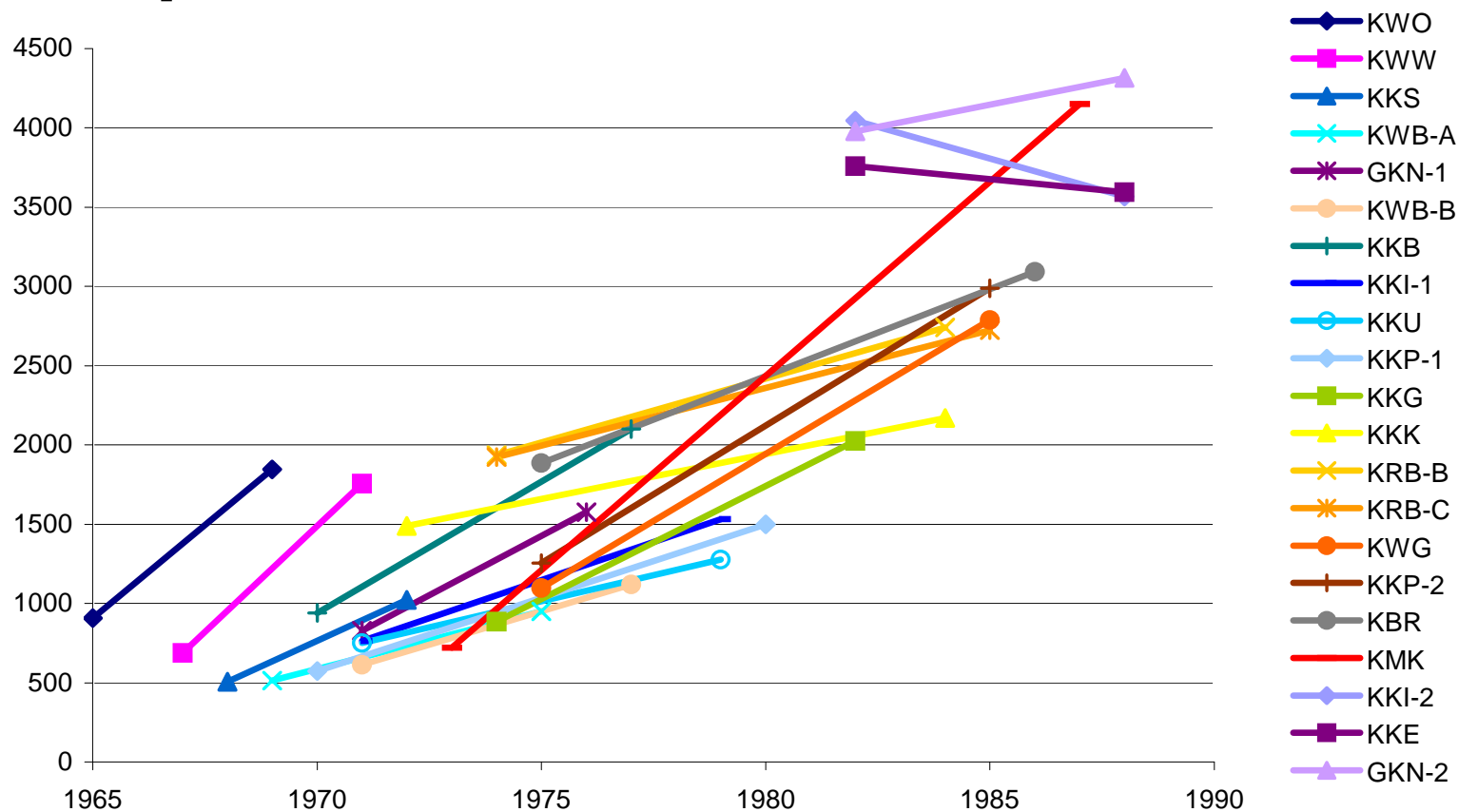


- **Bouwkosten en bouwschema**
- **Investeringskosten**
- **Opwekkingskosten OECD landen**
- **Opwekkingskosten Nederland**
- **Uraniumvoorraden**

Bouwkosten en bouwschema (D)



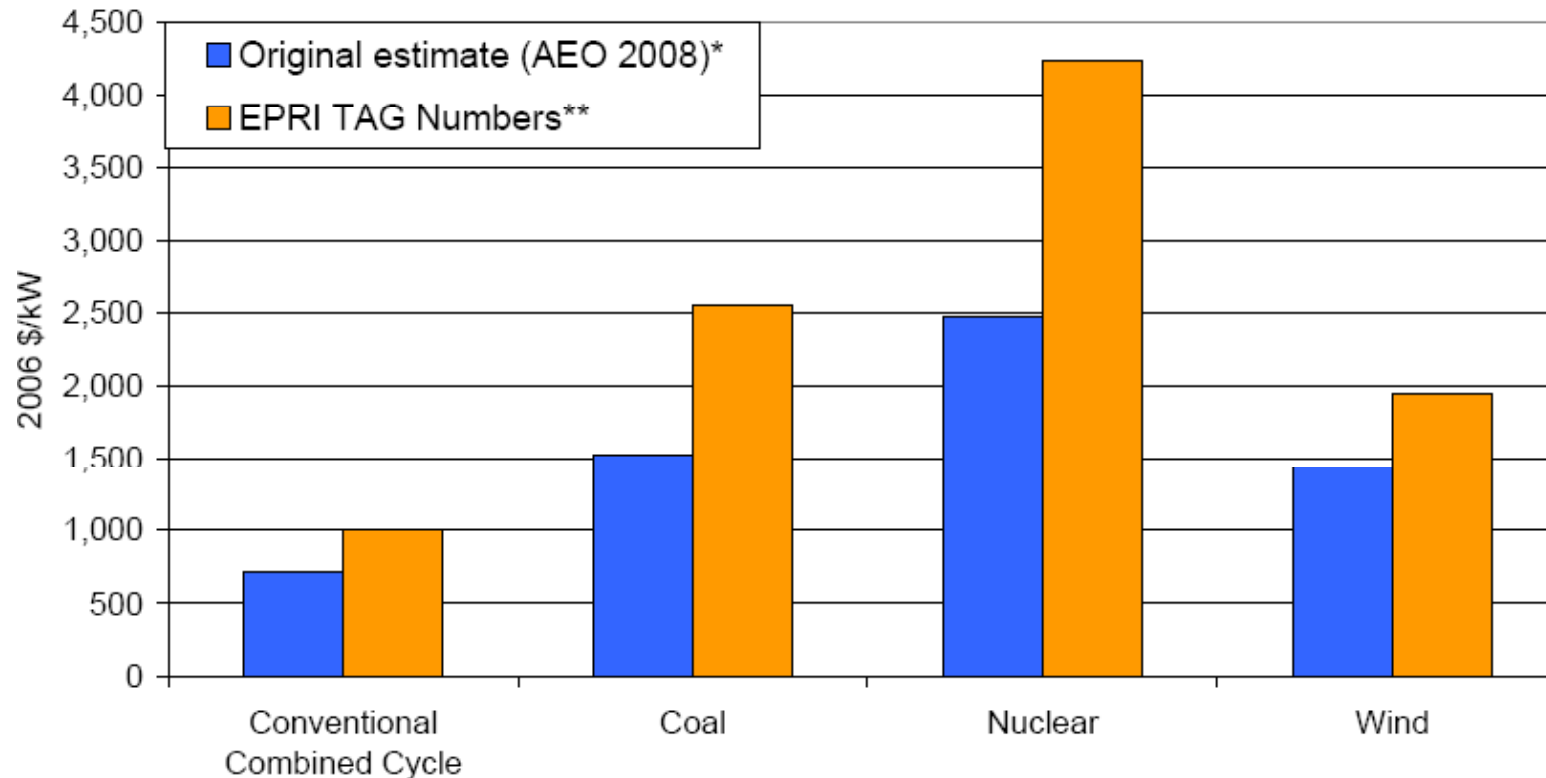
[DM/kW]



Figuur 3 *Ontwikkeling bouwkosten (inclusief eerste kern) – raming respectievelijk realisatie inclusief ‘retrofitting’ – en bouwzeiten lichtwaterreactoren in Duitsland*

Bron: Kim, 1991.

Investeringskosten



Sources:

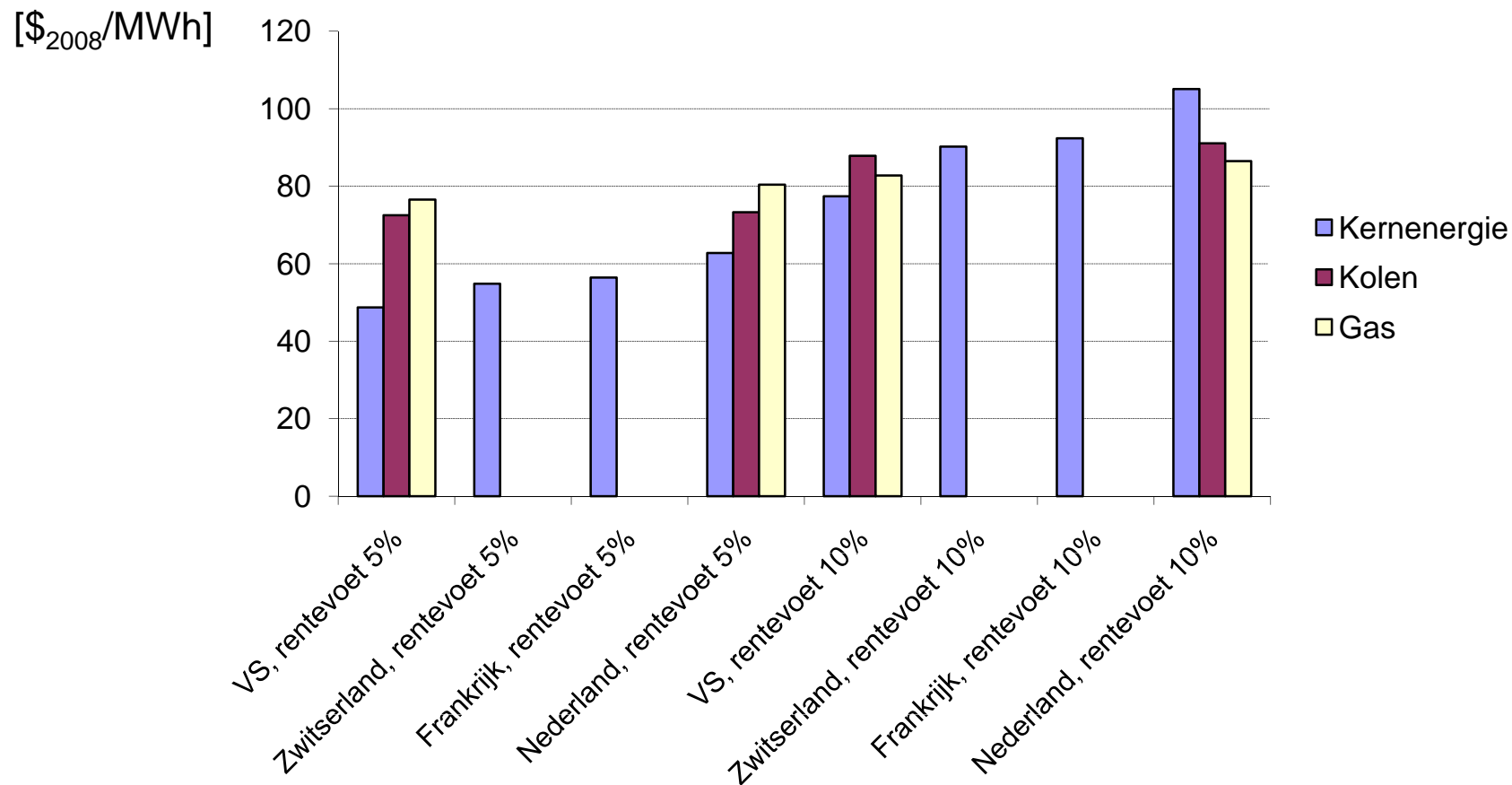
* Annual Energy Outlook 2008, U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, June 2008.

** Program on Technology Innovation: Power Generation (Central Station) Technology Options - Executive Summary, Electric Power Research Institute, July 2008.

Figur 4 Updated plant construction cost estimates ($\$_{2006}/kW$)

Bron: BG (2008): *Transforming America's Power Industry*. Brattle Group (BG), 2008, p. 23.

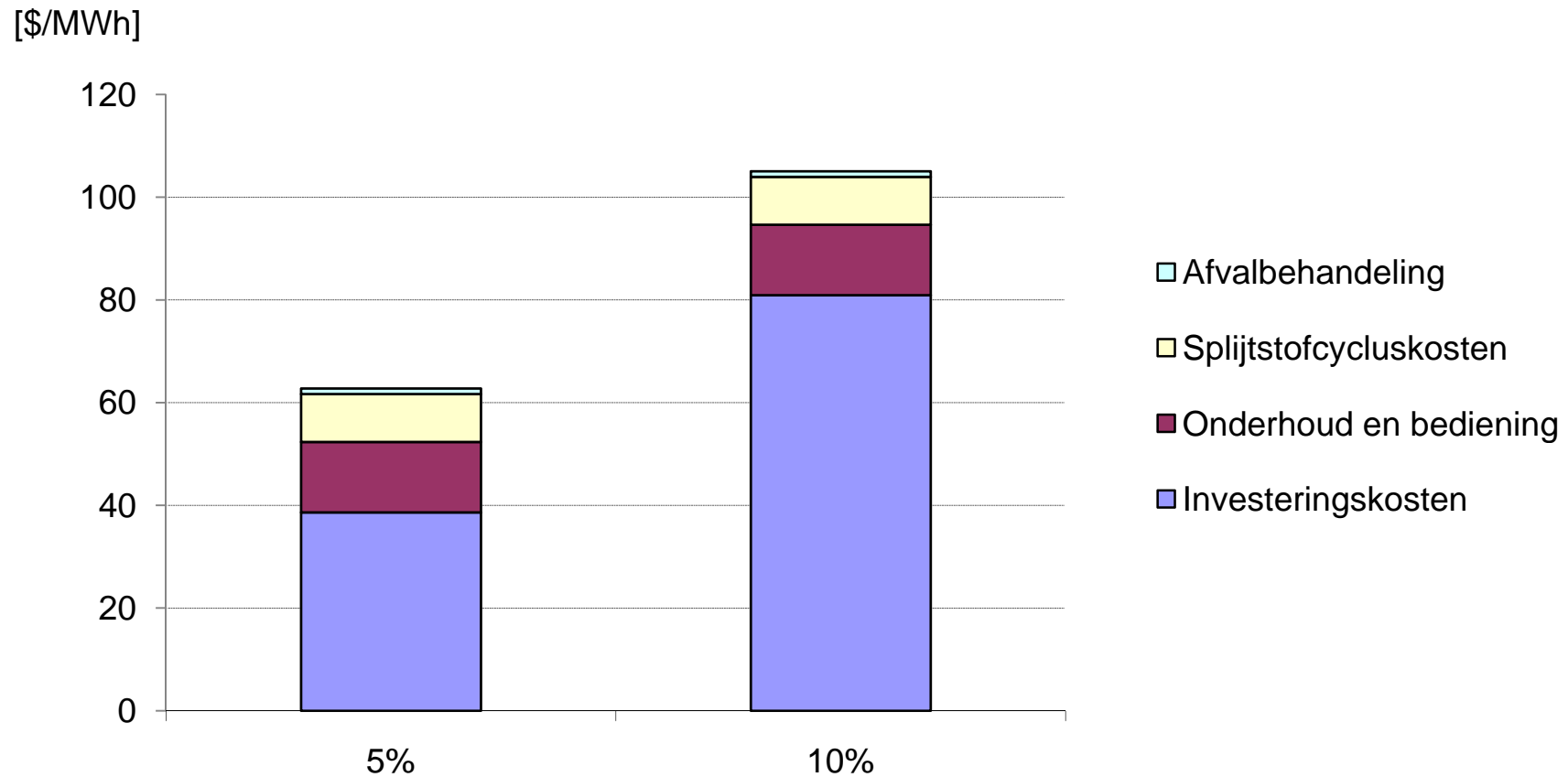
Opwekkingskosten OECD landen



Figuur 5 *Opwekkingskosten kernenergie, kolen en gas (2010)*

Bron: IEA/NEA (2010): *Projected costs of generating electricity*. IEA/NEA, Paris, 2010.

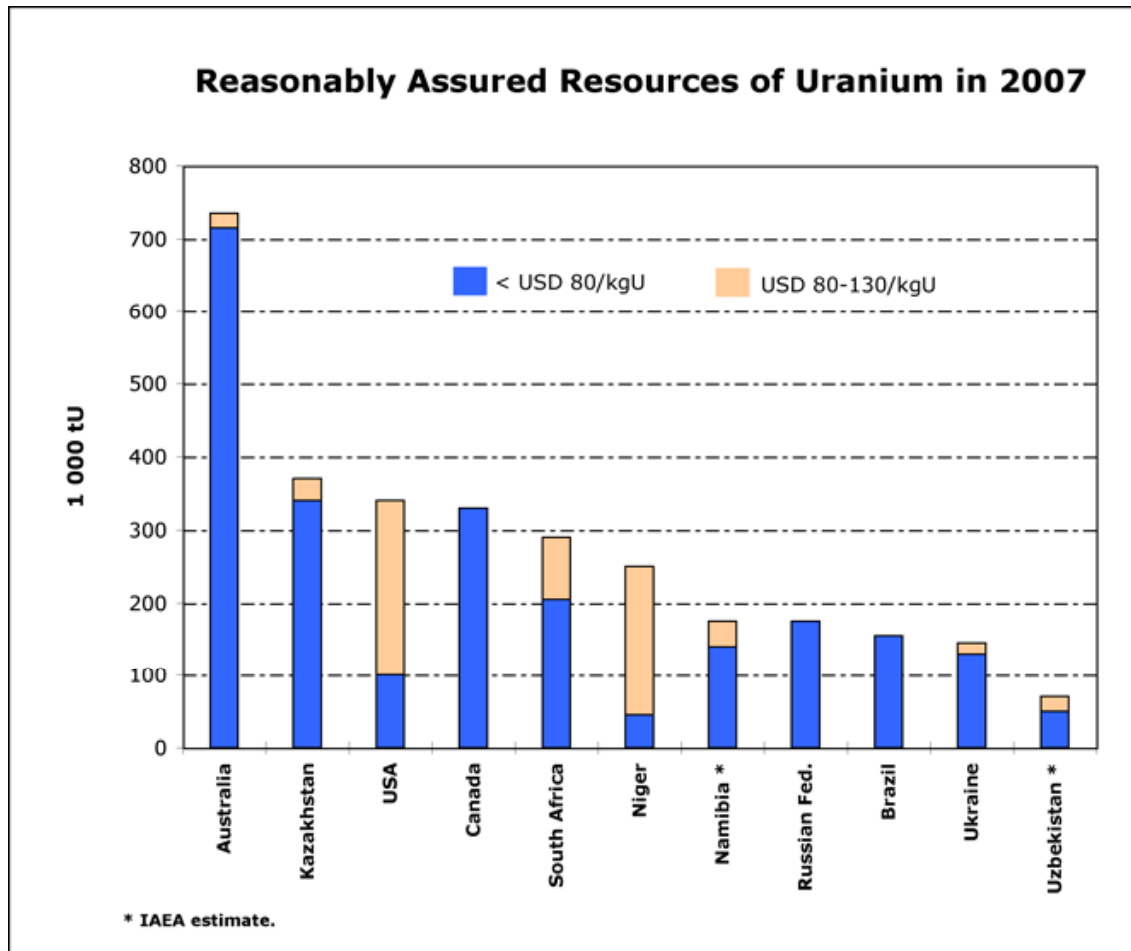
Opwekkingskosten Nederland



Figuur 6 *Opwekkingskosten NL afhankelijk van disconteringsvoet*

Bron: IEA/NEA (2010): *Projected costs of generating electricity*. IEA/NEA, Paris, 2010.

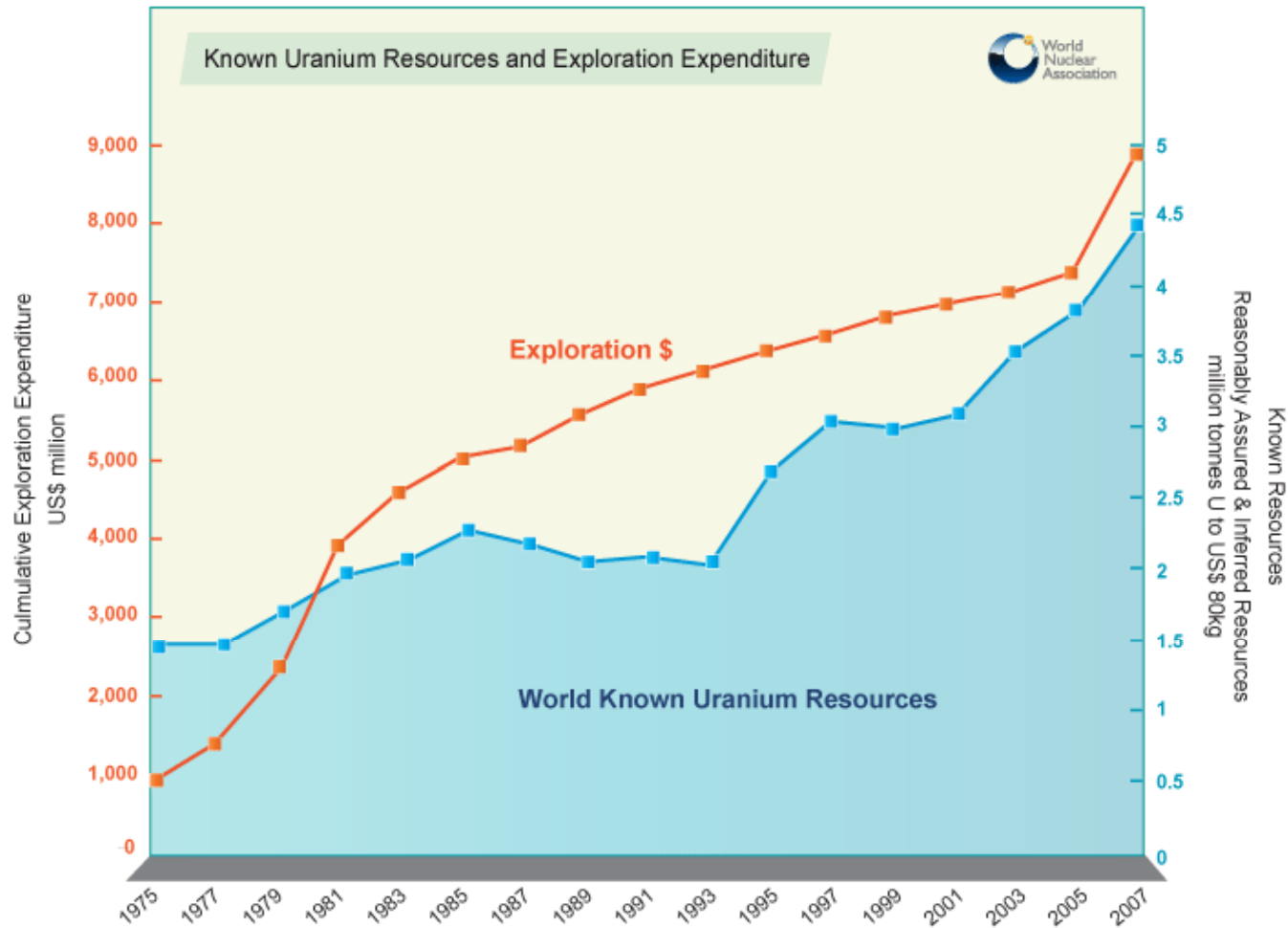
Uraniumvoorraden 1



Figuur 7 *Reasonably assured resources of uranium (1000 t U)*

Bron: World Nuclear Association (WNA), 2010.

Uraniumvoorraden 2



Figuur 8 *Known uranium resources and exploration expenditures*

Bron: World Nuclear Association (WNA), 2010.

Milieu en veiligheid



- **Risico's (normaal bedrijf) kern, kolen, gas**
- **Risico's ernstige ongevallen**
- **Broeikaseffect elektriciteitsopwekking**

Risico's normaal bedrijf LWR



Tabel 1 *Aantal dodelijke slachtoffers per GWe-jaar voor een LWR*

Processtap	Beroepsbevolking [dode/GWe-j]		Bevolking [dode/GWe-j]	
	Direct	Laat	Direct	Laat
Winning				
Mijn	0,022 – 0,11	0,1		0,0015 – 0,035
Dagbouw	0,004 – 0,003	0,04		
Overige (transport, opwerking)	0,007 – 0,56	0,0065 – 0,05		0,0020 – 0,13
Bouw en bedrijf	0,060 – 0,3	0,0150 – 0,08	0,001 – 0,01	0,0010 – 0,02
Totaal	0,071 – 0,96	0,0610 – 0,23	0,001 – 0,01	0,0045 – 0,18

Risico's kolencentrale



Tabel 2 *Aantal dodelijke slachtoffers per GWe-jaar voor een moderne poederkoolcentrale*

Processtap	Beroepsbevolking [dode/GWe-j]		Bevolking [dode/GWe-j]	
	Direct	Laat	Direct	Laat
Winning				
Mijn	0,30 – 1,7	0,10 – 1,1	–	–
Dagbouw	0,05 – 0,16	0,02 – 0,15	–	–
Overige (transport)	0,04 – 1,1	–	0,1 – 1	–
Bouw en bedrijf	0,07 – 0,4	–	–	2 – 5
Totaal	0,20 – 3,2	0,02 – 1,1	0,1 – 1	2 – 5

Risico's gascentrale



Tabel 3 *Aantal dodelijke slachtoffers per GWe-jaar voor een moderne aardgasgestookte centrale*

Processtap	Beroepsbevolking [dode/GWe-j]		Bevolking [dode/GWe-j]	
	Direct	Laat	Direct	Laat
Winning				
Land	0,03 – 0,2	–	–	–
Offshore	0,10 – 0,7	–	–	–
Overige (transport)	0,01 – 0,06	–	0,2	–
Bouw en bedrijf	0,06 – 0,25	–	–	0,004 – 0,23
Totaal	0,10 – 1	–	0,2	0,004 – 0,23

Risico's ernstige ongevallen

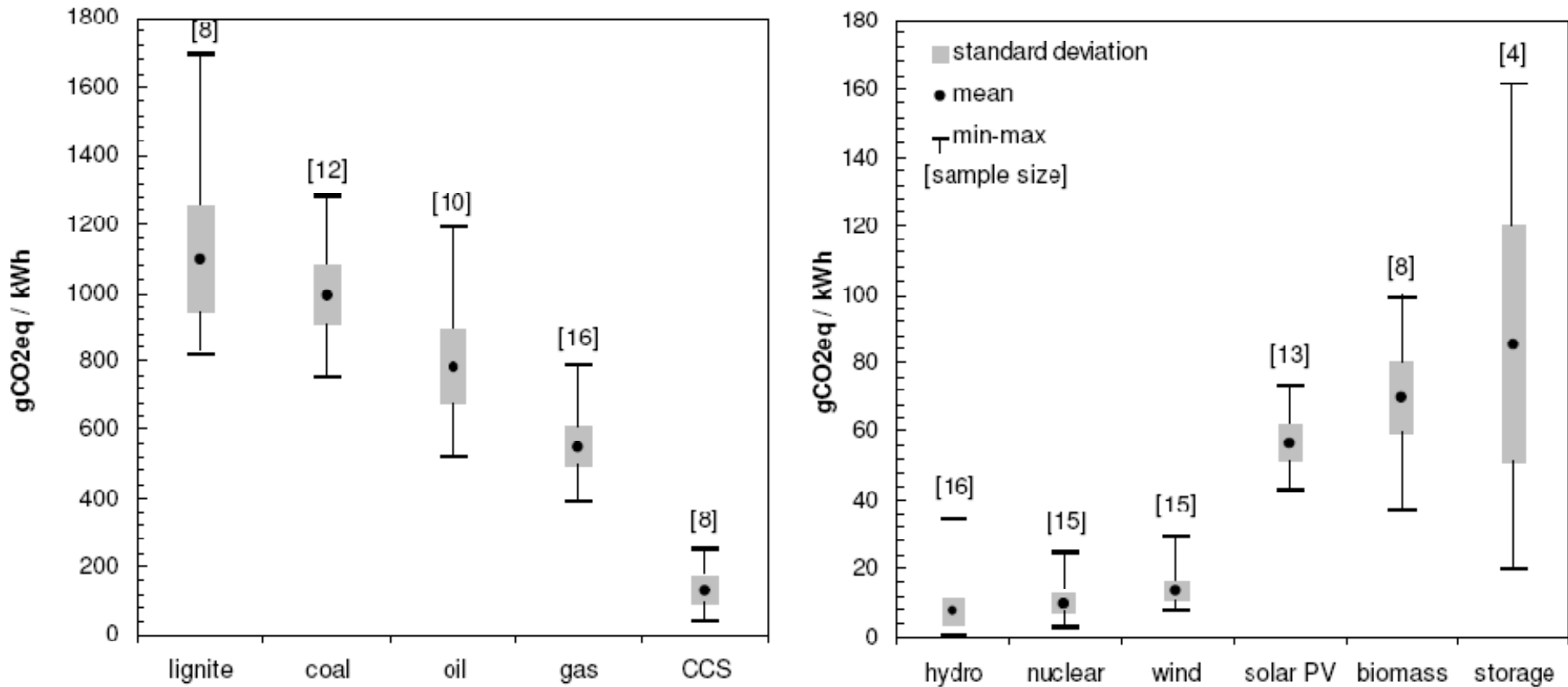


Tabel 4 *Ernstige ongevallen met de ketens van elektriciteitsopwekking in de periode 1969-1986 (2003)*

Energiebron	Zeergrote ongevallen			Omvang directe sterfte	
	Aantal	Oorzaak	Type ongeval	Per ongeval	Sterfte per GWe-j
Kolen	62	Mijnramp	Mijnwerkers	10 – 434	0,34
Olie	6	Kapseizen	Olieplatform	6 – 123	?
	15	Brand/explosie	Raffinaderijen, tankparken	5 – 145	0,02
	42	Brand/explosie bij transport	Tijdens transport	5 – 500	0,08
Aardgas	24	Brand/explosie	Diverse	6 – 452	0,17
Waterkracht	>8	Overlopen	Dammen	11 – 2500	1,41
Kernenergie	1		Tsjernobyl	31	0,003

Noot: de sterfte bij kernenergie is gebaseerd op aan de ene kant het aantal directe slachtoffers bij de ramp met de reactor in Tsjernobyl (1986) en aan de andere kant het aantal reactorjaren t/m 2005 (9.830).

Broeikaseffect elektriciteitsopties



Figuur 9 *CO₂ equivalent emissions from various power generation options*

Bronnen: Weisser, D. (2007): *A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies*. IAEA, Vienna, 2007.

Sovacool, B.K. (2008): Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey. *Energy Policy* 36 (2008), pp. 2940– 2953.

New visions of risk, new social answers?

Some lessons from French recent experiences

Fanny Bazile, Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA), 2004

More information in the media about all types of risks

Increased visibility of non-technical risks (terrorism...)

Public ambivalence towards science and technology

(probabilistic way of reasoning not satisfactory for many people)

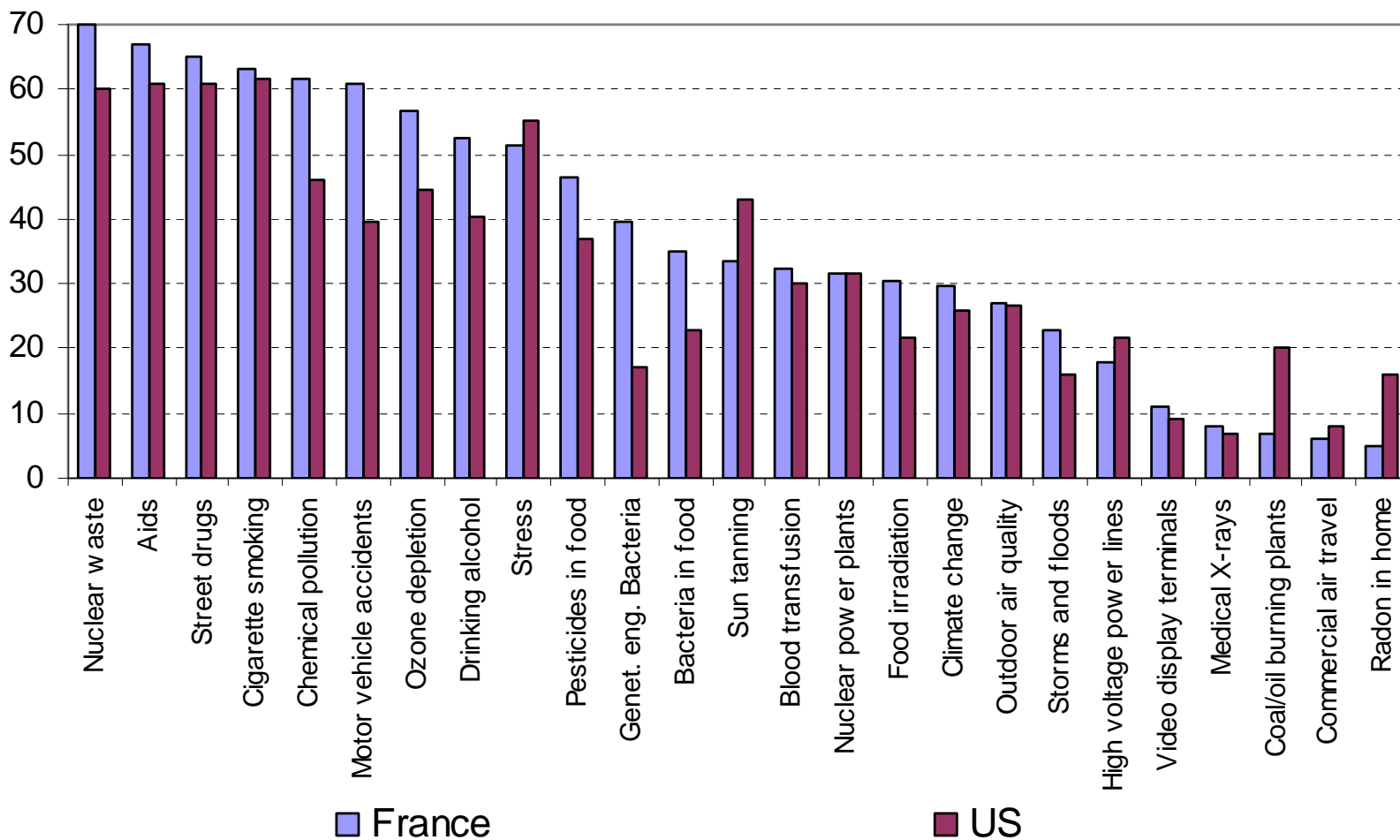
Bron: Bazile, F. (2004): *New Visions of Risk, New Social Answers?* IBRAE-RAS, Moscow, June 7-9, 2004.

Publieke acceptatie



- **Informatiebehoefte**
- **Risicobegrip**
- **Risicoacceptatie**
- **Risicoschatting**
- **Houding ten opzichte van risico's**

Risico perceptie in Frankrijk en de VS



Figuur 10 *Percentage geënquêteerden dat risico als ernstig beschouwt, Frankrijk en VS*

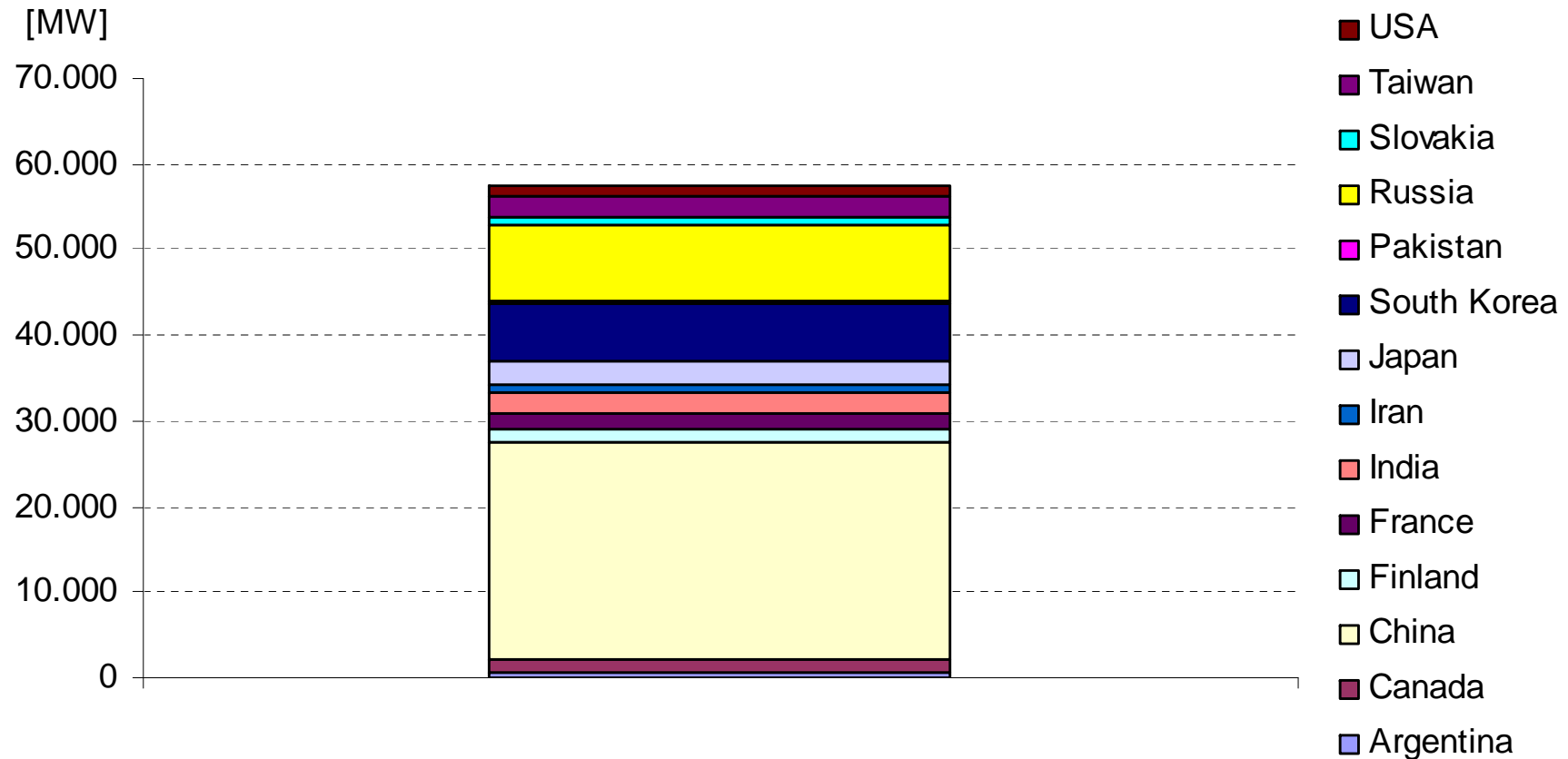
Bron: IAEA, 1994.

Lange termijn perspectief



- **Kernenergie: nieuwbouw kernreactoren**
- **Modular high-temperature reactor (Gen IV)**
- **Accelerator Driven System (ADS, 2040?)**
- **Kernfusie R&D → ITER → Prototype → Demo**

Nieuwbouw kernreactoren



Figuur 11 *World nuclear power reactors under construction [MW]*

Bron: WNA (2010): *World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements*. WNA, USA, 2010. <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.html>

Modular high-temperature reactor

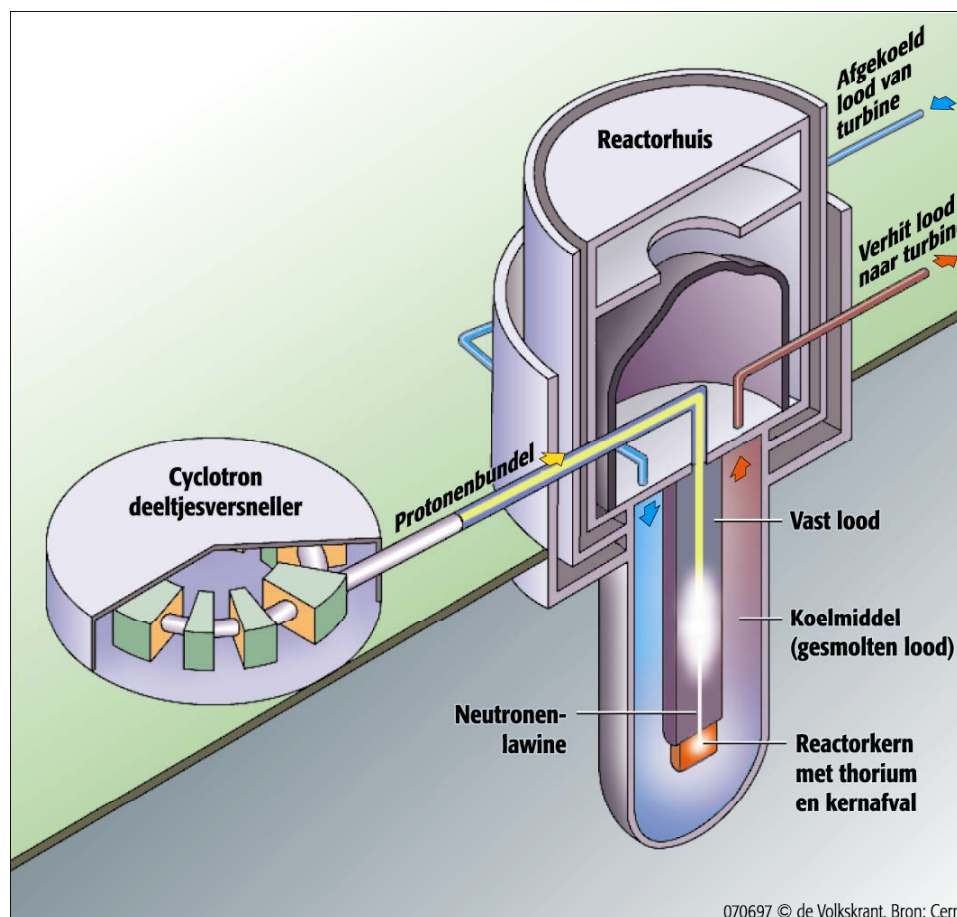


Figuur 12 *Modular high-temperature reactor (Chinese design)*

Bron: Blue, L. (2008): *High-Temperature Reactors Can Change the World*. 21st Century Science and Technology, Fall-Winter 2008, pp. 32-43.

http://www.21stcenturysciencetech.com/Articles%202008/F-W_2008/HTR_1.pdf

Accelerator driven (sub-critical) nuclear reactor (2040?)



Figuur 13 ADS, snelle loodgekoelde reactor aangedreven door protonenversneller

ITER goes the right way



With the conclusion of the Preliminary Design Review, the ITER cryostat passed another big milestone.

Bron: <http://www.iter.org/>

Timeline construction ITER



Bron: <http://www.iter.org/proj/ITERAndBeyond>