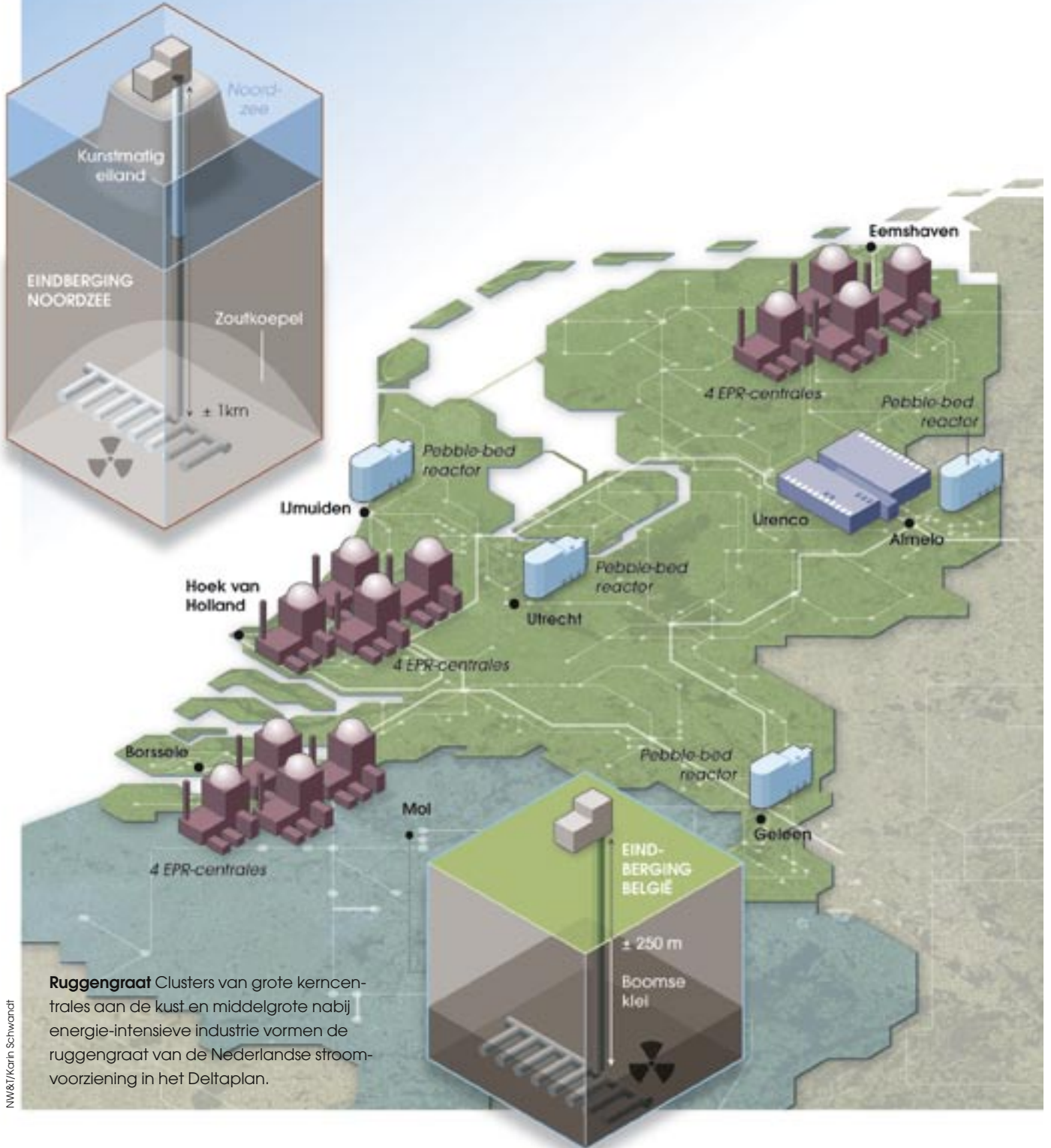


*Knopen doorhakken over de energievoorziening*

# *Deltaplan Kernenergie*



**Ruggengraat** Clusters van grote kerncentrales aan de kust en middelgrote nabij energie-intensieve industrie vormen de ruggengraat van de Nederlandse stroomvoorziening in het Deltaplan.

‘Erst kommt das Fressen, dann kommt die Moral’, schreef Bertold Brecht. Vrij vertaald naar de Nederlandse energiesituatie: in 2020, als de gasbel bij Slochteren echt leeg raakt, zal de politiek heel anders denken over kernenergie. Kernenergie geldt dan als de enige betrouwbare energiebron, vrijwel zonder CO<sub>2</sub>-productie en onafhankelijk van instabiele regimes. De echte investeringen gaan dan niet naar nucleair gewetensbezwaarden met hun windmolens en zonnepanelen, maar naar een dozijn nieuwe kerncentrales en een ondergrondse afvalberging in de Noordzee. Een lange-termijnscenario.

*Marcel Crok, Arnout Jaspers, Erick Vermeulen*

#### **Executive Summary**

**Looptijd:** Van 2011 tot ver in de 21e eeuw

**Type centrale:** Twaalf zeer grote centrales van het EPR-type, totaal 19.200 MW en een aantal kleine ‘pebble-bedreactoren’ bij energie-intensieve bedrijven.

**Locaties EPR’s:** Vier bij Borsele, vier op de Tweede Maasvlakte en vier rond de Eemshaven.

**Brandstof:** Via Urenco, bij voorkeur uit Canada en Australië.

**Afval:** Tijdelijke opslag bovengronds van hoogradioactieve afval bij de Covra bij Borsele voor circa twintig jaar. Daarna permanent ondergrondse opslag in de kleilaag onder het Belgische Mol (vanaf 2025) en in een onderzeese zoutkoepel, 50 kilometer ten westen van Texel (vanaf 2035).

**Lange termijn:** Na 2045 begint de bouw van meerdere vierde-generatiekerncentrales, aantal afhankelijk van de energiebehoefte. Deze hoge-temperatuurreactoren maken waterstof voor de transportsector zodat eindelijk de waterstofeconomie van de grond komt.

**Kosten eerste fase tot 2045:** 36 miljard voor 12 EPR-centrales, plus 3 miljard voor de afvalberging op zee en 1 miljard voor aanpassingen in het energienetwerk en andere bijkomende kosten. In eerste instantie betaald uit aardgasbaten. Bedrijfsleven betaalt mee.

Een moderne samenleving is vrijwel de gijzelaar van zijn energieleveranciers en Europa’s belangrijkste gijzelnemers zijn Rusland en het Midden-Oosten. Een voorproefje van de consequenties kregen we met het recente conflict tussen Rusland en de Oekraïne, toen de staatsgasmaatschappij Gazprom op bevel van Poetin de hoofdkraan dichtdraaide en grote delen van Europa letterlijk in de kou kwamen te staan. Een boycot door de Arabische oliestaten is al eerder vertoond en zou opnieuw kunnen gebeuren. De publicatie van een paar spotprenten van de profeet kan genoeg zijn.

Lang heeft Nederland zich kunnen koesteren in de wetenschap dat het zelf met de hand aan een flinke hoofdkraan zit, die van het aardgas uit Slochteren. Dat heeft de bv Neder-

land honderden miljarden euro’s opgeleverd en door de koppeling van de prijs aan die van aardolie werkte de export ook nog als een buffer tegen prijsfluctuaties op de wereldoliemarkt. Daarom kon Nederland het zich veroorloven kernenergie te verwaarlozen.

Dat kwam goed uit, want door de dreiging van kernwapens, het radioactief afvalprobleem, het ongeluk in de Amerikaanse centrale Three Miles Island in 1979 en met name de ramp in Tsjernobyl in 1986 was kernenergie vanaf begin jaren zeventig taboe in Nederland. Enigszins hypocriet was deze aversie tegen kernenergie wel, want al die tijd was kernenergie de belangrijkste elektriciteitsopwekker in Europa. Met 35 procent is ‘atoomstroom’ koploper in Europa, op de



EPR Tekening van de eerste European Pressurised water Reactor met een vermogen van 1600 megawatt, die komende jaren in Finland gebouwd wordt.

voet gevolgd door kolen en, op afstand, aardgas. Frankrijk spant de kroon met 78 procent nucleaire elektriciteit. België zit ook hoog met 56 procent. Nederland is met 4 procent Borssele-stroom wel bijna hekkensluiter van de Europese ranglijst. Maar ook in Nederland komt er meer kernstroom uit het stopcontact dan die 4% procent. De huidige import uit België en Frankrijk is ongeveer tien procent waarvan dus meer dan de helft nucleair is.

**Uit het verdomhoekje** Het tij voor kernenergie lijkt dan ook te keren. De kerncentrale in het Zeeuwse Borsele sluit niet in 2013 maar blijft open tot 2033. Nu had dit besluit veel te maken met een schadeclaim van één miljard euro die de Nederlandse staat boven het hoofd hing bij eerdere sluiting. Maar toch, het openhouden van onze enige kerncentrale voor elektriciteitsopwekking staat ook symbool voor een positievere houding ten aanzien van kernenergie.

Dat heeft gedeeltelijk te maken met de steeds veiligere reactorontwerpen. In de ruim tweehonderd Europese kerncentrales heeft zich in bijna een halve eeuw niet één werkelijk ernstig incident voorgedaan. Belangrijkere pleitbezorgers voor kernstroom zijn echter de eerder genoemde onbetrouwbare energieleveranciers, waar geen land afhankelijk van wil zijn, en vooral de bodem van onze fossiele brandstoffenvoorraad, die nu toch echt in zicht begint te komen.

Er is wereldwijd voor pakweg nog een halve eeuw olie en aardgas voorradig. Met de steenkoolvoorraden kunnen we weliswaar nog 250 jaar vooruit, maar bij de verbranding van steenkool komt relatief veel CO<sub>2</sub> en roet vrij. Strengere milieunormen maken het onbetaalbaar. De gasbel bij Slochteren in Groningen zal in het huidige tempo van verbruik en export in 2030 leeg zijn. Door te boren onder de Waddenzee kunnen we het nog wat langer uitzingen, maar na 2050 is ook dat hoogst waarschijnlijk op. Scherp gesteld: het lijkt onverstandig om nog nieuwe centrales te bouwen die draaien op fossiele brandstoffen.

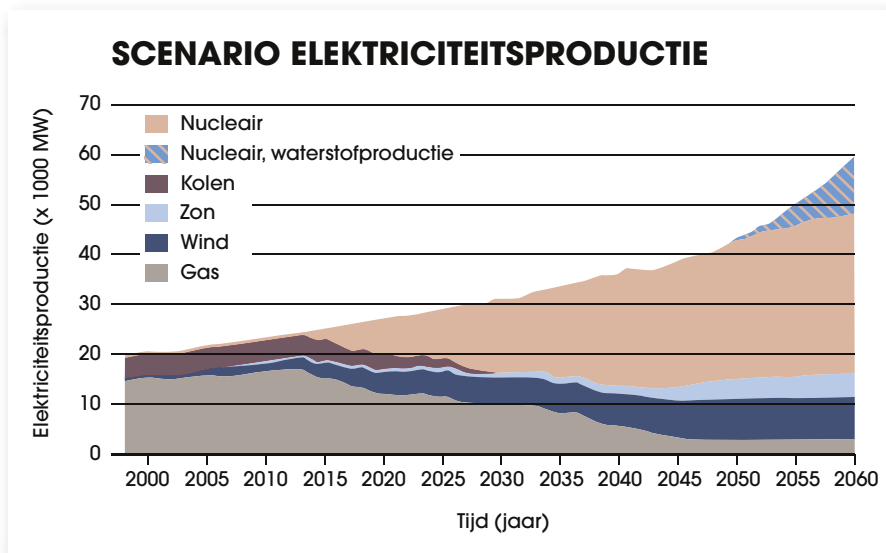
De fossiele brandstoffen zullen de komende decennia bovendien alleen maar duurder worden, terwijl de vraag naar energie zal blijven toenemen. Hoe sympathiek wind- en zonne-energie ook zijn, ze geven op de korte en middenlange termijn geen uitzicht op een substantiële bijdrage aan de ener-

gievoorziening, laat staan op een bijdrage waarmee we de fossiele centrales kunnen vervangen.

Het lijkt dan ook onvermijdelijk dat de politiek binnen afzienbare tijd zal kiezen voor grote investeringen in kernenergie. EZ-minister Brinkhorst heeft in Europa aangekaart dat de EU de optie voor kernenergie open moet houden. De twee grote regeringspartijen staan positief tegenover kernenergie. De VVD roept zelfs al heel stoer dat Nederland eenderde van de elektriciteit uit kernenergie moet gaan halen. Ze laten echter achterwege te zeggen waar die centrales dan moeten komen en waar we het afval naar toe brengen. Daarom zet de redactie van *Natuurwetenschap & Techniek* een technocratische bril op. Los van welke politieke sentimenten dan ook schetsen we een energie-scenario tot 2045 en verder. De overwegingen zijn louter van technische en economische aard, we liggen even niet wakker van 'draagvlak', 'risicoperceptie' en 'niet in mijn achtertuin'. *Voorop staat het gegeven dat Nederland in de toekomst op een betaalbare en economisch rendabele wijze aan elektriciteit moet kunnen komen.*

**Bouwprogramma** In ons scenario voert Nederland het percentage kernenergie geleidelijk aan op tot het niveau van België en na 2045 wellicht zelfs tot het niveau van Frankrijk. Daarvoor komt er eerst een bouwprogramma voor 'conventionele' kerncentrales ter vervanging van de fossiel opgewekte elektriciteit. Twaalf zeer grote centrales van het EPR-type verriszen bij Borsele, op de Tweede Maasvlakte en rond de Eemshaven. Uiterlijk 2011 start de bouw van de eerste EPR bij Borsele, niet lang daarna gevolgd door EPR's op de Tweede Maasvlakte en langs de Eemmond. In 2016 is de feestelijke opening van de eerste Nederlandse EPR: de Borssele EPR 1. Verder komen dicht bij energie-intensieve industrieën (bijvoorbeeld Hoogovens in IJmuiden) middelgrote, inherent veilige 'pebble-bed-reactoren'.

De 'brandstof' voor deze centrales, vooral uraan (ook wel uranium genoemd), komt van Urenco, met een vestiging in Almelo, dat reeds 20% van de wereldmarkt voor splijtstof in handen heeft en de extra vraag naar splijtstof als gevolg van het Deltaplan makkelijk aan kan. Opwerking van gebruikte splijtstofstaven vindt in het Franse Cap La Hague plaats. Het geproduceerde hoogradioactieve afval gaat, na tijdelijke opslag bovengronds door de Covra bij Borsele, naar een onder-



Uitgangspunt is een jaarlijkse groei van de Nederlandse elektriciteitsvraag van 1,5 procent. Dit resulteert in een bijna verdubbeling van de elektriciteitsproductie in 2045. Er komen geen nieuwe centrales op fossiele brandstof (kolen, gas) meer bij en bestaande kolencentrales worden de komende vijftig jaar uit dienst genomen.

Zonne- en windenergie groeien flink, maar vanwege hun lage efficiëntie blijft het aandeel beperkt. De laatste gascentrales (onder andere verbranden van hoogovengas) dienen vooral om pieken in de energievraag op te vangen. Kerncentrales leveren na 2035 het leeuwendeel van de elektriciteit. De komst van de vierde-generatie-centrales na 2045 opent de weg naar een waterstofeconomie. Vijftien jaar later zal het wegtransport eindelijk overschakelen op waterstof als energiedrager. Door de toenemende efficiëntie van motoren zal de totale energievraag van dit transport in het jaar 2060 gelijk zijn aan nu (circa elf gigawatt continu).

Bronnen: onder andere [www.ecn.nl](http://www.ecn.nl), [www.cbs.nl](http://www.cbs.nl), [www.rathenau.nl](http://www.rathenau.nl), [www.minez.nl](http://www.minez.nl), [www.tennet.nl](http://www.tennet.nl).

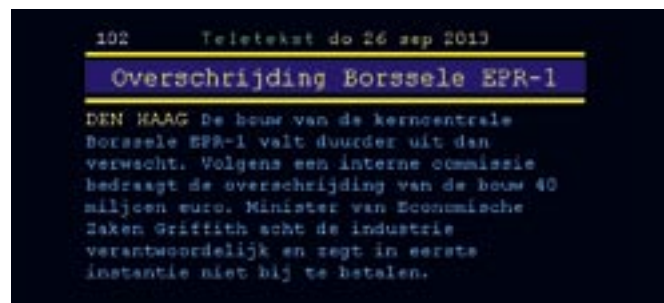
grondse eindberging. De berging in de kleilaag onder het Belgische Mol zal het eerst operationeel zijn, in 2025. Tien jaar later is de Nederlandse eindberging gereed, een kunstmatig eiland boven een onderzeese zoutkoepel, vijftig kilometer ten westen van Texel. Deze berging op Nederlands grondgebied is, door openstelling voor andere Europese landen, winstgevend.

Na 2045 komt door inzet van vierde-generatiekerncentrales de waterstofeconomie van de grond. Hoge-temperatuurreactoren ontleden water tot waterstof (en zuurstof) dat ook in de transportsector de dan schaarse fossiele brandstoffen vangt. Ze gebruiken als voornaamste brandstof de duizenden tonnen verarmd uraan die sinds het begin van de eeuw door Urenco als 'reststof' zijn overgedragen aan de Covra en haar eigenaar: de Nederlandse overheid. Als bonus van het eerste deel van het deltaplan kernenergie heeft Nederland dan dus al voor eeuwen kernbrandstof in voorraad.

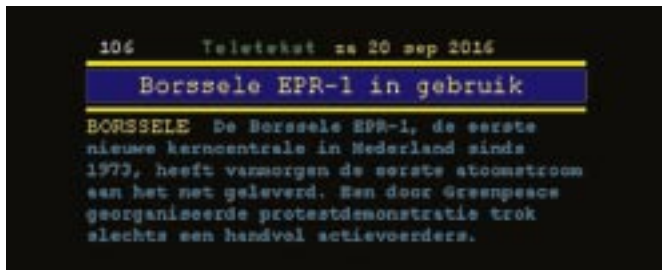
Voor zover het plan, nu de argumentatie. Het totaal geïnstalleerd elektrisch vermogen in Nederland bedraagt op dit moment zo'n 18.000 megawatt. Nodig is dat totale vermogen slechts op piekmomenten. Er zijn 's zomers perioden waarin slechts 3000 megawatt gevraagd wordt. Dan gaan eerst de gascentrales uit; die zijn sneller stil te leggen en weer op te starten dan de kolencentrales en de besparing op brandstofkosten is

groter. Kerncentrales blijven in principe altijd op vol vermogen doordraaien. Borsele draait 7000 uur per jaar en ligt slechts twee weken stil voor onderhoud en vervanging van splijtstofstaven. In de toekomst kunnen de centrales echter in daluren zonder problemen gewoon afgeschakeld worden.

Aan het einde van de eerste fase van het Deltaplan (in 2045) staat er ruim 19.000 MW vermogen aan kernenergie, niet alleen om de groei in de vraag op te vangen, maar ook om het uitfasen van de eerst de kolen- en daarna de gascentrales mogelijk te maken. Eerst de kolencentrales vanwege de hoge CO<sub>2</sub>-uitstoot per kilowattuur en de kosten gemoeid met het goed reinigen van de rookgassen (bron van afval bovendien).







De gascentrales gaan vooral dicht omdat het Nederlandse aardgas op raakt. Slechts voor het bijstoken van biomassa kan het nuttig zijn om een of twee kolencentrales in bedrijf te houden. Een belangrijk politiek argument voor het opdoeken van de fossiele centrales is, dat hiermee een reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot gerealiseerd wordt, die veel verder gaat dan in het Kyoto-verdrag is afgesproken. Dit verdrag loopt weliswaar in 2012 af, maar mogelijk komt er een opvolger die nog strengere eisen aan de uitstoot probeert op te leggen.

De keuze voor EPR-centrales voor het eerste deel van het plan ligt voor de hand. Finland koos voor dit type toen ze besloten kernenergie serieus aan te pakken; het land bestelde in 2003 het eerste exemplaar. De Finse EPR moet in 2009 operationeel zijn. Ook Frankrijk gaat in 2007 een EPR bouwen, in Flamanville aan de kust van Normandië. Deze European Pressurised Water-reactoren bouwen voort op bewezen technologie en kunnen wezenlijk bijdragen aan de energievoorziening, als grootste type kerncentrale ter wereld. Een EPR heeft een geïnstalleerd elektrisch vermogen van maar liefst 1600 MW, in vergelijking: de huidige Borsele-centrale maar van 450 MW.

De EPR is ontwikkeld door het Frans-Duitse consortium van Areva en Siemens (samen Framatome ANP). Het is een zogeheten derde-generatiereactor, een geoptimaliseerde versie van de centrale in Borsele, die een tweede-generatiereactor is. De stroomopbrengst per kilo verrijkt uraan is daardoor groter en ze produceren minder afval. Beide centrales werken met drukwaterreactoren. Daarin is water met een temperatuur van zo'n 350 graden Celsius het koelmiddel voor de reactor-kern. Daarbuiten geeft het koelwater z'n hitte af aan water onder lagere druk, waardoor dit verandert in stoom die een turbine aandrijft.

**Aan de kust** De bouwtijd van een EPR is vijf tot zes jaar. De eerste Nederlandse EPR komt in bedrijf in 2016 naast de dan bijna veertig jaar in bedrijf zijnde centrale Borsele. De locatie is een logische keuze: er is nog veel ruimte naast de bestaande centrale en aan de kust is altijd voldoende koelwater. In Frankrijk staan langs de kust diverse clusters van vier centrales, in Gravelines zelfs zes. De Franse centrales in het binnenland, gelegen aan grote rivieren, kampen in warme zomers met een tekort aan koelwater. Ook in Nederland warmen de rivieren bij hittegolven flink op en zien centrales zich gedwongen hun productie terug te schroeven. Alle Nederlandse EPR's komen dus in drie clusters van vier elk aan de kust, langs de Westerschelde in Zeeland, op de - nog aan te leggen - Tweede Maasvlakte en langs de Eemsmond in Groningen.

Op deze manier zijn ze bovendien grotendeels in de

buurt van de energie-intensieve industrie en enigszins verdeeld over het elektriciteitsnet. Dat is nodig om de capaciteit van het netwerk optimaal te benutten.

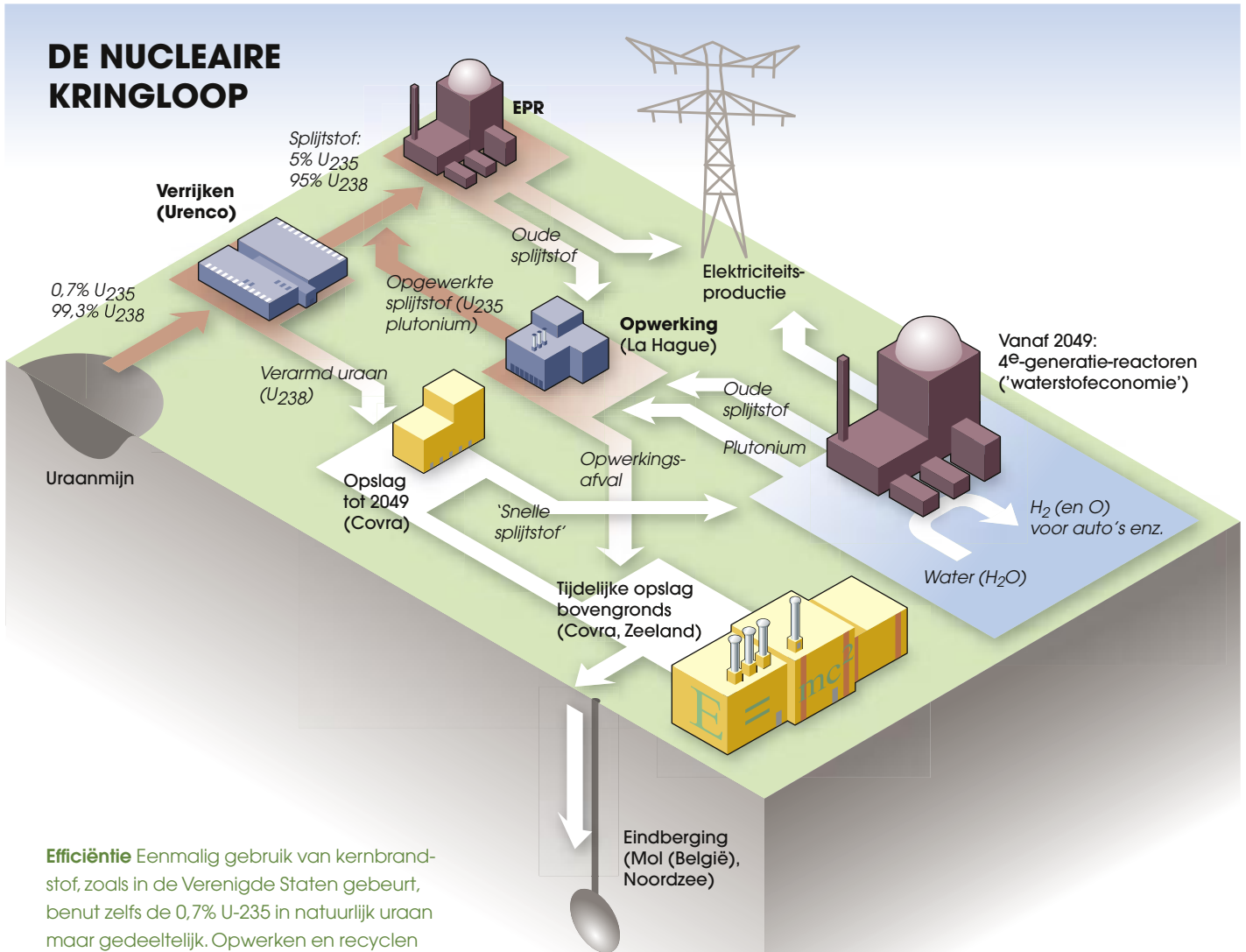
Er is een miljardeninvestering nodig voor het Deltaplan Kernenergie. De Finse EPR kost drie miljard euro. De prijs daarvan kan wellicht iets dalen. Verder zijn investeringen nodig voor 'brandstof', de bouw en huur van ondergrondse afvalberging en aanpassingen aan het energienet. Ruwe schatting voor de grootste kostenpost, opslag onder de Noordzee, komt in vergelijking met kosten voor andere kunstmatige eilanden op circa drie miljard euro. Al met al kijkt de Nederlandse staat dus aan tegen een investering van veertig miljard euro, verdeeld over ruim dertig jaar. De overheid zal dit deels bekostigen uit de aardgasbaten. Daaruit is nu al een speciaal fonds voor technologische vernieuwing gevormd, het Fonds Economische Structuurversterking (FES) dat hiervoor zeer geschikt is. Om de investeringen gelijkmatig te spreiden over een aantal decennia, zijn wel snelle beslissingen nodig. Vandaar ook dat de bouw van de eerste centrale al in 2011 moet beginnen.

Uiteindelijk verdienen de centrales zich echter terug. De Finse wetenschappers van de Lappeenranta University of Technology hebben dat voor ons al uitgerekend. De kilowattuur-prijs van atoomstroom wordt voor het overgrote deel bepaald door de investering in de centrale. Bij fossiele stroom is het andersom: daar zit het merendeel van de kosten in de brandstof. Een gascentrale kost hoogstens een miljard, drie keer minder dan een EPR. Toch becijferden de Finnen dat de stroom uit hun EPR gedurende de geplande levensduur van zestig jaar goedkoper zal zijn dan alle andere vormen van elektriciteit in Finland. De EPR-stroom komt daar op bijna 24 euro per megawattuur, stroom uit steenkool kost 28 euro, gas 32 euro en windenergie 50 euro per megawattuur.

Als de forse investering voor de bouw eenmaal gedaan is, levert een kerncentrale tegen lage bedrijfskosten zeer betrouwbaar stroom. Moderne kerncentrales zijn vrijwel nooit buiten bedrijf voor onderhoud en kunnen altijd hun volledige geïnstalleerd vermogen leveren, een dramatisch contrast met bijvoorbeeld windmolenparken die leveren jaarlijks gemiddeld slechts 20% van hun nominale vermogen. De prijs van de splijtstof draagt maar voor vijf procent bij aan de kilowattuur-prijs; bij gascentrales is dat zestig procent. De prijs van atoomstroom verandert dus nauwelijks als de uraanprijs verdubbelt. Bij een verdubbeling van de gasprijs kun je zo'n centrale beter sluiten.

In Finland investeert het bedrijfsleven zelf ook in de EPR, in de wetenschap dat ze vanaf 2009 zestig jaar lang op een stabiele stroomprijs kunnen rekenen. Dat gegeven maakt een land een aantrekkelijke vestigingsplaats voor nieuwe indu-

# DE NUCLEAIRE KRINGLOOP



**Efficiëntie** Eenmalig gebruik van kernbrandstof, zoals in de Verenigde Staten gebeurt, benut zelfs de 0,7% U-235 in natuurlijk uraan maar gedeeltelijk. Opwerken en recycleren vermindert, bij dezelfde energieopbrengst, de afvalstroom met een factor dertig. Een splijstofcyclus met snelle kweekreactoren haalt tot honderd maal meer energie uit dezelfde hoeveelheid natuurlijk uraan.

NW&T/Karin Schwandt

strieën. Ook in Nederland zouden bedrijven kunnen investeren. Het Deltaplan Kernenergie zou een van de eerste succesvolle voorbeelden kunnen zijn van grootschalige publiekprivate-samenwerking die bij de Betuwelijn nog volkomen gefaald heeft.

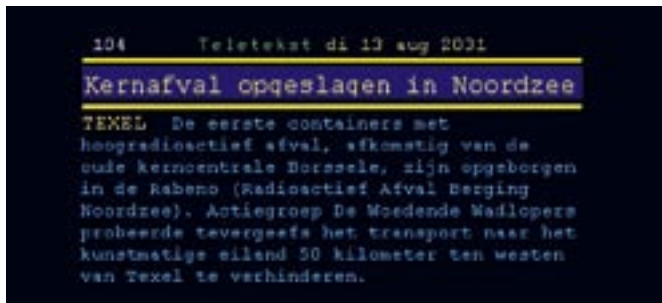
Misschien nog wel belangrijker dan prijsstabiliteit is het feit dat een kerncentrale nog jaren doordraait als de toevoer van brandstof wordt afgesloten, wat boycotacties zinloos maakt. De splijstofstaven blijven namelijk drie jaar in de reactorkern zitten (elk jaar wordt eenderde van de staven vervangen).

**Yellow cake** De EPR's gaan de ruggengraat van de elektriciteitsopwekking vormen. Daarnaast is een rol weggelegd voor wat wel generatie-3a-reactoren genoemd worden. Daaronder valt onder meer de *High Temperature Reactor* (HTR) die een inert gas gebruikt als koelmiddel, bijvoorbeeld helium, dat rechtstreeks de turbine aandrijft, en de *Pebble Bed Modular Reactor* (PBMR), waarbij de brandstof niet in staven maar in een soort

tennisballen van grafiet is verpakt. Dit is een inherent veilig ontwerp, zodat geen noodkoeling nodig is: de kernsplijting kan op grond van fysische principes nooit uit de hand lopen.

Een vereiste voor dit ontwerp is wel dat de 8BMR niet te groter mag worden dan een vermogen van 200 megawatt. In Nederland lijkt de techniek vooral geschikt voor energie-





intensieve industriegebieden, bijvoorbeeld bij DSM en Sabic in Geleen, hoogovenbedrijf Corus in IJmuiden en de Botlek bij Rotterdam. Nu staan daar vaak (gesubsidieerde) warmtekrachtcentrales die op gas draaien en dus niet meer rendabel zijn als de aardgasprijs fors omhoog gaat, vermoedelijk vanaf 2020.

De grootste, nu bekende uraanafzettingen liggen in Australië (30%), Kazakstan (17%), Canada (12%) en Zuid-Afrika (8%). Nederland stelt eisen aan de werkomstandigheden in de mijnen en geeft daarom de voorkeur aan Australische en Canadese uraan. Uraanertsen moeten eerst worden fijngemalen, waarna met zwavelzuur het uraan uit het erts wordt gehaald. Dat levert uiteindelijk de *yellow cake* op, uraanoxide ( $U_3O_8$ ). Voor de productie van een kilogram kernbrandstof is circa acht kilogram uraanoxide nodig. Na omzetting in uraanhexafluoride en verrijking levert dit kernbrandstof op met een kiloprijs van ongeveer duizend euro.

De huidige bekende voorraad economisch winbare uraanerts is slechts voldoende voor vijftig jaar. Bij een verdubbeling van de grondstofprijs (van minder dan 70 euro per kilogram naar 140 euro) is ongeveer tienmaal zoveel beschikbaar. Bovendien is er de laatste decennia niet druk naar gezocht. Als de prijs nog een factor tien stijgt, wordt mogelijk zelfs winning uit zeewater (0,0000003 procent uraan) rendabel.

Bovendien benut de huidige splijtstofcyclus slechts een fractie van de kernenergie in het uraan. Natuurlijk uraan bevat slechts 0,7 % van de makkelijk splijtbare isotoop U-235 (de rest is U-238), te weinig voor normale kerncentrales. Die gebruiken als splijtstof verrijkt uraan, met 3 tot 5 procent U-235. Door de lage uraanprijs was het tot nu toe aantrekkelijk om splijtstof eenmalig te gebruiken en daarna als afval op te slaan. Dit gebeurt in Canada en de Verenigde Staten. In Frankrijk, Engeland en ook in Nederland wordt de splijtstof na gebruik in de reactor nog wel opgewerkt in opwerkingsfabrieken. Deze scheiden het nog niet gespleten U-235 en het door bestraling ontstane plutonium van de U-238 en de andere splijtingsproducten en verwerken ze vervolgens opnieuw tot splijtstof.

Verrijking van uraan vindt in toenemende mate plaats in ultracentrifuges, zoals bij Urenco in Almelo. Wat overblijft is verarmd uraan, bijna puur U-238. In de vorm van zeer zuiver  $U_3O_8$  draagt Urenco dit over aan de Covra bij Borssele, de centrale opslagplaats voor al het Nederlandse radioactief afval. De voorraad bedraagt nu al zo'n tweeduizend ton. Deze 'reststof' kan over een halve eeuw juist een zeer waardevolle grondstof blijken te zijn voor de vierde-generatiereactoren, de 'snelle kweekreactoren'. Snel slaat in dit verband op de snelheid van de neutronen die de splijtingsreactie veroorzaken. Bij zo'n reactor die Pu-239 gebruikt als splijtstof blijven er voldoende neutronen over van het splijtingsproces om U-238 om te zetten in

weer nieuw Pu-239. Zo kan zelfs meer splijtstof worden geproduceerd dan er wordt verbruikt: het zogenaamde kweken. Dan kunnen we duizenden tot zelfs tienduizenden jaren vooruit.

Technisch zijn kweekreactoren (zo genoemd omdat meer splijtstof ontstaat door de conversie van U-238 in Pu-239 dan er verbruikt wordt) echter een stuk lastiger dan thermische reactoren. Bovendien zal een methode gevonden moeten worden om misbruik van plutonium in kernwapens te voorkomen. De angst daarvoor was destijds een zwaarwegende reden om de ontwikkeling van kweekreactoren stil te leggen. Het is echter minder makkelijk dan het lijkt om uit zulke reactoren plutonium te winnen voor een bom, aangezien ook moeilijk splijtbare plutonium-isotopen ontstaan die het plutonium vervuilen. Dit mengsel is niet met chemische methoden om te zetten tot wapenmateriaal. Kwaadwillenden zullen dus toch over ultracentrifuges of andere, technisch gecompliceerde, verrijkingstechnologie moeten beschikken, en als ze dat hebben kunnen ze net zo goed uitgaan van gewoon uraan.

Als de vierde-generatiereactoren vanaf 2045 voor Nederland interessant worden, dan ligt bij de Covra voor eeuwen kant en klare splijtstof gereed. Dan pas is een fase aangebroken waarin de waterstofeconomie van de grond kan komen: De vierde-generatiereactoren geven een uitgaande temperatuur van 1000°C, hoog genoeg om water rechtstreeks te ontleden in waterstof en zuurstof. De waterstof (waarschijnlijk in de vorm van metaalhydraten) kan dan fungeren als brandstof voor voertuigen, waarmee fossiele brandstoffen helemaal overbodig worden.

Amerika nam in 2001 het initiatief voor een wereldwijde programma Generation IV, dat zich als doel stelt vierde-generatiereactoren te ontwikkelen die rond 2030 operationeel zijn. Inmiddels zijn er zes ontwerpen geselecteerd, waarvan vier snelle reactoren, een Very High Temperature Reactor en een superkritisch-waterreactor. Het ligt niet voor de hand dat Nederland bij deze ontwikkeling een prominente rol zal spelen. Daarvoor is onze achterstand te groot. In Europa is Frankrijk het aangewezen land om de eerste vierde-generatiereactor te bouwen. President Chirac heeft onlangs al laten doorschemeren dat hij het streefjaar 2030 tien jaar naar voren wil halen. Mocht dat gebeuren, dan komen snelle reactoren en eventuele grootschalige waterstofproductie ook eerder voor Nederland in beeld.

**Hermetisch** Blijft over de prangende vraag wat we met het afval doen. Volgens tegenstanders van kernenergie is dit radioactieve materiaal dat gedeeltelijk duizenden jaren lang zeer gevaarlijk blijft, het sterkste argument om er maar niet aan te beginnen. Geen deskundige twijfelt er echter aan dat opber-





**Passief veilig** De 250 meter diepe liftschacht naar het ondergrondse laboratorium bij Mol.

ging van hoog-radioactief afval (HR-afval) in klei- of zoutlagen diep onder de grond veilig is en dat ook blijft. Er is hoofdzakelijk nog aanvullend onderzoek nodig op de locatie van de eindberging, om te garanderen dat deze geologisch optimaal is.

Het enige onopgeloste afvalprobleem is dan ook dat er nog geen locatie in Nederland of België is aangewezen. Dat is geen technisch, maar een politiek probleem. Urgent is dit overigens niet, omdat HR-afval sowieso enige decennia moet afkoelen voor het ondergronds gaat, anders zouden in de berging al snel temperaturen van honderden graden ontstaan.

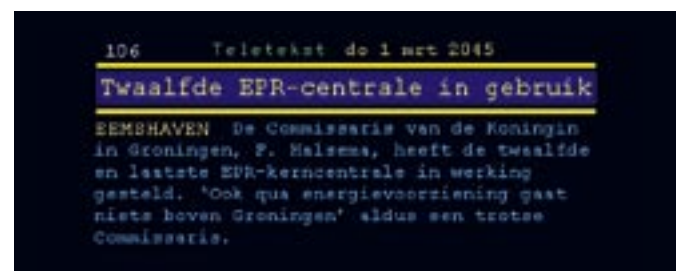
Nu ligt het Nederlandse HR-afval - officieel voor de komende honderd jaar - opgeslagen in de bovengrondse Habog, een speciaal gebouw van de Covra. Dit bedrijf nabij Borsele, voor honderd procent eigendom van de overheid, bewaart ook al het Nederlandse middel- en laag-radioactief afval, dat slechts kort gevaarlijk blijft. Buiten het terrein van de Covra veroorzaakt deze opslag geen meetbare hoeveelheid extra straling.

Sommige soorten klei en zout zijn bij uitstek geschikt voor diepe opslag omdat er niet of nauwelijks grondwater doorheen stroomt en omdat ze onder druk plastisch vervormen. Scheuren die bij de bouw van de ondergrondse berging ontstaan, worden daarom vanzelf weer dichtgedrukt en de vaten met afval raken hermetisch ingesloten. Die vaten gaan waarschijnlijk binnen enige duizenden jaren lekken, maar de inhoud sijpelt daarna zo langzaam door de klei of het zout

heen dat het geen gevaar oplevert. Met de tijd neemt de radioactiviteit van het afval immers af.

In een experimentele mijngang in de zogeheten Boomse Klei, 250 meter diep onder het Belgische Mol, lopen al twintig jaar experimenten op dit gebied. Wateroplosbare stoffen verplaatsen zich hoogstens dertig centimeter per eeuw door de klei, andere stoffen nog minder. Deze kleilaag, die al 35 miljoen jaar stabiel is, strekt zich onder forse delen van België en Nederland uit.

Zoutkoepels zijn ook al honderd miljoen jaar stabiel en zijn te vinden onder Noord-Nederland en delen van de Noordzee. Omdat zout goed oplost in water, bewijst hun ouderdom alleen al dat er geen grondwaterbeweging van betekenis in zulke structuren is. Zout heeft als voordeel dat het beter tegen hitte kan dan klei, zodat het HR-afval minder lang bovengronds hoeft af te koelen. In theorie zouden gletsjers iets kunnen verstoren - in de voorvoorlaatste ijstijd (circa 350.000







jaar geleden) hebben ze diepe tunneldalen in de Noordzeebodem uitgeslepen, die nu nog goed te zien zijn op de seismische beelden. Maar de meeste zoutpijlers zitten dieper. Als we echt zeker willen zijn moeten we een kilometer diep gaan zitten.

Het EU-principe dat elk land zijn eigen afval moet verwerken is voor HR-afval onzinnig, omdat het om beperkte volumes gaat (hoogstens enige duizenden kubieke meters per land). Het is dus zeer oneconomisch om twintig of meer nationale eindbergingen te bouwen. De kosten van bouw en exploitatie van een nationale eindberging worden door de Belgen geraamd op 600 miljoen euro als alle splijtstof wordt opgewerkt. Deze kosten zijn niet sterk afhankelijk van de hoeveelheid afval als de ondergrondse infrastructuur er eenmaal ligt. Qua technische voorbereiding is berging in de Belgische klei het verst ontwikkeld, omdat experimenteel onderzoek naar berging in zout in Nederland verboden werd na Tsjernobyl. Daarom ligt het voor de hand het oudere HR-afval eerst samen met de Belgen in de klei bij Mol op te bergen, terwijl het plan voor een grote berging in zout verder wordt uitgewerkt.

Het Deltaplan voorziet in een grote, Europese eindberging in een zoutkoepel onder de Noordzee, vijftig kilometer ten westen van Texel. Er zal een kunstmatig eiland aangelegd worden waarin de verticale schachten komen. Dat brengt natuurlijk aanzienlijke extra kosten met zich mee, die gerechtvaardigd zijn door de schaalvoordelen. Het eiland kan daarnaast voor andere doeleinden worden gebruikt, zoals windmolens of een luchthaven.

Officieel geldt in Nederland het principe dat zelfs ondergrondse eindberging onbeperkt 'terugneembaar' moet zijn, wat wil zeggen dat het afval er eeuwen na de sluiting nog uit gehaald moet kunnen worden. Dit maakt een duurder ontwerp en voortdurend onderhoud en bewaking van de gevulde berging noodzakelijk, totdat men eindelijk besluit dat die berging niet meer 'terugneembaar' hoeft te zijn, een absurd concept waarvoor in het Deltaplan geen plaats is.

De filosofie is, dat al het HR-afval zo snel mogelijk definitief onder de grond gaat, omdat dit de enige passief veilige vorm van berging is. Een afgesloten ondergrondse berging is onderhoudsvrij en onbereikbaar voor terroristen, tot in de verre toekomst. Vanuit deze filosofie is voor transmutatie van HR-afval in het Deltaplan hoogstens een beperkte rol weggelegd. Transmutatie, waarnaar de laatste jaren ook in Nederland veel onderzoek wordt gedaan, houdt in dat de radioactieve isotopen in het HR-afval in speciaal ontworpen reactoren nogmaals bestraald worden, en daardoor omgezet in isotopen met een aanzienlijk kortere halfwaardetijd. Transmutatie kan zinnig hebben voorzover dit nog bruikbare splijtstof of nuttige radio-

actieve isotopen genereert. Transmutatie kan echter niet alle langlevende isotopen efficiënt omzetten in kortlevende. Bovendien betekent 'kort' in dit verband veelal 'een paar eeuwen'. Aangezien getransmuteerd afval nog steeds een hypotheek zou leggen op vele toekomstige generaties, is het logischer om HR-afval zo snel mogelijk definitief en passief veilig op te bergen.

Hoe realistisch is dit scenario? Ten eerste is duidelijk dat het voor een overheid zeer onverstandig zou zijn om vooraf al één fabrikant van centrales en van kernbrandstof met name te noemen. Ook is het gepresenteerde tijdschema waarschijnlijk onhaalbaar. Politici in een democratie kunnen niet om 'het draagvlak in de samenleving' heen. Maar zoals bleek bij sluiten van dit nummer: de campagne om het draagvlak te verbreden is begonnen. Staatssecretaris van Vrom Pieter van Geel zei bij Buitenhof dat het niet onmogelijk is dat er een tweede kerncentrale bijkomt, mogelijke locaties: Delfzijl (bij Eemshaven), de Tweede Maasvlakte of Borsele. ■

#### Meer informatie

Radioactiviteit, deel 77 van de Wetenschappelijke Bibliotheek van natuurwetenschap & Techniek, Adriaan van der Woude en Rob de Meijer, Amsterdam: Veen MagazineS (2003), ISBN 9076988250

Officiële site Finse EPR, Engelstalig  
[www.ol3.framatome-anp.com/](http://www.ol3.framatome-anp.com/)

NRG (Nuclear Research & consultancy Group), Nederlandstalig  
[www.nrg-nl.com/indexnl.html](http://www.nrg-nl.com/indexnl.html)

Reactor Instituut Delft, Engelstalig  
[www.rid.tudelft.nl](http://www.rid.tudelft.nl)

Voor het Deltaplan zijn onderstaande deskundigen geraadpleegd, maar zij dragen geen enkele verantwoordelijkheid voor de inhoud of strekking van het plan:

Andre Versteegh, Ronald Schram, NRG  
Hans Codée, Covra  
Tim van der Hagen, TU Delft / Reactor Instituut Delft  
Paul de Jong, Urenco  
Geert Volckaert, SCK.CEN