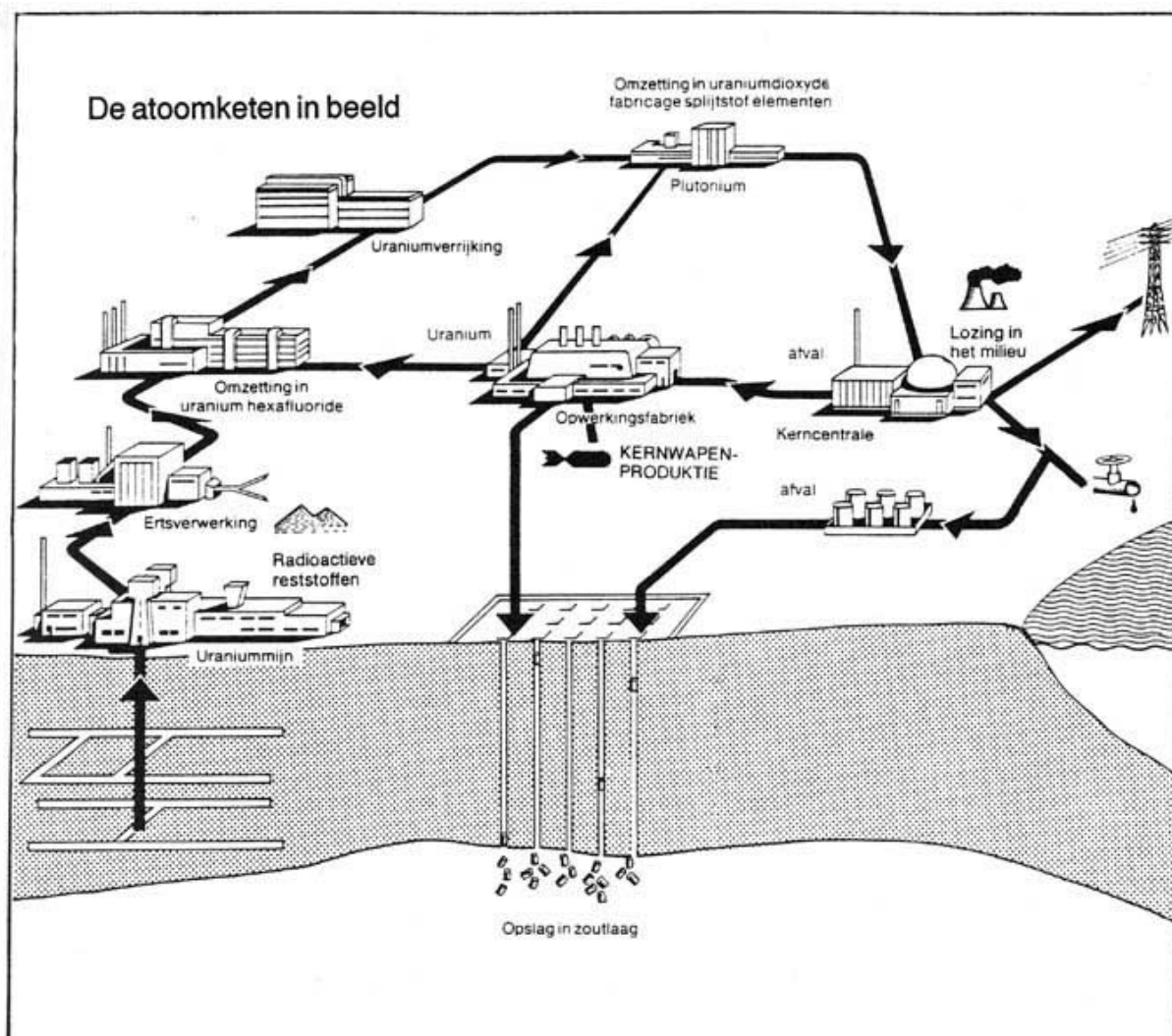


## De nucleaire keten

Bij kernenergie wordt er in de eerste plaats gedacht aan een kerncentrale waar elektriciteit geproduceerd wordt. Dit is echter slechts een onderdeel van de hele nucleaire keten die loopt van uraniumwinning tot opwerking en opslag van radioactief afval.



### Uraniumwinning

Uraniumerts zit in de grond van Canada, Kazachstan, Namibië, Zuid-Afrika, Australië en in kleinere hoeveelheden in andere landen. Het is een grondstof waarvan slechts een fractie gebruikt kan worden. In 1000 kilo erts zit vaak maar 1 kilo uranium (soms ook meer), waarvan ook nog maar de helft echt vrijgemaakt kan worden uit het erts; 500 gram uranium uit 1000 kilo erts. De rest van het erts is radioactief afval, dat meestal gedumpt wordt in de open lucht. Het bruikbare uranium wordt na de winning omgezet in de vorm van een concentraat dat 90% of meer uraniumoxides bevat ('yellowcake'). Dit wordt vervoerd naar een fabriek waar het wordt omgezet tot uraniumhexafluoride (UF<sub>6</sub>), een gas dat naar de verrijkingsfabriek wordt gebracht.

Uranium wordt gewonnen via mijnbouw, die enorme gevolgen heeft voor omwonenden (niet zelden de inheemse bevolking van een land), mijnwerkers en milieu. Uranium is niet alleen radioactief, maar ook erg giftig. Het gezondheidsgevaar zit in de verspreiding van radioactieve stof via de wind, het vrijkomen

van radongas en de vergiftiging van grond- en oppervlaktewater. Deze veroorzaakt niet alleen ziektes bij omwonenden en arbeiders, maar ook een aantasting van de leefwijze van de (inheemse) bevolking.

### **Verrijking**

Het uranium dat in de natuur voorkomt wordt 'natuurlijk uranium' genoemd. De term 'natuurlijk' heeft louter betrekking op de isotopen-verhouding. Om die reden wordt ook het chemische concentraat van de uraniumwinning 'natuurlijk uranium' genoemd, ofschoon er niets natuurlijks meer aan is. Het uranium bestaat hoofdzakelijk uit 2 soorten isotopen: splijtbaar uranium-235 en niet splijtbaar uranium-238. Voor gebruik in de meest voorkomende kerncentrales (de 'lichtwater-reactoren') is splijtbaar uranium nodig. Van natuurlijk uranium is slechts 0,7% splijtbaar. Dit percentage moet opgevoerd worden naar ongeveer 3% om het geschikt te maken als brandstof.

Dit proces heet 'verrijken'. Een bijproduct van verrijking is verarmd uranium, dat o.a. gebruikt wordt in wapensystemen en munitie. Als uranium verder verrijkt wordt dan 20% U235, kan het gebruikt worden in kernwapens. Na verrijking moet het gas weer omgezet worden tot vaste stof.

### **Splijstofstavenfabriek**

Voordat het verrijkte uranium naar de kerncentrale kan worden het tot tabletten geperst die in lange metalen pijpen gestopt worden; de splijstofstaven. Een bundeling van deze staven heet 'element' en een verzameling van elementen vormt de brandstof voor de kerncentrale.

### **Kerncentrale**

In de kerncentrale wordt het uranium-235 gespleten. Bij dit proces komt, in de vorm van warmte en straling, veel energie vrij. De vrijgekomen energie verwarmt water (in sommige centrales gas of gesmolten metaal) en door middel van een (stoom)turbine en een generator, wordt elektriciteit geproduceerd. Na twee tot drie jaar gebruik, zijn de splijstofstaven uitgewerkt en aan vervanging toe, omdat het resterende splijtbaar uranium niet meer voor een kettingreactie kan zorgen. De brandstofstaven zijn door het gebruik echter hoogradioactief geworden en bovendien zo heet, dat ze minstens een jaar in een koelbassin moeten worden opgeslagen voordat ze vervoerd kunnen worden. Ze worden beschouwd als hoogradioactief afval en opgeslagen in een tijdelijke opslagplaats of vervoerd naar een opwerkingsfabriek.

### **Opwerking**

Gebruikte brandstofstaven bevatten nog altijd een kleine hoeveelheid uranium-235, en daarnaast ook plutonium dat gevormd is uit het uranium-238. Dit uranium-235 en plutonium wordt in een opwerkingsfabriek zoveel mogelijk gescheiden van de andere (radioactieve) stoffen, zodat het evt. opnieuw gebruikt kan worden. Tegelijkertijd ontstaat een grote hoeveelheid vloeibaar en gasvormig radioactief afval. Het opgewerkte uranium bevat bovendien plutoniumresten en andere bijproducten van splijting. Het resultaat daarvan is dat het vijf tot tien keer zo radioactief is als niet-opgewerkt uranium. Voor nieuw gebruik in een kerncentrale moet het opgewerkte uranium eerst weer verrijkt worden totdat het 3% uranium-235 bevat. De meeste verrijkingsfabrieken zijn echter niet echt blij met opgewerkt uranium, omdat het hun fabriek met plutoniumresten kan besmetten. Daarnaast wordt het hergebruik van uranium ook bemoeilijkt omdat in een kerncentrale ook uranium-236 gevormd wordt. Dit isotoop is moeilijk uit het uranium te verwijderen en maakt het minder geschikt om opnieuw als splijstof te fungeren.

Opwerking levert dus vooral meer, en ook hoger radioactief afval op, waar weinig meer mee gedaan kan worden. En bovendien is er vrijwel geen markt voor zowel het uranium als het plutonium. Er zijn wereldwijd maar een paar opwerkingsfabrieken.

### **Kweekreactoren**

Een bijzonder soort kerncentrale is de kweekreactor. Deze is ontwikkeld om het niet-splijtbaar uranium-238, dat voorkomt in natuurlijk uranium, om te zetten in het wel splijtbaar plutonium-239. Een kweekreactor is in principe in staat meer plutonium te produceren dan dat er aanvankelijk als brandstof is ingestopt en tegelijkertijd elektriciteit te produceren. Er zijn maar een paar kweekreactoren operationeel geweest. De meeste landen hebben deze technologie opgegeven, voornamelijk omdat deze extreem gevaarlijk is. Zo kunnen bij een ongeluk grote hoeveelheden plutonium vrijkomen.

## **MOX**

Toen bleek dat het gebruik van kweekreactoren op een mislukking uitliep, moest een nieuwe rechtvaardiging voor het opwerken van gebruikte brandstofstaven gevonden worden. Tienduizenden kilo's plutonium hadden een nieuwe bestemming nodig. Daarvoor werd het gebruik van Mixed Oxide Fuel (MOX) in kerncentrales bedacht. MOX is een mix van uranium en plutonium. Het gebruik van MOX brengt veel proliferatierisico's met zich mee, biedt geen oplossing voor het probleem van de opslag van hoogradioactief afval, resulteert niet in een substantiële besparing van uranium en draagt veel extra veiligheidsrisico's.

## **Transport**

Gedurende het hele proces in de nucleaire keten wordt radioactief materiaal vervoerd van installatie naar installatie. Het vervoer gebeurt niet alleen via de weg en per schip maar ook per spoor en per vliegtuig. Transport brengt altijd extra risico's met zich mee: ongelukken, diefstal en sabotage. De consequenties daarvan kunnen verwoestend zijn.

## **Opslag**

Er is geen oplossing voor het probleem van radioactief afval, dat zich meer en meer ophoopt. Er zijn in de loop van de jaren talloze mogelijke oplossingen bedacht en onderzocht. Geen van deze is echter toepasbaar gebleken. Ondergrondse opslag, zoals bijvoorbeeld in zoutkoepels, zal zeker leiden tot lekkages, nu of in de toekomst. Ook bovengrondse opslag is niet veilig. Omdat het afval nog tienduizenden jaren radioactief zal blijven, is het gebrek aan goede opslag een probleem dat alleen maar groter zal worden.

Een zware erfenis voor ons nageslacht.

*Augustus 2006*