

## Hoe (on)veilig is nucleair afval?

Nucleair afval, oftewel kernafval, bestaat uit de radioactieve bijproducten van kernreactoren, de productie van kernwapens en [nucleaire geneeskunde](#). Er is vooralsnog geen goede oplossing voorhanden voor het kernafvalprobleem. Wat zijn de gevaren van kernafval, en hoe gaan we hiermee om?

De radioactiviteit van de afvalstof komt door instabiele atomen die radioactief kunnen vervallen. Hierbij kunnen zulke radioactieve atoomkernen in meerdere kleinere atoomkernen splitsen, of zenden ze *alfadeeltjes* (heliumkernen), *bètadeeltjes* (elektronen), *gammastraling* (fotonen), of neutronen uit. Al deze deeltjes zijn schadelijk voor levende wezens omdat ze atomen kunnen ioniseren en hiermee hun omgeving – zoals cellen en de DNA die deze bevatten – kunnen beschadigen.

Hoe gevaarlijk het afval is kan enorm verschillen. Om de schadelijkheid te meten, kun je kijken naar de *halveringstijd*, oftewel hoe lang het duurt voordat de helft van de radioactieve stof is vervallen tot een niet-radioactieve stof, en naar de *activiteit*, oftewel hoeveel radioactieve straling (en warmte) er werkelijk uit de stof komt. Het Internationaal Atoomenergie Genootschap (IAEA) heeft aan de hand van deze grootheden een internationaal erkend systeem opgesteld waarmee radioactief afval [gecategoriseerd kan worden](#).

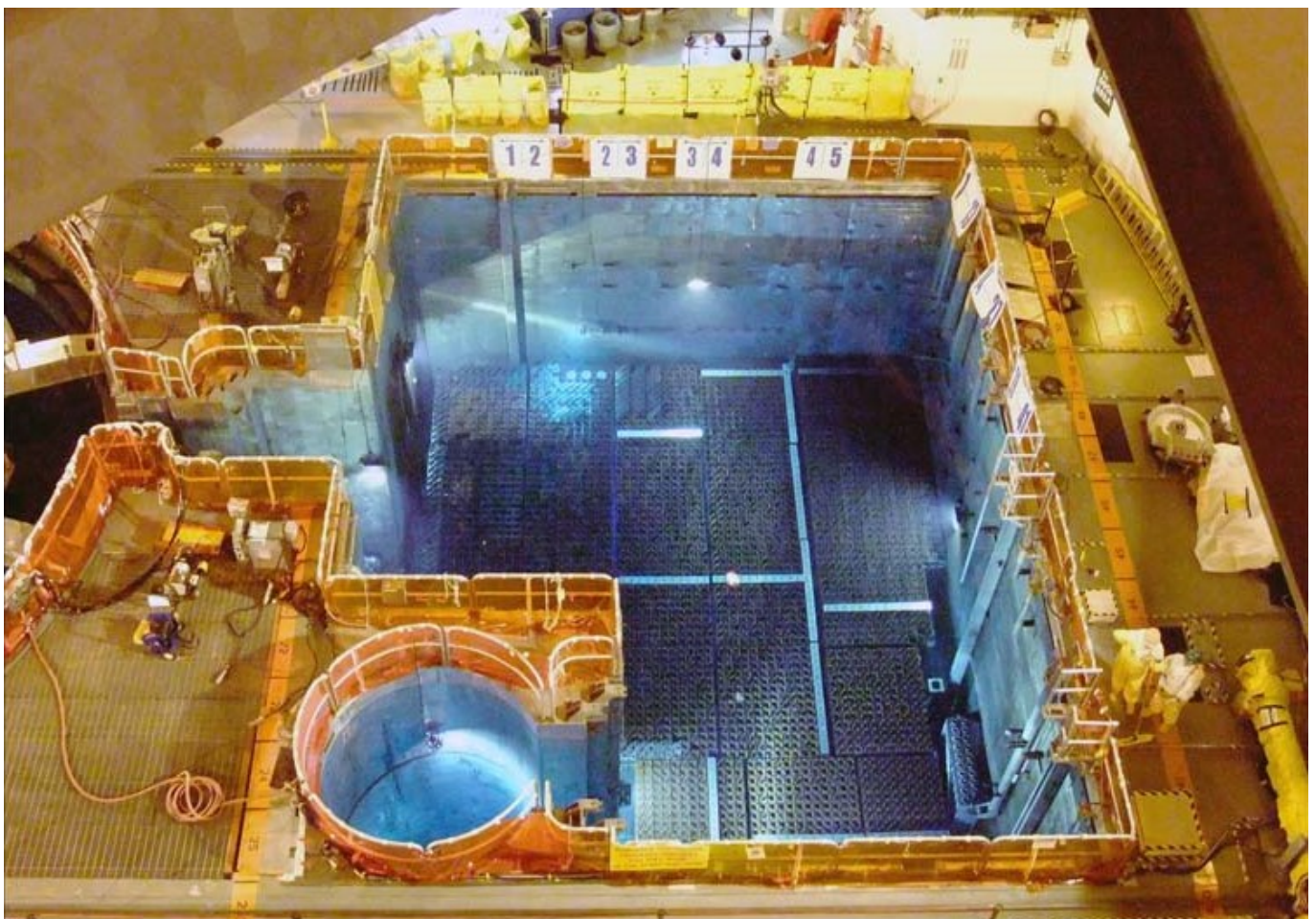
Laagactief afval, vaak afkomstig uit ziekenhuizen en laboratoria, wordt meestal samengeperst of verbrand in een container die vervolgens op een stortplaats wordt begraven. Middelactief afval, zoals reactor-componenten en chemisch afval, wordt vaak omhuld door, of gestold in beton of bitumen (teer) en daarna diep in de grond begraven.

### De kern van het probleem

Hoewel hoogactief kernafval maar een klein percentage van al het nucleair afval opmaakt, produceert het wel zo'n 95% van de radioactiviteit. De productie van kernenergie is verreweg

de grootste bron van zulk hoogactief kernafval, en de problematiek rondom kernafval is dan ook een van de grootste argumenten tegen het gebruik van kernenergie.

Kernreactoren gebruiken de warmte van radioactieve **kernsplijting** om energie op te wekken. Stiekem werken ze als **stoommachines**: met de hitte die vrijkomt van het radioactieve verval wordt stoom gemaakt, waarmee **turbines worden aangedraaid**. Als splijtstof gebruiken deze reactoren kleine, twee centimeter lange keramische uranium- of plutoniumdioxidekorrels die verzegeld zijn in metalen staven. Nadat het bruikbare uranium of plutonium in deze staven op is, zijn de staven nog steeds zeer radioactief. De verbruikte splijtstof is een hoogactieve afvalstof, met veel langlevende radioactieve isotopen die ook nog veel warmte uitstralen.



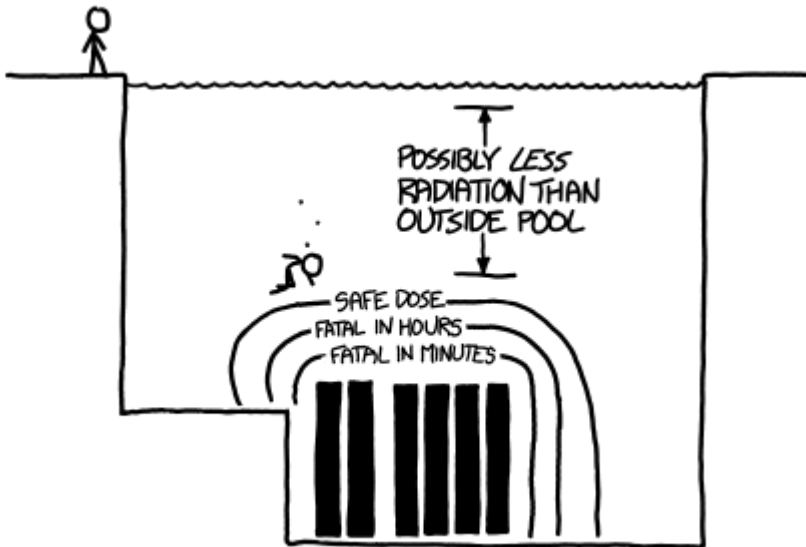
---

Afbeelding 2. Een splijtstofbassin Afbeelding: Nuclear Energy Institute, [U.S. Government Accountability Office](#).

Verbruikte splijtstofstaven worden eerst jarenlang opgeslagen in een splijtstofbassin. Dit is een groot bad van heel schoon water dat continu gekoeld wordt. De staven worden opgeborgen in rekken gemaakt van een stof die veel neutronen absorbeert. Rondvliegende vrije neutronen uit radioactief verval kunnen namelijk kettingreacties starten, wat je natuurlijk niet wilt hebben buiten de gecontroleerde omgeving van de reactor.

### Zwemmen in een splijtstofbassin

Het water in de bassins zorgt niet alleen voor koeling van de staven, maar absorbeert ook de overgrote meerderheid van de straling: iedere zeven centimeter water halveert de hoeveelheid straling die vrijkomt. Zoals hieronder afgebeeld door de striptekenaar Randall Munroe, kun je prima rondzwemmen in een splijtstofbassin, zolang je maar niet al te dicht (binnen 1 à 2 meter) bij de splijtstofstaven zwemt. Al rondzwemmend zou je ook nog eens kunnen genieten van de blauwe gloed van [Cherenkovstraling](#), afkomstig van de splijtstofstaven onder je. Je ontvangt onder water mogelijk zelfs minder straling dan buiten het bassin, waar je last zult hebben van bijvoorbeeld [kosmische straling](#). Daarbij gaan we er wel vanuit dat het bassin goed onderhouden is en de staven niet teveel gecorrodeerd (geroest) zijn, anders zwem je rond in een ongezonde soep van splijtstof.



Afbeelding 3. Veilig zwemmen in een splijstofbassin. In een splijstofbassin kun je veilig zwemmen! Afbeelding: Randall Munroe, [xkcd: What if?](#) (Zie ook de voetnoot.)

## Nucleaire duikers

Zwemmen in een splijstofbassin is overigens niet ongehoord. Zulke faciliteiten hebben regelmatig onderhoud nodig, wat door getrainde duikers uitgevoerd wordt. Toch moeten ze hiermee erg oppassen! Op **31 augustus 2010** vond een duiker in het splijstofbassin van de Leibstadt-kernreactor in Zwitserland een onbekend stuk buis onderin het bassin. Via de radio vroeg hij zijn leidinggevende wat hij ermee moest doen. 'Neem maar mee,' kreeg hij te horen, dus hij stopte de buis in zijn gereedschapskist.

Door het geluid van alle bubbels in het bassin, hoorde de duiker zijn persoonlijke stralingsalarm niet afgaan. Zodra hij weer bovenwater kwam, gingen alle alarmen in de kamer af. Hij liet zijn gereedschapstas in het water vallen. Later bleek dat de onbekende buis een deel was van een "dry tube", de beschermingshuls die om stralingsmeters heen zit in de kern van de kernreactor. Deze buis was waarschijnlijk per ongeluk afgebroken toen een opslagcapsule in 2006 werd verzegeld, en lag al vier jaar lang onopgemerkt in een hoekje van het bassin.



Afbeelding 4. Nucleaire duiker Afbeelding: Randall Munroe, [xkcd: What if?](#)

Met behulp van de metingen van de dosimeters bevestigd aan verschillende delen van het duikerspak, wordt er geschat dat het lichaam van de duiker 28 milli-Sievert aan straling heeft ontvangen, en de hand waarmee hij de buis had opgepakt zelfs 7500 mSv! Ter vergelijking: een lichamelijke dosis van maximaal 20 mSv per jaar is de veilige limiet, en voor handen (waar minder gevoelige organen zitten) is de vastgestelde dosislimiet voor nucleaire duikers 500 mSv per jaar. De duiker had geluk dat hij de buis direct in zijn gereedschapskist heeft gelegd, en vervolgens de kist niet te dicht bij zijn lichaam heeft gehouden, anders had hij het wellicht niet overleefd!

## Geen langetermijnoplossing

Hoewel splijtstofbassins goed werken als tijdelijke opslag, kost het onderhoud ervan energie en geld. Bovendien is het in zo'n natte omgeving moeilijker om op de lange termijn gevaarlijke lekkages te voorkomen. Eenmaal afgekoeld en iets minder radioactief, worden splijtstofstaven daarom uit het bassin gehaald en opgesloten in stevige containers ("dry casks"). Soms wordt de verbruikte splijtstof eerst chemisch onttrokken aan de staven, en wordt de overgebleven vloeistof verwerkt in glas voordat die opgesloten wordt in containers.

Hier ligt het grote probleem: zulke dry casks blijven nog eeuwenlang radioactief, en moeten ergens opgeslagen worden waar ze al die tijd niet in aanraking kunnen komen met de biosfeer. Dit betekent dat de opslaglocatie bestendig moet zijn tegen onder andere



aardbevingen, vulkaanuitbarstingen en terroristische aanvallen. Ook mag de radioactieve stof niet uit de casks gaan lekken en in het grondwater terechtkomen.



Afbeelding 5. Tonnen met nucleair afval. Deze dry casks staan in het Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslaggebouw (HABOG) van de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) te Nieuwdorp. Dit is de enige opslagplaats voor [radioactief afval in Nederland](#). Afbeelding: Wikipediagebruiker [Knowledge](#).

Kort gezegd is het vinden van geschikte locaties voor zulke opslag erg moeilijk. Van 1954-1993 dumpden veel landen, waaronder ook Nederland, hoogactief afval gewoon in de zee. Gelukkig is dit tegenwoordig streng verboden, want als deze containers onder water gaan lekken, kan de radioactieve stof met de oceaanstromingen verspreid worden en de hele wereld aantasten! Er is ook voorgesteld om het kernafval ergens onder het ijs op Antarctica te dumpen, wat met het huidige smelten van de ijskappen geen goed idee was geweest – een idee dat gelukkig geblokkeerd werd door het [Verdrag inzake Antarctica](#). Het kernafval met een raket de ruimte inschieten was ook een idee, maar áls zo'n raket in de lucht per

ongeluk zou ontploffen, zou het kernafval hoog in de atmosfeer terechtkomen, wat een wereldwijde nucleaire ramp zou veroorzaken.

Misschien slagen we er ooit in om het kernafval bij subductiezones van tektonische platen direct de mantel van de aarde in te krijgen, maar voorlopig staat er [naar schatting](#) (2018) zo'n 22,000 kubieke meter aan hoogactief kernafval opgeslagen in tijdelijke opslaglocaties.

### Wordt de toekomst nucleair?

Het is jammer dat het kernafvalprobleem nog geen goede oplossing heeft, omdat kernreactoren een [belangrijke bijdrage](#) kunnen leveren aan de noodzakelijke transitie naar duurzamere energiebronnen. Kernreactoren produceren namelijk geen vervuilende (broeikas)gassen en kunnen een constante hoeveelheid energie leveren, in tegenstelling tot bijvoorbeeld zonne- en windenergie. Ook gebruiken ze weinig landoppervlak: per megawatt van opgewekte energie, gebruikt zonne-energie 75 keer zoveel oppervlak, en een windmolenpark zelfs 360 keer zoveel! In tegenstelling tot fossiele brandstoffen heeft splijtstof ook een veel hogere energiedichtheid, waardoor kernreactoren een relatief klein volume aan afval produceren. Met één uraniumdioxidekorrel kun je evenveel energie produceren als met een ton steenkool, 455 liter olie, of 480 kubieke meter aardgas.

Wordt de toekomst dan toch nucleair? Misschien wel. Uiteindelijk zal het afhankelijk zijn van hoeveel geld en tijd we in nucleair onderzoek steken, en of er zorgvuldig genoeg mee om wordt gegaan. Ook zal de publieke opinie rondom kernenergie moeten veranderen. De [antikernenergiebeweging](#), die vooral in de jaren zeventig heel groot was, werd – behalve door zorgen om het afvalprobleem – gedreven door zorgen over de gevaren van nucleaire wapens en het testen daarvan, en door het feit dat er veel achter de schermen werd geregeld zonder dat er burgers bij betrokken werden. Na de kernramp van de reactor van [Tsjernobyl](#) in 1986, en meer recentelijk die in [Fukushima](#) (2011), weten we ook hoe erg de gevolgen nucleaire ongelukken kunnen zijn.



Afbeelding 6. Antikernafval demonstranten in Beverwijk, 1981. Afbeelding: Antonisse, Marcel / Anefo, [onbekend], [Nationaal Archief](#).

Toch zijn er positieve ontwikkelingen gaande. Het is mogelijk om verbruikt nucleair afval te recyclen door het overgebleven uranium en plutonium uit de verbruikte splijtstof te extraheren, iets wat hopelijk steeds vaker gedaan zal worden. Ook zijn er al moderne reactoren ontworpen die juist het verbruikte splijtstof als brandstof zouden kunnen gebruiken, waardoor we veel van het afval niet meer als afval hoeven te zien. En wie weet, misschien slagen we er toch nog in om energie te winnen uit [kernfusie](#).

Voetnoot: De inspiratie voor dit artikel kwam uit het fantastische boek [What if?](#) van Randall



Munroe. Deze striptekenaar heeft zelf een achtergrond in de natuurkunde en houdt wel van interessante vragen beantwoorden op een wetenschappelijke manier. Zijn website [xkcd.com](https://xkcd.com) is overigens ook een aanrader!