

# Veilig leven met stralingsrisico's

De kans op een ongeluk met radioactief materiaal in Nederland is niet groot, maar wel reëel. We hebben een nationaal netwerk om vrijgekomen straling te meten. Maar wanneer sla je alarm en ga je over tot een ingrijpende evacuatie? Naast modellen voor emissie, weersvoorspelling en atmosferische verspreiding van radioactieve stoffen helpt geografische kennis hierbij.

Dagelijks wordt er radioactief materiaal gebruikt in ziekenhuizen, bij industriële processen, in de kerncentrale van Borssele of wordt er om ons heen radioactief materiaal getransporteerd. Je moet er niet aan denken dat daarmee iets mis gaat. Daar kun je maar beter

goed op voorbereid zijn. Sinds de ramp in Chernobyl in 1986 hebben veel Europese landen een meetnet voor radioactiviteit. In Nederland beheert het RIVM het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (kader pag. 14). Bij een lozing van radioactieve stoffen uit een installatie of tijdens trans-

port stelt het RIVM, als regievoerder van het BORI (Back Office Radiologische Informatie), de radiologische gevolgen voor mens en milieu vast en adviseert de overheid. In eerste instantie gaat het erom vast te stellen aan hoeveel straling de bevolking blootstaat bij externe bestraling en inhalatie van besmette lucht. Dit gebeurt met complexe rekenmodellen, die correct gebruikt en geïnterpreteerd moeten worden. Tijdens de nucleaire ramp in Fukushima in Japan in 2011 hield het BORI de gebeurtenissen en de stralingswaarde nauwlettend in de gaten. Bij dit soort ongelukken of rampen beslist de overheid uiteindelijk of een gebied geëvacueerd moet worden of dat het advies 'blijf binnen en sluit de ramen en deuren' volstaat.

**Figuur 1:** De 153 meetlocaties van het Nationaal Meetnet Radioactiviteit, aangegeven door de punten, zijn zo goed mogelijk over Nederland verspreid. De cirkel in Zeeland geeft de locatie van Borssele aan.

## Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR)

Het Nationaal Meetnet Radioactiviteit is een waarschuwingsmeetnet voor stralingsongevallen. Het NMR heeft als belangrijkste taak het vroegtijdig opsporen van radioactieve stoffen in de atmosfeer na een ongeval met een kerncentrale. Het kan ook andere oorzaken signaleren, bijvoorbeeld een ongeluk in een fabriek of ziekenhuis, of een ongeluk met een auto die radioactief materiaal vervoert. De hoeveelheid vrijgekomen radioactieve stoffen moet dan wel groot genoeg zijn om in een NMR-meetpaal opgemerkt te worden. Bij een groot ongeval geeft het meetnet inzicht in de omvang en het verloop van de radioactieve besmetting. Onder normale omstandigheden geeft het informatie over achtergrondstraling. Bijvoorbeeld de kleibodems in het westen van het land produceren natuurlijke achtergrondgammastraling.

Het Nederlandse netwerk bestaat uit 153 meetpalen verspreid over Nederland (figuur 1). Nabij Borssele zijn meer palen neergezet, omdat het toch een risicoplek is. Elk meetstation stuurt automatisch een alarm als de waarde boven een kritische grens uitkomt, in dit geval: 200 nSv/h. De eenheid nSv/h staat voor nano-Sievert per uur en is een maat voor de hoeveelheid radioactieve straling ter plekke. Achtergrondstraling in Nederland varieert tussen 55 en 125 nSv/h. Werknemers die tijdens het ongeval aan het werk waren in de kerncentrale van Fukushima werden blootgesteld aan veel hogere doses. Op het terrein van de Daiichi kerncentrale werd bijvoorbeeld 400 milliSv/h geregistreerd nabij radioactieve brokstukken uit de centrale na de waterstofexplosies. Volgens analyses van de exploitant hebben de meest blootgestelde werknemers van de centrale tijdens hun inzet een dosis opgelopen tussen 150-200 mSv. Dat is tien keer meer dan de jaarlimiet voor de hoogste categorie radiologisch werkers die wij in Nederland kennen.



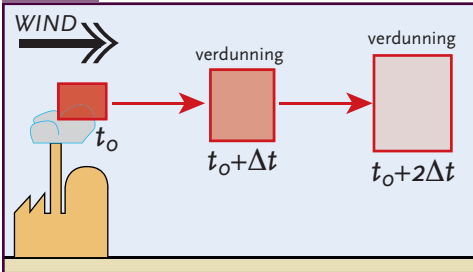
Blootstelling aan grote hoeveelheden straling (vanaf ongeveer 1 Sv) veroorzaakt stralingsziekte met als directe verschijnselen braken en hoofdpijn. Blootstelling aan een veel lagere dosis straling kan kankerverwekkend zijn en leiden tot orgaanuitval en overlijden. Voor de kans op vroegtijdig overlijden hanteert men een risicogetal van ongeveer 5% per Sv ontvangen dosis. De tijdsduur tussen blootstelling en overlijden kan overigens vele tientallen jaren bedragen.

Deze onopvallende NMR-meetpost (links) staat in 's-Heerenhoek in Zeeland op ongeveer 5 km van de kerncentrale Borssele (foto onder). De meetpost is onderdeel van de verdichtingsring rond de centrale.



FOTO: RADIO NEDERLAND WERELDWOEF

**Figuur 2:** Het PUFF-model voorspelt op basis van de weersomstandigheden de verspreiding en verdunning van een emissie in stapjes van 10 minuten.



en beleidsmakers kunnen mede op basis daarvan een beslissing nemen. Het RIVM en de Universiteit Utrecht onderzoeken samen hoe de risico's rondom radioactieve uitstoot het best gemodelleerd kunnen worden, hoe de verspreiding het best voorspeld kan worden en hoe je op grond van deze gegevens weloverwogen beleidsbeslissingen kunt nemen.

### Modellen

De onderzoekers koppelen een aantal modellen aan elkaar om zo goed mogelijk te berekenen waar de radioactiviteit zich naartoe beweegt, hoe snel hij zich verspreidt en wat de concentratie is. Stel, het NMR slaat alarm. Er moeten dan direct aannamen worden gemaakt over de exacte locatie van de emissie, de duur, de concentratie en de hoogte in de atmosfeer. Het model HIRLAM bootst de atmosferische situatie na in de computer en voorspelt op basis van meteorologische waarnemingen de windrichting en -snelheid, neerslaghoeveelheid en -intensiteit en de stabiliteit van de atmosfeer (bijvoorbeeld turbulentie tussen atmosferelagen). HIRLAM levert invoergegevens voor het NPK-PUFF-model. NPK staat voor Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding. *Puff* is de Engelse term voor: korte, heftige uitstoot. Het NPK-PUFF-model simuleert emissies (puffs) en berekent vervolgens het transport en de verspreiding (diffusie) van deze emissies in de atmosfeer, gegeven de aard van de uitstoot en de weersituatie (figuur 2). HIRLAM en NPK-PUFF simuleren dus samen voor kleine tijdstappen hoe de emissie zich verspreidt over Nederland. Tijdens het draaien van de modellen kunnen de gegevens van het NMR gebruikt worden om de modelvoorspellingen bij te stellen.

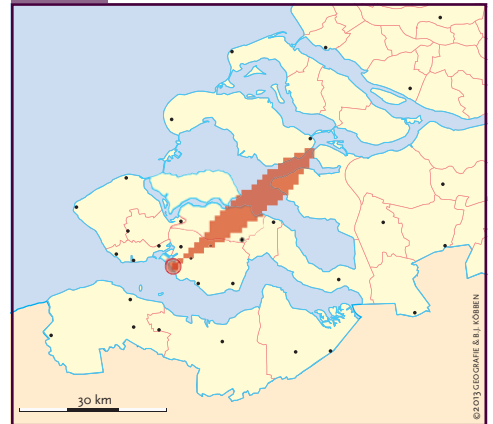
Die meetgegevens komen iedere tien minuten beschikbaar. Dit wordt data-assimilatie genoemd: in dit geval het gebruik van NMR-metingen van radioactiviteit binnen computermodellen om de betrouwbaarheid van de uitkomsten en de voorspellingen te verbeteren.

Weersvoorspellers maken al volop gebruik van data-assimilatie, maar in de geografie is dit relatief nieuw. Een groot voordeel is dat zo direct de betrouwbaarheid van de voorspellingen berekend kan worden. Beleidsmakers kunnen dus op het laatste moment nog inzicht krijgen in de betrouwbaarheid van de modelvoorspellingen en hun beslissingen daarop afstemmen.

### Simulatie

Ter illustratie bootsen we een nucleair ongeluk na in de kerncentrale van Borssele, Zeeland. Het gaat om een zwaar ongeval, ongeveer drie maal groter dan de maatrap die Nederland als uitgangspunt hanteert om het draaiboek kernongevallen op te stellen. Er treedt een emissie op

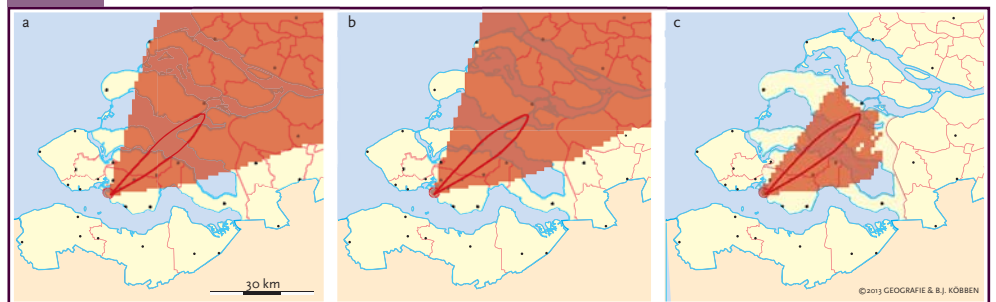
**Figuur 3:** De verspreiding van de emissie vanuit de kerncentrale Borssele tijdens het nagebootste ongeval. Het roze gebied geeft het gebied aan waar de grens van 10 mSv binnen 48 uur overschreden wordt. De zwarte punten geven de locaties van de NMR-meetstations weer.



**Figuur 4:** Drie statistische modelberekeningen (run 51, 91 en 116) laten in roze zien hoe de emissie zich volgens de simulaties zou kunnen verspreiden. Gegeven de onzekerheden in het model zijn alle scenario's even waarschijnlijk (zie de tekst voor uitleg). De polygoon toont de werkelijke emissie van figuur 3.



**Figuur 5:** Modelvoorspellingen voor de overschrijding van de 10 mSv binnen 48 uur. Figuur 5a toont de Monte Carlo-voorspellingen zonder meetnetwerkinformatie; 5b de voorspellingen met één NMR-meetcorrectie na 30 minuten; 5c de voorspellingen met vijf NMR-meetcorrecties van 30 tot 150 minuten na het ongeval.



van een radioactieve wolk (puff) tot 30 meter hoogte en een diameter van 20 meter. De verspreiding en concentratie van de emissie van onder andere edelgassen, jodium en cesium worden berekend met een keten van modellen: HIRLAM, NPK-PUFF en een onzekerheidsanalyse. We gaan uit van een weersituatie die in Nederland het meest voorkomt: een variabele zuidwestenwind met een wat wisselende snelheid. Figuur 2 toont een kaart van Zeeland met de emissie van het nagebootste ongeluk bij Borssele en het gebied waar de grens van 10 mSv binnen 48 uur overschreden wordt in roze. De pluim verspreidt zich onder invloed van de wind naar het noordoosten. Deze kaart stelt de 'werkelijke' situatie voor, die we met de modelberekeningen zo goed mogelijk moeten proberen te benaderen. We gebruiken de situatie dus als referentie voor de verschillende modelberekeningen en om de onzekerheden in de voorspellingen te illustreren. Voor ons voorbeeld zijn de HIRLAM- en NPK-PUFF-modellen 200 keer gedraaid (Monte Carlo-simulatie) rekening houdend met onzekerheid in de invoergegevens (windsnelheid, windrichting, menging van luchtlagen in de atmosfeer, verspreiden van de emissiewolk en afname concentratie, hoeveelheid en duur van de emissie). Informatie van het NMR is hierbij nog niet gebruikt. Figuur 4 toont drie resultaten van die 200 modelvoorspellingen. De polygoon geeft de werkelijke overschrijdingsgrens aan. Gegeven de modelberekeningen en de onzekerheden in de invoergegevens zijn de drie scenario's even waarschijnlijk als gevolg van variaties in windsnelheid, windrichting en grootte van de uitstoot. Het rose gekleurde gebied (*true*) geeft aan dat de kans bestaat dat de overheid de burgers moet oproepen binnen te blijven en ramen en deuren te sluiten omdat de grens van 10 mSv binnen 48 uur overschreden wordt. De drie modeluitkomsten in figuur 4 tonen de grote voorspellingsonzekerheid in het gebied waar de stralingsgrens overschreden wordt. In de figuur links (run 51) worden de grootte en de richting van de emissie overschat. In de figuur rechts (run 116) is de richting juist voorspeld maar de grootte niet. Beide kunnen veroorzaakt worden door variaties in de windrichting, windsnelheid en grootte van de uitstoot die zijn ingevoerd in het model. De middelste figuur laat een emissie zien over een zeer klein gebied nabij Borssele. Dit is een modelrun met een kleine uitstoot en een lage windsnelheid.

## De overheid beslist uiteindelijk of een gebied geëvacueerd moet worden

In de volgende analyse worden de NMR-metingen gebruikt (data-assimilatie) om de berekeningen bij te stellen. Figuur 5 toont de modeluitkomsten in twee waarden: de kritische grens van 10 mSv binnen 48 uur wordt wel (roze) of niet (wit) overschreden. De drie figuren tonen drie berekeningen: a) een zonder gebruik van het NMR-meetnetwerk, b) een berekening bijgesteld met informatie van het meetnetwerk 30 minuten na het ongeluk, en c) een berekening bijgesteld met informatie van het meetnetwerk 30, 60, 90, 120 en 150 minuten na het ongeluk. De figuur laat duidelijk zien dat de voorspellingen sterk verbeteren als meetnetwerkinformatie wordt meegenomen. De voorspelde concentraties komen beter overeen met de werkelijke emissiewolk (weergegeven door de zwarte polygoon). Het toevoegen van informatie van het meetnetwerk maakt de modelvoorspellingen dus flink beter. Nadeel is wel dat er al 2,5 uur verstreken is sinds het ongeluk; als zo'n ongeluk gebeurt, wil je veel sneller beslissen.

Wat betekenen de modelresultaten nu als de overheid de bevolking wil adviseren over binnenblijven of evacuatie? In figuur 6 zijn de gemiddelde modelvoorspellingen geaggregeerd over de gemeentegrenzen in de provincie Zeeland. De gemiddelde modelvoorspellingen van alleen de Monte Carlo-uitkomsten duiden erop dat 28 gemeenten in Zeeland het advies 'binnen blijven en ramen en deuren dicht' moeten afgeven.

Als de vijf waarnemingen van het meetnetwerk worden meegenomen in de voorspellingen, toont figuur 6c dat slechts zes gemeenten dit advies hoeven af te geven. Als de overheid op zeker wil spelen (je moet er niet aan denken dat ze geen goed advies afgeeft) moet ze voor 28 gemeenten in Zeeland het 'blijf binnen'-advies afgeven. Als de overheid de meest geavanceerde modelvoorspellingen volgt, hoeft ze dit advies voor maar zes gemeenten uit te sturen. Het blijft natuurlijk onzeker hoe goed de voorspellingen zijn omdat we geen echt referentiekader hebben voor deze simulaties. Het is wellicht beter de burgers uit voorzorg 'onnodig' te adviseren binnen te blijven, dan het risico te nemen dat er veel burgers besmet raken met radioactief materiaal. De beslissing rondom een veel grotere emissie van 200 mSv binnen 48 uur is nog lastiger, want het advies om te evacueren heeft nog ingrijpendere gevolgen – qua economische kosten én gerisikeerde mensenlevens. Dat is een dilemma dat modellen niet kunnen oplossen. Het is aan de politiek om te bepalen hoe ze omgaat met de risico's én de gestelde kritische grenzen. •

### Meer informatie:

- RIVM meetnetwerk: [www.rivm.nl/Onderwerpen/Onderwerpen/N/Nationaal\\_Meetnet\\_Radioactiviteit](http://www.rivm.nl/Onderwerpen/Onderwerpen/N/Nationaal_Meetnet_Radioactiviteit)
- Hiemstra P., D. Karssenberg, A. van Dijk & S.M. de Jong 2012. Using the particle filter for nuclear decision support. *Environmental Modelling & Software* 37: 78-89.
- Hiemstra P. 2011. *Ensemble modeling and statistical mapping of airborne radioactivity*. PhD Thesis, Utrecht Studies in earth Sciences 001. Faculty of Geosciences, Utrecht University.
- HIRLAM: a numerical short-range weather forecasting system for operational use. [www.hirlam.org](http://www.hirlam.org)

**Figuur 6:** Aggregatie van de drie modelvoorspellingen in figuur 5 over de gemeenten in Zeeland. Roze zijn de gemeenten die een advies 'binnen blijven en ramen sluiten' zouden moeten afgeven. De figuur illustreert hoe moeilijk het is om op basis van modeluitkomsten te beslissen welke gemeenten wel en welke geen maatregelen zouden moeten nemen.

