



rivm

Rapport 610790003/2008

S. Bader | H. Slaper

Inventarisatie en classificatie van maatregelzones bij kernongevallen

RIVM Rapport 610790003/2008

Inventarisatie en classificatie van maatregelzones bij kernongevallen

S. Bader
H. Slaper

Contact:
S. Bader
Laboratorium voor Stralingsonderzoek
Sam.Bader@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling, in het kader van het BEST-programma 'Beleidsondersteuning Straling'

© RIVM 2008

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Inventarisatie en classificatie van maatregelzones bij kernongevallen

Strengere richtlijnen voor maatregelen na kernongevallen hoeven vanwege veiligere kerncentrales niet te leiden tot veel grotere zones waarbinnen maatregelen moeten worden voorbereid. Dit blijkt uit onderzoek dat het RIVM heeft uitgevoerd in opdracht van het ministerie van VROM.

Wanneer bij een kernongeval specifieke dosiswaarden (de interventieniveaus) worden overschreden, roept de overheid maatregelen af zoals schuilen, evacuatie en jodiumprofylaxe. Dit gebeurt om de blootstelling van de bevolking aan radioactiviteit te beperken. Op basis van deze interventieniveaus en een maatrap kunnen de zones worden bepaald waar maatregelen nodig zijn.

Door de aanwezigheid van kerncentrales nabij de landsgrenzen zijn de gevolgen van kernongevallen meestal grensoverschrijdend. Mede daarom wil het ministerie van VROM de interventieniveaus aanpassen om betere overeenstemming te krijgen met de in Duitsland en België gehanteerde niveaus. Daarnaast zijn er, gelet op inzichten uit recente veiligheidsstudies, redenen om de maatrap, die stamt uit de jaren zeventig, te herzien. Beide wijzigingen zijn meegenomen in de systematiek voor de bepaling van maatregelzones. Uit een analyse volgt dat de aanpassingen elkaar grotendeels compenseren waardoor de grootte van de gebieden niet veel hoeft te veranderen.

De nieuw berekende maatregelzones zijn vervolgens in een classificatietabel verwerkt. Deze heeft twee functies: ten eerste kunnen overheden deze indeling gebruiken in rampenbestrijdingsplannen. Ten tweede kunnen hulpverlenende instanties bij kernongevallen op deze tabel teruggrijpen om snel de consequenties van het ongeval te kunnen communiceren.

Trefwoorden: kernongevallen, maatregelen, jodiumprofylaxe, kerncentrales, interventieniveaus

Abstract

Inventory and classification of countermeasure zones in the case of a nuclear accident

Stricter guidelines for intervention measures following a nuclear accident do not necessarily lead to much larger emergency planning zones. This is because safety standards of nuclear power plants have become more stringent as well. This is the conclusion drawn by the RIVM upon completion of a research project commissioned by the Ministry of Spatial Planning, Housing and the Environment of the Netherlands.

If, in the aftermath of a nuclear accident, pre-determined radiation dose values - the so called intervention levels - are exceeded, the Dutch government will trigger intervention measures such as sheltering, evacuation and iodine prophylaxis to limit the exposure of the population to radioactivity. The extent of the zones where interventions are imposed can be determined on the basis of intervention levels and a representative emergency scenario.

Because of the proximity of nuclear power plants to national borders, nuclear accidents tend to have international consequences. A better correspondence between Dutch intervention levels and those of Germany and Belgium is one factor driving the wish of the Netherlands Ministry of Spatial Planning, Housing and the Environment to adjust Dutch intervention levels. In addition, recent safety studies suggest that the representative emergency scenario, which has been in use since the seventies to assess countermeasure zones, is outdated. Both of these factors have been considered in the calculation of countermeasure zones and found to largely compensate each other. This result implies that the extent of the zones can remain largely unchanged.

Finally, a classification table has been constructed based on the newly calculated countermeasure zones. The classification serves two purposes. Firstly, local government authorities may use it in their emergency response plans. Secondly, in the case of a nuclear accident, emergency relief personnel can utilize this table to swiftly communicate the consequences of the accident.

Key words: Nuclear accidents, interventions, iodine prophylaxis, nuclear power plants, emergency relief, emergency planning

Inhoud

Samenvatting	6
1 Inleiding	7
2 Berekening maatregelzones: methodiek	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Modelleren	9
2.3 Dosisberekening	10
2.3.1 Schildklierdosis	10
2.3.2 Effectieve dosis	10
2.4 Afstandsbepaling	10
2.5 Meteorologie	12
3 Brontermen en interventieniveaus	13
3.1 Bepaling nieuwe maatramp	13
3.2 Brontermen	16
3.2.1 PWR-5	16
3.2.2 STC-CON1	17
3.2.3 STC-3 uit LPSA97	17
3.3 Centrales	17
3.4 Maatregelen en interventieniveaus	18
3.4.1 Jodiumprofylaxe	18
3.4.2 Evacuatie	19
3.4.3 Schuilen	19
4 Resultaten	20
4.1 Resultaten per bronterm	20
4.2 Classificatie maatregelzones	20
5 Conclusies	23
Literatuur	24
Bijlage - Lijst van gebruikte afkortingen en begrippen	25

Samenvatting

Ten tijde van een grootschalig kernongeval heeft de overheid beschikking over verschillende maatregelen om blootstelling van de bevolking aan radioactiviteit te beperken. Hieronder vallen maatregelen als evacuatie, schuilen en jodiumprofylaxe.

De grootte van de gebieden rond kerncentrales waar deze maatregelen genomen worden, de zogenaamde maatregelzones, hangt onder meer samen met keuzen over de te beschouwen ongevalslozingen en interventieniveaus. Uitkomsten van recente veiligheidsstudies en de bestaande verschillen tussen de huidige interventieniveaus in Nederland en die in omringende landen kunnen argumenten zijn voor een heroverweging van beleidskeuzen over de te hanteren maatrap en de interventieniveaus. Als vervolg op de revitalisatie van het Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding is door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan het RIVM gevraagd berekeningen uit te voeren ter bepaling van de grootte van de maatregelzones behorende bij specifieke interventieniveaus in relatie tot verschillende rampscenario's.

In dit rapport zijn, met behulp van luchtverspreidingsmodellering van radionucliden, voor een groot aantal weersituaties de maximale afstanden berekend waarbij overschrijding van de interventieniveaus optreedt. Eén berekende waarde uit de statistische verdeling van deze afstanden - gebaseerd op een zeker gekozen criterium - geeft in feite de straal van de maatregelzone, die we de maatregelafstand noemen. Deze maatregelafstanden zijn berekend op basis van de voorgestelde interventieniveaus, namelijk 100 mSv schildklierdosis bij een eenjarig, schuilend kind voor de maatregel jodiumprofylaxe en respectievelijk 10 en 200 mSv effectieve dosis bij een niet-schuilende volwassene voor schuilen en evacuatie.

Er zijn berekeningen uitgevoerd voor de kerncentrales Borssele in Nederland, Doel in België en Emsland in Duitsland. Er is een nieuwe maatrap gedefinieerd, de bronterm STC-CON1, waarmee voor de drie maatregelen jodiumprofylaxe, schuilen en evacuatie de maatregelzones voor de drie kerncentrales zijn bepaald. Deze nieuwe maatrap is geconstrueerd op een zodanige manier dat de kans op een grotere ramp dan deze maatrap kleiner is dan 10^{-7} per jaar. Hierbij zijn gegevens gebruikt uit de meest recente veiligheidsstudie van de kerncentrale Borssele.

De berekende maatregelafstanden zijn gebruikt voor een classificatiesysteem voor maatregelzones bij nucleaire calamiteiten. Met informatie over het type bronterm, kunnen in een lijst met de berekende afstanden, de relevante maatregelafstanden opgezocht worden om een eenduidig advies te geven aan hulpverlenende diensten over de te nemen maatregelen. Bovendien kunnen betrokken instanties de maatregelzones die gebaseerd zijn op de nieuwe maatrap als organisatiezones verwerken in rampenbestrijdingsplannen.

1 Inleiding

Hoewel de kans op een grootschalig kernongeval klein is, kunnen de maatschappelijke gevolgen van een dergelijk incident groot zijn. De overheid dient zich daarom af te vragen hoe ze zich op zulke ongevallen moet voorbereiden. Bovendien zal ze bij een daadwerkelijk incident snel een inschatting willen maken van de maatregelen die gewenst zijn om de besmetting van de bevolking te beperken, hoewel de onzekerheid over de aard en de omvang van de lozing waarschijnlijk aanzienlijk zal zijn.

Overheden en hulpdiensten zullen graag afgewogen, heldere instructies willen ontvangen over maatregelen als schuilen, evacuatie en jodiumprofylaxe en de gebieden waar ze na een kernongeval afgeroepen moeten worden. Een systeem is wenselijk waarbij, in geval van een nucleaire calamiteit, een duidelijke indicatie van de grootte van de maatregelzones beschikbaar komt. Om hiertoe te komen, wordt in dit rapport een classificatie van maatregelzones voorgesteld.

Met een schatting van de bronterm als informatie kan in een lijst een ongevalsklasse opgezocht worden waarvoor per maatregel een indicatie staat van de grootte van het gebied waar deze maatregel voor geldt. De getallen in deze lijst, die de omvang van de maatregelzones representeren, zijn gebaseerd op a-prioriberekeningen op basis van de relevante brontermen en maatregelen.

Aan de andere kant is het voor preparatieve doeleinden noodzakelijk een maatrap te definiëren om maatregelzones te kunnen berekenen welke betrokken instanties als organisatiezones kunnen implementeren in rampenplannen.

In het kader van de revitalisatie van het NPK, het Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding [1], is een systematiek ontwikkeld, waarmee op basis van verspreidingsmodellering afstanden zijn berekend die als de straal van een maatregelzone worden geïnterpreteerd. Hierbij worden, in plaats van één gemiddelde weersituatie, alle weersomstandigheden in een jaar verdisconteerd.

Deze systematiek staat beschreven in de RIVM-(brief)rapporten “Jodiumprofylaxe bij kernongevallen” [2] en “Inventarisatie van maatregelzones voor jodiumprofylaxe bij kernongevallen bij verschillende maatscenario’s en interventieniveaus” [3] waarin aanbevelingen staan over maatregelzones voor jodiumprofylaxe rond de kerncentrales in en nabij Nederland.

In het huidige rapport wordt de methodiek uitgebreid voor de maatregelen schuilen en evacuatie. Bovendien wordt de systematiek gepresenteerd waarmee een nieuwe maatrap is opgesteld. De combinatie van de maatrap en de interventieniveaus voor de drie maatregelen geeft, voor verschillende scenario’s, een tabel van maatgelafstanden, die voor bovenstaande classificatie kan worden gebruikt.

De indeling van dit rapport is als volgt: in hoofdstuk 2 wordt een beschrijving van de gehanteerde methodiek gegeven. Hoofdstuk 3 bevat een overzicht van de brontermen – en de systematiek voor de keuze van de nieuwe maatrap - en maatregelen waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd. In

hoofdstuk 4 staan de resultaten van de berekeningen in de vorm van omvang van maatregelzones en worden de classificaties gepresenteerd. Het rapport eindigt met conclusies.

2 Berekening maatregelzones: methodiek

2.1 Inleiding

Bij een grootschalig kernongeval ontsnapt uit een kerncentrale radioactief materiaal, dat zich onder invloed van wind en regen kan verspreiden in een gebied rond de centrale tot aan een afstand van enkele duizenden kilometers. Om maatregelzones te berekenen wordt gebruikgemaakt van een luchtverspreidingsmodel om een dergelijk ongeval en de gevolgen ervan te simuleren.

In de oorspronkelijke methodiek van het NPK [1] is uitgegaan van een simulatie op één moment, onder één meteorologische omstandigheid. Omdat de weersituatie van grote invloed is op de verspreiding van radioactief materiaal, is het verstandig om een methode te kiezen waarmee zoveel mogelijk verschillende weersomstandigheden in beschouwing worden genomen. In de volgende paragraaf wordt deze systematiek, die al eerder in [2] en [3] werd gevolgd, uitgelegd.

2.2 Modellerings

In deze studie wordt het luchtverspreidingsmodel NPK-PUFF gebruikt, dat beschreven wordt in [4] en [5]. NPK-PUFF wordt door het RIVM gebruikt als operationeel model in de kernongevallenbestrijding. Het model is voor deze studie gebruikt om elke tien uur in het modeljaar 2005 een kernongeval te simuleren, waarna luchtconcentraties en deposities op roosterpunten rond de centrale zijn uitgerekend. Vervolgens worden voor elk scenario de afstanden berekend waarop specifieke dosiswaarden – de interventieniveaus - worden overschreden.

Model update

In de loop van 2005 is een nieuwe versie van het luchtverspreidingsmodel NPK-PUFF operationeel geworden binnen het RIVM. Verbeteringen van dit nieuwe model zijn voornamelijk van fysische aard; de veranderingen hebben tot gevolg dat simulaties van dezelfde scenario's met de nieuwe versie van NPK-PUFF nu andere resultaten opleveren in vergelijking tot het oude model. In Tabel 1 staat een voorbeeld van een gewijzigd resultaat. Uitleg over de brontermen staat verderop in het rapport. Te zien is dat maatregelafstanden berekend met de nieuwe versie van het model kleiner zijn; uit bredere vergelijking volgt dat het quotiënt van de maatregelafstanden berekend met de oude en nieuwe versie varieert van 1,3 tot 1,5.

Tabel 1: Overzicht van de verschillen tussen resultaten van berekeningen aan jodiumprofylaxe met de oude en de nieuwe versie van NPK-PUFF. De betekenis van de gebruikte begrippen volgt verderop in het rapport.

Bronterm	Maatregelafstand oude versie NPK-PUFF (km)	Maatregelafstand nieuwe versie NPK-PUFF (km)
PWR-5 Borssele 95%	86	61
PWR-5 Borssele 68%	47	35

De resultaten die hier staan vermeld voor jodiumprofylaxe wijken daarom af van de resultaten zoals die zijn gedocumenteerd in [3]. Nieuwe updates van het model in 2007 hebben niet geleid tot gewijzigde resultaten voor de maatregelzones.

2.3 Dosisberekening

Om de ernst van een blootstelling aan radioactieve stoffen en straling te duiden wordt de opgelopen dosis berekend op basis van in de stralingshygiëne gebruikelijke ICRP-methodiek [6]. Maatregelen zijn gericht op het beperken van de dosis voor het hele lichaam of bepaalde doelorganen, zoals de schildklier.

We beschouwen in deze studie de maatregelen evacuatie, schuilen en jodiumprofylaxe. In vorige studies ([2] en [3]) werd louter de schildklierdosis berekend om maatregelzones voor jodiumprofylaxe vast te stellen. Aangezien schuilen en evacuatie worden afgeroepen op basis van een interventieniveau voor de effectieve dosis, hebben we in deze studie zowel de effectieve als de schildklierdosis berekend.

2.3.1 Schildklierdosis

De schildklierdosis wordt berekend ten bate van de bepaling van de maatregelzones voor jodiumprofylaxe. Hiervoor zijn de vijf relevant geachte jodiumnucliden en de isotoop ^{132}Te in de berekening meegenomen, in tegenstelling tot voorgaande rapporten [2] en [3], waar slechts met één nuclide, namelijk ^{131}I werd gerekend om rekentijd te besparen. Voor elk nuclide is een schildklierdosis-coëfficiënt [6] gebruikt, waarbij rekening is gehouden met een inhalatiedebiet voor een referentiemens van $0,95 \text{ m}^3/\text{h}$ [6].

2.3.2 Effectieve dosis

De maatregelzones voor de maatregelen schuilen en evacuatie worden berekend op basis van de effectieve dosis. Bij de berekening hiervan ligt de zaak iets gecompliceerder dan bij de schildklierdosis, omdat in principe veel meer nucliden een relevante bijdrage kunnen leveren aan de dosis.

Omdat NPK-PUFF maar met zeven nucliden rekent, wordt een selectie gemaakt van de zeven meest relevante nucliden. Bij de dosisberekening wordt rekening gehouden met de bijdrage die deze zeven nucliden leveren aan de totale dosis; dit is meestal ongeveer 80%. Voor de effectieve dosis gelden drie verschillende dosiscoëfficiënten corresponderend met de belastingspaden inhalatie [6], externe straling vanuit een omringende wolk [7] en externe straling van gedeponeerd materiaal [7]. Waar verschillende dosiscoëfficiënten bestaan voor verschillende inhalatieklassen, hebben we steeds de hoogste waarde genomen. Ingestie van radioactief materiaal wordt buiten beschouwing gelaten, omdat we hier louter naar de directe maatregelen kijken.

2.4 Afstandsbepaling

Statistiek

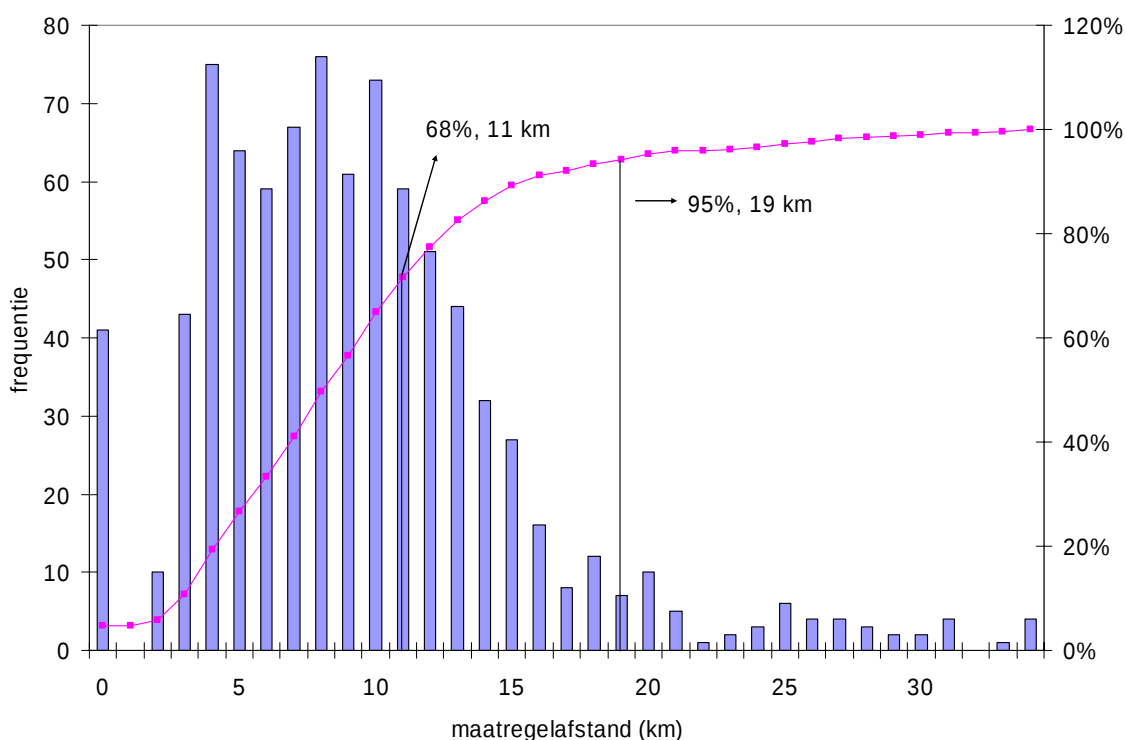
In het volgende stadium van berekeningen zijn de eerder genoemde bestanden met concentraties op roosterpunten bewerkt. Ten eerste worden de tijdgeïntegreerde concentraties en deposities omgerekend

naar dosiswaarden, zoals uitgelegd in de vorige paragraaf. Ten tweede wordt een conversie uitgevoerd van coördinaten op een rooster naar afstanden van roosterpunten tot de kerncentrale waaruit de lozing heeft plaatsgevonden. Ten derde wordt uitgerekend op welke maximale afstand van de bron een bepaalde dosis nog wordt overschreden.

Deze methode levert lijsten op van afstanden, voor elke lozing in het jaar één, die aangeven waar nog juist een bepaalde dosis is overschreden. Van deze lijsten zijn cumulatieve frequentiegrafieken te maken, waarop af te lezen is dat, bijvoorbeeld in 95% van de gevallen, de afstanden onder een bepaalde grens blijven. In Figuur 1 is een dergelijke grafiek afgebeeld. Hier is te zien dat de maatregelafstanden in zekere mate volgens een Poisson-verdeling verspreid zijn. Er zijn echter veel 'nulwaarden', waar het interventieniveau nergens overschreden wordt.

De twee percentages 68% en 95% zijn gebaseerd op één en twee keer de standaarddeviatie van een normaalverdeling. Hoewel, door de nulwaarden, de afstandsverdeling hiervan afwijkt, is toch besloten deze waarden te gebruiken.

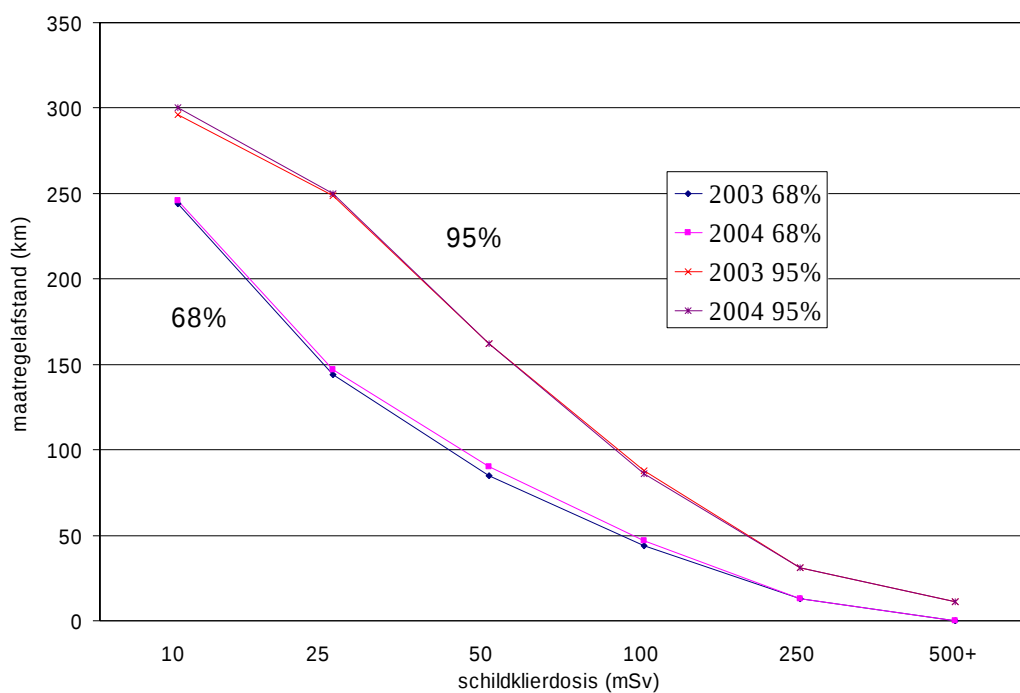
Het voordeel van deze methode is dat gekeken wordt naar de kans op daadwerkelijke overschrijdingen van de interventieniveaus in een jaar, berekend met behulp van het bij RIVM operationele model voor verspreiding van radioactief materiaal.



Figuur 1: Voorbeeld van een histogram voor berekening maatregelafstanden. Het betreft kerncentrale Borssele, STC-CON1, voor jodiumprofylaxe. De betekenis van de gebruikte begrippen volgt verderop in het rapport.

2.5 Meteorologie

Er is gekozen voor het modeljaar 2005. In [2] is het jaar 2003 gebruikt en in [3] het modeljaar 2004. Dat de maatregelafstanden niet gevoelig zijn voor de keuze voor een modeljaar, is te zien in Figuur 2. We mogen derhalve veronderstellen dat de keuze voor een modeljaar geen significante invloed zal hebben.



Figuur 2: Vergelijking van maatregelafstanden voor 2003 en 2004. Scenario Borssele, PWR-5, berekend met de oude versie van NPK-PUFF. De betekenis van de gebruikte begrippen volgt verderop in het rapport.

3 Brontermen en interventieniveaus

Aan de berekening van maatregelzones ligt een keuze voor de zogeheten bronterm ten grondslag. Deze bronterm, of ongevalsemissie, is de hoeveelheid radioactief materiaal die bij een kernongeval in het milieu kan worden geloosd, in combinatie met de wijze waarop de lozing plaatsvindt [1]. De bronterm wordt meestal, per nuclidegroep, gespecificeerd in termen van de fractie of het percentage van de kerninventaris dat geloosd wordt.

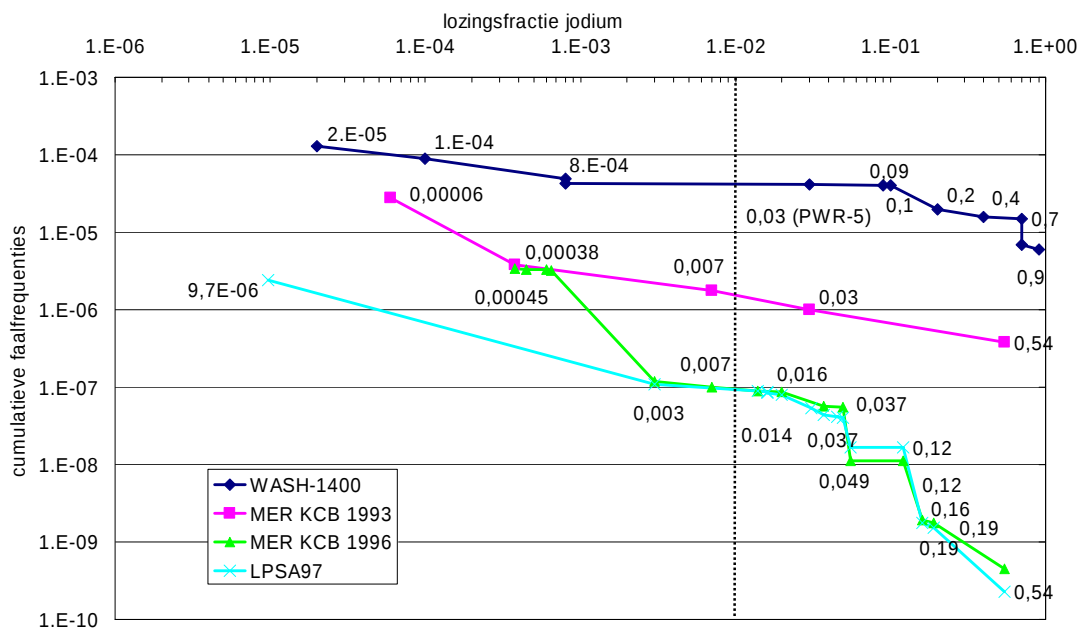
In de voorbereiding op het nemen van maatregelen na kernongevallen wordt doorgaans uitgegaan van referentiebrontermen, of maatscenario's. In het verleden [1] is in Nederland de bronterm PWR-5 [8] gekozen als uitgangspunt voor dosisberekeningen om organisatiezones te bepalen, naar aanleiding van het advies van het Operational Safety Review Team van de IAEA dat in 1987 de kernenergiecentrale Borssele heeft onderzocht. Echter, recente veiligheidsstudies geven aan dat kerncentrales in de loop der jaren veel veiliger zijn geworden (zie bijvoorbeeld [9]). Dit geeft aanleiding om de keuze voor de maatrampe te heroverwegen. Hierna wordt een systematiek voorgesteld en toegelicht om te komen tot een keuze voor een maatscenario. Deze keuze is een beleidsmatige, maar de geschetste systematiek kan hierbij een handvat bieden.

3.1 Bepaling nieuwe maatrampe

In de meest recente veiligheidsstudie van de kerncentrale Borssele, LPSA97 [10] is ten opzichte van de MER 1996 [11] een nieuwe verzameling brontermen opgesteld die corresponderen met ongevallen in de kerncentrale Borssele. Een nieuw maatscenario zou idealiter uit deze lijst afkomstig zijn. Het blijkt echter dat het niet eenvoudig is één van deze brontermen als maatrampe aan te wijzen.

In Figuur 3 is voor vier verschillende veiligheidsstudies te zien, welke de zogeheten cumulatieve faalfrequenties zijn, uitgezet tegen de lozingsfractie van jodium. De vier veiligheidsstudies zijn de WASH-1400-studie [8] waar PWR-5 uit afkomstig is, de MER 1993 [12] en de MER 1996 [11] van de kerncentrale Borssele en de LPSA97-studie [10].

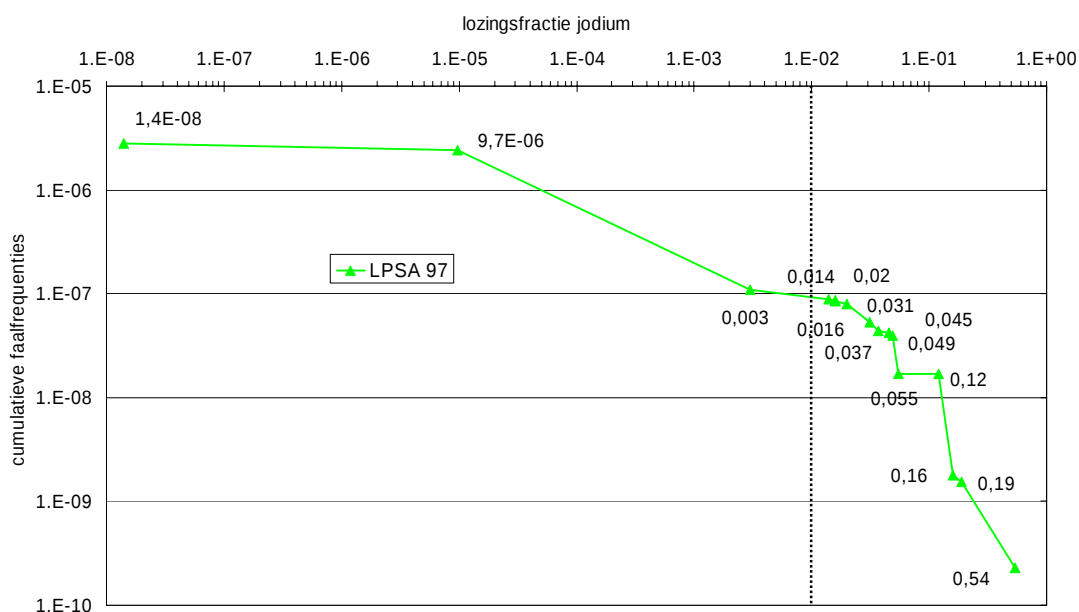
Uit deze figuur is af te lezen wat de kans per jaar is dat een bepaalde rampe – of een zwaardere – plaatsvindt. Voor een vaste lozingsfractie van jodium, is af te lezen dat in de loop der jaren de kans op een bepaalde rampe of een zwaardere rampe, zeer veel kleiner is geworden. Zo is te zien dat de cumulatieve kans op een rampe zoals PWR-5, waarbij 3% van het jodium ontsnapt, drie ordes van grootte is verminderd.



Figuur 3. Cumulatieve faalfrequenties versus jodiumlozingsfractie voor vier verschillende studies. De cumulatieve faalfrequentie voor een ongeval is de som van de faalfrequenties van dit ongeval en alle zwaardere ongevallen. De losse getallen in de grafiek geven de jodiumlozingsfracties aan.

In Figuur 4 is deze grafiek alleen voor de LPSA97-studie gegeven. Als we deze figuur beschouwen, zien we dat voor twee brontermen geldt dat de cumulatieve faalfrequentie groter is dan 10^{-6} per jaar. Echter, de hoeveelheid radioactief materiaal die geloosd wordt in een dergelijk scenario is zo klein, dat de interventieniveaus niet worden overschreden buiten de terreingrens van de kerncentrale. Dit is aangetoond voor één van de brontermen in het RIVM-briefrapport “Inventarisatie van maatregelzones voor jodiumprofylaxe bij kernongevallen bij verschillende maatscenario’s en interventieniveaus” [3].

De volgende bronterm - derde van links in de grafiek, is STC3, met een jodiumlozingsfractie van 0,003. Hoewel deze bronterm ook zeer kleine maatregelafstanden oplevert is dit één van de brontermen waarvoor meerdere scenario’s zijn doorgerekend. De andere brontermen uit de LPSA97 hebben vervolgens een cumulatieve kans van voorkomen die kleiner is dan eens in de tien miljoen jaar.



Figuur 4: Cumulatieve faalfrequenties versus jodiumlozingsfractie voor LPSA97

Het lijkt lastig om een maatrap te kiezen uit de lijst van brontermen van de LPSA97. Daarom hebben we ervoor gekozen de grafiek van cumulatieve faalfrequenties van brontermen te interpoleren om op deze manier tot een nieuwe maatrap te komen.

Interpolatie van de grafiek van cumulatieve faalfrequenties

In de LPSA97-studie staan brontermen die hetzij te klein zijn om als maatrap te fungeren, hetzij een te kleine (cumulatieve) kans van voorkomen hebben. Waar de oorspronkelijke maatrap (PWR-5) een cumulatieve kans van voorkomen van ongeveer $5 \cdot 10^{-5}$ per jaar had [8], zouden we nu met deze cumulatieve kans geen maatrap kunnen vinden in de LPSA-studie.

We construeren daarom een bronterm die overeenkomt met een waarde voor de cumulatieve faalfrequentie van 10^{-7} per jaar. Een ramp die een kans van voorkomen heeft van 10^{-7} per jaar maar die wel groter is dan STC-3. Een ramp waarvan de kans op een ongeval met grotere gevolgen dan deze ramp, kleiner is dan 10^{-7} per jaar. Overigens is het getal 10^{-7} feitelijk een beleidsmatige keuze – als we in de grafiek naar 10^{-6} kijken, zien we dat dit correspondeert met een jodiumlozingsfractie die zo klein is dat er waarschijnlijk geen interventieniveaus overschreden worden.

Als we de resultaten van de grafiek in Figuur 4 interpoleren, en we lezen af met welke lozingsfractie een cumulatieve frequentie van 10^{-7} per jaar overeenkomt, dan komen we ongeveer uit bij een lozingspercentage van jodium van 1%. Als we hetzelfde doen voor de andere nuclidegroepen, krijgen we de lozingsfracties per nuclidegroep voor de nieuwe, geconstrueerde bronterm STC-CON1, zoals in Tabel 2, waar ter vergelijking de brontermen PWR-5 en STC-3 zijn bijgezet.

Hiermee beschikken we over een bronterm die kan dienen als maatrap voor de berekening van maatregelzones ten bate van preparatieve doeleinden.

Overigens wordt, op basis van één van de rapporten uit de Herbezinning Kernenergie-serie [13], in het NPK [1] ook reeds een 1%-bronterm genoemd, met een kans van 10^{-8} tot 10^{-7} per reactorjaar.

Voor de duidelijkheid: de lozingsfracties die in de grafiek dicht bij de 1% staan – zoals 0,014 en 0,016 – corresponderen met brontermen die een extreem lage faalfrequentie hebben en bovendien een zeer grillig lozingsverloop, wat ze ongeschikt maakt om als maatrap gebruikt te worden.

Tabel 2: De brontermen STC-CON1, PWR-5 en STC-3. De getallen staan voor lozingsfracties.

	STC-CON1	PWR-5 [8]	STC-3 [10]
jodium	0,01	0,03	0,003
edelgassen	0,75	0,3	0,80
cesium	0,007	0,009	0,002
antimoon	0,01	0,005	0,0049
telluur	0,005	0,005	0
molybdeen	0,001	0,0006	0,0013
barium	0,001	0,001	0,00055
strontium	0,0001	0,001	0,000043
lanthaan	0,0001	0,00007	0,0000076
cerium	0,0001	0,00007	0,000073
uranium	0,000001	0,00007	0

3.2 Brontermen

Naast de nu geconstrueerde bronterm STC-CON1, is in deze studie met nog twee andere brontermen gerekend. In deze paragraaf worden deze scenario's beschreven. De meeste brontermen in deze studie zijn strikt genomen alleen van toepassing op kerncentrale Borssele. Hoewel er brontermen bekend zijn van de kerncentrales Doel en Emsland, ontbreken hiervoor de faalfrequenties, die noodzakelijk zijn voor het toepassen van onze methodiek. Voor de centrales van Doel en Emsland, die van hetzelfde type zijn als die in Borssele, zijn de brontermen van Borssele toegepast, gebaseerd op een op vermogen geschaalde kerninventaris.

3.2.1 PWR-5

Als eerste bronterm is gekozen voor de zogenaamde PWR-5-bronterm. Deze bronterm is afkomstig uit de WASH-1400 studie uit 1975 [8], die als voorbeeld heeft gediend voor de meeste latere *Probabilistic Safety Assessments* (PSA's). In het scenario beschreven door PWR-5 wordt twee uur na aanvang van een ongeval, gedurende vier uur, onder meer drie procent van de jodiumisotopen uit de kerninventaris geloosd. Dit scenario is na een onderzoek door het *International Atomic Energy Agency* (IAEA) als één van drie scenario's voor de kerncentrale Borssele geselecteerd om plannen voor ongevalbestrijding op te baseren. PWR-5 is destijds (1986) door de overheid gekozen als maatrap voor het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding (NPK). Hiermee geldt PWR-5 als een standaardscenario waar andere scenario's tegen worden afgezet. In Tabel 2 staan de lozingsfracties van de nuclidegroepen voor PWR-5 vermeld.

Uit Figuur 3 is af te lezen, zoals eerder aangegeven, waarom PWR-5 als maatrap verouderd is: de cumulatieve kans van voorkomen op een ramp zoals PWR-5 is in de LPSA97-studie ten opzichte van de WASH-1400-studie, drie ordes van grootte verminderd.

3.2.2 STC-CON1

Van de bronterm STC-CON1 is de samenstelling en achtergrond beredeneerd in de vorige paragraaf. Overigens is deze bronterm ook gehanteerd in [2], als zijnde een gereduceerde versie van PWR-5. Voor deze bronterm nemen we aan dat vat-of-containmentfalen niet 2 uur na start ongeval plaatsvindt, maar 24 uur, wat bij de huidige veiligheidsvoorzieningen realistischer is [2]. Hetzelfde blijkt ook uit de LPSA97-studie [10].

3.2.3 STC-3 uit LPSA97

Als derde bronterm is één van de brontermen uit de LPSA97-studie gekozen, te weten STC-3. Dit betreft een lozing van één uur, na vier uur wachttijd.

Veel andere, vergelijkbare brontermen uit de LPSA97-studie vertegenwoordigen lozingsscenario's die door hun grillige lozingsverloop moeilijk te modelleren zijn - bovendien zijn de bijbehorende faalfrequenties meestal zeer gering. Deze factoren gelden niet voor STC-3, wat de keuze voor deze bronterm heeft bepaald.

Uit Tabel 2 is af te lezen dat de lozingsfractie voor de meeste nucliden in STC-3 klein is (voor jodium bijvoorbeeld een tiende van PWR-5), behalve voor de edelgassen. Dit maakt dat de resultaten voor STC-3 voor de schildklierdosis lager uitvallen dan de resultaten voor STC-CON1 en voor de effectieve dosis er ongeveer gelijk aan zijn.

In Tabel 3 ten slotte, is een overzicht van de drie brontermen gegeven in termen van de lozingsduur en wachttijd tussen stilvallen van de reactor en lozing. Een wachttijd van 24 uur impliceert dat op het moment van de lozing de activiteit van de vrijkomende nucliden gecorrigeerd moet worden voor 24 uur verval tijd.

Tabel 3: Overzicht brontermen.

Bronterm	Wachttijd (h)	Lozingsduur (h)
PWR-5	2	4
STC-CON1	24	4
STC-3	4	1

3.3 Centrales

Er zijn drie kerncentrales in en rond Nederland die in deze studie zijn beschouwd: de Nederlandse kerncentrale Borssele, de Belgische kerncentrale Doel in de buurt van Antwerpen en de Duitse centrale Emsland vlakbij de stad Lingen. De reden dat de centrales in het buitenland worden beschouwd, is dat ze zo dicht bij de Nederlandse grens liggen, dat bij veel scenario's de maatregelzones overlappen met het Nederlandse grondgebied. De centrale bij Doel ligt immers vijf kilometer van de Nederlandse grens

en de centrale Emsland twintig kilometer. In Tabel 4 staat een overzicht van deze centrales. De kerncentrale Doel heeft overigens 4 reactoren, waarvan de twee grotere een elektrisch vermogen van ongeveer 1000 MWe hebben.

In vorige studies [2], [3] is ervoor gekozen de lozingshoogte in de scenario's voor kerncentrale Emsland op 177 meter te zetten omdat dit de stackhoogte van de centrale is. Uit [14], waarin een overzicht van brontermen voor Emsland staat, blijkt echter dat bij een ongeval de lozing niet uit de schoorsteen plaatsvindt, maar op tien, dertig of honderd meter van de grond. Er is daarom gekozen voor een lozingshoogte van 30 meter in deze studie, in overeenstemming met de waarden voor kerncentrales Borssele en Doel. Dit verklaart mede de verschillen in resultaten tussen dit rapport en die in [3]. De warmte-inhoud is voor elke bronterm op 1,8 MW gezet, overeenkomstig de waarde voor STC-3 in de LPSA97-studie [10].

Tabel 4: Overzicht kerncentrales.

Centrale	Land	Afstand tot Ned. Grens (km)	Vermogen (MWe)	Decimale graden OL	Decimale graden NB
Borssele	Nederland	n.v.t.	± 450	3,72	51,43
Doel	België	5	± 1000	4,26	51,32
Emsland	Duitsland	20	± 1300	7,32	52,47

3.4 Maatregelen en interventieniveaus

Er zijn drie verschillende maatregelen waarvoor maatregelzones zijn berekend: schuilen, evacuatie en jodiumprofylaxe. Bij elke maatregel hoort een interventieniveau (IN): een dosiswaarde die als richtlijn wordt gehanteerd voor de wenselijkheid van het nemen van maatregelen op radiologische gronden. De maatregelafstanden die zijn berekend zijn gebaseerd op deze interventieniveaus: er wordt gekeken tot welke afstand van een centrale een bepaalde dosiswaarde nog wordt overschreden. De interventieniveaus zijn vastgesteld door het ministerie van VROM.

3.4.1 Jodiumprofylaxe

Bij een grootschalig kernongeval kan de inname van radioactief jodium één van de belangrijkste dosisbepalende belastingspaden zijn in de eerste fase. Het radioactieve jodium levert een stralingsdosis op voor de schildklier en deze dosis kan in belangrijke mate worden beperkt door in een vroegtijdig stadium, liefst voor de blootstelling, tabletten met stabiel jodium in te nemen.

In het NPK is een interventieniveau genoemd van 1000 mSv schildklierdosis voor volwassenen en een interventieniveau van 500 mSv schildklierdosis voor kinderen. Toen is gebleken dat veel kinderen rondom Tsjernobyl schildklierkanker hebben gekregen, zijn door vele landen de interventiewaarden verlaagd [2]. Ook in Nederland gaat de overheid de interventiewaarde voor jodiumprofylaxe verlagen, namelijk naar 100 mSv schildklierdosis voor kinderen, om beter aan te sluiten bij interventiewaarden van omliggende landen.

Precies zoals in [3] hanteren we voor jodiumprofylaxe de regel dat de dosis geldt voor een eenjarig schuilend kind, waarbij we aannemen dat deze overeenkomt met de dosis voor een niet-schuilende volwassene aangezien de reductiefactor voor schuilen ongeveer 2 bedraagt [2] en het product van

schilddklierdosiscoëfficiënt en ademdebiet voor een eenjarig kind ongeveer tweemaal zo groot is als die voor een volwassene.

Omdat besmetting van de schildklier ten gevolge van radioactief jodium via inhalatie gebeurt, en we in principe geen brontermen beschouwen met een lozingsduur die in de buurt komt van 24 uur, kunnen we een evaluatie-of-integratietijd van 24 uur beschouwen. Omdat de wolk radioactief jodium na 24 uur is overgewaaid, gebruiken we de 24-uursdosis om de maatregelafstanden te berekenen. In de uiteindelijke evaluatie maakt het echter niet uit of we als integratietijd 24 uur of zeven dagen hanteren.

3.4.2 Evacuatie

De maatregel die maximale bescherming oplevert is evacuatie. Het doel van evacuatie is voornamelijk het vermijden van ernstige deterministische effecten en het beperken van de kans op stochastische effecten, zie ook [15]. Aangezien gedeponiseerd materiaal ter plaatse zorgt voor een continue dosis, ondanks het gegeven dat een radioactieve wolk al na een paar uur gepasseerd kan zijn, is voor de berekening van maatregelafstanden voor de maatregel evacuatie de opgelopen dosis na zeven dagen berekend.

Voor deze maatregel is het interventieniveau 200 mSv gehanteerd, in principe geldend voor een niet-schuilende volwassene.

3.4.3 Schuilen

Bij een kernongeval biedt schuilen een zekere mate van bescherming. Dit hangt van vele factoren af, maar vaak wordt als vuistregel een reductiefactor van 2 gebruikt. Meer hierover is te lezen in [2] en [15]. Vanwege de aard van de maatregel geldt het interventieniveau 10 mSv voor een niet-schuilende volwassene. Net als bij evacuatie zijn de doses berekend voor een integratietijd van zeven dagen.

In Tabel 5 staat een overzicht van maatregelen en bijbehorende interventieniveaus.

Tabel 5: Overzicht maatregelen en interventieniveaus.

Maatregel	Interventieniveau	Doelgroep
evacuatie	200 mSv effectieve dosis	niet-schuilende volwassene
jodiumprofylaxe	100 mSv schildklierdosis	eenjarig schuilend kind*
schuilen	10 mSv effectieve dosis	niet-schuilende volwassene

* equivalent aan niet-schuilende volwassene

4 Resultaten

4.1 Resultaten per bronterm

In onderstaande tabellen zijn de resultaten vermeld voor de verschillende maatregelen en brontermen.

Tabel 6: Maatregelafstanden PWR-5 in km

	Evacuatie	Jodiumprofylaxe	Schuilen
Borssele (95%)	7	61	69
Borssele (68%)	4	35	42

Tabel 7: Maatregelafstanden STC3 in km

	Evacuatie	Jodiumprofylaxe	Schuilen
Borssele (95%)	4	8	35
Borssele (68%)	2	5	21

Tabel 8: Maatregelafstanden STC-CON1 in km

	Evacuatie	Jodiumprofylaxe	Schuilen
Borssele (95%)	4	19	33
Borssele (68%)	2	11	17
Doel (95%)	7	35	66
Doel (68%)	4	20	39
Emsland (95%)	9	48	94
Emsland (68%)	5	30	52

Als deze resultaten naast die van [3] worden gelegd, dan zijn bij jodiumprofylaxe een paar verschillen aan te wijzen. Dat heeft enerzijds te maken met een update van het gebruikte luchtverspreidingsmodel en anderzijds, bij Emsland, met een andere lozingshoogte, zoals genoemd in hoofdstuk 3.

4.2 Classificatie maatregelzones

De maatregelafstanden geven de omvang weer van maatregelzones rond een kerncentrale. Bij een kernongeval kunnen maatregelzones sterk uiteenlopen, en ook kan het beeld over aard en omvang van de verschillende zones tijdens een ongeval voortdurend wijzigen. Dit kan in de praktijk van het ongevalmanagement en voor de hulpverleners tot behoorlijke problemen leiden. Een classificatie van maatregelzones kan, indien deze ook in de preparatie en bij oefeningen een rol spelen, een hulpmiddel

zijn in de effectieve en eenduidige communicatie van maatregelafstanden van en naar ongevalmanagement en hulpverleningsdiensten.

In Tabel 9 is een voorstel gegeven voor een samenhangende set van maatregelklassen die met een geleidelijke gradatie van elkaar verschillen: klasse I is daarbij de reguliere situatie, en klasse X die voor de zwaarst denkbare ongevallen. In de laatste kolom van de tabel staat voor elk van de centrales in of nabij Nederland aangegeven welke maatregelklasse overeenkomt met het referentiescenario (STC-CON1 waarbij 68% van de weersituaties zijn afgedekt).

Tabel 9: Classificatietabel maatregelzones algemeen. Alle afstanden zijn in kilometers en stellen de straal van een maatregelzone voor.

Evacuatie	Jodiumprofylaxe	Schuilen	Maatregelklasse	Referentiescenario
10	50	100	X	
10	40	80	IX	
7	32	65	VIII	
5	25	50	VII	Emsland
4	20	40	VI	Doel
4	15	30	V	
2	10	20	IV	Borssele
2	5	10	III	
2	2	5	II	
0	0	0	I (regulier)	

In Tabel 10 staat beschreven hoe de berekende afstanden uit de gekozen scenario's vertaald kunnen worden naar de gedefinieerde maatregelklassen. Voor de bronterm STC-CON1 toegepast op kerncentrale Borssele, voor 68% van de weersituaties bijvoorbeeld, is te zien hoe de resulterende afstanden (2, 11 en 17 kilometer voor evacuatie, jodiumprofylaxe en schuilen respectievelijk) aansluiten op maatregelklasse IV, die correspondeert met maatregelafstanden van 2, 10 en 20 kilometer.

Niet voor elk scenario past de classificatie perfect. Soms is daarom een pragmatische keuze gemaakt bij de vertaling van berekende afstanden naar algemene maatregelklasse.

Tabel 10: Classificatietabel maatregelzones: vertaling van ongevallen naar categorieën. Alle afstanden zijn in kilometers.

Evacuatie	Jodiumprofylaxe	Schuilen	Maatregelklasse	Ongeval
2	11	17	IV	Borssele STC-CON1 68%
2	5	21	III	Borssele STC3 68%
4	20	39	VI	Doel STC-CON1 68%
4	19	33	VI	Borssele STC-CON1 95%
4	35	42	VII	Borssele PWR5 68%
5	30	52	VII	Emsland STC-CON1 68%
4	8	35	V	Borssele STC3 95%
7	35	66	VIII	Doel STC-CON1 95%
9	48	94	X	Emsland STC-CON1 95%

De resultaten zijn op twee verschillende manieren te gebruiken. Ten eerste kunnen ze gebruikt worden als organisatiezones voor specifieke rampenplannen van gemeentes die zich in de buurt van de centrales bevinden; specifiek gaat het dan over ongevalsclassen VII, VI en IV voor respectievelijk Emsland, Doel en Borssele – de referentiescenario's uit de laatste kolom van Tabel 9. Bijvoorbeeld: in de buurt van de kerncentrale Borssele bevindt zich een gemeente die in een rampenplan de maatregelen baseert op ongevalsklasse IV. Hierbij zijn de organisatiezones gebaseerd op de maatramp STC-CON1 en een dekkingpercentage van 68%. Een vergelijking tussen deze organisatiezones en de zones uit het NPK [1] laat zien dat de lagere interventieniveaus nagenoeg gecompenseerd worden door de kleinere maatramp.

Ten tweede geeft deze tabel een handvat voor instanties zoals gemeentes en hulpdiensten om, in het geval van een nucleaire calamiteit, eenduidige afspraken te kunnen maken over de te nemen maatregelen. In geval van een calamiteit wordt dan bijvoorbeeld de ongevalsklasse V vermeld - eventueel in combinatie met een windrichting - zodat men weet in welk gebied maatregelen getroffen moeten worden.

5 Conclusies

In deze studie zijn berekeningen uitgevoerd om de omvang van maatregelzones te bepalen voor jodiumprofylaxe, schuilen en evacuatie voor de kerncentrales Borssele, Doel en Emsland. Uit deze resultaten is vervolgens een classificatie opgesteld van maatregelzones. Deze classificatie dient twee doelen. Enerzijds is ze bedoeld voor overheden om zich te kunnen voorbereiden op een potentiële calamiteit, en anderzijds is ze geschikt voor hulpdiensten en overheden om op het moment van een ongeval een eenduidig hulpmiddel te hebben voor acuut te nemen maatregelen.

De opdrachtgever voor deze studie is het ministerie van VROM, dat heeft aangegeven de interventieniveaus te willen verlagen teneinde beter aan te sluiten bij de niveaus van de ons omringende landen. Bovendien is de maatrap, die in het verleden is gebruikt om rampenplannen op te baseren, verouderd. Het blijkt uit onze berekeningen dat het verlagen van de interventieniveaus de aanpassing van de maatrap grotendeels compenseert als men de grootte van de maatregelzones beschouwt.

De systematiek voor de bepaling van de nieuwe maatrap komt in dit rapport uitvoerig aan bod. Zij is geconstrueerd op een zodanige manier dat de kans van voorkomen op een zwaardere ramp dan deze, minder dan 10^{-7} per jaar bedraagt. In vergelijking met de oorspronkelijke maatrap, PWR-5, kan gezegd worden dat de maatrap voor jodium een factor 3 minder ernstig is geworden, hoewel dit niet voor alle nuclidegroepen geldt. Aan de andere kant kan men stellen dat de cumulatieve kans van voorkomen op de maatrap 2 à 3 ordes van grootte is verminderd, als men de meest recente veiligheidsstudies van kerncentrale Borssele vergelijkt met de veiligheidsstudies waar de oorspronkelijke maatrap in voorkwam.

Luchtverspreiding van radioactief materiaal heeft met vele onzekerheden te kampen. Met de onzekerheid ingebracht door de veranderlijkheid van het weer zijn we omgegaan door de omvang van de maatregelzones niet te baseren op één gemiddelde weersituatie maar op een statistische verdeling van realistische weersomstandigheden.

Deze methodiek is uit te breiden naar meerdere locaties in en rond Nederland, zoals Tihange en Petten. Bovendien kan gedacht worden aan het doorrekenen van alle bekende brontermen van de verschillende kerncentrales om deze brontermen te kunnen plaatsen in de maatregelclassificatie.

Literatuur

- [1] NPK: Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding, Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21015, nr. 3.
- [2] Leenders, MEC, Kok, YS, Reinen, HAJM, Zuur, C. *Jodiumprofylaxe bij kernongevallen*. RIVM rapport 348804004/2004, Bilthoven, 2004.
- [3] Bader, S, Eleveld, H *Inventarisatie van maatregelzones voor jodiumprofylaxe bij kernongevallen bij verschillende maatscenario's en interventieniveaus*, RIVM/LSO briefrapport 541/05, Bilthoven 2005.
- [4] Verver, GHL, de Leeuw, FAAM, van Rheineck-Leyssius, HJ. *Description of the RIVM/KNMI puff dispersion model*. RIVM rapport 222501001, Bilthoven, 1990. KNMI, Publicatie 177, De Bilt, 1990.
- [5] Eleveld, H *Improvement of atmospheric dispersion models using RIVM's Model Validation Tool*, Proceedings of 8th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes. 14-17 October 2002, Sofia, Bulgaria, 29-33.
- [6] International Commission of Radiological Protection. *Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4 and 5*. ICRP-71/72 Annals of the ICRP Volume 25/3. 1996
- [7] Kocher DC, 1983. *Dose-Rate Conversion Factors for External Exposure to Photons and Electrons*. Health Physics 45:665-686.
- [8] WASH-1400, *Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants*, NUREG-75/014, 1975.
- [9] Scheepers, MJJ, Seebregts, AJ, Lako P, Blom, FJ, van Gemert, F. *Fact Finding Kernenergie*. ECN rapport 2007
- [10] *Personal Communication*. Ciska Zuur, Ministerie van VROM/SAS
- [11] *Optimalisatie splijstof kernenergie-eenheid centrale Borssele*. Milieu-effectrapport. KEMA Ref. 64378-KES/MAD, Arnhem 1996.
- [12] *Modificatie kernenergie-eenheid centrale Borssele*. Milieu-effectrapport. KEMA Ref. 53388-KET, Arnhem 1993.
- [13] Stuurgroep Project Herbezinning. *Ernstige reactorongevallen opnieuw bezien: de bronterm*. Rapport SPH-03-01.
- [14] *Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen*, SSK, 2003
- [15] Smetsers, R. *Radiologische basiskennis Kernongevallenbestrijding*, RIVM, Bilthoven, 2005.

Bijlage

Lijst van gebruikte afkortingen en begrippen

IAEA	International Atomic Energy Agency.
Interventieniveau	Getalswaarde van een dosis, die bij overschrijding een interventie vereist.
KCB	Kerncentrale Borssele.
(L)PSA	(Living) Probabilistic Safety Assessment. De algemeen gehanteerde methodiek om risicoanalyses van kerncentrales uit te voeren op basis van frequenties van mogelijke ongevallen met centrales.
Maatregelafstand	De straal van de maatregelzone; de maximale afstand vanaf een kerncentrale waar de dosis het interventieniveau nog overschrijdt.
Maatregelzone	Zone rond een kerncentrale waar maatregelen genomen worden.
Maatramp	Kernongeval dat als referentie dient om de preparatie van maatregelen op te baseren.
NPK	Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding.
STC-3	Bronterm uit de LPSA 97 studie. In dit scenario vindt 4 uur na het kernongeval een lozing van onder meer 0,3% van de jodiumisotopen uit de kerninventaris plaats gedurende 1 uur.
STC-CON1	Geconstrueerde bronterm. In dit scenario vindt 24 uur na het kernongeval een lozing van onder meer 1% van de jodiumisotopen uit de kerninventaris plaats gedurende 4 uur.
PWR-5	Bronterm voor een Pressurized Water Reactor, die in Nederland als maatgevend geldt. In dit scenario vindt 2 uur na het kernongeval een lozing van onder meer 3% van de jodiumisotopen uit de kerninventaris plaats gedurende 4 uur.
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
WASH-1400	Amerikaanse reactorveiligheidsstudie uit 1975 met beschrijvingen van de verschillende brontermen voor de PWR, waaronder de PWR-5.

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Laboratorium
voor Stralingsonderzoek

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl