

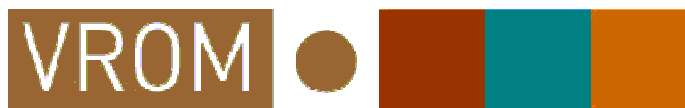
RIVM rapport 348804004/2004

**Jodiumprofylaxe bij kernongevallen**

MEC Leenders, YS Kok, HAJM Reinen, C Zuur



**LSO**



Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het ministerie van VWS, in het kader van project 348804, Medische Aspecten Ioniserende Straling

## Voorwoord

In het kader van de revitalisatie NPK (RNPK) is het onderwerp jodiumprofylaxe opnieuw op de agenda gekomen. Zowel het moment waarop jodiumtabletten zouden moeten worden verstrekt en ingenomen, als de opslag van jodiumtabletten komen daarbij aan de orde. Aangezien in Nederland de jodiumtabletten gecentraliseerd opgeslagen liggen, was het nodig inzicht te krijgen in de wenselijkheid en mogelijkheid voor meer gedecentraliseerde opslag of wellicht ook predistributie bij huishoudens en scholen. Dit alles in de geest van deze tijd, waarin meer en meer de nadruk ligt op voorzorg. Hierbij moet worden opgemerkt dat de kans op een ongeval waarbij deze tabletten moeten worden ingenomen door de diverse nieuwe veiligheidssystemen in de kerncentrales afgenomen is.

De afdeling crisisbeheersing van het ministerie van VWS heeft daarom een opdracht verstrekt aan het NVIC, met uitdrukkelijk verzoek tot samenwerking met het ministerie van VROM, waarin over diverse aspecten van jodiumprofylaxe een advies wordt gevraagd. Dit heeft geleid tot het instellen van een interdepartementale werkgroep jodiumprofylaxe (IDOJOP) bestaande uit:

MEC Leenders, anesthesioloog, Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum van het RIVM, C Zuur, arts, ministerie van VROM, SAS/SNB,  
Dr. HAJM Reinen en dr. YS Kok, Laboratorium voor Stralingsonderzoek van het RIVM.

Het voorliggend rapport is het resultaat van deze samenwerking en is, na herziening, aangeboden aan de heer AH Zwennes, afdeling Crisisbeheersing van het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport. Op basis hiervan zal in overleg met het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties een aan de huidige tijd aangepast systeem van decentralisatie van de opslag en predistributie van jodiumtabletten worden opgezet.

Utrecht, november 2004

MEC Leenders, C Zuur, YS Kok en HAJM Reinen

## Rapport in het kort

In 1999 is in Nederland begonnen met de revisie van het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding. Hierbij hoort ook de herziening van de aanbevelingen betreffende jodiumprofylaxe bij het vrijkomen van radioactief jodium. Dit rapport bevat een strategie voor de Nederlandse situatie, waarvoor een dreigingsanalyse is uitgevoerd. Op basis van scenario's en brontermen zijn afstanden berekend rond een kerncentrale waar de schildklierdosis voor kinderen ten gevolge van radioactief jodium zo hoog zou worden dat profylaxe aanbevolen wordt (interventieniveau). Dit is berekend voor de kerncentrales van Borssele (Nederland), Doel (België) en Emsland (Duitsland). Er zijn per kerncentrale twee zones gedefinieerd: één waar wordt aanbevolen de kaliumjodaattabletten voor te verdelen en een tweede daaromheen waar de tabletten decentraal kunnen worden opgeslagen bij huisartsenposten, apotheken en drogisten en Gemeenschappelijke Gezondheids Diensten (GGDen) of Geneeskundige Hulpverlening bij Ongevallen en Rampen (GHOR)

## **Abstract**

In 1999 the Dutch government made a start on the revision of the National Nuclear Emergency Response Plan. This revision includes recommendations for iodine prophylaxis in case of a radioactive iodine release. The strategy set out for the Dutch situation will be described here. The first step was to carry out a threat analysis to calculate the area around nuclear power plants, where thyroid doses for children are sufficiently high as to warrant iodine prophylaxis. Calculations were based on scenarios and source terms. Analyses were conducted for accidental releases of the power plants of Borssele (the Netherlands), Doel (Belgium) and Emsland (Germany). Two zones were defined for each nuclear power plant: one in the direct vicinity of the power plant and a second one, forming a circle around the first zone. In the first zone predistribution of iodine tablets is advocated. In the second zone, around the first one, we advise local storage at offices of general practitioners, pharmacies, drugstores and municipal health services (GGDs) and at medical accident and disaster assistance service points (GHORs).

# Inhoud

<b>Samenvatting</b> .....	<b>7</b>
<b>Summary</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>11</b>
<b>2 Achtergrond</b> .....	<b>13</b>
<b>3 Risico van radioactief jodium en interventiewaarde</b> .....	<b>15</b>
3.1 Risico van radioactief jodium.....	15
3.2 Risico van stabiel jodium.....	16
3.3 Interventiewaarde voor jodiumprofylaxe.....	16
3.4 Responstijd.....	17
3.5 Tijdstip van toediening.....	17
<b>4 Dreigingsanalyse</b> .....	<b>19</b>
4.1 Modellerings.....	19
4.1.1 Verspreidingsmodellerings.....	19
4.1.2 Afstandsbepaling.....	19
4.1.3 Dosisbepaling.....	20
4.1.4 Bijdrage van <sup>131</sup> I.....	20
4.1.5 Kinderdosis versus volwassenendosis.....	20
4.1.6 Reductiefactoren voor inhalatie door schuilen.....	21
4.2 Meteorologie 2003.....	21
4.3 Methodiek.....	21
4.4 Resultaten voor dosisafstanden.....	22
4.4.1 Huidige NPK-interventieniveaus.....	22
4.4.2 Overname benadering en maatregelen buurland.....	22
4.4.3 Alternatieve benadering.....	24
4.5 Kleinere nucleaire of radiologische ongevallen.....	25
4.5.1 Onderzoekslocatie Petten (OLP).....	25
4.5.2 Schepen met kernreactoren.....	25
4.5.3 “Vuile” bommen.....	26
<b>5 Distributieplan</b> .....	<b>27</b>
5.1 Zonering.....	27
5.1.1 Huidige NPK-interventieniveaus.....	27
5.1.2 Overname maatregelen buurland.....	29
5.1.3 Alternatieve benadering.....	30
5.2 Predistributie.....	32
5.3 Decentrale opslag.....	32
5.4 Verschillende bevolkingsgroepen.....	33
5.5 Voor- en nadelen van predistributie.....	34
<b>6 Tabletten</b> .....	<b>35</b>
6.1 Dosering.....	35
6.2 Verpakkingsvorm.....	35

---

<b>7 Conclusies en aanbevelingen</b> .....	<b>37</b>
<b>Literatuur</b> .....	<b>39</b>
<b>Bijlage 1 Afkortingen- en begrippenlijst</b> .....	<b>40</b>
<b>Bijlage 2 Dosisafstandenmethodiek</b> .....	<b>42</b>
<b>Bijlage 3 Kinetiek van jodium in het lichaam</b> .....	<b>44</b>
<b>Bijlage 4 Distributie in Duitsland en België</b> .....	<b>48</b>
<b>Bijlage 5 Tekst bijsluiters jodiumprofylaxe</b> .....	<b>50</b>
B5.1 Bijsluiters voor de bevolking.....	50
B5.2 Bijsluiters voor artsen.....	53

## Samenvatting

In het kader van de vernieuwing van het Nationaal Plan voor de Kernongevallen-bestrijding heeft het RIVM in samenwerking met het ministerie van VROM een advies geschreven over jodiumprofylaxe in Nederland. Het advies wordt gegeven voor de situatie op Nederlands grondgebied bij een ongeval met de kerncentrale van Borssele, Doel (België) of Emsland (Duitsland).

Jodiumprofylaxe bestaat uit het toedienen van een jodiumtablet om schildklierkanker te voorkomen, wanneer er radioactief jodium vrijkomt uit een kerncentrale. De kans op schildklierkanker is vooral verhoogd bij kinderen jonger dan 5 jaar. De kinderschildklier krijgt bij eenzelfde luchtconcentratie radioactief jodium namelijk een hogere dosis dan de schildklier van een volwassene. Bovendien is de schildklier van een kind kleiner zodat de straling de kwetsbare cellen beter bereikt. Het is daarom belangrijk dat jonge kinderen op tijd een jodiumtablet krijgen.

Het RIVM voerde een dreigingsanalyse uit om de grootte van het gebied rond een kerncentrale te bepalen waarin jodiumprofylaxe zinvol zou zijn. Met de resultaten van die dreigingsanalyse zijn twee zones gedefinieerd. Voor de eerste zone, een gebied direct rond de kerncentrale bevelen wij voorverdeling van kaliumjodaatabletten aan. Voor de tweede zone, om de eerste heen, bevelen we decentrale opslag van kaliumjodaatabletten aan bij huisartsenposten, apotheken, drogisten en de GHOR of GGD.

Om de grootte van de zones te bepalen is met drie verschillende scenario's gerekend. Het eerste scenario is het momenteel in Nederland geldende scenario, PWR-5. Het tweede scenario gaat uit van de gegevens zoals die in België en Duitsland bij een kernongeval worden gebruikt. Het derde scenario is een nieuw ontwikkeld scenario omdat enerzijds de kerncentrales veiliger zijn geworden, anderzijds de landen om ons heen bij een lagere dosis tot jodiumprofylaxe zullen overgaan. In het nieuwe scenario is de tijd tussen de melding van een dreigende ramp en het uiteindelijk vrijkomen van radioactieve stoffen uit de kerncentrale verlengd naar 24 uur (dit is nu 2 uur) en betreft de lozing 1% van alle jodium uit de kerninventaris (dat is nu 3%). Ook is in dit scenario het niveau waarbij wordt overgegaan tot jodiumprofylaxe verlaagd naar 100 mSv (dat is nu 500 mSv).

Het eerste scenario levert voor de predistributie een gebied van 10 tot 20 km rond de verschillende kerncentrales op, afhankelijk van het vermogen van de centrale. Daaromheen zouden in een zone van maximaal 20 km decentraal kaliumjodaatabletten moeten worden opgeslagen. Het tweede scenario geeft een zone van 5 tot 15 km voor predistributie in Nederland, en voor de centrale van Emsland, een gebied van 75 km hieromheen voor decentrale opslag. Bij het derde scenario zou het gebied voor predistributie maximaal 25 km groot zijn en de zone voor decentrale opslag nog eens 20 km extra.

In Nederland zijn voor jodiumprofylaxe kaliumjodaatabletten aanwezig van 170 mg per tablet, die 100 mg jodium bevatten. Dit is voldoende voor een volwassene. Ze zijn verpakt in strips met 10 tabletten. Wanneer nieuwe tabletten moeten worden besteld is het beter deze per stuk te verpakken. Om binnendringen van vocht te voorkomen zou de nieuwe verpakking het best aan beide zijden van aluminium kunnen zijn.

In de bijlagen wordt relevante achtergrondinformatie gegeven. Dit betreft de methode om de dosisafstand te berekenen, de verdeling van jodiumtabletten in België en Duitsland en de ki-

netiek van jodium in het lichaam. Ook is er een bijsluitertekst voor de bevolking geschreven en een uitgebreidere tekst voor artsen.



## Summary

This iodine prophylaxis strategy has been set by the NIPHE in cooperation with the Ministry of VROM as part of the revitalisation of the National Nuclear Emergency Response Plan in case of an accident at the nuclear power plants of Borssele (the Netherlands), Doel (Belgium) and Emsland (Germany).

Iodine prophylaxis ensures a supply of stable iodine to treat people exposed to radioactive iodine released as nuclear fallout during an accident at a nuclear power plant; this is to prevent the occurrence of carcinoma of the thyroid later on. The risk of getting thyroid carcinoma after inhalation of radioactive iodine is highest in children under 5 years of age. Assuming that the air concentration of radioactive iodine is the same, a child's thyroid will receive a higher dose than an adult's. Furthermore, the thyroid of a child is smaller so radiation will reach the vulnerable cells more easily. Obviously, prophylaxis is most useful for young children.

NIPHE performed a threat analysis to define the area around the nuclear power plant where iodine prophylaxis would be beneficial. Using the results of this threat analysis, two zones were defined. For the first zone, an area directly around the nuclear power plant, we recommend predistribution of stable iodine to individual households. For the second zone, situated around the first one, we advise local storage of stable iodine at offices of general practitioners, pharmacies and drugstores and at municipal health services (GGDs) and medical accident and disaster assistance service points (GHORs).

To determine the size of the zones, calculations were made on the basis of three different scenarios. The first scenario, PWR-5, is the one currently in use in the Netherlands. The second scenario starts from the specifications, which will be used in Belgium and Germany in case of a nuclear accident. These countries have nuclear power plants near the Dutch border. The third scenario is a newly developed scenario because the neighbouring countries will proceed to apply iodine prophylaxis at a lower radiation level and nuclear power plants have become safer. In this new scenario, the time between announcing a threatening disaster and the actual release of radioactive material from the nuclear power plant is extended to 24 hours (compared to 2 hours in the current scenario). Material released will contain 1% of all the radioactive iodine of the nuclear core (now 3%). The level for advocating iodine prophylaxis is lowered to 100 mSv (instead of 500 mSv).

The first scenario results in an area of predistribution of 10 to 20 km around the different nuclear power plants, depending on the power of the plant. Around this zone, potassium iodate tablets should be locally stored within a maximum radius of 20 km. In the second scenario the zone for predistribution on Dutch territory is 5 to 15 km; for the Emsland nuclear power plant, the area of decentralized storage comes to another 75 km. In the third scenario, the zone for predistribution will be 25 km at most, and the zone for decentralized storage would add another 20 km.

The iodine tablets available in the Netherlands currently contain 170 mg of potassium iodate, equivalent to 100 mg of stable iodine. This is sufficient for an adult. Tablets are packed in blister packs of ten. New tablets should be packed in one-tablet blisters. To prevent moisture entering the new package, both sides should preferably be made of aluminium.

Background information in the appendices deals with the method for calculating the dose-to-distances, the distribution of iodine-tablets in Belgium and Germany and the kinetics of iodine in the human body. Sample texts for an information leaflet for the general population and for health workers are also supplied.

# 1 Inleiding

In april 1986 vond er in Tsjernobyl in Oekraïne een ongeval met een kerncentrale plaats. Naar aanleiding van dit ongeval is in Nederland het Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding (NPK)<sup>1</sup> opgezet. In het kader van dit plan heeft de werkgroep Medische Maatregelen van het Project Kernongevallenbestrijding II in 1989 het rapport “Jodiumprofylaxe bij een ongeval met een kerncentrale”<sup>2</sup> uitgebracht.

De aanbevelingen van die werkgroep voor predistributie en decentrale opslag van kaliumjodaatabletten zijn destijds niet overgenomen en tot nu toe is er slechts één centrale opslag van kaliumjodaatabletten in Zoetermeer. Ten tijde van een calamiteit zullen de tabletten van hieruit moeten worden verspreid naar de benodigde locaties.

In dit rapport wordt in het kader van de revitalisatie van het NPK de distributieproblematiek opnieuw beschouwd. Allereerst wordt kort ingegaan op de achtergronden van het huidige beleid (hoofdstuk 2). Vervolgens worden de risico's van radioactieve jodiumisotopen en de beschikbare tijd om te reageren na een ongeval gegeven (hoofdstuk 3). Daarna worden op basis van een dreigingsanalyse zones berekend waarbinnen jodiumtabletten nu reeds zouden moeten worden verspreid onder de bevolking en waarbinnen gedecentraliseerde opslag nodig en voldoende is (hoofdstuk 4 en 5). Ook worden aanbevelingen gedaan over de dosering en verpakking van de tabletten (hoofdstuk 6). Hoofdstuk 7 bevat de conclusies en aanbevelingen.

In de bijlagen wordt ingegaan op de technische achtergronden van deze aanbevelingen (bijlagen 2 en 3) en op de situatie in Duitsland en België (bijlage 4). Ook wordt hier de tekst van een bijsluiter voor de tabletten gegeven, zowel voor leden van de bevolking als voor artsen.



## 2 Achtergrond

Voor het ongeval in de kerncentrale te Tsjernobyl waren er enkel zeer lokaal rampenplannen rondom de kerncentrales voorhanden. Er waren jodiumtabletten voor de werknemers in de centrale zelf en voor de meest directe hulpverleners beschikbaar. Het ongeval in Tsjernobyl maakte duidelijk dat met de huidige acceptabel geachte risico's er veel beter uitgewerkte ongevalbestrijdingsplannen zouden moeten komen. Ook voor leden van de bevolking zouden jodiumtabletten beschikbaar moeten zijn.

In 1989 was een geheel nieuw Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding (NPK) gereed. Daarin werden bepaalde zones voorgeschreven waarbinnen de organisatie van de ongevalbestrijding tot in detail zou moeten worden voorbereid (organisatiezones). Ook werden daarin dosisniveaus voorgesteld waarbij leden van de bevolking beschermd zouden moeten worden tegen de radionucliden die door het ongeval in het milieu terecht zouden komen. Dit werden interventieniveaus genoemd. Op basis van deze niveaus en van een ongevalscenario werden zones bepaald waarbinnen men zou kunnen verwachten dat deze maatregelen nodig zouden kunnen zijn (maatregelzones).

De kerncentrales in Nederland en de centrales in de buurlanden zijn niet alle van hetzelfde type en ook niet even groot. In Nederland levert Borssele circa 450 megawatt elektriciteit (MWe). In Doel staan vier centrales waarvan er twee ongeveer evenveel leveren als de centrale van Borssele en de andere twee centrales ieder twee keer zo veel. De centrale in Emsland levert ongeveer 1300 MWe. De researchcentrales in Nederland zijn veel kleiner en zijn niet bedoeld voor grootschalige energie opwekking.

Vele landen hebben een eigen rampenplan ontwikkeld, wat geresulteerd heeft in een verschillende aanpak. Aangezien een aantal kerncentrales in een grensgebied zijn gebouwd, zou dit een andere wijze van ingrijpen kunnen geven aan beide zijden van een grens. Daarom is ook de aanpak van buurlanden van belang.

### *Bronterm*

In 1987 heeft een onafhankelijk International Atomic Energy Agency (IAEA)-onderzoeksteam de veiligheid van de kerncentrale te Borssele onderzocht. Zij bevelen aan de plannen voor ongevalbestrijding te baseren op een van drie met name genoemde scenario's, inclusief brontermen. De overheid heeft voor het NPK gekozen voor het meest ernstige daarvan, het zogenoemde PWR-5 scenario (WASH-1400)<sup>3</sup>.

Een bronterm beschrijft de hoeveelheid, timing en wijze van lozing van de vrijkomende stoffen bij een ongeval. Het PWR-5 scenario houdt in dat 2 uur nadat een ongeval onvermijdelijk lijkt en gemeld wordt, er gedurende 4 uur 3% van de jodiumisotopen uit de kerninventaris geloosd wordt. PWR-5 is in Nederland gekozen als maatrap en voor het NPK gebruikt voor de berekening van de dosisafstanden. Daarbij is tevens uitgegaan van één weertype, namelijk stabiliteitsklasse D volgens Pasquill met een windsnelheid van  $4 \text{ m.s}^{-1}$ . Over de benaderingen gebruikt voor het NPK zijn zowel bij de bronterm, het weertype en de interventieniveaus kanttekeningen te plaatsen.

Sinds 1986 zijn alle kerncentrales in West-Europa er qua veiligheidsniveau door diverse aanpassingen zeer op vooruit gegaan. Voor de kerncentrale Borssele (KCB) zijn de mogelijke brontermgroepen beschreven in de Milieu Effect Rapportage (MER) van EPZ. Uit deze MER kan worden geconcludeerd dat er twee brontermgroepen (met nummer 15 en 16) zijn die een

frequentie van voorkomen hebben waarmee bij de planning van de ongevalsbestrijding rekening gehouden zou kunnen worden, namelijk ongeveer  $1 \times 10^{-6}$  per jaar. Alle andere brontermgroepen hebben een kans die 10 tot 10.000 maal lager ligt<sup>4</sup>. Bij genoemde brontermgroepen variëren de lozingsfracties van de jodiumgroep van 0,065% tot  $10^{-6}$ %. Bovendien wordt hierbij de vrijzetting van radioactief materiaal opgehouden gedurende meerdere uren tot zelfs dagen. Hogere jodiumfracties zullen vrijwel steeds door ongecontroleerde lozingen plaats vinden, dat wil zeggen buiten het filter om.

Het voorgaande pleit ervoor het scenario dat de basis vormt voor alle plannen, het zogenoemde maatscenario, aan te passen en een scenario te kiezen dat nog enige kans van voorkomen heeft, zoals eens in de miljoen jaar. Om ook zicht te krijgen op de gevolgen voor de maatregel jodiumprofylaxe, is vooruitlopend op deze eventuele wijziging in dit rapport ook een alternatief scenario doorgerekend met een kleinere lozingsfractie van de jodiumgroep en een vertraging van de lozing.

#### *Weertype*

Destijds ging men uit van één weertype, omdat meteorologische gegevens niet in zo'n hoge frequentie beschikbaar waren. Tegenwoordig is het mogelijk om de verschillende weertypen ten tijde van het ongeval bij de berekeningen te incorporeren. Bovendien geeft dit een meer realistische benadering voor de preparatie dan vroeger.

#### *Interventieniveaus*

Op dit moment staan ook de interventieniveaus (IN) voor maatregelen, waaronder jodiumprofylaxe, ter discussie. In het NPK is op basis van de toenmalige kennis een IN van 1000 mSv schildklierdosis voor volwassenen ( $H_{th-volw}$ ) en een van 500 mSv schildklierdosis voor kinderen ( $H_{th-kk}$ ) opgenomen. Echter, nu er kinderen rondom Tsjernobyl schildklierkanker hebben gekregen, hebben vele landen en organisaties hun waarde verlaagd. Onder druk hiervan wordt nu in Nederland een waarde van 100 mSv  $H_{th-kk}$  overwogen (zie 4.4.3). Het tot nu toe bekende aantal gevallen van schildklierkanker bij kinderen komt wel overeen met het reeds jaren bekende risicogetal van de International Commission on Radiological Protection (ICRP).

#### *Buurlanden*

Zowel Duitsland als België hanteren andere verspreidingsmodellen en ook andere condities, maar het meest in het oog lopend zijn de verschillen in interventieniveaus. Deze verschillen zullen tot een verschillende aanpak leiden en bij de bevolking veel onbegrip en onrust geven. Daarom is binnen het RNPk reeds een interim standpunt ingenomen dat in het geval van een ongeval in de grensstreek, Nederland in principe de maatregelen van het land waarin het ongeval plaatsvindt – voorzover relevant – zal overnemen, ook al zouden volgens de Nederlandse afspraken bij een dergelijk ongeval andere maatregelen genomen worden.

Al deze aspecten hebben erin geresulteerd dat naast de benadering waarop het NPK is gebaseerd er in dit rapport ook berekeningen zijn gedaan met de Duitse en Belgische benaderingen en met een alternatieve, meer up-to-date benadering, ook al is deze (nog) niet officieel door de overheid overgenomen.

### 3 Risico van radioactief jodium en interventiewaarde

In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens ingegaan op de risico's van inhalatie van radioactief jodium, de risico's van stabiel jodium (de jodiumtabletten), de tijd die beschikbaar is voor het uitdelen van de tabletten versus de gewenste blokkade van de schildklier en het meest geschikte tijdstip van toediening.

#### 3.1 Risico van radioactief jodium

Volgens de principes van de stralingsbeschermingsleer moeten er maatregelen genomen worden om de bevolking te beschermen wanneer ernstige deterministische effecten zouden kunnen optreden of wanneer er voor het individu grote risico's zijn op stochastische effecten. Deterministische effecten zijn relatief vroeg optredende orgaanfunctiestoornissen, in dit geval schildklierfunctiestoornissen en stochastische effecten zijn effecten op lange termijn, in dit geval schildkliertumoren.

De beschermende maatregelen moeten meer positieve dan negatieve effecten hebben ("do more good than harm") met andere woorden een maatregel moet te rechtvaardigen zijn gezien het effect. Daarnaast moeten ze de deterministische effecten zo mogelijk geheel voorkomen en de kans op stochastische effecten reduceren tot zo gering als redelijkerwijs mogelijk, waarbij nadrukkelijk economische en sociale factoren in aanmerking genomen moeten worden. Dit wordt het ALARA-principe genoemd: "As Low As Reasonably Achievable, economical and social factors taken into account."

Inname van radioactief jodium verhoogt de kans op het krijgen van schildklierkanker bij kinderen en jongeren. De toename van de kans is het grootst bij kinderen, die ten tijde van het binnenkrijgen van radioactief jodium jonger dan circa 10 jaar zijn. Bij volwassenen is de toename van de kans op schildklierkanker zeer gering en bij mensen boven 40 jaar is er geen verhoogd risico op schildklierkanker aangetoond. Om deze reden is jodiumprofylaxe voor personen boven de 40 jaar alleen zinvol bij het overschrijden van een zeer hoge dosis, namelijk 5 Gy. De toename van de kans op het krijgen van schildklierkanker is dan nog steeds zeer gering, maar schildklierfunctiestoornissen, dus deterministische effecten van radioactief jodium op de schildklier, zullen bij deze dosis optreden en moeten worden vermeden. Uit het voorgaande blijkt dat het geen voordelen heeft voor personen ouder dan 40 jaar om een jodiumtablet als profylaxe in te nemen. Het innemen heeft echter wel nadelen omdat op oudere leeftijd de schildklier gevoeliger is voor bijwerkingen ten gevolge van extra jodium, zoals schildklierfunctiestoornissen. Daarom wordt het innemen van jodiumtabletten aan personen ouder dan 40 jaar ontraden. Alleen oudere zwangere vrouwen moeten wel een jodiumtablet innemen om hun ongebooren kind te beschermen.

In de recente literatuur is een aantal artikelen verschenen over schildklierkanker na blootstelling aan externe straling. Een gecombineerde analyse van zeven studies van kinderen die om verschillende, medische redenen bestraald zijn en overlevenden van Hiroshima en Nagasaki geeft een risico voor kinderen onder de 15 jaar van 1,3% per Gy<sup>5</sup>. Follow up gegevens van kinderen na Tsjernobyl levert een risico van  $2 \times 10^{-4}$  per jaar per Gy<sup>6</sup>. Deze waarden komen overeen met het risico op kankerinductie volgens de ICRP<sup>7</sup>, namelijk minder dan 1% (0,75%) kankerincidentie bij 1 Gy. Aangezien deze tumoren momenteel zeer goed te behandelen zijn, is de sterfte ten gevolge van schildkliertumoren minder dan 5%. Deze getallen hebben betrekking op externe bestraling van de schildklier. Het optreden van schildkliertumoren ten

gevolge van  $^{131}\text{I}$ -inname is waarschijnlijk lager. De bevindingen in Tsjernobyl zijn hiermee niet in strijd. Bovendien was de dosimetrie aldaar slecht. In het algemeen wordt aangenomen dat de doses onderschat en daarmee de risicogetallen overschat zijn (onder andere door het gebruik van te grote schildkliermonitoren bij kinderen).

De jongste kinderen (< 5 jaar) lopen het hoogste risico en meisjes hebben een groter risico op schildklierkanker dan jongens. De onzekerheid van deze schattingen is ongeveer een factor 2 tot 5. De “normale” kans op het krijgen van schildklierkanker voor kinderen is 1 per miljoen kinderen per jaar. In Nederland krijgen er jaarlijks 400 kinderen tussen de 0 en 18 jaar een of andere vorm van kanker.

### 3.2 Risico van stabiel jodium

De mogelijke bijwerkingen van een eenmalige toediening van kaliumjodide en kaliumjodaat-tabletten zijn: misselijkheid (2%), huiduitslag (1%) en mogelijke anafylactische shock door jodiumovergevoeligheid. In gebieden waar voldoende jodium in de voeding zit, is er een kans op een struma of hypothyreoïdie. Mensen met een multinodulair struma, de ziekte van Graves (hyperthyreoïdie) en auto-immuun thyreoïditis hebben meer kans op schildklierfunctiestoornissen. Personen met een bekende jodium-allergie, dermatitis herpetiformis en hypocomplementemische vasculitis, moeten beslist geen jodiumtabletten innemen. Na herhaalde toediening zou er bij oudere mensen met een struma en jodiumgebrek een thyreotoxicose (veel te snel werkende schildklier) kunnen ontstaan.

De incidentie van ernstige bijwerkingen van jodiumprofylaxe met kaliumjodide- of kaliumjodaat-tabletten wordt geschat op minder dan 1 per 10 miljoen voor kinderen en minder dan 1 per miljoen voor volwassenen. Na het ongeluk in Tsjernobyl hebben in Polen 10,5 miljoen kinderen en 7 miljoen volwassenen kaliumjodidetabletten als profylaxe ingenomen. Hierbij traden bij de kinderen geen ernstige bijwerkingen op. Wel werden er incidenteel maagdarmlachten, met name misselijkheid, gerapporteerd en enige mate van huiduitslag. 0,37% van de pasgeborenen liet een kortdurende stijging van het thyroïd stimulerend hormoon (TSH) zien in combinatie met een daling van het vrije thyroxine (FT4). Hiervan zijn tot in 1993 geen blijvende effecten beschreven. Twee volwassenen, bekend met allergie voor jodium, vertoonden een ernstige allergische reactie. Beiden hebben het overleefd. De mate waarin personen voor jodium gesensibiliseerd worden (zodat ze bij een volgende keer, wanneer zij in contact komen met jodium, allergisch zullen reageren) is niet bekend.

### 3.3 Interventiewaarde voor jodiumprofylaxe

De tot dusverre gehanteerde interventieniveaus voor jodiumprofylaxe van 500 mSv kinderschilddklierdosis voor kinderen tot en met 16 jaar en 1000 mSv volwassenen schildklierdosis voor personen van 17 jaar en ouder staan onder druk. Op basis van de schildkliertumoren die in de omgeving van Tsjernobyl bij kinderen zijn opgetreden, hebben vele niet-gouvernementele organisaties en nationale overheden het interventieniveau voor jodiumprofylaxe verlaagd. Nederland heeft destijds bovengenoemde relatief hoge niveaus vastgesteld op dringend advies van endocrinologen. Deze achtten toen de kans op bijeffecten te hoog en het risico van schildkliertumoren te gering om bij lagere doses jodiumtabletten in te nemen.

Inmiddels zijn vele landen en organisaties overgegaan tot het verlagen van de interventieniveaus. Sommige hebben voor 100 mSv gekozen, sommige voor 50 mSv en een enkele deel-



organisatie voor 10 mSv schildklierdosis. Er wordt echter vaak niet vermeld of de dosis is berekend voor volwassenen of kinderen. De WHO heeft in een Europees rapport 10 mSv aangeraden, maar dit later (helaas nooit officieel gepubliceerd) teruggetrokken. Ook de niet-Europese afdelingen hebben de 10 mSv afgewezen. Om de volgende redenen worden 10 mSv en ook 50 mSv door het ministerie van VROM gezien als extreem laag:

- de onzekerheden van de dosimetrie zijn zo groot dat dit een dosis van nul tot 100 mSv kan inhouden,
- er zijn geen harde aanwijzingen dat beneden de 100 mSv schildklierkanker is opgetreden,
- 10 mSv / 50 mSv schildklierdosis voor kinderen is gelijk aan een effectieve dosis  $E$  van 0,5 / 2,5 mSv en zonder de afronding van de weefselweegfactor van 0,021 naar 0,05 zou dit 0,2 / 1 mSv zijn. De zeer veilig geachte dosislimiet voor leden van de bevolking is 1 mSv per jaar en mag volgens de ICRP in een enkel jaar 5 mSv zijn, mits het jaargemiddelde niet hoger is dan 1 mSv. Het niveau waarop jodiumprofylaxe gegeven zou moeten worden, zou dus lager zijn dan de jaarlijks toegestane dosis.

Aangezien kan worden aangenomen dat de politieke en sociale druk ten tijde van een ongeval om bij een lagere waarde in te grijpen groot zal zijn, wil het ministerie van VROM als de interventiewaarde 100 mSv kinderschildklierdosis voor gaan stellen. Deze waarde wordt ook door de IAEA en diverse Europese landen gehanteerd.

### 3.4 Responstijd

De responstijd is de tijd vanaf de melding dat er een ongeval dreigt, tot het moment dat het radioactief jodium de mensen daadwerkelijk bereikt. De vertragingstijd is de tijd tussen melding en lozing, deze tijd kan door ingrijpen in de centrale worden verlengd. Het tijdstip waarop de wolk de bevolking bereikt en waarbij de schildklierdosis de grens voor jodiumprofylaxe zou kunnen overschrijden, is niet als variabele gepresenteerd in de dreigingsanalyse in hoofdstuk 4. In de directe omgeving van de bron is er na het aanvangen van de lozing vrijwel geen tijd om te reageren. Het is daarom van belang te weten wanneer een lozing begint.

Afhankelijk van de gemiddelde windsnelheid kan een inschatting gemaakt worden van het tijdstip waarop de wolk arriveert. Bijvoorbeeld bij een windsnelheid van  $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  duurt het circa 4 uur om 50 km af te leggen. Een locatie op 10 km van de bron kan zelfs bij een zwakke wind (2 Beaufort) al bereikt zijn binnen een uur.

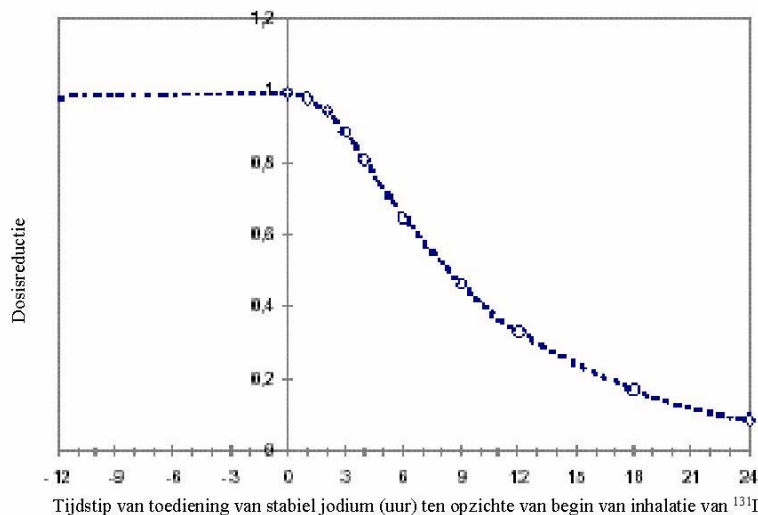
### 3.5 Tijdstip van toediening

Het effect van inname van de jodiumtabletten als profylaxe is afhankelijk van de relatie tot het tijdstip van blootstelling aan het radioactief jodium. Bij inname van het stabiel jodium binnen 24 uur voor de blootstelling treedt een vrijwel volledige blokkade van de opname van jodium en dus ook van radioactief jodium op doordat het stabiele jodium de schildklier verzadigt.

Tijdige inname bij gecentraliseerde opslag kan alleen wanneer geruime tijd van tevoren bekend is dat er blootstelling aan radioactief jodium zal plaatsvinden, bijvoorbeeld doordat er een ongeval met een kernenergiecentrale dreigt. De tabletten moeten in dat geval eerst naar de ongevalslocatie worden vervoerd en vervolgens nog uitgedeeld.

Het huidige scenario, PWR-5, gaat er van uit dat er slechts 2 uur is tussen de melding van een dreigend ongeval en het begin van de lozing van radioactieve stoffen. Wanneer de periode tussen melding en lozing langer duurt, is er meer tijd voor de verdeling van de jodiumtabletten en zal door radioactief verval een gedeelte van de radiumisotopen verdwenen zijn. Brontermen met een kans van voorkomen van minstens eens per miljoen jaar hebben een vertragingstijd van 72 uur of meer. Daarom is 24 uur uitstel meegenomen in het derde scenario (paragraaf 4.4.3 alternatief scenario).

De mate van blokkade vermindert wanneer de tablet wordt ingenomen nadat de blootstelling aangevangen is en daarmee de inhalatie van radioactief jodium reeds is begonnen. Daarna treedt door de inname van stabiel jodium alleen nog een verdunning op van de hoeveelheid radioactief jodium. Dat wil zeggen dat van de hoeveelheid jodium die de schildklier opneemt een kleiner deel radioactief zal zijn. Uit studies van onder anderen Ramsden en Sternthal<sup>2</sup> (zie tabel B3.1 bladzijde 47) blijkt dat nog 40% tot 60% van de opname van radioactief jodium wordt verhinderd wanneer stabiel jodium 6 uur na het begin van de inhalatie van radioactief jodium wordt ingenomen. Onderstaande figuur van de WHO (1999) laat dit ook zien<sup>8</sup>.



*Figuur 3.1 Dosisreductie van radioactief jodium in de schildklier als functie van de tijd waarop stabiel jodium is toegediend, gebaseerd op inhalatie van  $^{131}\text{I}$  gedurende 4 uur. Bron: WHO 1999.*

## 4 Dreigingsanalyse

In de huidige studie zijn de afstanden onderzocht waarbinnen de maatregel voor jodiumprofylaxe moet worden overwogen. Echter, niet uitgaande van één weertype zoals in het NPK, maar van de meteorologische condities van een heel jaar en de specifieke kenmerken van de kernenergiecentrale. Er is gebruik gemaakt van drie scenario's: PWR-5, de waarden die België en Duitsland hanteren en een alternatief scenario. Berekeningen zijn uitgevoerd voor de kerncentrales van Borssele, Doel en Emsland. De dreigingsanalyse dient als een gedetailleerde en statistische onderbouwing van een distributieplan en de daarin te maken keuzes.

Naast de grotere kernreactoren zijn er ook nog andere risico-objecten die bij ongevallen kunnen leiden tot een emissie van jodium; de Hoge-flux reactor (HFR) te Petten, de opslag van radiofarmaca bij Mallinckrodt en het transport hiervan, en nucleair aangedreven schepen die de havens van Rotterdam en Den Helder aandoen. Ook de gevolgen van ongevallen met deze objecten worden beschreven. In deze studie wordt er van uitgegaan dat terroristische acties met vuile bommen niet zullen leiden tot de maatregel jodiumprofylaxe.

### 4.1 Modelling

#### 4.1.1 Verspreidingsmodellering

Het in deze studie gebruikte verspreidingsmodel is een aangepaste versie van NPK-PUFF. Met dit model worden luchtconcentraties op tevoren bepaalde roosterpunten berekend. Het geldigheidsgebied van dit model loopt voor deze studie van ongeveer 10 km tot ongeveer 225 km van de bron, afhankelijk van het gekozen rooster (de gridresolutie). Beneden de ondergrens van het model, dus dicht bij de bron, zal de dosis waarschijnlijk het hoogst zijn. Daarom bevelen we voor dit gebied een maatregelzone aan. Afstanden groter dan 225 km omvatten bijna heel Nederland.

#### 4.1.2 Afstandsbepaling

Vanaf de bronlocatie wordt hemelsbreed de afstand berekend naar het punt waarop een dosis overschreden wordt. Er wordt bij de bepaling van de "dosisafstand" geen rekening gehouden met de richting waarin de uitkomst gevonden wordt. Zo kunnen de roosterpunten ook op de Noordzee of in het buitenland liggen.

De resolutie van het raster, waarop de berekeningen worden uitgevoerd, zorgt er voor dat de bereikte dosisafstand een onzekerheid heeft. Hoe fijner het grid, hoe exacter een bepaling van de afstand. Bovendien, daar er gezocht wordt naar een *overschrijding* van de dosis op een gridpunt, is de kans om een bepaalde dosiswaarde dicht te benaderen groter bij een fijnmaziger netwerk van roosterpunten. Een fijner grid kan dus grotere afstanden opleveren dan een grof grid. Echter, bij een verkleining van de gridafstand, zal de bovengrens van het geldigheidsgebied navenant afnemen. Een indicatie van de onzekerheid in de berekende afstanden, louter gerelateerd aan de afstandsbepaling met de hier gekozen gridresolutie, is in de orde van 5 tot 10%.

### 4.1.3 Dosisbepaling

Er wordt in deze studie alleen aan blootstelling via inhalatie gerekend. Ingestie van radioactieve jodiumisotopen, bijvoorbeeld door het eten van “radioactief besmette” groente, heeft ook een effect op de schildklierdosis, maar is niet opgenomen. Wij gaan er van uit dat deze effecten door (overheids-)maatregelen kunnen worden voorkomen.

### 4.1.4 Bijdrage van $^{131}\text{I}$

Het belangrijkste, bekendste nuclide uit de jodiumgroep van een kernreactor is  $^{131}\text{I}$ . Dit isotoop heeft een halfwaardetijd van acht dagen, wat aanzienlijk langer is dan de halfwaardetijden van de andere radioactieve jodiumisotopen die geloosd worden bij een ongevalscenario. Een ander voor de schildklierdosis belangrijk radionuclide, is  $^{132}\text{Te}$ . Dit vervalt met een halfwaardetijd van ruim drie dagen naar  $^{131}\text{I}$ . Ook dit isotoop draagt bij aan de hoeveelheid radioactief jodium die de schildklier zal belasten. Het blijkt dat de bijdrage van  $^{131}\text{I}$  aan de gehele schildklierdosis bij de specifieke verhouding van isotopen uit de PWR-5-bronterm een betrekkelijk constante waarde heeft, te weten 61%. Het aandeel van de andere isotopen wordt verdisconteerd door de schildklierdosis ten gevolge van de emissie van enkel  $^{131}\text{I}$  te delen door 0,61 om zo op de totale schildklierdosis uit te komen<sup>a</sup>. De zo verkregen waarde geeft een goed beeld van de dosis, maar de verschillende jodiumisotopen kunnen een andere inwerking hebben op de schildklier door het verschil in energie van de uitgezonden straling. Voor het doel van dit rapport is de gebruikte benadering voldoende nauwkeurig. Wanneer de lozing kan worden uitgesteld, zal de samenstelling van de nuclidengroep veranderen en het aandeel  $^{131}\text{I}$  hierin dus ook.

### 4.1.5 Kinderdosis versus volwassenendosis

Bij dezelfde luchtconcentratie radioactief jodium krijgt de kinderschildklier een hogere dosis dan de volwassen schildklier. Kinderen hebben een aanzienlijk kleinere schildklier, waardoor meer straling de kwetsbare delen van de cel kan bereiken. Bovendien is hun schildklier actiever en hebben zij een hogere ademfrequentie, maar een kleiner ademdebiet (de hoeveelheid lucht die per minuut wordt in- en uitgeademd). In totaal resulteert dit voor kinderen in een hogere getalswaarde van de zogenaamde dosiscoëfficiënt (DC), die het radiologisch effect van een hoeveelheid radioactiviteit beschrijft. In tabel 4.1 is het resultaat van deze verschillen voor het nuclide  $^{131}\text{I}$  gegeven voor volwassenen, 10-jarigen en 1-jarigen.

Tabel 4.1 Schildklierdosiscoëfficiënten voor  $^{131}\text{I}$  en debiet voor verschillende leeftijdsgroepen.

	Volwassene	10-jarige	1-jarige
Debiet [ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ]	$3,25 \cdot 10^{-4}$	$2,10 \cdot 10^{-4}$	$0,70 \cdot 10^{-4}$
Schildklier-DC [ $\text{Sv Bq}^{-1}$ ]	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
Product	$4,88 \cdot 10^{-11}$	$7,77 \cdot 10^{-11}$	$9,8 \cdot 10^{-11}$
Relatief (t.o.v. volw.)	1	1,6	2,0

Debietwaarden volgens Poley (1999)<sup>9</sup>

Dosiscoëfficiënten volgens ICRP-72<sup>10</sup>

<sup>a</sup> Er wordt hier vanuit gegaan dat de verschillende radio-isotopen een gelijke stralingsweegfactor  $w_R$  hebben. Deze factor bevat biologische informatie over de schade op celniveau. In werkelijkheid is de factor  $w_R$  van 1 zoals ICRP-60 voorschrijft slechts een gemiddelde waarde en kan voor verschillende jodiumisotopen een orde-grootte variëren.

Het blijkt dat bij gelijktijdig verblijf in dezelfde wolk van geloosde jodiumisotopen de schildklierdosis voor de meest kwetsbare groep, die van 1-jarige kinderen, circa twee maal zo hoog is als die voor een volwassene. In de tekst van het NPK wordt deze waarde ook gehanteerd. Er bestaat overigens in buitenlandse publicaties dikwijls onduidelijkheid of genoemde schildklierdoses kinderen<sup>b</sup> of volwassenen betreffen.

Evenals voor de berekeningen ten behoeve van het NPK wordt in de huidige studie uitgegaan van de schildklierdosis-berekeningen voor schuilende (1-jarige) kinderen, omdat dat de meest gevoelige groep is. De grootste dosisafstanden worden dan ook bereikt voor de 1-jarigen.

#### **4.1.6 Reductiefactoren voor inhalatie door schuilen**

In Nederland wordt er bij bepaling van de schildklierdosiswaarden waarbij jodiumprofylaxe-inname overwogen moet worden, vanuit gegaan dat de bevolking schuilt en de kinderen binnen houdt. Schuilen betekent binnen blijven en deuren en ramen dichthouden. De reductie die schuilen op de inhalatiecomponent heeft, loopt uiteen van een factor 3 (reductie 0,33), die het Energie Centrum Nederland (ECN) gebruikt heeft voor de resultaten in het NPK, tot weinig of geen effect. Een Franse studie<sup>11</sup> geeft een range van reductiefactoren van de inhalatiecomponent bij schuilen tussen 0,15 en 0,79. De mate van reductie hangt af van de tijdsduur van het schuilen tijdens het overtrekken van de wolk en de mate waarin radioactieve buitenlucht de woning kan binnenkomen (bepaald door isolatie en ventilatie van het huis). Als gemiddelde waarde is in de huidige studie uitgegaan van een reductie van 50% door schuilen.

### **4.2 Meteorologie 2003**

Het kenmerk van het eenvoudige verspreidingsmodel en de meteorologie zoals aangenomen voor het NPK, is dat de uitkomsten één waarde geven, alsof het weer altijd, dag en nacht, hetzelfde (gemiddelde) is. Voor de huidige dreigingsanalyse is met meteorologische gegevens over het gehele jaar 2003 gerekend met hierin zowel lozingen overdag als 's nachts. Het jaar 2003 was uitzonderlijk in de zin dat het records heeft gebroken op het gebied van zonnuren, warmte en droogte. De inhalatiecomponent was dus relatief hoger doordat er minder materiaal door natte depositie is verdwenen uit de lucht. In wezen is door de keuze voor het jaar 2003 een conservatieve schatting gemaakt (dat wil zeggen, leidend tot grotere gebieden).

### **4.3 Methodiek**

De honderden modelruns, met hierin lozingen die om de 10 uur starten, leveren inzicht in het bereik van de afstanden die een rol spelen bij de maatregel jodiumprofylaxe bij alle meteorologische omstandigheden van het jaar. Er is gekeken op welke afstanden van de bron de verschillende interventieniveaus voor 1-jarige, schuilende kinderen worden bereikt. Deze series uitkomsten van afstanden per scenario kunnen in een histogram worden afgebeeld. Uit de circa 875 waarden worden twee zones rond de verschillende bronnen afgeleid. De eerste zone omvat 68% van alle doorgerekende weersomstandigheden voor het jaar 2003. De tweede zone omvat 95% van de weersomstandigheden, en omringt de eerste 68%. De meest extreme 5% worden buiten beschouwing gelaten. In bijlage 2 wordt verder ingegaan op hoe de grootte van de 68%- en de 95%-zone wordt bepaald via de probabilistische aanpak.

<sup>b</sup> Er worden verschillende leeftijdsgroepen gebruikt: de groep kinderen kan zowel uit 18-, 16-, 14-, 10- als uit 1-jarigen bestaan.

## 4.4 Resultaten voor dosisafstanden

### 4.4.1 Huidige NPK-interventieniveaus

Het NPK hanteert tot op heden een interventiewaarde van 500 mSv voor kinderen die schuilen. In combinatie met het PWR-5-scenario vertaalt zich dit in een jodiumprofylaxezone, of beter afstand (hemelsbreed) tot de bron in kilometers, zoals weergegeven in tabel 4.2. Voor de centrales Doel en Emsland moet er rekening mee gehouden worden dat deze centrales respectievelijk 5 en 20 km van het Nederlands grondgebied liggen.

*Tabel 4.2 Maatregelzoning voor jodiumprofylaxe in kilometer afstand tot de centrale volgens NPK, aan de hand van bronterm PWR-5 en  $H_{th-kk}$   $IN=500$  mSv.*

Centrale	Afstand [km] tot centrale	Afstand [km] in Nederland*
Borssele (~450 MWe)	10	10
Doel (~1000 MWe)	15	10
Emsland (~1300 MWe)	15	0

\* Doel ligt circa 5 km van de Nederlandse grens; Emsland circa 20 km

De uitkomsten van de probabilistische berekeningen van de weersomstandigheden voor het jaar 2003 (tabel 4.3) kunnen worden vergeleken met de maatregelzones van het NPK voor de drie centrales uit tabel 4.2.

*Tabel 4.3 Maatregelzoning voor jodiumprofylaxe zoals berekend met de probabilistische methode aan de hand van bronterm PWR-5 en een schildklierdosis van 500 mSv voor schuilende 1-jarigen. Afstanden in kilometer tot de centrales.*

Centrale	68% [km]	95% [km]
Borssele	10*	16
Doel	23	39
Emsland	20	39

\* ondergrens van het model; zie tekst

Het model geeft alleen betrouwbare resultaten voor afstanden van meer dan 10 km. Volgens dit model zal voor kerncentrale Borssele in meer dan 68% van de gevallen het interventieniveau van 500 mSv bereikt worden binnen de 10 km. Het blijkt dat voor Borssele in 95% van de gevallen de maximale afstand binnen een straal van 16 km rond de bron ligt. Tabel 4.3 laat verder zien dat voor Doel en Emsland de 68%-waarden hoger uitvallen dan de huidige NPK-maatregelzones uit tabel 4.2. In Bijlage 2 wordt de modelrun voor Doel nader toegelicht. Verder blijkt dat de situatie waarin 95% van de meteorologische omstandigheden wordt gedekt ruwweg een verdubbeling van de maximaal bereikte afstand oplevert ten opzichte van 68% dekking.

### 4.4.2 Overname benadering en maatregelen buurland

Het RNPk interim standpunt gaat er van uit dat in Nederland de maatregelen worden overgenomen die het land waarin het ongeval heeft plaatsgevonden, afgekondigd heeft. In onze buurlanden gebruikt men niet het Nederlandse PWR-5 standaardscenario en bovendien hanteert men andere interventieniveaus. Om toch afstanden te kunnen berekenen is de buurlan-

den gevraagd naar een voor hun kerncentrale te hanteren scenario en zijn daarbij door hen gehanteerde interventieniveaus gebruikt. De scenario's en gebruikte parameters worden hieronder per land kort beschreven.

#### **4.4.2.1 België**

Kerncentrale Doel, met meerdere kernreactoren, ligt vlak bij de Nederlandse grens. De inventaris van de (grootste) kernreactor te Doel is ongeveer tweemaal zo groot als van de kerncentrale Borssele, dus zal er bij hantering van het PWR-5 scenario ongeveer twee maal zoveel materiaal uit het containment vrijgezet worden. Helaas is uit België tot het verschijnen van dit rapport geen nadere informatie ontvangen met betrekking tot een scenario voor Doel. Daarom is vooralsnog toch het PWR-5 scenario gebruikt waarbij het vermogen van deze reactor in acht is genomen. Een lozing uit de kerncentrale Tihange kan ook nog effecten hebben voor Nederland. Deze centrale ligt circa 40 km van Nederlands grondgebied.

In België wordt voor volwassenen tot 45 jaar en ook voor jeugd tot 18 jaar een interventieniveau van 50 mSv voor de schildklier voorgesteld. Evenals in Nederland wordt deze dosiswaarde bepaald op basis van het feit dat er geschuild wordt. In het Belgische plan is geen duidelijke reductiefactor genoemd, dus wordt uitgegaan van de eerdergenoemde 50%.

#### **4.4.2.2 Duitsland**

In Duitsland bestaat geen definitie van een maatrap, maar werd het hier toegepaste scenario gebruikt bij een rampenbestrijdingsoefening met de kerncentrale Emsland in 2002. Het scenario gaat uit van een lozing van 1,5% van de jodiumisotopen uit de Emslandse kerninventaris. Een belangrijk detail van de bronterm is dat er op grote hoogte geloosd wordt via de schoorsteen. Door de warmte is de effectieve lozingshoogte 177 m, waardoor het kan voorkomen dat de verspreiding van de radioactiviteit aanmerkelijk anders is. Emissie in hogere luchtlagen heeft een reducerend effect op de luchtconcentratie op het grondniveau. Een verdere verlaging van de dosis wordt bereikt door de radionucliden volgens het Duitse scenario 24 uur binnen het containment (betonnen omhulling van de kern) te houden. Door fysisch verval van de zeer kortlevende jodiumisotopen wordt de relatieve bijdrage van  $^{131}\text{I}$  aan de gehele schildklierdosis circa 75%.

Berekeningen voor een andere centrale, Unterweser in Noord Duitsland, zijn niet uitgevoerd, want ze zullen een vergelijkbaar resultaat geven als voor Emsland. Omdat deze centrale circa 100 km van de Nederlandse grens ligt, zullen er geen gevolgen voor de preparatie van jodiumdistributie zijn.

In Duitsland wordt voor kinderen een interventieniveau voor de schildklierdosis van 50 mSv aangehouden, maar bij de dosisberekeningen wordt er van uitgegaan dat er niet geschuild wordt (dus geen reductie ter grootte van 50%). In feite zal bij de vergelijking van een Nederlands en een Duits kind het Nederlandse kind binnenshuis de helft van de dosis van het Duitse kind dat buiten staat ontvangen. Overschrijding van het Duitse interventieniveau zou dus in Nederland overschrijding van 25 mSv betekenen.

#### 4.4.2.3 Frankrijk

Volledigheidshalve wordt hier, zij het slechts kort, ingegaan op de Franse situatie, want de Franse kerncentrales in Gravelines en Chooz liggen circa 100 km van Nederland. Het Nederlands gedeelte dat door een lozing uit Gravelines getroffen zou kunnen worden, betreft een deel van de provincie Zeeland met hierin kerncentrale Borssele en vlakbij Doel. Chooz zal overigens impact hebben op het gebied dat bij (ernstige) ongevallen vanuit Tihange ook bedekt kan worden. Het Franse interventieniveau voor de schildklierdosis ligt voor volwassenen (tot 45 jaar) en kinderen en jeugdigen op 100 mSv.

#### 4.4.2.4 Berekeningen voor Doel en Emsland

De resultaten van de inschattingen van de dosisafstanden behorende bij de overname van de buitenlandse maatregelen zijn opgenomen in tabel 4.4. Het betreft een standaard PWR-5 scenario voor de Belgische centrale Doel met een interventieniveau van 50 mSv en een realistisch Duits scenario zonder schuilen met een interventieniveau van 50 mSv, kinderschildklierdosis.

*Tabel 4.4 Maatregelzonerings voor jodiumprofylaxe zoals berekend met de probabilistische methode, aan de hand van PWR-5 voor Doel en een door Duitsland verschaft scenario voor Emsland, met een interventieniveau van 50 mSv voor kinderen. Afstanden in kilometer tot de centrales.*

Centrale	Omschrijving bronterm	IN [mSv]	68% [km]	95% [km]
Doel	PWR-5	50	155	>225
Emsland	1,5% I, hoogte 177 m	50	86*	158*

\* Bij berekening van het interventieniveau voor Duitse kinderen wordt ervan uitgegaan dat deze niet schuilen, in tegenstelling tot Belgische (en Nederlandse) kinderen die wel schuilen.

Hoewel niet berekend met de daadwerkelijke locatie en meteorologie, kunnen aan de hand van tabel 4.4 inschattingen gemaakt worden voor de afstanden van de andere objecten in België en Duitsland. Voor de Belgische centrale in Tihange, die een met Doel vergelijkbaar vermogen heeft, zullen ook grote delen van Nederland bedekt worden door afstanden ruim boven de 150 km<sup>c</sup>. Bij het Duitse Unterwesien zal de 68%-afstand Nederland niet bereiken.

#### 4.4.3 Alternatieve benadering

Zoals opgemerkt in hoofdstuk 2 is PWR-5 in de praktijk geen up-to-date scenario voor de geavanceerde westerse nucleaire centrales. Om desondanks een goed beeld te krijgen van de gevaarzetting, is in dit rapport ook een alternatieve, meer op de huidige situatie gestoelde benadering doorgerekend. Zoals eerder beschreven, zou een drietal aspecten nu anders zijn:

- 1) Een emissie met een jodiumfractie van 1%. België en Frankrijk gaan ook uit van 1%; in Duitsland is tijdens de laatste oefening 1,5% gehanteerd.

<sup>c</sup> De gevonden afstanden met PWR-5 en een laag interventieniveau voor de Belgische situatie zijn erg groot. Wanneer rekening wordt gehouden met een beduidend kleinere lozingsfractie dan de 3% die PWR-5 voorschrijft, zullen de afstanden minder groot zijn.



- 2) De vertraging tussen melding van het ongeval en start van de daadwerkelijke lozing is geen 2 uur, maar minimaal 24 uur.
- 3) Een interventieniveau voor jodiumprofylaxe van 100 mSv  $H_{th-kk}$  in plaats van 500 mSv  $H_{th-kk}$  (zie voor nadere uitleg over deze waarde paragraaf 3.3).

Ten slotte geldt als effectieve lozingshoogte voor Emsland 177 m, terwijl deze voor Borssele en Doel op 30 m (vergelijkbaar met een grondlozing) is bepaald. In tabel 4.5 staan de uitkomsten behorende bij de alternatieve benadering.

*Tabel 4.5 Maatregelzonerings voor jodiumprofylaxe voor de verschillende centrales, zoals berekend met de probabilistische methode, met een IN van 100 mSv voor schuilende 1-jarigen. Afstanden in kilometer tot de centrales.*

Centrale	Omschrijving bronterm	IN [mSv]	68% [km]	95% [km]
Borssele	1% jodium, 24 u uitstel	100	13	22
Doel	1% jodium, 24 u uitstel	100	29	50
Emsland	1% jodium, 24 u uitstel, hoogte 177 m	100	20	33

## 4.5 Kleinere nucleaire of radiologische ongevallen

In Nederland zijn andere installaties of situaties denkbaar waar radioactief jodium geloosd wordt. In deze paragraaf volgen verschillende mogelijkheden.

### 4.5.1 Onderzoekslocatie Petten (OLP)

De Hoge-fluxreactor (HFR) te Petten is een onderzoeks- en isotopenproductiereactor die ook een hoeveelheid jodiumisotopen bevat. De meest ernstige bronterm voorziet in een lozing van 0,2% van de kerninventaris<sup>12</sup>. Ter vergelijking met de totale <sup>131</sup>I-lozing van PWR-5 voor kerncentrale Borssele is dit ruim vijftig maal minder radioactief jodium. Het gebruikte verspreidingsmodel NPK-PUFF kan niet gebruikt worden voor dit onderdeel. WinREM, het verspreidingsmodel dat voor kortere afstanden kan worden ingezet<sup>3</sup>, voorspelt dat de terreingrens niet overschreden wordt wat alle hierboven genoemde interventieniveaus aangaat. Op de ondergrens van dit model, circa 2 km, kan een kinderschildklierdosis van 25 mSv (inclusief reductie ten gevolge van schuilen) optreden bij een neutrale verspreidingsklasse.

Wat betreft de producent van radiofarmaca, Mallinckrodt, ook onderdeel van OLP, zal het worst-case scenario dat van de HFR niet overtreffen. Ook de transporten van <sup>131</sup>I vanaf deze locatie zullen geen grootschalige effecten hebben. Via vervoersregelingen zijn er al limieten gesteld aan de maximale hoeveelheid van deze jodiumverbindingen. Alleen zeer nabij een eventueel opengebarsten bron kan een zekere dosis verwacht worden. Echter, brandweerlieden die bij een dergelijke ongeval zouden assisteren, maken in de meeste gevallen gebruik van adembescherming, waardoor de inhalatiedosis vrijwel nul is.

### 4.5.2 Schepen met kernreactoren

Amerikaanse en Britse schepen die nucleair aangedreven worden, kunnen in de havens van Rotterdam en Den Helder afmeren. De locatie in Rotterdam waar dergelijke schepen kunnen

afmeren is de Margriethaven, ongeveer 4 km van het stadscentrum. In Den Helder liggen dergelijke schepen aan Pier 22. De havenmond van deze haven wordt echter door zowel civiele als militaire schepen gebruikt. Sinds geruime tijd is er in Nederland geen bezoek meer geweest van nucleair aangedreven schepen, maar de mogelijkheid daartoe bestaat nog steeds op basis van bilaterale verdragen met de Verenigde Staten en Groot-Brittannië.

Elk schip bevat twee tot acht kernreactoren van circa 50 MWe per stuk. De verrijkingsgraad van het uranium ligt een stuk hoger dan bij kernenergiecentrales, namelijk 20 tot 90%. De ouderdom van de kerninventaris is ook van belang voor de hoeveelheid en typen radio-isotopen. De reactoren zijn te allen tijde uitgeschakeld wanneer de schepen vanuit de territoriale wateren naar de haven gesleept worden en wanneer ze in de Nederlandse haven liggen. Het afschakelen van de kernreactor heeft effect op de isotopensamenstelling, vergelijkbaar met het ophouden van de lozing (24 uur wachttijd).

Er zijn afspraken gemaakt voor het geval zich een ernstig probleem voordoet op een nucleair aangedreven schip. De eerste optie is dat dit schip binnen twee uur buiten de haven gesleept moet zijn. Hierdoor zal de eventuele radiologische dosis voor de bevolking sterk gereduceerd worden. Indien er niet genoeg tijd is voor wegslepen bij ernstige, zeer acute problemen wordt het schip afgezonken naar de bodem van de haven. Dit zal wel een besmetting van het water tot gevolg hebben, maar de blootstelling via inhalatie wordt hierdoor nagenoeg nul. Sowieso zijn effecten wegens blootstelling aan  $^{131}\text{I}$  of andere jodiumisotopen bij een ongeval, zo ze al optreden, alleen zeer lokaal te verwachten. Het personeel van de schepen en eventuele rampenbestrijdingsteams behoren tot goed getrainde en geïnformeerde (risico)groepen. Verder zullen zich binnen de zeer directe omgeving van een nucleair aangedreven schip geen leden van de gewone bevolking, laat staan kinderen, kunnen begeven. Daarom zal ook voor deze kleinschaligere nucleaire scenario's geen dosisafstand berekend worden.

### 4.5.3 “Vuile” bommen

Een zogenoemde “vuile” bom bestaat uit een hoeveelheid radioactief of biochemisch materiaal dat door middel van een conventioneel explosief verspreid wordt. Voor terroristische doeleinden zijn  $^{131}\text{I}$  en andere jodiumisotopen geen geschikte bronnen. De tijd om een aanslag uit te voeren (diefstal materiaal, bouwen bom etcetera) is waarschijnlijk dusdanig lang dat een deel van het verkregen jodium reeds vervallen is.

Een transport van radioactieve stoffen in de (hoogste) vervoersklasse A1 mag maximaal een activiteit van  $3 \times 10^{12}$  Bq  $^{131}\text{I}$  bevatten en zou in een hypothetisch geval in handen van terroristen kunnen vallen. Zelfs bij een perfecte (100%) verspreiding van het materiaal zijn de bereikte schildklierdoses, zoals die berekend kunnen worden met onze verspreidingsmodellen, op meer dan twee kilometer van de bron nihil. De economische, psychologische en sociale gevolgen zullen groot zijn, maar grootschalige inname van jodiumtabletten zal niet nodig zijn.

## 5 Distributieplan

Met de resultaten van de dreigingsanalyse zijn voor het distributieplan zones gedefinieerd. Vervolgens is gekeken naar de verschillende groepen van de bevolking die met radioactief jodium in contact zouden kunnen komen. Hierbij is van belang dat het risico op het later optreden van schildklierkanker voor kinderen en jongeren het grootst is en dat voor hen in ieder geval jodiumtabletten voorhanden zouden moeten zijn. Tenslotte zijn de voor- en nadelen van predistributie van kaliumjodaatabletten belicht. Dit alles heeft geleid tot een advies betreffende predistributie en decentrale opslag.

### 5.1 Zonering

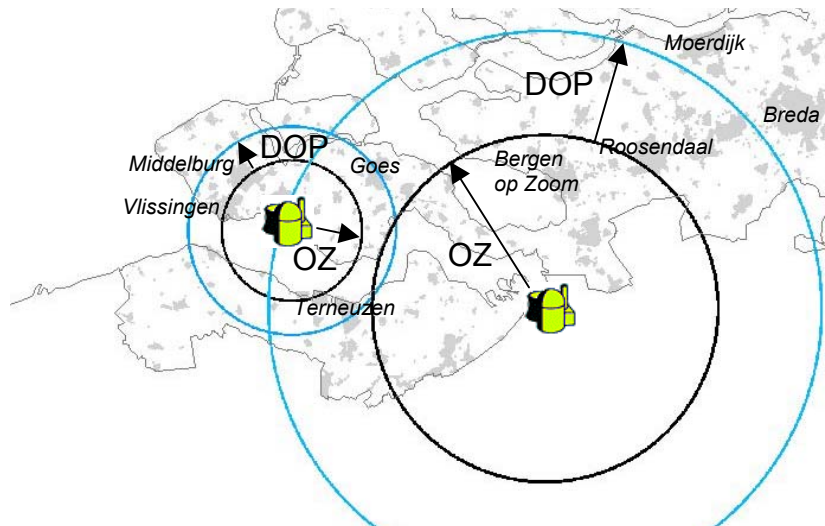
Uit de resultaten van de dreigingsanalyse van hoofdstuk 4 kunnen twee zones worden afgeleid. Door de gevonden maximale afstanden te gebruiken als straal van een cirkel rond het lozingspunt ontstaan twee afzonderlijke gebieden. Het gebied rond de kerncentrale waar in 68% van de doorgerekende gevallen van het jaar 2003 het interventieniveau voor jodiumprofylaxe kan worden bereikt en een gebied daaromheen, waarin dit in 95% van alle doorgerekende mogelijkheden het geval is. Het eerste gebied noemen we organisatiezone (OZ) en komt overeen met de huidige organisatiezone van het NPK. Het tweede gebied, rondom de organisatiezone, wordt de zone van decentrale opslag (DOP) genoemd. De zonering is afgerond op veelvouden van 5 km. Het gaat hier om de afstanden vanaf de Nederlandse grens, dus om de zones in Nederland waar preparatie nodig is.

#### 5.1.1 Huidige NPK-interventieniveaus

Uit de berekeningen met het bestaande, PWR-5, scenario kunnen de zones worden afgeleid, zoals weergegeven in onderstaande tabel 5.1. Dit betekent in het gebied van 10 km rond kerncentrale Borssele predistributie, in het gebied rond kerncentrale Doel predistributie op 20 km op het Nederlands grondgebied. Voor de centrale van Emsland is in Nederland volgens dit scenario geen predistributie nodig. Wel zouden er voor Emsland tabletten decentraal moeten worden opgeslagen, 20 km op Nederlands grondgebied. Voor Doel zou er ook decentrale opslag moeten plaatsvinden, in een gebied van 15 km rond het gebied van predistributie op Nederlands grondgebied. Voor Borssele wordt decentrale opslag geadviseerd vanaf 10 tot en met 15 km rond de kerncentrale.

*Tabel 5.1 Maatregelzonering voor jodiumprofylaxe voor de verschillende centrales, vanaf de Nederlandse grens, zoals berekend met PWR-5 scenario.*

Centrale	OZ [km]	DOP [km]
Borssele	10	5
Doel	20	15
Emsland	—	20



*Figuur 5.1 Zonerings OZ en DOP rond kerncentrales Borsselle en Doel bij het PWR-5 scenario met een interventieniveau van 500 mSv voor de schildklier van schuilende 1-jarigen.*



*Figuur 5.2 Zonerings OZ en DOP rond kerncentrale Emsland bij het PWR-5-scenario met interventieniveau van 500 mSv voor de schildklier van schuilende 1-jarigen.*

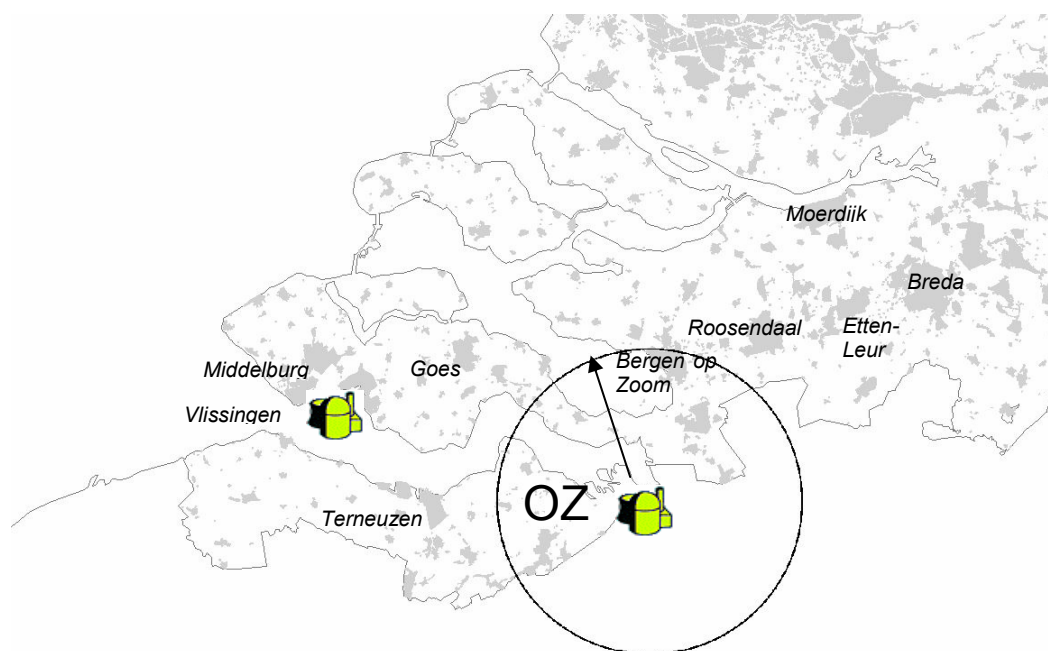
### 5.1.2 Overname maatregelen buurland

Bij het berekenen van de gevolgen van de benadering van de ons omringende landen was er voor Doel geen goed scenario voorhanden. Er is gerekend met PWR-5, maar dit levert, door de grote jodiumfractie (3%) die deze bronterm gebruikt, een grote afstand op waar maatregelen genomen zouden moeten worden. Voor de centrale van Emsland is een oefenscenario gebruikt. Daarom is gekeken naar de maatregelen die de buurlanden zelf zullen nemen (zie ook bijlage 4). Aan de hand van de maatregelen die in België en Duitsland zijn voorgesteld stellen wij, voor de preparatie op Nederlands grondgebied, onderstaande zones voor (zie tabel 5.2).

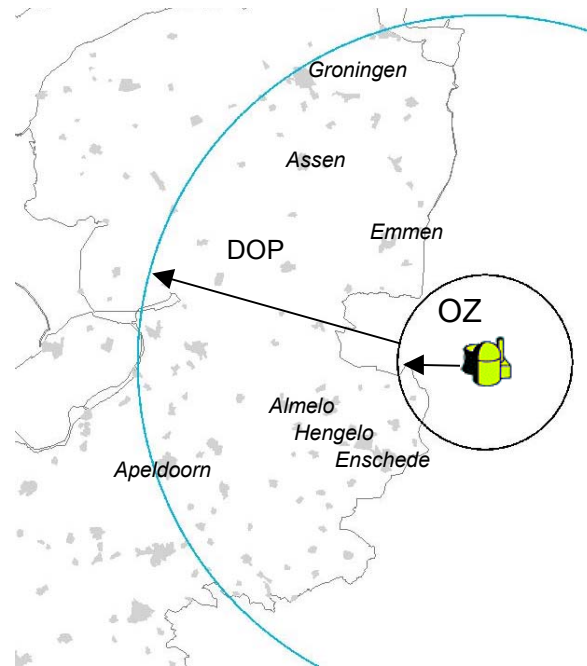
*Tabel 5.2 Maatregelzoning voor jodiumprofylaxe voor de verschillende centrales, vanaf de Nederlandse grens, voortkomend uit de benadering van België en Duitsland.*

Centrale	OZ [km]	DOP [km]
Doel	15	*
Emsland	5	75

\*Voor de centrale van Doel moet de DOP nader worden bepaald op basis van een realistisch Belgisch scenario.



*Figuur 5.3 Zoning OZ rond kerncentrale Doel gebaseerd op de maatregelen van België.*



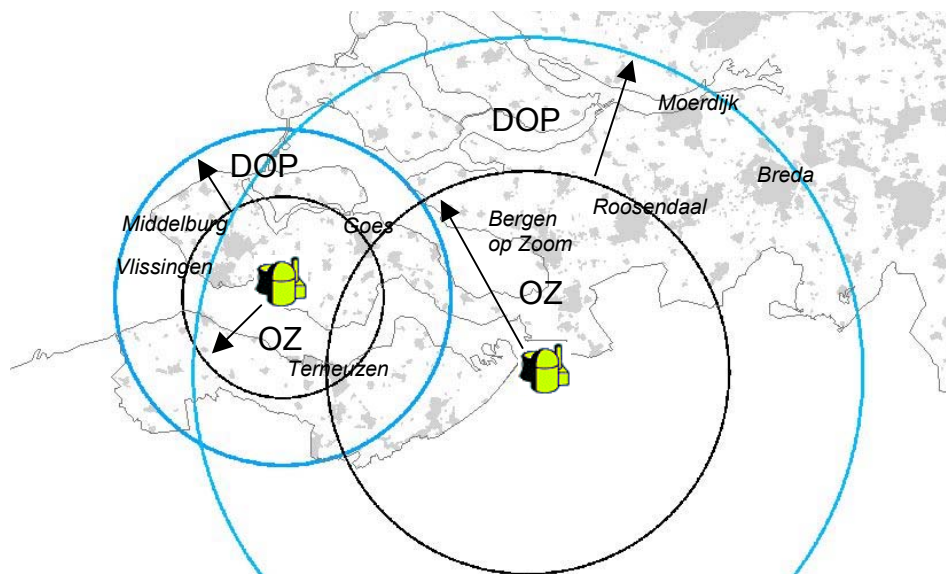
*Figuur 5.4 Zonering OZ en DOP rond kerncentrale Emsland gebaseerd op de maatregelen van Duitsland.*

### 5.1.3 Alternatieve benadering

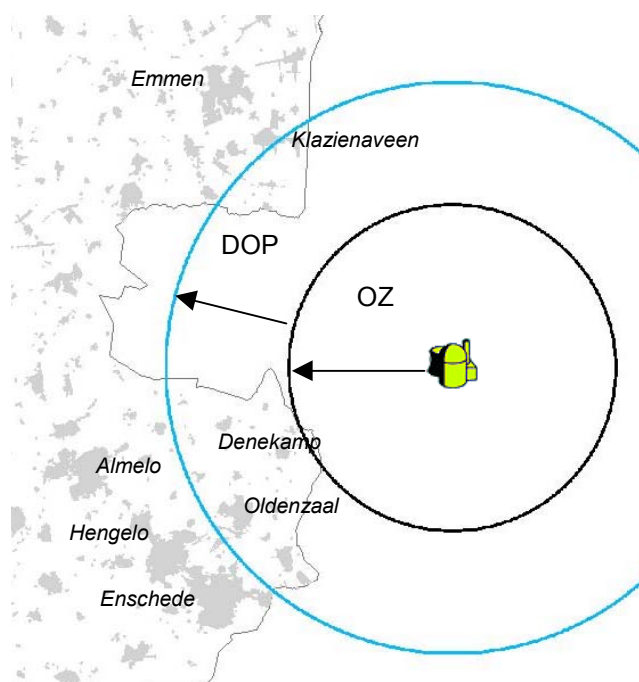
Wanneer de zones worden afgeleid volgens het alternatief scenario levert dit voor de verschillende centrales afstanden op tussen de 15 en 25 km, zoals weergegeven in tabel 5.3 en de figuren 5.5 en 5.6.

*Tabel 5.3 Maatregelzonering voor jodiumprofylaxe voor de verschillende centrales, vanaf de Nederlandse grens, zoals berekend met het alternatief scenario.*

Centrale	OZ [km]	DOP [km]
Borssele	15	10
Doel	25	20
Emsland	--	15



*Figuur 5.5 Zonerings OZ en DOP rond kerncentrales Borsselle en Doel bij het alternatieve scenario met een lozing van 1% van het jodium, een wachttijd van 24 uur en een interventieniveau van 100 mSv voor de schildklier van schuilende 1-jarigen.*



*Figuur 5.6 Zonerings OZ en DOP rond kerncentrales Emsland bij het alternatieve scenario met een lozing van 1% van het jodium, een wachttijd van 24 uur en een interventieniveau van 100 mSv voor de schildklier van schuilende 1-jarigen.*

## 5.2 Predistributie

Uit hoofdstuk 3 blijkt dat maximaal 6 uur na melding een goede responstijd is. Gezien de onmogelijkheid om binnen 6 uur na de melding, dat wil zeggen binnen 4 uur na aanvang van de lozing, de tabletten naar alle inwoners te distribueren, bevelen wij voor dit gebied predistributie van kaliumjodaatabletten aan. Hiermee is er voor iedere inwoner van dit gebied in ieder geval één tablet kaliumjodaat voorhanden. Voor eventueel bezoek zouden er per gezin enige tabletten meer kunnen worden verstrekt.

In Nederland zal inname van maximaal één tablet kaliumjodaat per individu binnen de organisatiezone (afhankelijk van de leeftijd, zie paragraaf 6.1 op blz 35) voldoende zijn voor het verkleinen van het risico op het later optreden van schildklierkanker. Er wordt vanuit gegaan dat na de eerste mogelijke inhalatie van radioactief jodium geen verdere inname meer zal plaatsvinden. Dit door het voorkomen van de inname van mogelijk besmette producten zoals groente en melk. Het is dan ook niet nodig ieder huishouden van 10 tabletten te voorzien, maar er zou per lid van het huishouden gedistribueerd kunnen worden.

Bij de berekening van de organisatiezone voor jodiumprofylaxe is er van uit gegaan dat de bevolking schuilt. Dit betekent dat passieve distributie, waarbij de tabletten op vaste punten kunnen worden gehaald, moeilijk is. Echter, voor verloren gegane tabletten en bezoek of andere toevallige aanwezigen zullen toch steeds extra tabletten beschikbaar moeten zijn bij apotheken etc. Hiervoor moet overwogen worden het ophalen van jodiumtabletten voor hen die zouden moeten schuilen door volwassenen en bij voorkeur door personen van ongeveer 40 jaar en ouder te laten verrichten!

Om te zorgen dat alle doelgroepen een zo groot mogelijk gedeelte van de dag de jodiumtabletten binnen bereik hebben, dient predistributie niet alleen thuis maar ook bij scholen, bedrijven en kantoren plaats te vinden. Dit heeft het voordeel dat tijdens school- en/of werktijd de maatregelen schuilen en jodiumprofylaxe beiden uitgevoerd kunnen worden. Belangrijk is dat hiertoe toestemming en toezicht geregeld dient te worden voor de opslag van jodiumtabletten op deze locaties.

## 5.3 Decentrale opslag

Het gebied rond de organisatiezone, waarin tot 95% van de meteorologische omstandigheden het interventieniveau voor jodiumprofylaxe kan worden overschreden zou ook van jodiumtabletten moeten worden voorzien (zie figuren 5.1 tot met 5.6). De meest extreme 5% nemen we niet mee voor de preparatie (zie bijlage 2).

Omdat de kans op overschrijding in dit gebied aanzienlijk kleiner is, zouden in dit gebied de kaliumjodaatabletten decentraal kunnen worden opgeslagen. We denken hierbij aan locaties zoals huisartspraktijken, huisartsenposten, apotheken, GHOR/GGDen en drogisten. Op deze manier is het voor de leden van de bevolking mogelijk een tablet op te halen bij een locatie dicht bij hen in de buurt. Het ophalen kan het best gebeuren door personen ouder dan 40 jaar, omdat zij bij blootstelling aan radioactief jodium nauwelijks extra risico lopen op schildklierkanker. Bovendien is er (door het verschil in interventieniveau) een grote kans dat binnen een zone van decentrale opslag het advies uitgaat om alleen kinderen en jongeren tot 18 jaar een jodiumtablet te laten innemen.



## 5.4 Verschillende bevolkingsgroepen

Met betrekking tot de distributie van de kaliumjodaatabletten moet aan de volgende groepen van de bevolking worden gedacht:

- werknemers on-site
- werknemers in continue bedrijven, die niet direct stilgelegd kunnen worden
- hulpverleners
- bevolking in de organisatiezone
- bevolking buiten de organisatiezone

Voor de eerste vier groepen zullen, in geval van een kernongeval waarbij het interventieniveau voor jodiumprofylaxe voor volwassenen ( $1000 \text{ mSv } H_{\text{th-volw}}$ ) overschreden wordt, kaliumjodaatabletten worden aanbevolen, althans voor zover zij niet ouder zijn dan 40 jaar.

De verantwoordelijkheid voor de gezondheidsbescherming van de **werknemers on-site** en van de **werknemers in continue-bedrijven** ligt bij de bedrijfsgeneeskundige dienst. Het is belangrijk dat de werknemers onder de 40 jaar bij een ongeval waarbij relatief veel radioactief jodium vrijkomt zo snel mogelijk kunnen beschikken over kaliumjodaatabletten. De bedrijfsgeneeskundige dienst heeft daarom de beschikking over een voorraad kaliumjodaatabletten in eigen beheer.

Bij de kernongevallenbestrijding kunnen de volgende **hulpverleners** worden ingezet:

- personeel van de kernenergiecentrale
- brandweerlieden
- politie
- ambulance-medewerkers
- medewerkers van basisgezondheidsdiensten
- personeel van gemeentelijke diensten

Voor hulpverleners gelden zo veel mogelijk dezelfde maatregelen als voor de bevolking, namelijk schuilen en jodiumprofylaxe. Indien hulpverleners korte tijd na de lozing al met bestrijding van het ongeval bezig zijn, kan jodiumprofylaxe voor hen gewenst zijn. Hiertoe moet voor hen de distributie van jodiumtabletten goed geregeld zijn. Dit kan gebeuren door tabletten voor te verdelen bij de diverse hulpverlenende instanties. Deze kunnen tabletten aan de hulpverleners meegeven wanneer zij in het rampgebied te werk worden gesteld. Voor de hulpverleners wordt vervolgens apart instructie gegeven wanneer zij hun tablet daadwerkelijk moeten innemen. Er wordt van uit gegaan dat de hulpverleners beschermende kleding dragen en niet langer dan strikt noodzakelijk in het rampgebied verblijven.

De **bevolking in de organisatiezone** moet, wanneer de dosis radioactief jodium het interventieniveau voor profylaxe dreigt te overschrijden, binnen 6 uur na de melding over jodium tabletten kunnen beschikken. Wanneer de dosis zo hoog is dat evacuatie noodzakelijk wordt, zou jodiumprofylaxe niet aangewezen zijn, omdat de bevolking uit het besmette gebied wegtrekt. Om echter de mogelijkheid om niet te evacueren open te houden is het van belang dat ook binnen de evacuatiezone de distributie van jodiumtabletten goed geregeld is. Ook is het beter met evacuatie te wachten en binnenshuis te blijven totdat de wolk voorbij is.

## 5.5 Voor- en nadelen van predistributie

De voordelen van predistributie zijn:

- de bevolking heeft de mogelijkheid de tabletten op tijd in te nemen
- het geschiedt onafhankelijk van de dreiging van een ongeval
- hulpverleners hoeven zich in de acute fase niet met distributie bezig te houden
- schuilen en jodiumprofylaxe zijn goed te combineren
- het risico voor personen met overgevoeligheidsreacties kan worden beperkt, omdat deze reeds tevoren hierover kunnen worden ingelicht

De nadelen van predistributie zijn:

- bij de bevolking kan onnodige angst voor een ongeval met de kernenergiecentrale ontstaan, dit vereist goede voorlichting
- er zullen tabletten verdwenen zijn of op een verkeerd tijdstip worden ingenomen

Bij de voorbereiding van de predistributie moet rekening gehouden worden met verschillende groepen van de bevolking dat wil zeggen:

- degenen die in principe op hun huisadres te bereiken zijn
- de buitenshuis verblijvende bevolking, zoals schoolkinderen en werkenden
- toeristen en andere passanten binnen de organisatiezone

Vanwege de laatste groep kan het nodig zijn aanvullend tabletten te distribueren.

Uiteindelijk bepaalt de overheid wanneer en door wie de kaliumjodaattabletten moeten worden ingenomen. Vanwege de verschillende risico's voor kinderen en volwassenen zal bij dit advies tot inname, het gebied waarin dit wordt aanbevolen voor personen boven 18 jaar kleiner zijn dan dat voor kinderen.

## 6 Tabletten

Op dit moment liggen er bij het Logistiek Centrum Zoetermeer (LCZ) van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties 45 miljoen tabletten kaliumjodaat van 170 mg opgeslagen; 170 mg kaliumjodaat komt overeen met 100 mg jodide. De tabletten zijn verpakt in aluminium-PVC strips van 10 stuks, in een volume van 600 strips per ompakking. Deze tabletten liggen sinds oktober 2002 in het LZC, de houdbaarheid is door de fabrikant (Pharmachemie te Haarlem) gesteld op 5 jaar.

### 6.1 Dosering

De noodzakelijke dosering kaliumjodaat is afhankelijk van de leeftijd en is als volgt:

Kinderen van 0 tot en met 3 jaar	:	½ tablet
Kinderen vanaf 4 jaar en ouder	:	1 tablet
Volwassenen tot en met 40 jaar	:	1 tablet
Zwangere vrouwen	:	1 tablet

Een eenmalige dosering van 170 mg kaliumjodaat, overeenkomend met 100 mg jodium, biedt voldoende bescherming tegen de eventuele opname van radioactief jodium bij blootstelling door inhalatie tijdens het overtrekken van de radioactieve wolk.

Er wordt vanuit gegaan dat verdere opname van radioactief jodium door ingestie kan worden voorkomen door het vermijden van inname van lokale, mogelijke besmette, producten. Voor ieder individu is dan inname van maximaal 1 tablet kaliumjodaat (dosering afhankelijk van de leeftijd, zie boven) voldoende.

### 6.2 Verpakkingsvorm

Voor predistributie per huishouden is een eenheid van 10 tabletten per strip niet efficiënt. Beter zou het zijn wanneer de tabletten per stuk verpakt zouden worden. Bij predistributie zou dan per persoon van een huishouden een tablet verstrekt kunnen worden. Een eenpersoonsverpakking kan voorzien worden van een korte tekst zodat duidelijk is om welke tablet het gaat en wat de leeftijdsafhankelijke dosering is.

De huidige verpakking is een PVC/Alu blister. De water/damp-doorlaatbaarheids ratio van dit materiaal bedraagt 3,1 g/m<sup>2</sup>/dag bij 38°C en 100% luchtvochtigheid. Ompakken in ander materiaal, bijvoorbeeld een Alu/Alu blister, kan de water/damp-doorlaatbaarheids ratio verlagen tot 0. Overwogen kan worden dan ook een kindveilige folie te kiezen, die door kinderen moeilijker door te drukken is.



## 7 Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport worden voor de preparatie op een ongeval waarbij radioactief jodium kan vrijkomen twee zones (OZ en DOP) gedefinieerd.

Voor de zone direct rond de kernenergiecentrale, de organisatiezone (OZ), bevelen wij aan dat jodiumtabletten per huishouden worden verspreid (predistributie). Ook zouden er tabletten op scholen en bij bedrijven moeten liggen zodat met name kinderen en jongeren zo snel mogelijk over stabiel jodium kunnen beschikken.

Voor de zone daaromheen, de zone van decentrale opslag (DOP), bevelen we aan dat de tabletten worden opgeslagen bij huisartsen, huisartsenposten, apothekers, drogisten en de GHOR/GGDen. De mensen in dit gebied kunnen, indien nodig, zelf hun tabletten afhalen.

De tabletten dienen pas te worden ingenomen wanneer dit door de overheid bekend gemaakt wordt. Voor personen boven de 40 jaar raden wij geen jodiumprofylaxe meer aan. Voor de overige volwassenen (18-40 jaar) geldt een ander interventieniveau dan voor kinderen. In bepaalde gebieden zal dus het advies om een tablet in te nemen alleen voor kinderen gelden.

De afstanden zijn volgens verschillende scenario's berekend. De eerste gaat uit van de afspraken in het NPK, met de PWR-5 bronterm, en de tweede van de maatregelen zoals die bij de ons omringende landen gelden. Het derde scenario is een nieuw ontwikkeld scenario met een lagere interventiewaarde, een langere tijd tussen melding en lozing en een kleinere hoeveelheid radioactief jodium in de lozing dan bij het PWR-5 scenario.

Het blijkt dat de zonering volgens PWR-5 en volgens het nieuwe scenario redelijk overeenkomen. De zones berekend uitgaande van de interventieniveaus van de buurlanden vallen veel groter uit, maar de concrete uitwerking van hun maatregelen komt goed overeen met die in de door ons voorgestelde zonering.

Samenvattend komen wij tot de volgende aanbevelingen:

- 7.1 *De opslag van jodiumtabletten moet decentraal in plaats van centraal plaatsvinden.*
- 7.2 *In de organisatiezone rond de centrales vindt predistributie van kaliumjodaattabletten plaats.*
- 7.3 *In een zone rond de predistributie zone worden tabletten decentraal opgeslagen.*
- 7.4 *De grootte van deze zones is afhankelijk van het gebruikte scenario. Er moet een keuze voor een scenario of een keuze voor bepaalde zone-afstanden gemaakt worden.*
- 7.5 *Personen ouder dan 40 jaar krijgen geen kaliumjodaattabletten meer, met uitzondering van zwangere vrouwen boven de 40 jaar.*
- 7.6 *Wanneer nieuwe tabletten worden besteld, kunnen deze beter per stuk worden verpakt in aluminium/aluminium blisterverpakking, met een korte tekst op de verpakking.*



## Literatuur

1. NPK: Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding, Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21015, nr. 3.
2. Jodiumprofylaxe bij een ongeval met een kerncentrale, Werkgroep Medische Maatregelen van het Project Kernongevallenbestrijding, Rijswijk, dec 1989.
3. NC Rasmussen et al., WASH-1400, Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants, NUREG-75/014, 1975.
4. Milieueffectrapportage kerncentrale Borssele in verband met een hogere verrijkingsgraad van de slijtstof. LPSA-97.
5. Ron E et al., Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Radiat Res.* 1995 Mar;141 (3):259-77.
6. Jacob P, Kenigsberg Y, Zvonova I et al., Childhood exposure due to the Chernobyl accident and thyroid cancer risk in contaminated areas of Belarus and Russia. *Br J Cancer* 1999 Jul; 80(9): 1461-9.
7. ICRP 60: ICRP Publication 60 (Annals of the ICRP Vol. 21 No.m 1-3). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford, 1991.
8. Guidance for Iodine Prophylaxis following Nuclear Accidents Update 1999, World Health Organization, Geneva.
9. Poley AD, Documentatie Rekenmodellen REM-3, Traceerbaarheid modellen, Validatie rekenmodellen, NRG-rapport 21496/99.24076/C, 1999.
10. ICRP 72: ICRP Publication 72 (Annals of the ICRP Vol. 26 No. 1). Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, Pergamon Press, Oxford, 1996.
11. Charpin F, Mansoux H, Brenot J, Assessment of the efficiency of short term countermeasures following a severe accident on a PWR, IPSN, SEGR/01, nr 60, 2001.
12. Van Hienen JFA, Roelofsen PM, Poley AD, Rapporten Herbezinning Kernenergie, Ernstige reactorongevallen opnieuw bezien: Gevolgen voor de omgeving, Stuurgroep Project Herbezinning, ECN, SPH-08-18, ISBN 90 346 1615 0, 1988.
13. Harrison's, Principles of Internal Medicine. Tenth Edition, ISBN 0-07-066474-9, 2211 pp., 1983.
14. Carrasco N, Iodide transport in the thyroid gland. *Biochimica et Biophysica Acta* 1993; 1154: 65-82
15. Kovari M, Effect of delay time on effectiveness of stable iodine prophylaxis after intake of radioiodine. *J. Radiol. Prot.* 1994; 14 (2):131-13.
16. Frankfurt SV, Roos JC, Franssen EJJ, Jodiumprofylaxe bij nucleaire rampen ter voorkoming van stralingschade, *Ned Tijdschr Geneesk* 2003 23 Aug;147 (34): 1641-1644.
17. Pupi A, Becciolini A, Signorini C, Improvement of practical countermeasures: preventive medication, Commission of the European Communities, 1991. Report EUR 12556.
18. Koninklijk besluit tot vaststelling van het nucleair en radiologisch noodplan voor het Belgisch grondgebied, bl. 55874, 17 oktober 2003.

## Bijlage 1 Afkortingen- en begrippenlijst

Bq	Afkorting voor Becquerel, stralingseenheid. Een activiteit van 1 Bq betekent één vervallende atoomkern per seconde.
DC	Dosiscoëfficiënt, getal dat activiteit converteert naar een radiologische dosis.
Decentrale opslag zone (DOP)	Zone om de organisatiezone heen, waarin wordt aanbevolen voorraden jodiumtabletten decentraal op te slaan.
Deterministisch effect	Orgaanfunctiestoornis ten gevolge van ioniserende straling, een dosisafhankelijk effect, dat optreedt boven een bepaalde drempelwaarde.
Dosisafstand	Afstand waar de bereikte dosis overeenkomt met de interventiewaarde.
FT4	Vrij T4, de ongebonden fractie van het schildklierhormoon.
GGD	Gemeenschappelijke Gezondheids Dienst
GHOR	Geneeskundige Hulpverlening bij Ongevallen en Rampen.
Gy	Afkorting voor Gray, eenheid voor geabsorbeerde stralingsdosis.
Halfwaardetijd	Tijd waarin de helft van de activiteit vervalst.
HFR	Hoge-Fluxreactor te Petten.
ICRP	International Commission on Radiological Protection, deze geeft aanbevelingen en richtlijnen voor stralingshygiëne uit.
Interventieniveau (IN) (of interventiewaarde)	Getalswaarde van een zekere dosis, die bij overschrijding een interventie vereist.
KCB	Kernenergiecentrale Borssele.
LSO	Laboratorium voor Stralingsonderzoek (RIVM).
MWe	Afkorting voor de eenheid van <i>elektrisch</i> vermogen (megawatt) van kernreactoren.
NPK	Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding.
NPK-PUFF	Operationeel verspreidingsmodel binnen NPK.
NVIC	Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (RIVM).
OLP	Onderzoekslocatie Petten.
Organisatiezone (OZ)	Zone waarin wordt aanbevolen de jodiumtabletten van te voren te verspreiden.



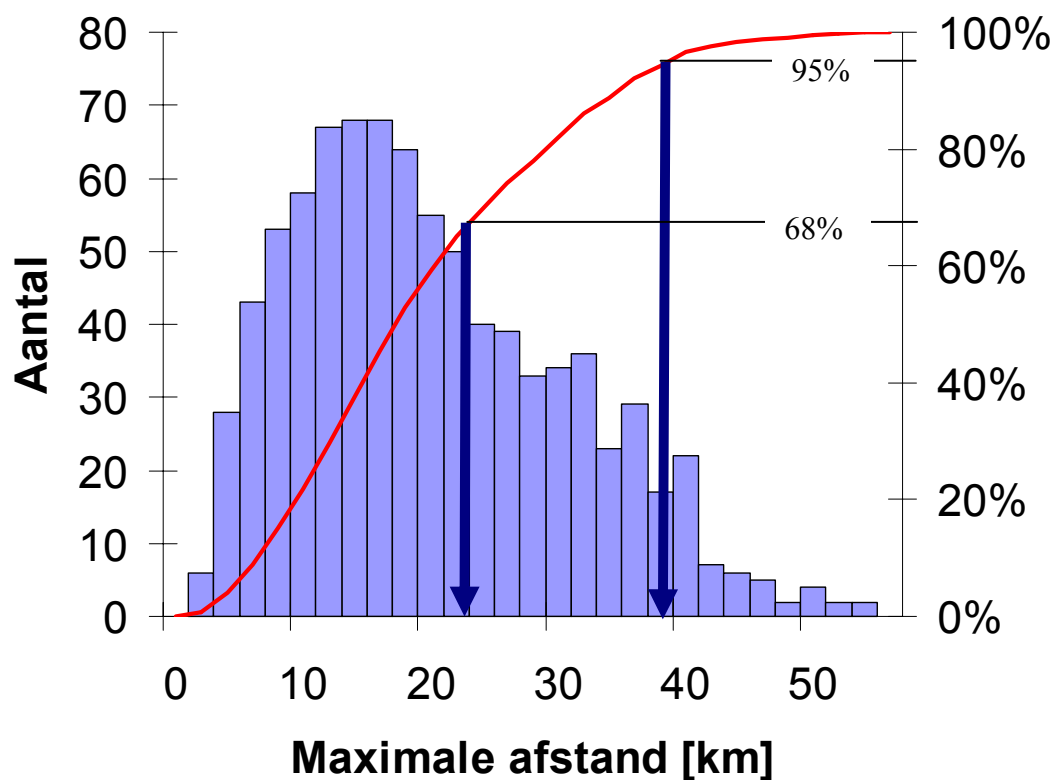
---

Pasquill-klasse	Benoeming van stabiliteit van de atmosfeer onderverdeeld in letters van A (onstabiel), via D (neutraal), tot F (extreem stabiel).
PWR	Pressurized Water Reactor (drukwaterreactor), veel voorkomend in westerse landen.
PWR-5	Bronterm voor een PWR volgens WASH-1400 die in Nederland geldt als maatgevend, gekenmerkt door een lozing na 2 uur gedurende 4 uur, met een lozingsfractie van 3% van de jodiumgroep.
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
SAS	Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling (VROM).
Stochastisch effect	Langetermijneffect ten gevolge van ioniserende straling zoals kanker of afwijkingen bij het nageslacht. De ernst van het effect is onafhankelijk van de dosis, maar de kans op het effect neemt toe met de dosis. Er is geen drempeldosis.
Sv	Afkorting voor de dosiseenheid Sievert, die het biologische effect van straling op langere termijn uitdrukt. Veelal uitgedrukt in mSv (0,001 Sv).
TSH	Thyroid Stimulerend Hormoon, een hormoon uit de hypofyse dat de aanmaak van schildklierhormoon beïnvloedt via een terugkoppelingsmechanisme.
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
VWS	Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport.
WASH-1400	Amerikaanse reactorveiligheidsstudie uit 1975 van Rasmussen et al. met daarin beschrijvingen van verschillende brontermen voor de PWR, waarvan PWR-5 in Nederland gebruikt wordt als maatrap.
WHO	World Health Organization.

## Bijlage 2 Dosisafstandenmethodiek

Voor het jaar 2003 zijn de schildklierdoses berekend voor een groot aantal gesimuleerde ongevalslozingen op basis van bronterm en bronlocatie. Daarbij is rekening gehouden met de waargenomen weersomstandigheden. Uit elk van de gesimuleerde ongevallen is de maximale afstand waarbij interventieniveaus voor jodiumprofylaxe zijn overschreden bepaald op het gehanteerde rekenrooster van  $1 \times 1 \text{ km}^2$  of  $5 \times 5 \text{ km}^2$ , afhankelijk van de afstand tot de bron.

De hoeveelheid uitkomsten van maximale afstanden van de bron waar de interventieniveaus kunnen worden overschreden, worden op een probabilistische wijze bewerkt. De afstanden zijn berekend op basis van de verschillende optredende weersomstandigheden in het jaar 2003. Er ontstaat een spreiding in de getallen die kan worden weergegeven in een histogram. Afbeelding B2.1 geeft een weergave van de hier gebruikte methodiek ter bepaling van de dosisafstanden die 68% respectievelijk 95% van de gevallen beslaan. De afbeelding toont een voorbeeld van de verdeling van de maximale afstanden, onderverdeeld in segmenten van 2 km, met op de linker y-as het aantal gevallen. Dit voorbeeld behandelt het PWR-5-scenario voor de kerncentrale Doel, uitgaande van een interventieniveau van 500 mSv, zoals in tabel 4.3 beschreven staat. De extreme maximale afstand ligt boven de 50 km.



*Figuur B2.1* Uitkomsten van het modeljaar 2003 voor een PWR-5-scenario bij Doel met een interventiewaarde van 500 mSv. Op de horizontale as staan de maximaal behaalde afstanden tot de bron. De curve geeft de cumulatieve frequentie weer. De extreme maximale waarde van de gesimuleerde ongevalslozingen, en de afstanden behorende bij 95% en 68% (pijlen) hiervan zijn afleesbaar op de x-as.

Het tweede onderdeel van figuur B2.1 is een cumulatieve curve, met het percentage op de rechter  $y$ -as. In essentie kan dit gezien worden als een probabilistische verdeling. Wil men 95% van deze gesimuleerde ongevalsituaties voor het jaar 2003 afdekken, dan kan op de curve afgelezen worden met welke afstand dit overkomt. In dit geval is dit op 39 km van de bron. Op analoge wijze kan men voor een bedekking van 68% kiezen, wat in dit voorbeeld correspondeert met een afstand van 23 km. Uitkomsten tussen 0 en 10 km van de bron vallen onder de ondergrens van de geldigheid van het verspreidingsmodel. Via de in figuur B2.1 voorgestelde methodiek kunnen voor de verschillende scenario's en bronnen de 68- en 95%-afstanden in tabellen worden gezet.

De keuze voor 68% correspondeert met de in NPK genoemde meteorologische neutrale omstandigheid die circa 70% van de tijd voor zou komen. In 30% van de gevallen is in NPK dus geen rekening gehouden met extremere stabiliteit van de atmosfeer die tot grotere afstanden kan leiden; dit gebeurt in wezen ook bij de berekening over het hele jaar 2003. Via de nieuwe berekeningen worden naast 68% echter ook afstanden die 95% van de gevallen bevatten gegeven. Slechts in de meest extreme 5% wordt hier niet voorzien. Het missen van 32% of 5% is ten opzichte van de keuze in NPK waar 30% gemist wordt, te verdedigen.

## Bijlage 3 Kinetiek van jodium in het lichaam

### *Opname*

Jodium uit voedsel wordt opgenomen in de vorm van jodide, I<sup>-</sup>. De opname in het bloed gaat snel, met een halfwaardetijd van 10 minuten. Vervolgens kan het jodide twee kanten op, namelijk opname in de schildklier of uitscheiding door de nieren. Deze twee mogelijkheden zijn competitief. De uitscheiding is onafhankelijk van de plasmaconcentratie of van hormonale invloeden en is daarom passief in deze competitie. Wanneer de plasmaspiegel van jodide stijgt zal de opname in de schildklier toenemen<sup>13</sup>. De opname uit de maag in de schildklier begint bij een persoon met een lege maag al na 3 minuten en bij iemand met een volle maag na 10–15 minuten. Na 2 uur is de opname bij vrijwel iedereen compleet. Bij inhalatie wordt 70% van het gasvormig jodium door de longen gevangen. Van longen naar bloed is de halfwaardetijd 5 seconden. Alle jodium in deeltjesvorm zal worden opgenomen, ofwel via de longen ofwel via de maag.

### *Actief transport*

De opname in de schildklier geschiedt door actief transport. Dit transport wordt bepaald door NIS (Natrium Iodide Symporter)<sup>14</sup>. Het NIS is ook de beperkende factor voor opname in de schildklier. Omdat er actief transport plaatsvindt kan er een concentratiegradiënt worden gevormd tussen schildklier en plasma. Deze gradiënt kan oplopen tot 500. De energie voor de opname is fosfaat (ATP) afhankelijk en dus afhankelijk van oxidatief metabolisme in de schildklier.

### *Organificatie*

Vervolgens wordt het jodide georganificeerd, dat wil zeggen omgevormd tot de in het lichaam gebruikte hormonale vorm. Dit gebeurt door middel van oxidatie tot een hogere valentie, waarna het bindt aan het tyrosylgedeelte van het thyreoglobuline. Oxidatie vindt plaats onder invloed van een jodide-peroxidase. Er zijn nu prohormonen gevormd, die door oxidatieve condensatie worden omgevormd tot T<sub>4</sub> en T<sub>3</sub>, de hormonaal actieve vormen.

De opname van jodide in de schildklier is afhankelijk van de klaring door de schildklier. Deze staat onder invloed van het volume van de schildklier en de activiteit. De activiteit wordt beïnvloed door de plasma-jodiumconcentratie en de dagelijkse inname van jodium. Om deze reden is in gebieden met een lage dagelijkse inname van jodium (Duitsland, "Iodmangelgebiet") de opname van een eenmalig hoge dosis radioactief jodium hoger.

Leeftijd heeft invloed op de opname door de schildklier. De opname is hoger bij adolescenten dan bij volwassenen en neemt progressief af met toename van de leeftijd. Ook hebben stoornissen in de schildklierfunctie invloed op de opname, bijvoorbeeld een sterk verhoogde opname bij een hyperthyreoïdie zoals bij de ziekte van Graves.

### *Uitscheiding*

De uitscheiding gebeurt via de nier. In de eerste uren vindt een snelle excretie plaats, waarna een plateau optreedt na 24 tot 48 uur. De klaring wordt niet beïnvloed door jodiuminname, de uitscheiding past zich niet aan en raakt niet verzadigd. Bij zwangere vrouwen is de uitscheiding van jodium verhoogd, dit leidt tot een relatieve jodiumdeficiëntie van de zwangere. Ter compensatie treedt een verhoogde klaring door de schildklier op om voldoende actief hormoon te hebben. Vanaf de tweede helft van de zwangerschap wordt een gedeelte van het jodide opgenomen door de foetus, zodat er voor de moeder nog minder overblijft. Het jodide passeert de placentabarière. Opname in de foetale schildklier vindt plaats vanaf 10–12 we-

ken, echter in zeer geringe mate. Vanaf de 22<sup>ste</sup> week neemt de opname snel toe tot aan het einde van de zwangerschap. Bij blootstelling tijdens de zwangerschap zal de concentratie voor de foetus groter zijn dan voor de moeder vanwege een lagere aanwezige concentratie in de foetale schildklier. Jodium wordt ook uitgescheiden in de moedermelk. Bij een behoorlijke melkproductie is dit zelfs een belangrijke eliminatieroute. Het meeste wordt binnen 48 uur uitgescheiden. Deze uitscheidingsroute raakt bij een overmaat aan jodium wel verzadigd.

Het is alleen mogelijk de eliminatie te versnellen met behulp van herhaald toedienen van Thyroid Stimulerend Hormoon (TSH). Anders zal de radioactiviteit enkele weken in de schildklier blijven en langzaam uitgescheiden worden bij de hormoonsecretie. De verhouding schildklierjodide versus plasmajodide blijft constant.

Het effect van toegediend kaliumjodide is tweeledig; enerzijds treedt er competitie op ter hoogte van het jodide-transportstelsel. Bovendien verhindert het de recycling van het organisch radioactief jodium in de schildklier, zodat de effectieve halfwaardetijd wordt verlaagd.

#### *Wolff-Chaikoff effect*

Een mogelijk beschermend effect tegen de opname van een grote hoeveelheid radioactief jodium is het Wolff-Chaikoff effect. Hierbij treedt, na inname van een overmaat jodium, juist een snelle afname van de jodide-organificatie op met als gevolg een afname van de hormoonsynthese. Dit effect is onafhankelijk van TSH. Het mechanisme erachter is niet geheel bekend. Het zou mogelijk onder invloed staan van een daling van de verhouding schildklierjodide ten opzichte van vrij jodium. Misschien dat ook een forse verhoging in plasmajodide een rol speelt.

Het Wolff-Chaikoff effect is van voorbijgaande aard, het begint enkele uren na toediening van een overmatige dosis jodium en stopt na 24 tot 48 uur. Dan treedt weer organificatie op. De foetus is speciaal gevoelig voor het Wolff-Chaikoff effect, vanwege de lage concentratie van jodium in de schildklier en de snelle opname van jodium via de placenta. Dit kan leiden tot voorbijgaande hypothyreoïdie (verminderde schildklierwerking). Het effect treedt pas op vanaf de 36<sup>ste</sup> week.

Verhindering van de hormoonsecretie treedt op door middel van een afname van hydrolyse van het thyreoglobuline. Dit gebeurt snel wanneer de plasmaconcentratie lager is dan de concentratie die de hormoonsynthese verlaagt. Het gaat dan om een tijdelijk effect, dat maximaal 7 dagen duurt.

#### *Bijwerkingen*

Door jodium geïnduceerde hyperthyreoïdie. Dit komt met name voor bij mensen met een geringe inname van jodium. Het probleem hiervan zijn de cardiale risico's bij ouderen en mensen met coronairlijden. Atriumfibrilleren komt voor bij 15-20% van de mensen met hyperthyreoïdie.

Jodiumgeïnduceerde hypothyreoïdie treedt op ten gevolge van het voortduren van het Wolff-Chaikoff effect. Dit gebeurt vooral bij mensen met al bestaande schildklierafwijkingen, zoals een autoimmuun thyreoïditis, een postpartum thyreoïditis en een subacute thyreoïditis en ook na therapie met radioactief jodium voor een te snel werkende schildklier. Het komt relatief vaak voor bij pasgeborenen waar een geringe overdosis al een verminderde functie van de schildklier geeft. De overdosis komt ofwel voor de partus uit de moeder, ofwel na de geboorte uit de moedermelk. De pasgeborene heeft een nog onrijp regulatiesysteem. Hypothyreoïdie

bij pasgeborenen wordt soms al gezien na gebruik van jodium voor ontsmetting tijdens de bevalling. Het betreft een goed te behandelen aandoening, die echter wel snel ontdekt moet worden. In Nederland vindt screening door middel van een hiepriek plaats binnen enkele dagen na de geboorte.

Van allergische en anafylactische reacties is de frequentie niet goed bekend. Bij profylaxe in Polen na het ongeval in Tsjernobyl trad bij 2 van 5061 volwassenen mogelijk een anafylactische reactie op in de vorm van bronchospasme. Beiden waren tevoren al bekend met longlijden en er kon geen duidelijke relatie met de jodiumtoediening worden aangetoond.

#### *Opname van radioactief jodium in de schildklier*

Verschillende onderzoekers hebben gekeken naar de kinetiek van de opname van radioactief jodium in de schildklier<sup>15,16</sup>. Tabel B3.1 geeft een samenvatting van hun bevindingen. In al deze studies kregen de personen eenmalig radioactief jodium oraal toegediend en werd op verschillende tijdstippen het percentage radioactief jodium gemeten dat in de schildklier was opgenomen.

De kolommen geven de percentages opgenomen hoeveelheid weer. Na de auteurs en het jaartal van publicatie geeft de derde kolom het percentage in totaal opgenomen radioactief jodium ten opzichte van de toegediende hoeveelheid radioactief jodium weer. De volgende 3 kolommen geven de percentages radioactief jodium opgenomen in de schildklier 2, 4 en 6 uur na toediening. Tussen haakjes staat het percentage van de totaal in de schildklier opgenomen hoeveelheid radioactief jodium. Na 6 uur is in alle studies behalve die van Pupi 40 tot 60% van het radioactief jodium in de schildklier opgenomen. Dit betekent dat stabiel jodium dat na 6 uur wordt toegediend nog 40 tot 60% van de opname van radioactief jodium in de schildklier kan verhinderen. De zevende kolom geeft de tijd weer waarin de helft van het radioactief jodium in de schildklier is opgenomen.

In de studie van Pupi<sup>17</sup> et al. is in tegenstelling tot de andere studies radioactief jodium ingespoten in plaats van ingenomen. De opname is hier op alle tijdstippen sneller. Opgemerkt moet worden dat in alle studies van de toegediende hoeveelheid radioactief jodium uiteindelijk maximaal 40% in de schildklier werd opgenomen. Dit wordt niet beïnvloed door de wijze van toediening, mogelijk wel door de activiteit van de schildklier. In gebieden waar jodiumgebrek heerst, zoals in Duitsland, zal de opname hoger liggen, tot meer dan 50%.

Tabel B3.1 De opname van radioactief jodium in de schildklier.  
Presentatie van verschillende studies.

Auteurs	jaar	Totaal opname (%)	Opname na 2 u (% van totaal)	Opname na 4 u (% van totaal)	Opname na 6 u (% van totaal)	t <sub>1/2</sub> (u)
Gaffney et al.	1962	36,0	12,9 (35,8)		21,3 (59,2)	4,1
Ramsden et al.	1967	39,9			(50)	4,3
Bernard et al.	1970	16,1			9,3	4,8
Blum & Chandra	1971	22,7	6,0 (26,4)	8,0 (35,7)	(40)	5,7
Robertson et al.	1975	19,4			9,7 (50)	6,0
Schober & Hunt	1976	15,7		7,3 (46,5)		4,5
Sternthal et al.	1980	20,5	7,8 (3u) (38,0)		11,3 (55,1)	4,9
Miller et al.	1989	11,6	2,7 (23,3)		5,2 (44,8)	6,5
Pupi et al.	1991	22,7	12,0 (52,9)	16,0 (70,5)	18,0 (79,3)	2,3

Tabel gebaseerd op gegevens uit artikel van Kovari<sup>15</sup>

## Bijlage 4 Distributie in Duitsland en België

### Duitsland

In Duitsland is een distributieplan in ontwikkeling waarvan de implementatie is voorzien voor 2004. Duitsland kent de volgende interventie-niveaus voor jodiumprofylaxe (schildklierdosis):

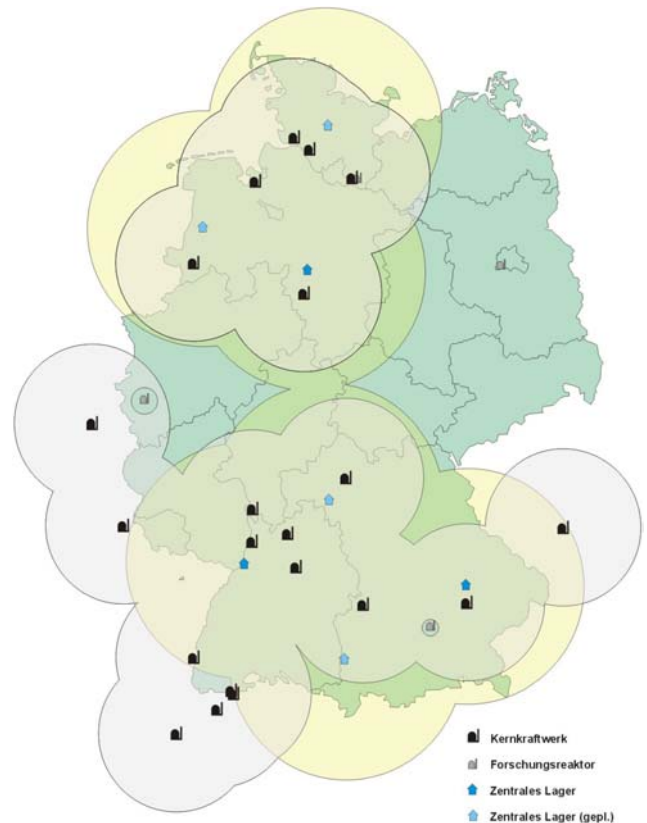
Kinderen en jongeren tot 18 jaar: 50 mSv

Volwassenen tot 45 jaar: 250 mSv

Hierbij wordt uitgegaan van een blootgestelde periode van 7 dagen. Er wordt niet aangenomen dat men ook schuilt.

Het distributieplan is verdeeld in een aantal zones rond de kerncentrales:

- 1) De eerste zone is 25 km rond de centrale. Primaire doelgroep zijn alle leden van de bevolking tot 45 jaar. De deelstaten moeten zelf beslissen of men de tabletten verdeelt onder de bevolking of onderbrengt in opslagplaatsen in gemeenten. Verpakkingen voor huishoudens bevatten 20 tabletten met 65 mg kaliumjodide.
- 2) De tweede zone is van 25 tot 100 km rond de centrale. Primaire doelgroepen zijn kinderen, jongeren tot 18 jaar en zwangere vrouwen. Een distributieplan voor de crisissituatie moet worden uitgewerkt. Het voorstel is dit door een gemeenschappelijke werkgroep van de federale overheid en de deelstaten te laten doen.
- 3) Bovendien zijn er nog zeven decentrale opslagplaatsen verdeeld over de Duitsland, in gebieden met een straal van 150 km zoals aangegeven in de figuur. Ook hiervoor moet een transportplan voor de crisissituatie worden uitgewerkt.



Figuur B4.1 De verschillende kerncentrales in en rond Duitsland

### België

In België is sedert november 2003 het nieuwe Noodplan van kracht<sup>18</sup>. Als interventiewaarde voor de maatregel jodiumprofylaxe is 50 mSv schildklierdosis (alleen inhalatie tijdens passage van de wolk) opgenomen. Hierbij wordt aangenomen dat men schuilt. Er is een kanttekening bij gemaakt dat deze waarde voor iedere site afzonderlijk kan variëren afhankelijk van de "bijzondere kenmerken" van de bevolking rond de centrale. In dit noodplan is ten aanzien van de distributie van jodiumtabletten het volgende voorzien:

- 1) Rond de kerncentrales, in een straal van 20 km, worden jodiumtabletten verstrekt aan gezinnen. Dit geldt voor de Belgische centrales te Doel, Tihange, de onderzoeksreactor in Mol en de productie van kernbrandstof te Dessel. Het geldt ook voor reactoren die het grensgebied met de buurlanden; Borssele en de Franse reactor te Chooz. In Fleurus bevindt zich een reactor voor de productie van radiofarmaca. Voor deze kleinere reactor geldt een zone van 10 km.
- 2) Buiten dat gezinnen direct worden voorzien van een voorraad tabletten, zijn er in deze zones eveneens voorraden bij scholen, ziekenhuizen, fabrieken en crèches.
- 3) Ook bij apotheken in deze organisatiezone zijn voorraden tabletten aanwezig.



- 4) Apotheken buiten deze zone zijn in het bezit van voorraden jodium. Het jodium is in verschillende vormen aanwezig (tabletten, lugol).
- 5) Grotere voorraden worden, verdeeld over het land, decentraal opgeslagen. Voor de eventuele verdeling van deze tabletten wordt nog een distributieplan opgesteld onder de verantwoordelijkheid van de minister van binnenlandse zaken.
- 6) Hulpdiensten die in de interventiezone moeten opereren worden eveneens voorzien van voorraden tabletten.

Er is geen leeftijdsgrens aangegeven. Echter, in het noodplan is aangegeven dat de advisering tot inname van tabletten bij crisissituaties met name gericht zal zijn op (jongere) kinderen en zwangere vrouwen.



*Figuur B4.2 De verschillende kerncentrales in en rond België.*

## Bijlage 5 Tekst bijsluiters jodiumprofylaxe

### B5.1 Bijsluiter voor de bevolking

De tekst voor de bijsluiter voor de bevolking is opgesteld in de vorm van veelgestelde vragen (FAQs).

#### *Waarom krijg ik jodiumtabletten?*

Het kan nut hebben een jodiumtablet in te nemen als er bij u in de buurt een ongeval plaatsvindt waarbij radioactief jodium vrijkomt. Omdat meestal niet lang van te voren bekend is dat een dergelijk kernongeval gaat gebeuren, heeft u uw tablet al in huis gekregen. Dit is een voorzorgsmaatregel en betekent niet dat er een ongeval verwacht wordt. **Het betekent ook niet dat u nu al een tablet moet innemen. Als er een ongeval plaatsvindt, zal de overheid u via radio of televisie adviseren of u een tablet moet innemen.**

#### *Als dit bericht via radio of televisie komt, moet dan iedereen een tablet innemen?*

Nee, niet iedereen. Het bericht zal hier duidelijk over zijn. Aan personen die ouder zijn dan 40 jaar zal geadviseerd worden om de tablet NIET in te nemen. Daarnaast kan geadviseerd worden om alleen kinderen en jongeren een tablet te laten innemen. De risico's van radioactief jodium zijn voor jonge kinderen het grootst en worden snel kleiner met het ouder worden. Andere personen die absoluut **GEEN** tablet moeten innemen, zijn:

- mensen die van zichzelf weten dat ze allergisch zijn voor jodium
- mensen die leiden aan een van de volgende zeldzame ziektes: Dermatitis Herpetiformis van Duhring, Iododerma Tuberosum, Hypocomplementaire Vasculitis, Myotonia Congenita.

#### *Zijn er bijwerkingen en risico's?*

Jodiumtabletten kunnen soms misselijkheid, huiduitslag, tranende ogen, hoesten, zwelling van de speekselklier en koorts veroorzaken. Wanneer deze klachten lang duren is het verstandig de huisarts te raadplegen. Na het innemen van de tablet kunt u een metaalsmaak in de mond krijgen. Mensen die van zichzelf weten dat ze allergisch zijn voor jodium moeten geen jodiumtablet innemen.

#### *Moeten zwangere vrouwen ook een tablet nemen?*

Zwangere vrouwen en vrouwen die borstvoeding geven moeten ook een hele jodiumtablet innemen. Op deze manier beschermen zij zowel zichzelf als hun ongeboren kind tegen de effecten van radioactief jodium. Wanneer het kindje kort hierna geboren zou worden, is het wel verstandig de arts of verloskundige te vertellen dat u een jodiumtablet heeft ingenomen. Dit kan een tijdelijk effect hebben op de werking van de schildklier van uw kindje. De arts of verloskundige kan de schildklierfunctie dan in de gaten houden.

#### *Hoe kan ik radioactief jodium binnen krijgen?*

Bij een ernstig ongeval met een kerncentrale kunnen er radioactieve stoffen vrijkomen. Een van deze stoffen is radioactief jodium. Radioactief jodium heeft dezelfde chemische en bio-

logische eigenschappen als het jodium dat in de voeding voorkomt. Het wordt met name in de schildklier opgenomen. In de schildklier is dit jodium nodig om het schildklierhormoon te maken.

Het radioactieve jodium kan op drie manieren in het lichaam worden opgenomen. De belangrijkste toegangsweg tijdens een kernongeval is via de luchtwegen, door inademen (inhalatie) van de radioactieve stofdeeltjes. Een andere mogelijkheid is het eten van met radioactief jodium besmet voedsel of drank. Dit kan bijvoorbeeld door het eten van groenten van besmet land of het drinken van melk van koeien die gras met radioactief jodium hebben gegeten. De derde mogelijkheid is besmetting via de huid, maar dit is voor jodium zeer beperkt.

Het eten van voedsel dat verontreinigd is met radioactief jodium zal tijdens en na een kernongeval worden verhinderd door dit voedsel en deze melk direct af te voeren. De opname via de ademhaling kan niet volledig tegengehouden worden. Wanneer men tijdens een kernongeval binnen blijft met de ramen en deuren gesloten, is de dosis wel lager dan buiten in de open lucht. Om de gevolgen van het binnen krijgen van radioactief jodium zo veel mogelijk te beperken, worden deze kaliumjodaatabletten verstrekt.

#### *Hoe werken de jodiumtabletten?*

De schildklier neemt altijd wat jodium uit het voedsel op om goed te kunnen functioneren. De schildklier maakt geen verschil tussen radioactief en niet-radioactief jodium. Wanneer er radioactief jodium in het lichaam komt zal de schildklier dit ook opnemen. Door in plaats van radioactief jodium gewoon jodium aan te bieden zal de schildklier minder radioactief jodium opnemen. Zo wordt de kans op nadelige effecten van radioactief jodium verkleind.

#### *Wanneer moeten de tabletten worden ingenomen?*

Het is het beste om de tabletten in te nemen kort voor de inname van radioactief jodium begint. Dan is het positieve effect van de tabletten het grootst. Omdat meestal niet lang van tevoren bekend is dat er een kernongeval gaat gebeuren, heeft u uw tablet(ten) al in huis gekregen. Dit is een voorzorgsmaatregel en betekent niet dat er een ongeval verwacht wordt. Het betekent ook niet dat u nu al een tablet moet innemen. Wanneer er sterke aanwijzingen zijn dat er radioactief jodium zou kunnen vrijkomen en u een tablet moet innemen wordt dit door de overheid via radio en tv bekendgemaakt. **Neemt u dus niet zomaar zelf de tablet in!**

#### *Wat zit er in de tabletten?*

Iedere tablet bevat 170 milligram kaliumjodaat ( $KIO_3$ ), dit komt overeen met 100 milligram jodium.

#### *Hoeveel tabletten moeten er geslikt worden?*

In het algemeen zal per persoon **eenmaal** een kwart, een halve of een hele tablet geslikt moeten worden.

Kinderen <b>tot en met 3</b> jaar	½ tablet
Kinderen van <b>4 en ouder</b>	1 hele tablet
Volwassenen <b>tot en met 40</b> jaar	1 hele tablet
<b>Zwangere</b> vrouwen (alle leeftijden)	1 hele tablet

daarmee beschermen ze ook hun ongeboren kind

Voor mensen boven de 40 jaar is er geen verhoogd risico van radioactief jodium voor de gezondheid aangetoond. Zij hoeven dus **GEEN** tablet in te nemen, behalve als ze zwanger zijn.

*Dus zwangere vrouwen moeten ook een hele tablet innemen?*

Ja.

*Hoe moeten de tabletten ingenomen worden?*

Het is het beste de tabletten niet op de nuchtere maag in te nemen maar met wat water of thee. Voor kinderen kan het stukje tablet hierin opgelost worden. Het moet dan wel direct worden opgedronken.

**Neemt u de tablet alleen in als dit door de overheid via radio of televisie duidelijk wordt aangegeven.**

Een tablet is genoeg om u te beschermen tegen de hoeveelheid radioactief jodium die u kunt inademen. Ook als het ongeval al begonnen is en er al radioactief jodium in de lucht is, is het nog goed om de tablet in te nemen. Dit kan tot ongeveer 6 uur na het begin van de vrijstelling van radioactief jodium. Het gunstige effect van de jodiumtabletten is dan wel minder.

*Wat doen de tabletten niet?*

De jodiumtabletten beschermen alleen tegen de gevolgen van het binnen krijgen van radioactief jodium. De tabletten beschermen dus niet tegen de effecten van andere radioactieve stoffen die bij een kernongeval vrij kunnen komen.

*Hoe moeten de tabletten bewaard worden?*

De tabletten moeten op een droge, donkere plaats bewaard worden.

## B5.2 Bijsluiter voor artsen

### *Waarom worden jodiumtabletten gegeven?*

Enkele van de splijtingsproducten die ontstaan in een kernenergiecentrale zijn radioactieve jodium isotopen. Deze zijn bij de daar heersende temperaturen in gasvorm aanwezig. Tijdens een ongeval met een kerncentrale kan daarom radioactief jodium vrijkomen in de lucht. Dit radioactief jodium zal vervolgens neerslaan op de bodem en op planten. Het kan de bevolking dus bereiken door inhalatie of door ingestie van besmette groente of melk.

Na inname en absorptie gedraagt radioactief jodium zich hetzelfde als gewoon jodium. Dit betekent dat het met name wordt opgenomen in de schildklier (bij euthyreote personen voor ongeveer 40%) en daar op de langere termijn aanleiding kan geven tot schildkliercarcinomen. Het risico is het grootst voor kinderen jonger dan 5 jaar. Stabiel jodium vermindert de opname van radioactief jodium in de schildklier.

### *Wanneer is inname van stabiel jodium noodzakelijk?*

Inname van stabiel jodium is alleen nodig wanneer daadwerkelijk een lozing met radioactief jodium uit de kerncentrale verwacht of gemeld wordt. Na het reactorongeval van Tsjernobyl zijn vooral bij kinderen hoge doses radioactief jodium in de schildklier gevonden. Het is van belang dat met name kinderen van stabiel jodium worden voorzien.

Het tijdstip van inname van stabiel jodium wordt door de overheid via radio of televisie bekend gemaakt. Wilt u uw patiënten er op wijzen dat het geen zin heeft zomaar, zonder aanwijzing van de overheid, een jodiumtablet in te nemen omdat dan onnodig risico op bijwerkingen wordt gelopen.

### *Is jodium toegestaan voor zwangeren en vrouwen die borstvoeding geven?*

De foetus neemt vanaf ongeveer de twaalfde week jodium in de schildklier op. Vanaf de zesde maand is deze opname aanzienlijk. Om ook de foetus te beschermen is het noodzakelijk dat de zwangere vrouw stabiel jodium inneemt. Bij een gewone dosis voor een volwassene zal zowel de zwangere vrouw als de foetus beschermd zijn. Wanneer de bevalling kort hierna plaatsvindt zullen eventuele schildklierfunctie-stoornissen bij het kind bij de hiepruk kunnen worden vastgesteld.

Jodium wordt in wisselende mate opgenomen in de moedermelk. Dit zal onvoldoende zijn voor het kind dat borstvoeding krijgt. Daarom zal dit kind zelf ook stabiel jodium toegediend moeten krijgen volgens het geldende doseringsschema.

### *Hoe werken de jodiumtabletten?*

De schildklier maakt geen onderscheid tussen stabiel en radioactief jodium. Wanneer voor of tijdens inhalatie van radioactief jodium een overmaat (100 mg) stabiel jodium wordt ingenomen (in Nederland in de vorm van 170 mg kaliumjodaat), zal er minder radioactief jodium door de schildklier opgenomen kunnen worden. De opname van jodium in de schildklier gaat vooral in het begin zeer snel, zodat de grootste reductie bereikt wordt wanneer het stabiel jodium voor of kort na inhalatie van radioactief jodium wordt ingenomen. Echter tot 6 uur na inhalatie van radioactief jodium is er 40-60% reductie van opname in de schildklier mogelijk.

*Welke dosering?*

Het is belangrijk dat er voldoende jodium wordt ingenomen zodat er zoveel mogelijk stabiel jodium in de schildklier wordt opgenomen. Een hoeveelheid van 100 mg jodium is voldoende voor een volwassene.

Voor jonge kinderen tot 4 jaar wordt een lagere dosis aanbevolen, namelijk 50 mg jodium, dus een halve tablet kaliumjodaat van 170 mg.

Samenvattend:

Kinderen <b>tot en met 3</b> jaar	½ tablet (85 mg kaliumjodaat ~ 50 mg jodium)
Kinderen van <b>4 en ouder</b>	1 tablet (170 mg kaliumjodaat ~100mg jodium)
Volwassenen <b>tot en met 40</b> jaar	1 tablet
<b>Zwangere</b> vrouwen (alle leeftijden)	1 tablet

daarmee beschermen ze ook hun ongeboren kind

*Wat zijn de risico's van en contraïndicaties voor de inname van jodiumtabletten?*

Personen, die bekend zijn met een allergie voor jodium moeten geen jodiumtabletten innemen. Ook mensen met Dermatitis Herpetiformis van Duhring, Iododerma Tuberosum, Hypocomplementaire Vasculitis en Myotonia Congenita zouden geen jodiumtabletten moeten gebruiken.

Als bijwerkingen van jodiumtabletten worden gezien: maagdarmklachten, huiduitslag, tranende ogen, verkoudheid, zwelling van de schildklier en zelden allergische reacties. Voor personen ouder dan 40 jaar is geen verhoogd risico op schildkliercarcinoom aangetoond. Bij hen zouden wel sneller bijwerkingen kunnen optreden zodat voor deze groep jodiumtabletten niet worden aanbevolen.

Patiënten die behandeld worden voor hyperthyreoïdie moeten na de eenmalige inname van 170 mg kaliumjodaat hun behandeling gewoon voortzetten. Het is raadzaam van alle hyperthyreote patiënten zo snel mogelijk na de ongevalsituatie schildklierfuncties te controleren.

*Zijn er alternatieven voor stabiel jodium?*

De inname van stabiel jodium is de effectiefste mogelijkheid om de opname van radioactief jodium in de schildklier te verminderen. Bij personen bij wie jodium gecontraïndiceerd is kan kaliumperchloraat gegeven worden. Dit remt de opname van radioactief jodium competitief.