



ADVIES VAN DE HOGE GEZONDHEIDSRAAD nr. 9235

Nucleaire ongevallen, leefmilieu en gezondheid in het post-Fukushimatijdperk: Rampenplanning

Nuclear accidents, environment and health in the post-Fukushima era: Emergency response

Versie gevalideerd op het College van
Februari - 2016^a

Plans are worthless, but planning is everything
Dwight D Eisenhower (1957)

SAMENVATTING

Op 11 maart 2011 trof een aardbeving gevolgd door een tsunami Japan en leidde daar tot een humanitaire ramp. In het kielzog van het natuurgeweld raakte de kernenergiecentrale Fukushima-Dai-ichi zwaar beschadigd. Daarbij kwamen grote hoeveelheden radioactieve stoffen vrij met als gevolg de evacuatie van bijna 200.000 mensen uit de omgeving van de centrale. De nucleaire ramp plaatste de discussie over de veiligheid van kernenergie weer hoog op de agenda, zowel in Japan als elders in de wereld. In Japan werden alle kernenergiecentrales buiten bedrijf gesteld, wat tot op heden, op een uitzondering na, nog steeds het geval is. De Europese Unie liet de centrales in de EU aan een zogeheten stress-test onderwerpen. De uitkomsten daarvan leidden, ook in België, tot een programma om de veiligheid van de centrales te verbeteren. Maar de externe noodplannen om de gevolgen van een nucleair ongeval voor mens en milieu zoveel mogelijk te beperken zijn nog steeds niet kritisch onder de loep genomen, evenmin als de kwaliteit en onafhankelijkheid van het veiligheidstoezicht. Wel heeft de EU nieuwe regels ter zake uitgevaardigd, die evenwel pas over enkele jaren door de EU-lidstaten dienen ingevoerd.

^a De Raad behoudt zich het recht voor om in dit document op elk moment kleine typografische verbeteringen aan te brengen. Verbeteringen die de betekenis wijzigen, worden echter automatisch in een erratum opgenomen. In dergelijk geval wordt een nieuwe versie van het advies uitgebracht.

In de aanloop naar de vierde en de vijfde “verjaardag” van de Japanse kernramp heeft de Hoge Gezondheidsraad (HGR) het Belgische nucleaire noodplan onder de loep genomen. Dat leidde in maart 2015 tot een eerste advies over de bescherming van de schildklier bij een nucleair ongeval. In het voorliggende afsluitende advies gaat de Raad een stap verder en doet hij aanbevelingen voor de noodzakelijke acties bij een nucleair ongeval, zowel op de korte als de lange termijn. Daarbij trekt de Raad niet alleen lessen uit ongevallen met kernenergiecentrales, maar evenzeer uit enkele andere grootschalige ongevallen. Ook al ligt de nadruk op noodplanningsprocessen, de Raad ontkomt er niet aan zijn aanbevelingen in het bredere kader van het nucleaire veiligheidsbeleid te plaatsen.

De Raad trekt ook conclusies op grond van gepubliceerde analyses van oorzaken en gevolgen van die ongevallen en neemt de innovatieve benadering over, ontwikkeld in Frankrijk, voor ongevalsbeheer op lange termijn. In het slothoofdstuk zijn de conclusies gerangschikt langs de lijnen van “bewustwording”, “paraatheid”, “volledigheid”. Extra aandacht krijgt ook het grensoverschrijdend karakter van ernstige kernongevallen in België of de nabije omgeving van ons land. Elke conclusie kent een aanbeveling voor de noodzakelijke herziening van het Belgische nucleair en radiologisch noodplan en waarmee het nucleaire veiligheidsbeleid rekening moeten houden in zijn concept en ontwikkeling. Hier vat de Raad zijn voornaamste bevindingen kort samen.

Kwetsbaarheid: De Raad bepleit een herijking van het nucleaire veiligheidsbeleid o.m. op basis van een zogeheten kwetsbaarheidsanalyse. Zo’n kwetsbaarheidsanalyse start op lokaal niveau maar moet een gevolg krijgen in analyses met een regionale, nationale en internationale reikwijdte. De kwetsbaarheidsanalyse, die de klassieke risicoanalyse van een kerninstallatie vervolledigt, omvat alle elementen die bij een ongeval een rol kunnen spelen, bijvoorbeeld de aanwezigheid van andere industriële activiteiten, de energievoorziening, de verkeersinfrastructuur, de impact op kwetsbare bevolkingsgroepen, etc. Het bestuderen van ongevalsscenario’s met een heel kleine kans van optreden maar met verstrekkende gevolgen moet hierbij de nodige aandacht krijgen.

Reikwijdte: De gedachte dat de gevolgen van een ernstig ongeval dank zij de veiligheidsvoorzieningen van kerncentrales slechts tot de onmiddellijke nabijheid van een kerncentrale beperkt zullen blijven, is door de praktijk gelogenstraft. Ook bij kerncentrales van westerse makelij kan een ernstig ongeval consequenties hebben voor mens en milieu tot op grote afstanden van de ongevalsinstallatie. Voor ongevallen met kernenergiecentrales in België of nabij de Belgische grenzen betekent dat al snel een miljoen mensen kunnen worden getroffen en grote gebieden met een belangrijke economische betekenis onleefbaar kunnen worden. Allereerst moet deze constatering leiden tot aanscherping van het veiligheidsbeleid en betrokken worden bij beslissingen over de veiligheid en inplanting van kernenergiecentrales. Daarnaast betekent dit een herijking van de noodplannen, zoals de Raad ook in zijn advies over bescherming van de schildklier al aangaf.

Herstel: Noodplannen beperken zich tot op heden tot de ongevalsfase, dat wil zeggen de periode waarin de dreiging van verder vrijkomen van radioactieve stoffen uit de ongevalsinstallatie bestaat. De aandacht gaat dan uit naar het voorkomen of in elk geval zoveel mogelijk beperken van de blootstelling van mensen aan straling. Maar als de installatie weer onder controle is, begint een langdurige periode van zo goed mogelijk herstel. Die periode duurt bij ernstige ongevallen vele tientallen jaren. Weliswaar is het niet mogelijk om in detail het herstel als onderdeel van het noodplanningsproces voor te bereiden, maar de Raad beveelt aan om wel een strategie daarvoor te ontwikkelen. Zo'n strategie moet inspelen op vragen als onder welke voorwaarden kunnen mensen weer werken en wonen in met radioactieve stoffen besmette gebieden, wat kan mensen die niet meer kunnen terugkeren worden geboden, wat te doen met het radioactieve afval van ontsmettingsoperaties, etc. ?

Internationale samenwerking: Ernstige ongevallen met kernenergiecentrales in of rondom België blijven niet beperkt tot het land waar de centrale zich bevindt. Internationale samenwerking is dus geboden. Dat geldt zowel voor de ongevalsfase, bijvoorbeeld bij evacuatie van bevolkingsgroepen, als in de fase van herstel. De Raad constateert dat de noodplannen aan weerszijden van de grens nog onvoldoende op elkaar zijn afgestemd, terwijl over wederzijdse hulpverlening maar beperkte afspraken zijn gemaakt. In deze lacune dient spoedig te worden voorzien. Daarbij breekt de Raad ook een lans voor coördinatie op Europees niveau. Nucleair veiligheidstoezicht heeft immers een Europese dimensie en daarom zou het nationale toezicht op Europees niveau moet worden aangevuld. Ander aandachtspunt bij Europese coördinatie zijn voorzieningen voor de werkers in de herstelfase; die werkers hebben veelal geen scholing en ervaring met werk in met radioactieve stoffen besmette gebieden en installaties.

Communicatie en participatie: Beslissingen over de veiligheid van nucleaire installaties worden genomen in kringen van nucleaire experts en beleidsmakers. Publieke informatie daarover heeft nog vaak een eenzijdig karakter. Hoewel er een kentering valt te bespeuren, meent de Raad dat er nog veel te winnen valt bij een transparant communicatieproces over nucleaire veiligheidskwesties en over noodplanningsprocessen. Daarbij dienen alle relevante partijen te worden betrokken, waaronder de bevolking in de gebieden rond de kerninstallaties. Zo'n participatieve benadering van nucleaire veiligheidskwesties verbetert de kwetsbaarheidsanalyses waarvan hiervoor sprake was en brengt de zorgen over nucleaire veiligheid die onder mensen leven aan het licht. Een participatieve benadering vereist wel duidelijkheid over de belangen die actoren hebben bij het beslissingsproces over nucleaire kwesties.

Kwesties over de ontwikkeling van kernenergie, over de veiligheid van kerninstallaties en over de gevolgen van ongevallen zijn complex en met onzekerheid omgeven. Die kwesties raken onvermijdelijk menselijke waarden die in samenleving uiteenlopend worden beoordeeld. De Raad bepleit dan ook een voorzorgbenadering en heeft zijn aanbevelingen in dat perspectief geformuleerd. Zo'n benadering vereist een strategie waarbij ook minder waarschijnlijke ongevalsscenario's onder loep worden genomen en waarbij alle belanghebbenden en de algemene bevolking op een open wijze worden

betrokken. Die strategie vereist ook dat nucleaire toezichthouders daadwerkelijk en controleerbaar onafhankelijk zijn van de exploitanten en van de dagelijkse politiek. Met dit doel voor ogen suggereert de Raad dat een Europese Nucleaire Veiligheids Autoriteit zou worden op poten gezet.

Sleutelwoorden en MeSH descriptor terms^a

Keywords	Mesh terms *	Sleutelwoorden	Mots clés	Stichworte
Radiation protection	Radiation protection	Stralingsbescherming	Radioprotection	
Emergency plan		Noodplanning	Plan d'urgence	
Fukushima	Fukushima Nuclear Accident	Fukushima	Fukushima	
Safety	Safety	Veiligheid	Sureté	
Nuclear accident		Nucleair ongeval	Accident nucléaire	
Precaution	Précaution	Voorzorg	Précaution	
Communication	Communication	Communicatie	Communication	
Participative		Participatief	Participative	
Long-term measure		Maatregel op lange termijn	Mesure à long terme	
Tsjernobyl	Chernobyl Nuclear Accident	Tsjernobyl	Tsjernobyl	

MeSH (Medical Subject Headings) is de thesaurus van de NLM (National Library of Medicine) met gecontroleerde trefwoorden die worden gebruikt voor het indexeren van artikelen voor PubMed.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh>.

^a De Raad wenst te verduidelijken dat de MeSH-termen en sleutelwoorden worden gebruikt voor referentiedoeleinden en een snelle definitie van de scope van het advies. Voor nadere inlichtingen kunt u het hoofdstuk "methodologie" raadplegen.

INHOUDSTAFEL

SAMENVATTING	1
INHOUDSTAFEL	5
AFKORTINGEN EN SYMBOLEN	7
DEFINITIES	8
1 INLEIDING EN VRAAGSTELLING	10
2 AANPAK	12
2.1 Methodologie	12
2.2 Opzet	12
3 NOODPLANNEN EN NOODPLANNING	13
3.1 Literatuur	13
3.2 De Belgische situatie	16
4 ONGEVALLLEN MET KERNINSTALLATIES	19
4.1 Veiligheid van kerninstallaties	19
4.2 Ongevulsfactoren	21
4.3 TMI ^{3,4}	21
4.4 Tsjernobyj ^{6,62,63}	23
4.5 Fukushima ^{7,8,81}	27
4.6 Lessen	33
5 NIET-NUCLEAIRE ONGEVALLLEN	37
5.1 Mississauga	37
5.2 Katrina	39
5.3 Wetteren ¹²⁰	40
5.4 Lessen	42
6 COMMUNICATIE EN GEZONDHEIDSGEVOLGEN	44
6.1 Risico en veiligheid	44
6.2 Risicoperceptie en risicocommunicatie	44
6.3 Communicatie bij nucleaire calamiteiten	46
6.4 Invloed op de gezondheid	51
7 HET HUIDIGE NUCLEAIRE EN RADIOLOGISCHE NOODPLAN	56
7.1 Algemene noodplan in België	56
7.2 Nucleaire noodplan	56
7.3 Nieuwe Europese regelgeving	61
7.4 Belangrijke kanttekeningen	62

8	INTERVENTIE EN HERSTEL	65
	8.1 Ongevalsefasen en voorbereiding	65
	8.2 Interventiemaatregelen	66
	8.3 Herstelfase	71
9	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	77
	9.1 Meer bewustwording	77
	9.2 Betere paraatheid	81
	9.3 Volledigheid	84
	9.4 Grensoverschrijdende aanpak	86
	9.5 <i>Naar een voorzorgstrategie</i>	87
10	REFERENTIES	89
	ANNEXES	107
	Annex I THE INTERNATIONAL NUCLEAR AND RADIOLOGICAL EVENT SCALE - INES ⁹	107
	Annex II ROOT CAUSES OF ACCIDENTS: GENERAL SAFETY TYPES	109
	Annex III TIMELINE OF THE EVENTS AT THE ACCIDENT WITH THE NUCLEAR POWER PLANT OF FUKUSHIMA-DAI-ICHI ⁸⁵	112
	Annex IV RECENT EUROPEAN REGULATIONS	117
	SAMENSTELLING VAN DE WERKGROEP	106

AFKORTINGEN EN SYMBOLEN

ALARA	<i>As low as is reasonably achievable</i> (zo laag als redelijkerwijs mogelijk; <i>aussi bas que raisonnablement possible</i>)
ARBIS	Algemeen reglement op de bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van ioniserende stralingen (<i>RGPRI - règlement général de protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants</i>)
BLEVE	<i>boiling liquid expanding vapour explosion</i>
Bq	becquerel, SI-eenheid radioactiviteit, 1 Bq komt overeen met het verval van 1 radioactieve kern per seconde (1 Bq komt overeen met 1 s^{-1})
CGCCR	Coördinatie- en Crisiscentrum van de Regering (<i>Centre Gouvernemental de Coordination et de Crise</i>)
CODIRPA	<i>Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire</i> (Frankrijk)
COFECO	Federaal coördinatiecomité (<i>Comité fédéral de coordination</i>); besluitvormend orgaan volgens het federaal noodplan
EDA	Emergency Director van de overheid (<i>Emergency Director des autorités</i>); Engels: <i>Emergency Director of Authorities</i>
EM-DAT	<i>The International Disaster Database</i> (onderhouden door het <i>Centre for Research on the Epidemiology of Disasters</i> van de <i>Université Catholique de Louvain</i>)
ENSREG	<i>European Nuclear Safety Regulators Group</i>
EU	Europese Unie (<i>UE - Union européenne</i>)
FANC	Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (<i>AFCN - Agence fédérale de Contrôle nucléaire</i>)
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FAVV	Federaal Agentschap voor de veiligheid van de voedselketen (<i>Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire</i>)
FOD	Federale Overheidsdienst (<i>Service Public Fédéral</i>)
GFT	<i>General Failure Type</i> , (zie 0)
GW	gigawatt, $1 \text{ GW} = 10^9 \text{ W}$; zie bij W
HERCA	<i>Heads of European Radiological Protection Competent Authorities</i>
HGR	Hoge Gezondheidsraad (<i>CSS - Conseil Supérieur de la Santé</i>)
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i> (<i>AIEA - Agence internationale de l'énergie atomique</i>)
INES	<i>International Nuclear and Radiological Event Scale</i>
ITB	<i>Iodine thyroid blocking</i>
IRE	Nationaal Instituut voor Radio-elementen (<i>Institut National des Radioéléments</i>)
KB	Koninklijk Besluit (<i>AR - Arrêté royale</i>)
kBq	kilobecquerel, $1 \text{ kBq} = 1000 \text{ Bq}$; zie bij Bq
mSv	millisievert, $1 \text{ mSv} = 0,001 \text{ Sv}$; zie bij Sv

NERIS	<i>European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery</i>
NNP	nucleair en radiologisch noodplan voor het Belgisch grondgebied ('nucleair noodplan') (<i>PUN – Plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge ('plan d'urgence nucléaire')</i>)
PBq	petabecquerel, 1 PBq = 10 ¹⁵ Bq; zie bij Bq
Sv	sievert, SI-eenheid van stralingsdosis; 1 Sv komt overeen met 1 J·kg ⁻¹
TELERAD	het radiologisch meetnetwerk van het FANC (<i>le réseau de mesure radiologique de l'AFCN</i>)
UNSCEAR	<i>United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>
W	watt, afgeleide SI-eenheid van vermogen
WENRA	<i>Western European Nuclear Regulators Association</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>
WIV-ISP	Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid (<i>Institut Scientifique de Santé Publique</i>)

DEFINITIES

Kernenergiecentrale	Kerninstallatie waar kernenergie wordt gebruikt om elektriciteit op te wekken. De energie wordt opgewekt in een of meer kernreactoren.
Kerninstallatie	Bedrijfscomplex waar kernmateriaal wordt toegepast voor het verrijken van kernmateriaal, voor de fabricage van kernbrandstof, voor onderzoek, voor het opwekken van elektriciteit, voor de opslag van verbruikte kernbrandstof, en voor het opwerken van verbruikte kernbrandstof [nuclear installation ¹].
Kernongeval	Een ongeval waarbij radioactieve stoffen of ioniserende straling (of beide) vrijkomen of kunnen komen (ook radiologisch ongeval genoemd) [nuclear accident ¹].
Kernreactor	Onderdeel van een kerninstallatie waarin kernsplijting plaatsvindt.
Kernreactorongeval	Radiologisch ongeval bij een kernenergiecentrale of bij een kernreactor die niet is bedoeld voor elektriciteitsproductie.
Radiologische ongeval	Een ongeval waarbij radioactieve stoffen of ioniserende straling (of beide) vrijkomen of kunnen komen (ook kernongeval) [nuclear accident ¹].
Radiologisch noodplan	Het geheel van overheidsmaatregelen ter bescherming van de bevolking en het leefmilieu bij een radiologische noodsituatie die het Belgische grondgebied rechtstreeks of onrechtstreeks bedreigt (ontleend aan ²). In dit advies wordt veelal kortweg over 'noodplan' gesproken als 'radiologisch noodplan' wordt bedoeld.

Radiologische noodsituatie	Situatie die ontstaat door een radiologisch ongeval waarbij de bevolking of het leefmilieu direct of indirect kunnen worden blootgesteld aan ioniserende straling. Bij een kernreactorongeval is er ook sprake van het ongecontroleerd vrijkomen van energie door kernsplijting of radioactief verval [nuclear, radiological emergency ¹].
Stralingsblootstelling	Blootstelling van het gehele lichaam of een orgaan in het lichaam aan (in dit advies: ioniserende) straling.
Stralingsdosis	In het lichaam of in een orgaan bij stralingsblootstelling geabsorbeerde stralingsenergie per eenheid van massa (lichaamsgewicht of orgaangewicht). Wordt bij de bepaling van de stralingsdosis rekening gehouden met de effectiviteit van het soort straling om gezondheidsschade aan te richten, dan gebruikt men voor de stralingsdosis de eenheid sievert, afgekort als Sv (zie bij AFKORTINGEN EN SYMBOLEN). De 'effectieve stralingsdosis' is de stralingsdosis gemiddeld over het gehele lichaam, rekening houdend met de verschillen in stralingsgevoeligheid van diverse organen. Bij gelijkmatige stralingsblootstelling van het gehele lichaam is de effectieve stralingsdosis gelijk aan de stralingsdosis.

1 INLEIDING EN VRAAGSTELLING

Kernenergiecentrales zijn complexe, grootschalige technologische installaties. Daarom zijn ontwerp, realisering en bedrijf mede gericht op het voorkomen van ongevallen waarbij mens en milieu in de nabije en verre omgeving van de installatie ernstig worden bedreigd. Onder meer de kernongevallen met de centrales van TMI in de VS (the president's commission on the Accident at Three Mile Island, 1979; US General Accounting Office, 1980), van Tsjernobyl in de voormalige USSR (Who, 2006; IAEA, 1992) en van Fukushima, Japan (Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations, 2011 en 2012) hebben duidelijk gemaakt dat ongevals-aanleidingen veelal onbedacht zijn, gevolgen tevoren onvoldoende ingeschat en dat ongevallen niet altijd met technische middelen zijn te voorkomen. Het ongeval in Japan heeft tevens laten zien dat externe gebeurtenissen, zoals extreme natuuroomstandigheden, een kernenergiecentrale ernstig kunnen beschadigen met grote nadelige gevolgen voor mens, milieu en samenleving.

Volgens internationale afspraken worden incidenten en ongevallen met kerninstallaties ingedeeld op een schaal van 0 tot en met 7, de zogeheten *International Nuclear and Radiological Event Scale* (INES – IAEA, 2008). Deze indeling is ontworpen voor communicatiedoeleinden en staat los van de notificatie- en alarmniveaus uit het Belgische nucleaire noodplan (zie 7.2.5). Een nadere toelichting geeft Annex I. Niveaus 4 tot en met 7 worden aangeduid als *ongevallen* en hebben mogelijk gevolgen voor de omgeving van de installatie. Tot de ernstigste ongevallen, die van niveau 7, behoren het ongeval met de kernenergiecentrale in Tsjernobyl in 1986 (4.4) en dat met een kernenergiecentrale in Fukushima in 2011 (4.5); het ongeval met de TMI-kernenergiecentrale in de Verenigde Staten in 1979 was van niveau 5 (4.3). Het ongeval bij het Nationaal Instituut voor Radio-elementen (IRE) in Fleurus in 2008, waarbij radioactief jodium in de omgeving vrijkwam (FANC, 2008), is geclassificeerd als een *storing* van niveau 3 op de INES-schaal.

De overheid speelt een toezichthoudende rol bij het voorkomen van ongevallen, en voert de regie bij het beperken van de gevolgen voor mens en milieu als een ongeval onverhoopt gebeurt. Voor dat laatste zijn in landen met kerninstallaties radiologische noodplannen opgesteld. Dat is ook in België het geval (KB, 2003).

Een zeebeving, gevolgd door een tsunami, leidde op 11 maart 2011 tot een nucleaire calamiteit met kernenergiecentrales in Fukushima in Japan, in het bijzonder met de centrale *Fukushima Dai-ichi*. Wereldwijd was dit kernongeval, waarbij vier kernreactoren waren betrokken, aanleiding voor hernieuwde aandacht voor de veiligheid van kernenergiecentrales. De Europese Raad besloot eind maart 2011 de centrales binnen de Europese Unie (EU) aan een veiligheidsbeoordeling te onderwerpen, een zogeheten stress-test (EU, 2011). Het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC) heeft in mei 2011 specificaties voor de stress-test van de Belgische kernenergiecentrales opgesteld (FANC, 2011a). Bij deze test moest de exploitant van een kernenergiecentrale aandacht besteden aan ernstige aardbevingen, overstromingen, verlies van energievoorziening, verlies van koelcapaciteit en de beheersing van ernstige

ongevallen (bedrijfsnoodplannen). Op grond van het beoordelingsverslag van eind 2011 is een nationaal actieplan opgesteld ter verdere verbetering van de veiligheid van de kernenergiecentrales in Tihange en Doel (FANC, 2011b). In 2014 zijn de vorderingen bij de uitvoering van het actieplan gepubliceerd (FANC, 2014).

In het licht van de gebeurtenissen in Fukushima acht de HGR een kritische beschouwing van de huidige voorzieningen voor het inperken van de gevolgen van ernstige kernongevallen aangewezen. Die voorzieningen omvatten het radiologisch noodplan, maar ook andere elementen van nucleaire-rampenplanning. In de stress-testrapportage ontbreekt een beschouwing daarover (FANC, 2011b)¹³. De Raad geeft in het voorliggende rapport die beschouwing en richt zich daarbij op de bedreigingen van de fysieke en geestelijke volksgezondheid en van het milieu. Beïnvloeding van het milieu, bijvoorbeeld door het vrijkomen van radioactieve stoffen bij het ongeval, kan immers eveneens op korte of lange termijn de volksgezondheid bedreigen en de samenleving ontwrichten. De Raad wil niet alleen lering trekken uit het Japanse kernongeval, maar ook uit andere ernstige, onverwachte, grootschalige ongevallen binnen en buiten de nucleaire sector.

Belangrijk aspect bij de voorbereiding op een ongeval en bij maatregelen als een ongeval onverhoopt gebeurt, is communicatie tussen overheid, bedrijfsleiding en getroffen burgers. Communicatie houdt heldere en correcte informatieverstrekking in, maar ook luisteren naar en reageren op vragen en zorgen van de getroffen burgers. Zoals nader zal worden besproken, is vertrouwen en respect tussen de betrokken partijen de grondslag voor doeltreffende communicatie. Bij een kernongeval staan de mogelijke blootstelling aan ioniserende straling en de gezondheidsgevolgen daarvan—zowel van biofysische als psychosociale aard—centraal. Maar zeker zo belangrijk is de bedreiging van het wegvallen of het daadwerkelijk wegvallen van een veilige, vertrouwde woonomgeving met gezondheidsklachten van fysieke en psychische aard tot gevolg. Deze zaken zal de Raad in dit advies bespreken.

Samenvattend wil de HGR hier een antwoord geven op de vraag: Hoe kunnen door een proces van zorgvuldige voorbereiding, rekening houdend met de lessen van eerdere ongevallen en gegeven de concentratie van nucleaire installaties in en rondom ons dichtbevolkte land, de nadelige gevolgen voor de gezondheid en het milieu van een ernstige ongeval in een kerninstallatie worden voorkomen of in elk geval zoveel mogelijk worden ingeperkt?

2 AANPAK

2.1 Methodologie

Na instemming met het projectvoorstel door het College werd een *ad-hoc* werkgroep opgericht met deskundigen in de volgende disciplines: reactorveiligheid, beveiliging, stralingsbescherming, risicoanalyse, gezondheidspsychologie en communicatie. De experts van de werkgroep hebben een algemene en een *ad-hoc* belangenverklaring ingevuld en de Commissie voor Deontologie heeft de mogelijkheid van belangenconflicten beoordeeld.

Bij de voorbereiding van het advies heeft de werkgroep enkele deskundigen op het terrein van veiligheid en communicatie gehoord. Deze deskundigen waren niet betrokken bij het opstellen van het advies.

Als onderdeel van het huidige adviesproject heeft de Raad eerder een advies over het toepassen van stabiel jodium ter bescherming van de schildklier bij een ernstig kernongeval uitgebracht (HGR 2015). Voor de daarbij betrokken deskundigen zij naar dat advies verwezen.

Na goedkeuring van de tekst door de werkgroep werd het advies gevalideerd door het College van de HGR.

2.2 Opzet

In het volgende hoofdstuk (0) vat de Raad de kennis over noodplannen en noodplanning samen. Daarna passeren nucleaire en niet-nucleaire ongevallen de revue en trekt de Raad lessen die uit die ongevallen (Hoofdstuk 0 en Hoofdstuk 0). Vervolgens wordt de invloed van nucleaire ongevallen op de gezondheid en communicatie daarover in ongevalsituaties besproken (Hoofdstuk 0). In Hoofdstuk 0 vat de Raad de huidige voorzieningen voor nucleaire ongevalsituaties samen en houdt hij die tegen het licht van de bevindingen in de eerdere hoofdstukken. Na een bespreking van de maatregelen op de korte en lange termijn om de gevolgen van een nucleair ongeval zoveel mogelijk te beperken (Hoofdstuk 0) vat het slothoofdstuk (9) de bevindingen van de Raad samen in de vorm van conclusies en aanbevelingen.

3 NOODPLANNEN EN NOODPLANNING

In dit hoofdstuk bespreekt de HGR de literatuur over het omgaan met ongevalsdreiging en het bestuurlijk en beleidsmatig optreden van de overheid bij daadwerkelijke ongevallen. Daaruit worden conclusies voor de Belgische situatie getrokken.

3.1 Literatuur

Noodplannen zijn een reactie op ernstige ongevallen met mogelijke gevolgen voor de gezondheid van mens en milieu en met mogelijke economische schade. Ze staan niet op zich maar zijn te beschouwen als sluitstuk van een beleid dat in eerste instantie is gericht op het voorkomen van ongevallen.

Het is de Raad opgevallen dat in de literatuur over noodplannen ter beheersing van de gevolgen van kernongevallen zelden wordt gerefereerd aan andersoortige ongevallen, zoals incidenten met chemische installaties, terroristische aanvallen, overstromingen, etc. Toch valt van het beheersen van de nasleep van niet-nucleaire ongevallen en rampen het nodige te leren voor het nucleaire domein (en *vice versa*). De Raad is een warm voorstander van het gezamenlijke lering trekken uit ongevallen van uiteenlopende aard. In deze paragraaf komen daarom bevindingen uit de algemene literatuur over noodplannen en noodplanning aan bod.



Figuur 1 Fasen van noodplanning.

Bij noodplanningsprocessen zijn drie fasen te onderscheiden: de situatie zonder ongeval, de directe interventie na het ongeval en de herstelfase met maatregelen om zoveel mogelijk naar een normale situatie terug te keren (zie Figuur 1). In de “normale situatie”, als er van een ongeval geen sprake is, is de noodplanorganisatie niet slapend. Juist dan moet de organisatie worden ‘onderhouden’, is er ruimte voor training, oefening en overleg en voor aanpassing aan nieuwe bevindingen uit veiligheids- en ongevalsanalyses. Treedt er ongeval op of kondigt het zich aan^b, dan treedt het noodplan in werking. Als de acute dreiging voor de gezondheid van mens, milieu en maatschappij is bezworen, dan dient de herstelfase zich aan. Ze kan zeer kortstondig zijn

^b Sommige ongevallen ‘kondigen zich aan’. Voorbeelden hiervan komen verderop aan bod bij de bespreking van “Fukushima” waar er een zekere (zij het korte) tijd verliep tussen aardbeving en tsunami en tussen tsunami en kernsmelt (4.5) en bij “Katrina” waar de aanlanding van de orkaan ruim te voren bekend was (5.2).

zonder veel sporen na te laten (zie de bespreking van Mississauga in 5.1), dan wel tientallen jaren duren (zie de bespreking van “Tsjernoby!” in 4.4).

Het succes van de maatregelen in de fasen van “directe interventie” en van “herstel” hangen niet alleen af van de aard en ernst van het ongeval maar evenzeer van de voortdurende planning in de “normale” fase. Voor een opzet van een noodplanningsorganisatie en het proces van noodplanning zijn in de literatuur van de afgelopen decennia richtlijnen te vinden. De Raad vat hier kenmerken geformuleerd door Perry en Lindell (Perry et al, 2003) samen, die volgens hem een goede algemene basis bieden. Ze sporen overigens met andere publicaties, bijvoorbeeld (Lalonde, 2011; Alexander, 2005).

Noodplannen zijn gekoppeld aan een bepaalde jurisdictie, dat wil zeggen aan een deel van een staat met een eigen bestuur en eigen bevoegdheden. Voorbeelden zijn de gemeente, de provincie, het gewest en de staat zelf. Ook multinationale organisaties, zoals de Europese Unie, kan men hiertoe rekenen. Van belang is dat de noodplannen van die diverse jurisdicties op elkaar zijn afgestemd. In de literatuur wordt betoogd dat de planning op lokaal niveau de bouwsteen vormt van het bouwwerk van (inter)nationale noodplannen. Zo moet in Zweden elke lokale gemeenschap een kwetsbaarheidsanalyse uitvoeren als grondslag voor noodplanning (Hassel, 2012). Nu overstijgen de gevolgen van ernstige kernongevallen al snel de lokale gemeenschap, maar dat wil niet zeggen dat een lokaal noodplan niet relevant is bij zo’n ongeval. Juist lokaal is men immers in staat om kwetsbare burgers te identificeren en op basis van de lokale infrastructuur passende maatregelen te ontwerpen voor bijvoorbeeld evacuatie.

Kwetsbaarheidsanalyse: Het eerste kenmerk van een noodplan is dat het gebaseerd moet zijn op kennis van de bedreigingen en op de wijze waarop mensen daarop reageren. Een risico- en kwetsbaarheidsanalyse speelt daarbij een belangrijke rol. Voor technologische bedrijvigheden, zoals kernenergiecentrales en chemische installaties, is een risicoanalyse onderdeel van het vereiste veiligheidsrapport. De kwetsbaarheid van gemeenschappen en de reactie van burgers op een ernstig ongeval zijn veel minder onderwerp van studie geweest. Voor een adequaat noodplan is zo’n kwetsbaarheidsanalyse essentieel. Ook de reactie van burgers op een ongevalssituatie komt daarbij aan de orde. In tegenstelling tot wat wel wordt verondersteld, reageren burgers niet in blinde paniek op een ongeval of ongevalsdreiging (Perry et al, 2003). Dat is dan ook zeker een reden om burgers bij de inrichting van een noodplan te betrekken. In 3.2, 6.3.1 en 6.4.1 komt de Raad hier uitgebreider op terug.

Gepaste interventies: Een noodplan behoort crisismanagers te stimuleren om gepaste, doeltreffende interventies in gang te zetten. Een snelle reactie is van belang, maar als die snelheid tot onzorgvuldigheid leidt—meestal onbedoeld—, dan is de interventie contraproductief. Zo leidden sommige evacuaties bij “Fukushima” (zie 4.5) juist tot extra blootstelling omdat men door gebrek aan gegevens met de verspreiding van de radioactieve stoffen in de lucht onvoldoende rekening had gehouden. De crisismanager van een andere kernenergiecentrale in het Japanse aardbevingsgebied

(de Fukushima-Dai-ni-centrale, zie pagina 1 voetnoot a) nam de tijd om zijn medewerkers vertrouwen in de ongevals-aanpak te laten krijgen, alvorens hij ze op schade-onderzoek naar de vier kernreactoren zond; dit bevorderde de beheersing van de ongevalsdreiging (Gulati et al, 2014). Het voorstel van Lagadec van een *rapid reflection force* bij grootschalige rampen sluit aan bij de notie van “gepaste interventie” (Lagadec, 2010).

Flexibiliteit: Geen enkel ongeval is een kopie van een eerdere gebeurtenis, althans zeker niet in de details van het verloop. Bovendien treden er bij het ongevalsverloop allerhande onverwachte zaken op. Daarom is een noodplan geen receptenboek maar vooral een organisatie-richtlijn die adequate interventie op grond van de zich aandienende gebeurtenissen moet stimuleren.

Coördinatie: Bij interventies na ernstige ongevallen zijn veel partijen betrokken. In de eerste plaats allerhande overheidsorganen, zowel die van de diverse jurisdicties (lokaal, provinciaal, regionaal, nationaal, internationaal) als die verantwoordelijk zijn voor maatschappelijke functies (gezondheid, milieu, veiligheid, economie, etc.). Maar daarnaast moet ook een beroep op maatschappelijke organisaties, kennisinstituten en vrijwilligers worden gedaan. Al die instanties moeten soepel samenwerken, zonder dat conflicten over bevoegdheden of tactiek spaken in het wiel steken. Voorbeelden van streefde samenwerking komen in de volgende hoofdstukken aan bod. Belangrijk is dat de leidinggevendenden van de diverse instanties deel uitmaken van een persoonlijk netwerk. Daartoe is geregelde oefening van het noodplan vereist, aangezien oefeningen bij uitstek het persoonlijk netwerk helpen op te bouwen en in stand te houden. De vereiste coördinatie gebaseerd op functionele afspraken en onderling vertrouwen moet ook een eenduidige leiding bij het beheersen van de gevolgen van ongevallen garanderen.

Samenhang: Noodplannen voor verschillende typen ongevallen moeten een samenhangend geheel vormen. Gemeenschappen van mensen hebben te maken met bedreigingen van uiteenlopende aard, maar interventies komen overeen, of hebben raakvlakken. Evacuatie is daarvan een goed voorbeeld. Het bevordert de doeltreffendheid van de interventie als er een eenduidig evacuatieplan is, waarbij uiteraard verschillende typen ongevallen verschillende aanvullende voorzieningen vereisen. Een voorbeeld zijn voorzieningen voor radioactieve decontaminatie bij een ernstig kernongeval.

Training en oefening: Hiervoor is het belang van oefening met het noodplan al benadrukt (onderhoud van het netwerk van crisismanagers). Een eerste functie is het op het spoor komen van tekortkomingen in het noodplan. Even belangrijk is de training van de crisismanagers. Maar daarnaast is een oefening ook een gelegenheid om beleidsverantwoordelijken met het plan en hun rol daarin te laten kennismaken. Die informatiefunctie is er ook naar het algemene publiek toe. Oefenen is net als noodplanning in het algemeen een voortdurend proces: de bedreigingen veranderen, de inzichten over de bedreigingen en hun mogelijke gevolgen veranderen, en *last but not least* de bij het noodplan betrokkenen wijzigen, in sommige gevallen (bijvoorbeeld politici)

zelfs in een betrekkelijk hoog tempo. Ten slotte zijn oefeningen een manier om interventies, althans in enige mate te testen. Indien bijvoorbeeld in samenhang met een ernstig kernongeval jodiumtabletten moeten worden gedistribueerd (HGR, 2015), dan is het noodzakelijk het distributieproces tevoren te oefenen om knelpunten op het spoor te komen.

Verzet: In de praktijk kunnen noodplannen en de voorzieningen die ze vereisen, weerstand oproepen. Noodplannen en noodplanning zijn niet gratis, en bij krappe overheidsbudgetten is er sprake van concurrentie met andere maatschappelijke doelen en wensen. Een andere reden is dat de gedachte bij de overheid, maar ook bij burgers, postvat dat “het zo’n vaart wel niet zal lopen”. Katrina (zie 5.2) biedt daarvan een voorbeeld, evenals Tsjernobyl (zie 4.4). Uiteraard is het verdelen van publieke middelen over maatschappelijke doelen een normale functie van politieke en beleidsorganen, maar het is goed te bedenken dat als het onverhoopt goed mis gaat en de noodplanorganisatie faalt, de kosten gigantisch zijn. De in de volgende hoofdstukken te bespreken ongevallen illustreren dit. Een ander aspect is het in verval raken van een noodplan door een effectief veiligheidsbeleid. Als de aandacht voor het voorkómen van ongevallen doeltreffend is, is het optreden van ernstige ongevallen een zeldzaamheid. Dat kan leiden tot een verminderde prioriteit voor noodplannen en noodplanning en het afnemen van politieke en beleidsmatige bereidheid hiervoor voldoende middelen te garanderen.

3.2 De Belgische situatie

Noodplannen en noodplanning zijn dus onderdelen van een beleid gericht op het bevorderen van de veiligheid van mens in milieu in onze geïndustrialiseerde samenleving. In België worden aan dat beleid, gezien het relatief kleine oppervlak vergeleken met omringende landen als Frankrijk en Duitsland en de hoge bevolkingsdichtheid, bijzondere eisen gesteld. Ook speelt de kustligging een rol. Op een dag in het hoogseizoen kunnen er ruim meer dan een miljoen gasten aan de kust vertoeven (Westtoer, 2011)^c. Dit advies is niet de plaats om al die eisen in detail te bespreken. Maar voor het sluitstuk van het veiligheidsbeleid—het treffen van voorzieningen om de gevolgen van toch opgetreden ongevallen te beheersen—benadrukt de HGR dat overleg en afstemming met de buurlanden noodzakelijk is. Dat geldt in het bijzonder voor de voorzieningen voor het beheersen van ernstige kernongevallen.

Het kleine landoppervlak en de hoge bevolkingsdichtheid leiden er onvermijdelijk toe dat er industriële complexen ontstaan zijn, waarbij het risico van de ene installatie niet los kan worden gezien van dat van een andere. Daarbij komt dat die complexen, en hetzelfde geldt voor bijvoorbeeld transportaders, nabij stedelijke agglomeraties zijn gelegen. De gevolgen van ernstige ongevallen kunnen dus veel mensen treffen en daarmee bijzonder ernstig zijn.

^c Die hoge bevolkingsconcentraties zal de noodplanorganisatie bij ernstig nucleair ongeval (bijvoorbeeld met de Franse kernenergiecentrale van Gravelines) voor ernstige problemen stellen.

Noodplanning en noodplannen zijn dus onderdeel van een veiligheidsbeleid. De HGR gebruikt beide termen in één adem, omdat hij het beheersen van de nasleep van ernstige ongevallen (overigens in navolging van diverse auteurs (Perry et al, 2003; Lalonge, 2011; Alexander, 2005) ziet als een voortdurend “proces” en niet zozeer als het vaststellen van een document dat eens in de zoveel tijd mogelijk aan een revisie wordt onderworpen.

De HGR ondersteunt de bevinding in de vorige paragraaf dat in België een “kwetsbaarheidsanalyse” de grondslag van noodplanning en noodplannen is of zou moeten zijn. Zo’n kwetsbaarheidsanalyse is bij uitstek een participatief project waarin *stakeholders*, inclusief burgers, een rol spelen. Met deze benadering is onder andere bij projecten voor de opslag van radioactief afval de ervaring opgedaan (Westerlind et al, 2011; Andersson et al, 2003), ook in België (NIRAS, 2010). In 6.3 komt de Raad hierop terug.

Een “bottom-up”-benadering leidt tot meer inzicht in kritieke locaties, processen en fasen van een ongeval en de beheersing ervan dan slechts een “top-down”-benadering waarbij de overheid uitsluitend leunt op de resultaten van opgedragen analyses door deskundigen en formele politieke besluitvorming. Een belangrijk aandachtspunt is dat kwetsbaarheidsanalyses lokaal, regionaal en nationaal en ook internationaal moeten worden uitgevoerd en dat de resultaten van de analyses zorgvuldig dienen te worden geïntegreerd. De Raad erkent dat dit een complex proces is, maar hij meent dat samenhangende kwetsbaarheidsanalyses op diverse niveaus de effectiviteit en de efficiëntie van noodplanning sterk kunnen bevorderen en daarmee de gevolgen van ongevallen voor mens en milieu verminderen. België zou het voortouw kunnen nemen voor kwetsbaarheidsanalyses op het internationale niveau.

Met deze benadering als grondslag zijn zaken als samenhang en coördinatie, die hiervoor als kenmerken van noodplanning en noodplannen werden genoemd, een vanzelfsprekendheid. Dat wil echter niet zeggen dat samenhang en coördinatie daarmee in de praktijk zijn gerealiseerd. Adequate training van alle betrokkenen is daarvoor een essentiële voorwaarde. In welke mate noodplanning en noodplannen aan deze kenmerken voldoen, moet blijken uit de evaluatie van oefeningen. De HGR benadrukt dat zulke oefeningen niet uitsluitend sectoraal, dus bijvoorbeeld alleen nucleair, of alleen chemische procesindustrie, en niet uitsluitend op een enkel bestuurlijk niveau, dus bijvoorbeeld alleen federaal, of alleen lokaal, moeten worden georganiseerd. Als een kwetsbaarheidsanalyse leidt tot een bedreiging van de petrochemische industrie in het Antwerpse havengebied door een ongeval bij de kernenergiecentrale van Doel (of *vice versa*), dan vereist voorbereiding daarop oefening met nucleaire én industriële noodplanning te zamen.

De uitvoering van noodplanning en noodplannen vereist de medewerking en samenwerking van alle betrokkenen: overheden, bedrijven, zorginstelling, hulpdiensten, etc. en van burgers. Om dat te realiseren is training en oefening nodig, zoals zojuist al aangegeven. Maar daarnaast ligt hier een belangrijke communicatie-opgave voor de overheid in het bijzonder richting burgers. Doeltreffende communicatie in “vredestijd”

is een noodzakelijke voorwaarden voor doeltreffend handelen bij een daadwerkelijk ongeval. Die communicatie heeft een tweerichtingskarakter: informeren, maar ook luisteren naar zorgen en informatiebehoefte. Aan bod komen de uitkomsten van kwetsbaarheidsanalyse, de wijze waarop die uitkomsten tot veiligheidsbeleid met inbegrip van noodplanning en noodplannen leiden en informatie over de resultaten van oefeningen. In het kader van kernongevallen komt de Raad hierop nog in meer detail terug.

Het valt op dat de kenmerken van een noodplan in de literatuur zich vooral richten op de fase van directe interventie en niet op die van het herstel. Dat hangt vermoedelijk samen met het feit dat voor herstelmaatregelen meer tijd is en dat daarover veelal via de gebruikelijke politieke, juridische en beleidskanalen wordt beslist. Aangezien echter de overgang van de fase van directe interventie naar die van herstel niet haarscherp is, betekent dat dat ook in de eerstgenoemde fase maatregelen kunnen worden getroffen die herstel kunnen bevorderen. In elk geval moeten ze naar de mening van de Raad in het noodplan een plaats krijgen.

4 ONGEVALLLEN MET KERNINSTALLATIES

In dit hoofdstuk bespreekt de Raad de belangrijkste ongevallen met kernenergiecentrales en de lering die die ongevallen hebben opgeleverd voor noodplannen en noodplanning.

4.1 Veiligheid van kerninstallaties

Kerninstallaties zijn bedrijfscomplexen waar energie wordt opgewekt door middel van kernreacties, waarin onderzoek wordt verricht met gebruikmaking van zulke processen en installaties die zorgdragen voor het winnen en vervaardigen van de nucleaire brandstof. Voorbeelden van kerninstallaties zijn kernenergiecentrales, onderzoeksreactoren (zoals bij het Studiecentrum voor Kernenergie te Mol), fabrieken voor de verrijking van uranium (zoals URENCO in Almelo, Nederland) en opwerkingsfabrieken voor verbruikte splijtstof (zoals AREVA, La Hague, Frankrijk). België telt twee kernenergiecentrales, te weten in Doel met vier kernreactoren en in Tihange met drie kernreactoren. Het geïnstalleerde elektrische vermogen van de twee centrales tezamen bedraagt ongeveer 6 GW^d (FOD economie, 2011). Binnen een afstand van 100 km van de Belgische grens staan 4 buitenlandse kernenergiecentrales met in totaal 13 kernreactoren en een gezamenlijk elektrisch vermogen van 14,5 GW^e.

Een bijzonder kenmerk van de processen in kerninstallaties is het gebruik en de vorming van radioactieve stoffen. Gezien de potentiële schadelijkheid van radioactieve stoffen voor de gezondheid van mens en milieu dienen kerninstallaties zo te zijn geconstrueerd dat bij de bedrijfsprocessen die stoffen niet in de omgeving van de installatie vrijkomen, of althans zo weinig mogelijk. In het bijzonder bij ernstige ongevallen met kernreactoren voor elektriciteitsproductie kunnen de gevolgen voor het personeel, voor de omwonenden in de wijde omtrek en voor het milieu bijzonder ernstig zijn. Daarom is er vanaf het begin van de ontwikkeling van nucleaire energieopwekking de nodige aandacht besteed aan de veiligheid van kernreactoren (Rasmussen, 1974; Lewis et al, 1975). Die aandacht richtte zich in bijzonder op het uit de hand lopen van de kernreactie en de beschadiging van het reactorakoelstelsel. Weliswaar is de kans op zulke ongevallen zeer gering, maar de gevolgen kunnen zeer ernstig zijn door het vrijkomen van radioactieve stoffen uit de kernreactor in de omgeving via de lucht of via de bodem na het smelten van de reactorbatterij en het falen van het *containment*^f. Ook thans is de veiligheid van kernreactoren een belangrijk thema, mede als gevolg van de in Hoofdstuk 0 genoemde ongevallen, die in dit hoofdstuk nader worden besproken.

^d Vaak wordt voor elektrisch vermogen de 'eenheid' W(e) of GW(e) gebruikt.

^e Te weten in Frankrijk: Gravelines nabij Duinkerken, 6 kernreactoren met een gezamenlijk elektrisch vermogen van 5,5 GW; Chooz ten zuiden van Namen, 2 kernreactoren met 3,0 GW, Cattenom bij het drielandpunt België-Luxemburg-Frankrijk, 4 kernreactoren met 5,5 GW; Nederland: Borssele bij Vlissingen, 1 kernreactor met 0,5 GW.

^f Het *containment*, ook veiligheidsomhulling genoemd, omvat de fysieke voorzieningen die moeten voorkomen dat radioactieve stoffen in het milieu vrijkomen.

Daarbij gaat de aandacht ook uit naar ongevalsscenario's die niet aan het reactorontwerp ten grondslag liggen (zogenoeten *beyond-design*ongevallen).

Het accent lag van oudsher op het door technische veiligheidssystemen en kwaliteitscontrole bij de constructie beperken van de gevolgen van storingen bij het kernsplijtingsproces. Voorbeelden zijn snelle afschakelsystemen en noodkoelsystemen. Mochten deze veiligheidssystemen falen dan zou het *containment* het vrijkomen van radioactieve stoffen onmogelijk moeten maken, althans in hoge mate (de zogeheten *defence-in-depth*benadering)^g. Ook de wisselwerking tussen bedienend personeel en bedrijfssystemen kreeg al vroeg aandacht (Lewis et al, 1975), zij het dat men oorspronkelijk toch in sterke mate op de fysieke beveiligingen vertrouwde.

Mede op grond van ervaringen in de luchtvaart en de chemische industrie realiseerde men zich destijds wel dat ongevallen niet volstrekt uit te sluiten zijn en probeerde men de kans daarop en de omvang en ernst van de gevolgen uit te rekenen (Lewis et al, 1975)^h. Dat soort becijferingen zijn met aanzienlijke onzekerheid omgeven (Lewis et al, 1975; GR, 1989), maar ze versterkten destijds het geloof in de veiligheid van de kernenergie-industrie.

Dat geloof leidde er wel toe dat aanvankelijk nucleaire noodplannen—het pakket maatregelen dat het sluitstuk vormt van de veiligheidsinspanningen—weinig aandacht kregen. Die situatie is thans veranderd. Ter bestrijding van de gevolgen van natuurrampen en van ongevallen met industriële installaties hebben overheden in veel landen waaronder België noodplannen opgesteld. Nucleaire of radiologische noodplannen nemen daarbinnen een speciale plaats in (zie Hoofdstuk 0).

De HGR sluit deze paragraaf af met een verwijzing naar veranderingen in het huidige denken over de risico's verbonden aan technologisch complexe processen en installaties. Van de gedachte van zekerheid over het kunnen beheersen van zulke processen, is het inzicht gegroeid dat onzekerheid en zelfs onbepaaldheid troef zijn. Dat moet, en in de eerste plaats bij experts, leiden tot bescheidenheid en voorzichtigheid (Stirling, 1999). De onzekerheden zijn fundamenteel en maar ten dele in kaart te brengen en dan nog alleen met inzet van alle betrokkenen (Van Asselt MBA, 2000; Craye et al, 2005). Daarom is een beleid aangewezen dat die bescheidenheid en voorzorg weerspiegelt en ook de grondslag kan vormen voor een nucleaire veiligheidscultuur, waarover hierna wordt gesproken (Jasanoff, 2007; Renn, 2005; GR, 2008).

^g Het *containment* was oorspronkelijk een veiligheidssysteem van kernreactoren van westerse makelij. De Frans-Belgische kernreactor in het Franse Chooz aan de Maas, die van 1967-1991 in bedrijf is geweest, was in ondergrondse grot gebouwd en had zo een natuurlijk *containment*³⁰⁻³². Deze constructievorm is, vermoedelijk uit kostenoverwegingen, niet elders toegepast.

^h Een zogeheten *probabilistic safety analysis* of *probabilistic safety assessment*.

4.2 Ongevulsfactoren

Om te begrijpen waarom bedrijfsprocessen of andere vormen van menselijk handelen uit de hand lopen en waarom de gevolgen van ongevallen niet tot een minimum konden worden beperkt, is het van belang na te gaan wat de omstandigheden buiten de directe aanleiding waren die het ongeval mogelijk maakten, en wat daarvan de achterliggende oorzaken waren (Wagenaar et al, 1990; Groeneweg, 1992). Deze zienswijze heeft geleid tot een benadering van een breed scala van (mogelijke) industriële ongevallen, waarbij het 'systeem' centraal staat in plaats van foutieve handelingen (Reason, 2000) en de aandacht in het bijzonder uitgaat naar zogeheten "basisrisicofactoren" of *general failure types* (GFT's). De basisrisicofactoren leggen achterliggende oorzaken van ongevallen bloot (Pietersen, 2015). De factoren hebben onder meer betrekking op "ontwerp", "instructies", "training", "management" en "barrières". In 0 worden ze nader toegelicht. Extra aandacht voor deze factoren of achterliggende oorzaken lijkt de meest efficiënte weg om ernstige gevolgen van storingen of van externe gebeurtenissen te voorkomen. In dit advies ligt de nadruk op lessen voor het inperken van de gevolgen (GFT Defenses in 0).

Door het Internationaal Atoomenergieagentschap (IAEA) is in vervolg op ernstige ongevallen met kernenergiecentrales de nadruk gelegd op "veiligheidsdenken" en "veiligheidscultuur" (IAEA, 1998; IAEA, 1991; WANO, 2013). Het gaat dan om systematische aandacht binnen organisatie op alle niveaus voor veiligheid. De zojuist besproken basisrisicofactoren kunnen daarbij een cruciale rol spelen.

4.3 TMI (the president's commission on the Accident at Three Mile Island, 1979; US General Accounting Office 1980)

Het eerste ernstige ongeval met een kernenergiecentrale vond plaats op 28 maart 1979. De initiële gebeurtenis was het stoppen van twee pompen voor de watertoevoer van de stoomgenerator. Dat had automatisch het stopzetten van de reactor (een *scram*) tot gevolg. Maar ook na het feitelijk beëindigen van het nucleaire proces genereert een kernenergiereactor nog warmte. In principe zijn de beveiligingssystemen hierop ook toegesneden. Onduidelijke instructies (GFT Proceduresⁱ) voor en onvoldoende training (GFT Training) van het bedienend personeel, onjuist afgerond onderhoud (GFT Onderhoud), gevoegd bij een onoverzichtelijk bedieningspaneel (GFT Ontwerp) droegen vervolgens bij tot onvoldoende koeling van de reactor en het beschadigd raken van de reactorkern zodat de radioactieve stoffen uit het reactordrukvat konden ontsnappen. Het ongeval leidde tot het vrijkomen van beperkte hoeveelheden (ongeveer 5 procent) van de in de reactor aanwezige radioactieve edelgassen en een zeer gering deel van het radioactieve jodium (Högberg, 2013) en is geclassificeerd als niveau 5 op de INES-schaal. Het *containment* van de kernreactor (GFT Defenses) heeft ondanks het smelten van de reactorkern grotendeels zijn rol vervuld en erger voorkomen.

ⁱ Voor een omschrijving van de basisrisicofactoren (GFT's) zie 0.

De afwikkeling van het ongeval legde het vrijwel volkomen ontbreken van doeltreffende noodplannen bloot (GFT Defenses). Daarbij kwam dat de communicatie tussen de diverse partijen (overheden, bedrijf, media) gebrekkig en onduidelijk was en leidde tot verwarring en tegenstrijdige beslissingen. Men zou dat een vervolgongeval veroorzaakt door het falen van de kernenergiecentrale kunnen noemen, waarbij verscheidene GFT's weer aan bod kwam (Ontwerp, Procedures, Middelen, Training, Organisatie, Communicatie).

Het ongeval maakte duidelijk dat het geloof in de "onmogelijkheid" van een ernstig kernongeval bij velen in de overheid en de nucleaire bedrijfstak ongerechtvaardigd was. Net als in andere bedrijfstakken liggen de "latente fouten" op de loer (Wagenaar et al, 1990; Reason, 2000). Dat betekent onvermijdelijk dat, los van het vertrouwen in het functioneren van de veiligheidsvoorzieningen, overheden zich moeten voorbereiden op de mogelijkheid van blootstelling van de bevolking in de omgeving van een kernenergiecentrale door radioactieve ongevalslozingen voor uiteenlopende verspreidingsscenario's. Mede door de gebrekkige communicatie (Farrell et al, 1981) waren er bij TMI onduidelijke evacuatieadviezen. Uiteindelijk werd gedurende enkele dagen aan zwangere vrouwen en kleine kinderen binnen een straal van ongeveer 3 km van de centrale aangeraden om het gebied te verlaten. Dit leidde tot het spontane vertrek van een deel van de bevolking vanuit een veel groter gebied (Zeigler et al, 1981). De autoriteiten overwogen het verstrekken van stabiel-jodiumtabletten^j ter bescherming van de schildklier tegen blootstelling aan radioactief jodium. Na enkele dagen—er was geen voorraad lokaal aanwezig—waren voldoende tabletten beschikbaar, maar die zijn niet uitgedeeld (the president's commission on the Accident at Three Mile Island, 1979).

Invloed op de gezondheid van omwonenden

De collectieve stralingsbelasting in straal van 80 km rond de kernenergiecentrale is geschat op 16 tot 53 Sv^k, wat overeenkomt met gemiddeld rond de 0,02 mSv per persoon (Battist et al, 1979; UNSCEAR, 1982). Nabij de centrale was de stralingsbelasting hoger. In een straal van 3 km rond de kernenergiecentrale is de gemiddelde stralingsbelasting geschat op 0,3 tot 0,4 mSv per persoon; de hoogste waarde is aan de hand van omgevingsmetingen geschat op minder 1 mSv.

Op grond van deze schattingen van de stralingsblootstelling van mensen in de omgeving van de kernenergiecentrale stelden onderzoeksrapporten (o.a. the president's commission on the Accident at Three Mile Island, 1979) dat de kans op gezondheidsschade, in het bijzonder kanker en effecten bij nakomelingen van vrouwen die ten tijde van het ongeval zwanger waren, zeer gering is en dat gezondheidsschade in samenhang met het ongeval in epidemiologisch onderzoek niet waarneembaar zou zijn. In

^j Tabletten met stabiel jodium zijn bedoeld om opname van radioactief jodium in de schildklier zoveel mogelijk tegen te gaan.

^k De eenheid voor collectieve stralingsdosis wordt vaak geschreven als mens·Sv.

latere jaren is epidemiologisch onderzoek uitgevoerd met tegenstrijdige resultaten, dan wel met uiteenlopende interpretaties (Hatch et al, 1990; Hatch et al, 1991; Hatch et al, 1997; Wing et al, 1997a; Wing et al, 1997b; Levin et al, 2013). Of de resultaten van het epidemiologische onderzoek wijzen op gevolgen van het ongeval voor de gezondheid, is niet duidelijk.

De gebeurtenissen hebben de mensen in de omgeving echter niet onberoerd gelaten. De gebrekkige en soms tegenstrijdige informatie van officiële instanties en woordvoerders van het bedrijf was daar mede debet aan (Bromet, 2014; Houts et al, 1991; Chisolm et al, 1981; Dew et al, 1987).

4.4 Tsjernobyl (IAEA, 1992; IAEA, 2005; UNSCEAR, 2008)

De aanleiding tot het ongeval met kernreactor 4 van de kernenergiecentrale nabij Tsjernobyl in de Oekraïne (destijds aangeduid als *Kerncentrale V.I. Lenin, reactor 4*) was niet gelegen in de normale bedrijfsvoering maar in een veiligheidsexperiment op 25 april 1986. Het experiment moest nagaan of bij het wegvallen van de elektriciteitsvoorziening de koeling van de kernreactor gegarandeerd kon worden in de korte periode tot het aanslaan van de dieselaggregaten van de noodenergievoorziening. Tijdens de proefneming raakte de kernreactor in een instabiele toestand waarna door onvolkomenheden in het ontwerp van de kernreactor en onbegrip bij het personeel over de feitelijke situatie in de vroege ochtend van 26 april de reactorkern oververhit raakte. Dat werd gevolgd door een stoomexplosie waardoor het kernreactorvat scheurde, en door een brand van het grafiet in de reactor. Een zeer groot deel van de radioactieve stoffen uit de kernreactor kwam vrij in de omgeving. Door de felle brand—die verscheidene dagen duurde—werden de radioactieve stoffen tot hoog in de lucht opgestuwd. De radioactieve “pluim” verspreidde zich afhankelijk van de heersende windrichtingen naar gebieden die thans tot de staten Oekraïne, Wit-Rusland en Rusland¹ behoren en was ook veel verder in Europa duidelijk meetbaar. De eerste melding van verhoogde radioactiviteit in de lucht kwam uit Zweden.

Een deel van de reactorkern smolt en vermengde zich met beton en ander materiaal tot een halfvloeibare massa (“corium”). Deze zeer radioactieve substantie dreigde door de bodem van de installatie heen te zakken en zo mogelijk het grondwater te bereiken. Door injectie van beton onder het corium is dit uiteindelijk voorkomen (cf. Gillon 1986).

Aanvankelijk werd door de autoriteiten van de USSR de schuld van het ongeval bij het bedienend personeel gelegd, maar dat is later bijgesteld: het ontwerp van de reactor heeft in belangrijke mate aan het ongeval bijgedragen (GFT Ontwerp). Bij de rol van het bedienend personeel was er een extra complicatie, omdat het experiment door storingen in de elektriciteitsvoorziening elders moest worden uitgesteld tot de nacht van vrijdag op zaterdag en daarom worden uitgevoerd door onvoldoende geïnstrueerd

¹ Destijds waren deze staten onderdeel van de Sovjet-Unie (USSR). Het uiteenvallen van de USSR heeft het herstel van de leefomstandigheden in de met radioactieve stoffen besmette gebieden bemoeilijkt.

personeel (GFT Training, GFT Instructies). Ook was er sprake van een botsing van doelstellingen: bedrijfsmatige—voorzien in de elektriciteit voor de streek—tegenover een veiligheidsexperiment (GFT Doelstellingen). Daarbij kwam dat de organisatiecultuur in de nucleaire sector in de USSR ongevallen voor onmogelijk hield, mede waarom de handelingen van het bedienend personeel in eigen ogen “logisch” waren (GFT Organisatie, zie ook Reason, 1987). Daarbij zijn er aanwijzingen dat binnen die cultuur, mede door de scheiding tussen “ontwerpers” en “uitvoerders”, de aandacht voor veiligheid ondergeschikt werd gemaakt aan de groei van de nucleaire industrie (Legassov, 1988; Mould, 2000). In elk geval deed die groei de aandacht van de betrokken technici voor de veiligheid en betrouwbaarheid van de nucleaire installaties verslappen (Legassov, 1988).

De gevolgen van het ongeval zijn verergerd door het vrijwel ontbreken van noodplannen. Het bedienend personeel kon aanvankelijk geen hoogte krijgen van de situatie en de brandbestrijders waren niet voorbereid op een brand bij hoge stralingsniveaus en het vrijkomen van radioactief materiaal (GFT Defenses, GFT Training). Na aankomst op locatie van een door de centrale regering ingestelde commissie ging men over tot evacuatie van de bevolking in de nabije omgeving van de kernenergiecentrale en later van bevolkingsgroepen die verder weg woonden. Verstrekking van stabiel jodium ter bescherming van de schildklier tegen het bij het ongeval vrijgekomen radioactief jodium vond niet plaats in de getroffen gebieden rond de centrale (wel in het veel verder weg gelegen Polen (Nauman et al, 1993). Tot op heden is een gebied van ongeveer 30 km rond de kernenergiecentrale onbewoonbaar verklaard (de zogeheten *exclusion zone*).

Het ongeval van Tsjernobyl maakte duidelijk—meer nog dan bij TMI—dat ernstige ongevallen met kernenergiecentrales niet uitgesloten kunnen worden. De oorzaak bleek mede te wortelen in onvolkomenheden in het ontwerp van de kernenergiecentrale. Tevens liet het ongeval zien dat de gevolgen in geografische zin zeer verstrekkend kunnen zijn. Het ontbreken van te voren vastgestelde noodplannen droeg bij aan de gevolgen voor de gezondheid van de bevolking in de nabij de kerncentrale gelegen gebieden waar de vrijgekomen radioactieve stoffen leidden tot ernstige besmetting van land en bebouwing. De sociale ontwrichting in die gebieden ten gevolge van het ongeval leidde tot langdurige aantasting van gezondheid en welzijn, naast de mogelijke gevolgen van stralingsblootstelling, zoals hieronder kort wordt besproken.

Invloed op de gezondheid van omwonenden

Over de omvang van de gevolgen op de korte en in het bijzonder op de lange termijn is veel debat geweest, dat nog steeds niet volledig is beslecht. De HGR mengt zich in dit advies niet in dat debat (Holt, 2010). De Raad beperkt zich tot gegevens verstrekt door het *Chernobyl Forum*, een consortium van gespecialiseerde organisaties van de Verenigde Naties (IAEA, 2005), door de UNSCEAR (2008) en in een publicatie onder auspiciën van de expertgroep genoemd in artikel 31 van het Euratomverdrag (EC, 2011).

Hierboven is aangegeven hoe brandweerlieden en andere reddingswerkers onvoldoende waren toegerust om blootstelling aan straling zoveel mogelijk te vermijden. Vooral in de eerste dagen na het ongeval zijn zij aan hoge stralingsdoses blootgesteld. Onder hen is bij 134 personen stralingsziekte geconstateerd en 28 zijn daaraan binnen de eerste vier maanden overleden. Sindsdien zijn ongeveer tweemaal zoveel van de reddingswerkers met stralingsziekte overleden, waarvan een aantal door zelfmoord en alcoholisme. Inmiddels zijn er aanwijzingen dat onder de reddingswerkers (*liquidators*) meer gevallen van cataract en van leukemie voorkomen dan normaal kon worden verwacht en dat de gevallen samenhangen met de blootstelling aan straling (Cardis et al, 2011). Ook een verhoogd optreden van hart- en vaatziekten kan niet worden uitgesloten, mogelijk in samenhang met andere risicofactoren (EC, 2011). De gemiddelde effectieve dosis van de 530 duizend werkers betrokken bij herstelwerkzaamheden (*recovery workers*) bedroeg ongeveer 120 mSv over de periode 1986-2005 (voornamelijk door uitwendige bestraling in de periode 1986-1990), uiteenlopend van 10 tot 1000 mSv (UNSCEAR 2008)^m.

De bevolking is door het vrijkomen van radioactieve stoffen uit de reactorkern blootgesteld aan straling. Daarbij ging het vooral om radioactief jodium via inademing en via melkconsumptie en om radioactief cesium via straling vanaf de bodem en de bebouwing en via consumptie van landbouwproducten. Hoewel de radioactieve stoffen zich over grote delen van Europa en ook daarbuiten hebben verspreid, hebben de bewoners in de meest besmette gebiedenⁿ in Rusland, Wit-Rusland en Oekraïne de hoogste stralingsdoses ontvangen. Voor de periode 1986-2005 bedroeg de gemiddelde effectieve dosis van de 6,4 miljoen inwoners van deze gebieden ongeveer 9 mSv, voornamelijk door uitwendige bestraling en bestraling van de schildklier in het ongevalsjaar niet meegerekend. Een derde van deze stralingsdosis werd in 1986 ontvangen. Daarbij dient men wel te bedenken dat deze waarde een gemiddelde is en dat de spreiding groot is, zij het niet goed bekend. De blootstelling van de schildklier ten gevolge van radioactief jodium bedroeg in dezelfde bevolking in 1986 gemiddeld ongeveer 100 mSv^o. Ook hier is de spreiding over de blootgestelde bevolking groot; maximale waarden van de schildklierdosis zijn geschat op 10 Sv^p (EC, 2011).

-
- ^m Ter vergelijking: geregistreerde radiologische werkers mogen thans in België geen stralingsdosis van meer dan 20 mSv per 12 maanden ontvangen ⁷². Dat wil zeggen in een periode van vijf jaar ten hoogste 100 mSv. De groep *recovery workers* omvat niet de personeelsleden van de centrale en de hulpdiensten die direct na het ongeval de kernreactor en de brandende centrale onder controle probeerden te krijgen.
- ⁿ De aanduiding (meest) besmette gebieden staat voor gebieden waar de bodembesmetting met cesium-137 aanvankelijk meer dan 37 kBq·m⁻² bedroeg.
- ^o In de latere jaren is er nauwelijks nog sprake van stralingsblootstelling van de schildklier door het bij het ongeval vrijgekomen radioactieve jodium.
- ^p Formeel is de eenheid 'sievert' niet gedefinieerd voor dosiswaarden van deze grootte en zou de eenheid "gray" moeten worden gebruikt. Het gebruik van 'sievert' heeft hier echter geen invloed op de getalwaarde (dus 10 gray).

Over totale gezondheidsgevolgen tot heden en verder in de toekomst kan slechts worden gespeculeerd. De UNSCEAR waagde zich daar niet aan. Een studie uit 2006 becijferde dat tot 2065 het ongeval in Europa tussen de 3 en 70 duizend extra gevallen van schildklierkanker zou kunnen veroorzaken en tussen 10 en 60 duizend extra gevallen van andere vormen van kanker (Cardis et al, 2006). Dit zijn aanzienlijke waarden, maar desondanks minder dan 1 promille van het totaal aantal gevallen van kanker in de Europese bevolking.

Wel is duidelijk vastgesteld dat een belangrijk deel van de gevallen van schildklierkanker bij kinderen in de gebieden rond de kernenergiecentrale veroorzaakt zijn door blootstelling aan radioactief jodium (EC, 2011; UNSCEAR, 2000). Gesproken wordt van een substantiële fractie van de meer dan zes duizend geregistreeerde gevallen van schildklierkanker bij kinderen. Het blijkt dat vooral kinderen die ten tijde van het ongeval jonger dan 4 jaar waren, extra gevoelig zijn voor het later krijgen van schildklierkanker. In hoeverre dat verhoogd risico nog blijft bestaan is onduidelijk, maar gangbare modellen voorspellen dat dat wel het geval zal zijn (EC, 2011; Wakeford, 2011).

Een zorg bij blootstelling aan ioniserende straling vormen aangeboren afwijkingen door beschadiging van de geslachtscellen of van het embryo tijdens de zwangerschap. Bezorgdheid geldt ook voor mogelijke andere gevolgen van de voortdurende blootstelling aan straling voor de bevolking die moet leven in een besmet gebied. Hoewel de gerapporteerde evidentie voor deze gevolgen nog niet voldoende robuust is, moet ook worden geconcludeerd dat er een gebrek is aan gegevens, in het bijzonder over de gevolgen voor kinderen die voortdurend, zij het relatief bescheiden hoeveelheden, radioactieve stoffen met de voeding binnenkrijgen. In een rapport opgesteld onder auspiciën van de expertgroep van artikel 31 van het Euratomverdrag (EU, 2010) wordt gewezen op aanwijzingen die deze zorg ondersteunen (EC, 2011; zie ook Svenden et al, 2010). Volgens dat rapport is verder onderzoek dan ook noodzakelijk. Daarbij zou ook naar de invloed van andere factoren moeten worden gekeken, zoals stress door het leven in een besmet gebied en toegenomen alcoholgebruik. Dat rapport onderschrijft het Europese voorstel om uitgebreid onderzoek te doen naar de gevolgen van het ongeval, in het bijzonder van de langdurige in- en uitwendige blootstelling aan ioniserende straling, voor de gezondheid van de getroffen bevolking en de werkers betrokken bij het naar een veilige toestand brengen van de centrale (IARC, 2010).

In diverse publicaties wordt ook gewezen op de sociale en psychologische gevolgen van het ongeval (IAEA, 2005; Girard et al, 1994; Bromet et al, 2011). Geëvacueerde bevolkingsgroepen moeten een nieuw leven opbouwen verwijderd van huis en haard zonder enig zicht op terugkeer. Personen in gebieden die grenzen aan de evacuatiezones, is compensatie toegezegd, maar daarvoor ontbreken veelal de middelen of politieke mogelijkheden bij de (huidige) verantwoordelijke regeringen. Door instanties in de USSR is kort na het ongeval de psychologische belasting van de bevolking wel afgedaan als “radiophobia”—overdreven stralingsangst. Ook in het rapport van het *Chernobyl Forum* vindt men deze notie terug. Maar de andere aangehaalde onderzoeken laten zien dat zo’n ‘verklaring’ te gemakkelijk is en afleidt van de werkelijke problemen van de getroffen bevolkingsgroepen.

4.5 Fukushima (Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations, 2011 en 2012; Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, 2012)

In 2011 beschikte Japan over 52 kernenergiereactoren. De oudste 10, alle van het kokend-watertype, bevonden zich in de provincie (“prefectuur”) Fukushima. Zes reactoren zijn onderdeel van de Fukushima-Dai-ichi-kernenergiecentrale, de andere vier van de Fukushima-Dai-ni-centrale^q. Het kerncentralepark van Fukushima is daarmee het grootste ter wereld.

Op 11 maart 2011 waren de kernreactoren 1, 2 en 3 van de Fukushima-Dai-ichi-kernenergiecentrale in bedrijf. De kernreactoren 4, 5 en 6 waren buiten bedrijf vanwege inspectie- en onderhoudswerkzaamheden. In de middag van de bewuste 11 maart deed een zeebeving met een epicentrum op ongeveer 80 km uit de oostkust van Japan en een kracht van 9 (M_w -schaal^r) delen van Japan, waaronder de kernenergiecentrales van Fukushima, op zijn grondvesten schudden^s. Dat leidde—zoals het hoort—tot het onmiddellijk stoppen van de drie werkzame kernreactoren in de Fukushima-Dai-ichi-centrale. Bovendien legde de aardbeving ook het elektriciteitsnet rond de kernenergiecentrale plat. Om de koeling van de kernreactoren bij het wegvallen van de elektriciteitsvoorziening te verzekeren, inclusief van de kernreactoren die buiten bedrijf waren gesteld, en ook de koeling van de opgeslagen geheel of gedeeltelijk verbruikte splijtstof te garanderen, beschikken kernenergiecentrales over dieselgeneratoren die “noodstroom” kunnen opwekken^u. Na de aardbeving traden de generatoren van de Fukushima-Dai-ichi-centrale in werking en was de stroomvoorziening vooralsnog verzekerd. De koelsystemen konden zo blijven werken, wat in het bijzonder voor de zojuist afgeschakelde reactoren van groot belang was.

De koelsystemen van de kernreactoren 2 en 3 leken naar behoren te werken, maar dat was niet het geval bij het koelsysteem van kernreactor 1. Of, en zo ja in welke mate, beschadiging door de aardbeving—die zwaarder was dan aardbevingen waarmee bij ontwerp en vergunning van de kernreactoren rekening was gehouden—daarvan de oorzaak was, is nog steeds niet duidelijk. Drie kwartier na de aardbeving werd Fukushima, inclusief de direct aan de kust van de Stille Oceaan gelegen Fukushima-Dai-ichi-centrale, getroffen door een tsunami. De waterhoogte was aanmerkelijk hoger

^q http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2011_CD/countryprofiles/Japan/Japan2011.htm, consulted 21-01-2015.

^r M_w -schaal: momentmagnitudeschaal. Voor minder zware aardbevingen komt de M_w -waarde overeen met de waarde van de Richter-schaal.

^s De beving wordt officieel aangeduid als “2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake”, maar wordt ook op grond van een beslissing van de Japanse regering “Great East Japan Earthquake” genoemd.

^t In 0 is een tabel met het verloop van de gebeurtenissen in tijd opgenomen.

^u Sommige systemen beschikten ook nog over batterijvoeding, zoals het bassin voor splijtstofstaven in het gebouw van kernreactor 4.

dan waarmee bij ontwerp en vergunningverlening rekening was gehouden, met het gevolg dat grote delen van het complex onder water liepen en beschadigd raakten door materiaal dat met de vloedgolf meespoelde. Ook de dieselgeneratoren voor de noodstroomvoorziening liepen onder. Daardoor en door andere beschadigingen viel de elektriciteitsvoorziening geheel weg op de gelijkstroomvoorziening van kernreactor 3 na. Niet alleen functioneerden nu de noodkoelsystemen van de reactoren niet meer naar behoren en konden de bassins met opgeslagen splijtstofstaven niet meer voldoende worden gekoeld, maar ook waren de operators in de diverse regelkamers verstoken van informatie over de toestand van de reactoren^v.

Vervolgens werden verwoede pogingen gedaan om de reactoren via de brandblussystemen—die overigens door aardbeving en tsunami beschadigd waren—eerst met zoet en, toen zoet water niet meer beschikbaar was, met zeewater te koelen. Dat lukte na verloop van tijd, maar was onvoldoende om alle vrijkomende warmte af te voeren. De kernreactoren 1, 2 en 3 raakten oververhit, waardoor radioactieve stoffen uit de brandstofstaven vrijkwamen. Op 12, 14 en 15 maart 2011 waren explosies te horen en te zien bij respectievelijk kernreactor 1, 3 en 4. De oorzaak was waterstof dat bij de oververhitting of smelten van de brandstofstaven wordt gevormd en via beschadiging van de reactordrukvlatten naar de reactorgebouwen (inclusief dat van reactor 4) lekte en daar ontplofte. De ontploffing leidde tot verdere ernstige schade aan installaties en gebouwen en was mede oorzaak van het vrijkomen grote hoeveelheden radioactieve stoffen, in het bijzonder radioactief jodium en cesium, in de omgeving, zowel boven land als boven zee.

Over de hoeveelheden vrijgekomen radioactiviteit bestaat onzekerheid, daar de fractie van de radioactieve inhoud die door de beschadigde beschermingsconstructies (*containment*) in de omgeving vrijkwam hooguit bij benadering kan worden geschat. Voor de besmetting van bodem, infrastructuur en gebouwen was het een gelukkig toeval dat aanvankelijk en ook later weer de wind aflagtig was en bij die wind de radioactieve stoffen naar zee werden gevoerd. Daardoor ontstond wel een aanzienlijke radioactieve vervuiling van het zeewater^w, maar de besmetting van het land werd er door beperkt. Volgens de UNSCEAR is ongeveer 150 PBq radioactief jodium (vooral als I-131) vrijgekomen, 20 PBq radioactief cesium (Cs-137 en Cs-134) en meer dan 7000 PBq radioactief xenon (Xe-133; gas). Daarmee is de vrijgekomen hoeveelheid radioactieve stoffen ongeveer 10 procent van die bij het Tsjernobyl-ongeval, met uitzondering van

^v Ook de Fukushima-Dai-ni-centrale kreeg te maken met de aardbeving en met tsunami's van onvoorziene hoogte. De energievoorziening viel door de aardbeving en de vloedgolven echter niet volledig uit, maar was niet meer voldoende om de koelsystemen van alle kernenergiereactoren van de kerncentrale hun werk te laten doen (JNSI 2012). Het lukte echter, mede dank zij de kundige leiding van de manager van de centrale, de energievoorziening tijdig provisorisch te herstellen, waardoor beschadiging van de kernreactoren uitbleef (Gulati et al 2014).

^w De radioactieve vervuiling van de zee werd later nog verergerd door het onbedoeld en bedoeld lozen van radioactief koelwater (zie 0).

het radioactieve xenon dat bij beide ongevallen in eenzelfde mate in de lucht is geraakt.

Ook hier zien we de factoren die bij de eerder besproken ongevallen een rol speelden, terug. Uiteraard speelde het natuurgeweld een centrale rol (GFT Omgevingsfactoren). Maar zowel Japanse als buitenlandse rapporten maken duidelijk dat het ongeval niet slechts een 'act of God' was (Acton et al, 2012; Wang et al, 2013). De kernreactoren waren niet bestand tegen de tsunami (GFT Ontwerp), hoewel er in de jaren voorafgaand aan het ongeval zich in Japan zich wel een discussie voortsleepte of de beveiliging van kernenergiecentrales tegen tsunami's niet aan strengere eisen zou moeten voldoen om ook vloedgolven van grote hoogte het hoofd te kunnen bieden. Dat voortslepen vindt volgens de aangehaalde publicaties zijn oorzaak in een cultuur waar economische belangen vooropstonden, er een rotsvast geloof was in het eigen veiligheidskennens en -kunnen en het toezicht onvoldoende was en onvoldoende onafhankelijk van de exploitant^x. Dat gebrek aan onafhankelijkheid wordt mede veroorzaakt doordat personen in een beperkte en gespecialiseerde sector als de nucleaire industrie vaak stuivertje wisselen tussen het bedrijfsleven, de toezichthouder en beleidsorganen.

Twee andere ontwerpproblemen speelden eveneens een rol: de samenloop van aardbeving en tsunami, en de onderlinge afhankelijkheid van de zes reactoren van de Fukushima-Dai-ichi-centrale. Het feit dat de aardbeving de elektriciteitsinfrastructuur in de provincie platlegde betekende niet alleen dat de centrale zonder stroom zat, maar ook dat bij het verdere verloop van het ongeval aanvankelijk geen gegevens tussen de crisiscentra bij de kernenergiecentrale, in de provincie en in Tokyo konden worden uitgewisseld. Verder waren de ongevalsscenario's vooral gebaseerd op een ongeval in een enkele kernreactor, waarbij ondersteuning, bijvoorbeeld in de vorm van energievoorziening, vanuit een andere reactor van de centrale mogelijk was. Maar nu raakten zowel de externe als de noodenergievoorzieningen van alle kernreactoren buiten werking en was het eerder een last dan een voordeel dat de kernenergiecentrale zes reactoren omvatte. Ook bestond er bij de operators en bij de crisisleiding onvoldoende inzicht in de toestand en de werking van de koelsystemen (GFT Training, GFT Procedures) en werd de communicatie bemoeilijkt en verwarrend door het onbruikbaar raken van de telefoonsystemen (GFT Communicatie).

Maatregelen

Zowel de Japanse overheid als de exploitanten van de kernenergiecentrales waren voorbereid op nucleaire ongevallen. Maar bij het in werking treden van de noodplannen op 11 maart 2011 kwamen ernstige tekortkomingen aan het licht. Zo bleek de locatie van het lokale commandocentrum te dicht bij de kernenergiecentrale te liggen, terwijl het bovendien onvoldoende aardbeving-bestendig bleek te zijn (GFT Ontwerp).

^x Ook dit is een voorbeeld van 'GFT Omgevingsfactoren' als achterliggende oorzaak, misschien beter aangeduid met de Engelse term 'error enforcing conditions' (zie 0)(Wagenaar et al 1990).

Mede vanwege de oplopende stralingsniveaus werd het later verplaatst naar het provinciehuis van Fukushima (GFT Omgevingsfactoren). Door het ontbreken van voldoende communicatiemiddelen die te gebruiken waren bij de weggevallen elektriciteitsvoorziening, verliep de communicatie tussen het personeel bij de getroffen reactoren en het lokale commandocentrum en tussen het lokale commandocentrum en het nationale commandocentrum in Tokyo moeizaam (GFT Ontwerp, GFT Materieel, GFT Communicatie). Ook binnen het nationale commandocentrum verliep de communicatie vaak moeilijk tussen de diverse partijen: regering, adviseurs, exploitant (GFT Organisatie, GFT Training). Aanvankelijk ontbrak ook inzicht in de staat van de kernreactoren en de hoeveelheden vrijgekomen radioactieve stoffen. Het geautomatiseerde meetsysteem beschikte namelijk niet over een eigen energievoorziening en was door het wegvallen van alle elektriciteit in de eerste dagen na de aardbeving niet operationeel (GFT Ontwerp, GFT Omgevingsfactoren, GFT Communicatie).

Toen bleek dat het vrijkomen van radioactieve stoffen uit de getroffen kernreactoren onvermijdelijk was, besloot de regering tot evacuatie van de bevolking nabij de kernenergiecentrale en instrueerde de bevolking verder weg om binnenshuis te blijven ('schuilen'). De afstand tot de kernenergiecentrale waarbij de bevolking werd geëvacueerd werd een aantal malen verhoogd (0, Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission 2012). Daardoor moesten bevolkingsgroepen zich soms van de ene noodopvang naar de volgende verplaatsen. Een probleem was dat informatie over de radioactiviteit in de lucht ontbrak, waardoor niet altijd de meest veilige route kon worden gekozen. Wel voorspelden de adviseurs van het nationale commandocentrum dagelijks de luchtstromingen waarmee de geloosde radioactiviteit werd verspreid, maar van die informatie werd geen of onvoldoende gebruik gemaakt (GFT Communicatie).

In nationale en internationale nucleaire noodplannen wordt "schuilen" beschouwd als een maatregel van korte duur (uren tot enkele dagen). Daarna moet hetzij de situatie voldoende veilig zijn, dan wel moet de bevolking worden geëvacueerd. In de Japanse situatie verbleven veel mensen in een gebied waarvoor "schuilen" en "vrijwillige evacuatie" was afgekondigd. Maar bij het langdurige voortduren van zo'n situatie ontstaat maatschappelijke ontwrichting door het stagneren van de voedselvoorziening en het stilgelegd zijn van het maatschappelijk leven (GFT Omgevingsfactoren, GFT Doelstellingen).

Waar radioactief jodium een belangrijke component is van lozingen bij een kernreactorongeval, is het laten innemen van stabiel jodium, meestal in de vorm van kaliumjodidetabletten, een maatregel bij de dreiging van zo'n lozing. Door het niet-radioactieve jodium wordt voorkomen dat radioactief jodium in de schildklier wordt opgenomen en wordt beschadiging van de schildklier door straling voorkomen of in elk geval verminderd (HGR 2015). In Japan had de regering geen formeel besluit genomen tot het uitdelen van jodiumtabletten, ondanks een positief advies van deskundigen voor zo'n besluit, vermoedelijk vanwege gebrekkige communicatie in het nationale commandocentrum (GFT Communicatie). Door het ontbreken van een nationaal besluit werden lokale besluiten zelfs herroepen, hoewel sommige gemeenten wel tot het verstrekken

van jodiumtabletten zijn overgegaan (Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, 2012). Daarbij kwam dat de relatie van referentieniveaus bij het monitoren van de besmetting van evacués in de noodopvangcentra met het verstrekken van stabiel jodium onduidelijk was (GFT Doelstellingen, GFT Training, GFT Procedures).

Invloed op de gezondheid van omwonenden

Volgens berekeningen van de UNSCEAR (UNSCEAR, 2013) en van de WHO (WHO, 2013) werd de bevolking in de omgeving van de kernenergiecentrale blootgesteld aan straling in het bijzonder van radioactief jodium (I-131) en radioactief cesium (Cs-137). Ook andere vormen van jodium en cesium en radioactieve edelgassen (o.a. Xe-133) zullen aan de stralingsblootstelling hebben bijgedragen. Op dit ogenblik wordt via uitgebreid onderzoek gepoogd de stralingsblootstelling en de gezondheidstoestand van de getroffen bevolking zo goed mogelijk in kaart te brengen (Radiation Medical Science Center for the Fukushima Health Management Survey, 2015). Overigens is de stralingsblootstelling relatief beperkt gebleven door de veelal afluende wind tijdens de lozingen.

Afhankelijk van het woongebied zou de stralingsdosis voor een bewoner van de orde van grootte van 10 mSv of minder hebben bedragen en op de schildklier enkele tientallen mSv of minder. In de loop van de jaren kan daar, afhankelijk van de woonplaats en de voedingsgewoonten nog een bijdrage bijkomen door bestraling vanuit de bodem en radioactieve stoffen in voedsel en drinkwater. Naar verwachting zal dat de kans op kanker doen toenemen. Voor de bevolking in de meest blootgestelde gebieden zou naar schatting dat over het gehele leven kunnen leiden tot een kleine verhoging van de kans op kanker. Een werkgroep van de Wereldgezondheidsorganisatie schatte de verhoging van de kans op kanker van 10-jarigen in 2011 op 1,4 % tot 4 % afhankelijk van het soort kanker (WHO, 2013)^y.

Naast de gevolgen van directe blootstelling, droeg het vrijkomen van radioactieve stoffen uit de getroffen kernreactoren ook bij tot andere gevolgen op de gezondheid. In maart-april 2011 zijn ongeveer 470.000 personen geëvacueerd, waarvan een jaar later 130.000 nog niet naar hun woonplaats waren teruggekeerd (Government of Japan, 2014). Het betreft hier voor een groot deel mensen die ontheemd raakten door de aardbeving. Maar in Fukushima werden ongeveer 107.000 mensen geëvacueerd om blootstelling aan straling te voorkomen (Government of Japan, 2013). Van deze groep kan ongeveer de helft vooralsnog niet terug naar de eigen woonplaats. In vrijgegeven gebieden kunnen 33.000 mensen terugkeren; "vrijgegeven" betekent dat de

^y Inmiddels zijn er publicaties die lijken te wijzen op een verhoging van optreden van schildklierkanker (Tsuda et al 2015).

stralingsblootstelling thans minder dan naar verwachting 20 mSv in het jaar van terugkeer is, wat ongeveer een factor 10 hoger is dan normaal^z. Deze sociale ontwrichting laat zeker zijn sporen na ook in termen van gezondheid (Bromet, 2014). Ook een Japanse gezondheidsenquête wijst in deze richting: veel moeders uit het getroffen gebied voelden zich gedeprimeerd. Ook waren zij beducht om hun kinderen borstvoeding te geven vanwege een mogelijke radioactieve besmetting van hun moedermelk (IRSN, 2013).

Stralingsblootstelling werknemers

Op 14 maart 2011 werd de limiet van stralingsblootstelling van werknemers die betrokken waren bij het zoveel mogelijk beheersen van het kernongeval gesteld op 250 mSv, wat hoger was dan in Japan gebruikelijk was (zie ook Jourdain et al, 2014)^{aa}. Na 1 november 2011 werd deze waarde, uitzonderingen daargelaten, verlaagd tot 100 mSv. Na 30 april 2012 gold weer het oorspronkelijke regiem voor de normale werksituatie van 50 mSv per jaar en ten hoogste 100 mSv in 5 opeenvolgende jaren^{bb}. In september 2014 waren nog meer dan 10 000 werknemers bij beheersings- en beveiligingswerkzaamheden rond de kernenergiecentrale betrokken, waarvan het overgrote deel (90 procent) in dienst van onderaannemers is en niet van de exploitant^{cc}. Volgens opgave van de exploitant hebben tot december 2014 174 werknemers in totaal een stralingsdosis van 100 mSv of meer ontvangen, het merendeel (150) eigen

^z Over de betekenis van deze waarde is verwarring ontstaan (Kai, 2015). Als *interventiewaarde* voor het evacueren van de bevolking na het ongeval gebruikte de overheid oorspronkelijk een waarde van 50 mSv, maar verlaagde die later naar 20 mSv in een jaar. Dezelfde waarde wordt thans gehanteerd als *referentieniveau* voor terugkeer. Het referentieniveau heeft betrekking op 'hypothetische' personen die representatief zijn voor leden van de bevolking die de hoogste blootstelling oplopen. De berekeningen gaan uit van een besmetting van de bodem met radioactief cesium en factoren voor verblijf binnen en buiten en de afscherming door het bouw materiaal van de woning (Yajima et al, 2015). De onderbouwing van interventiewaarden en referentiewaarden is echter verschillend. In de praktijk zal de stralingsblootstelling in het eerste jaar van terugkeer vrijwel steeds lager zijn dan de waarde van 20 mSv.

^{aa} Ter vergelijking: in België en in de andere landen van de Europese Unie is de limiet voor geregistreerde werkers in de normale werksituatie 20 mSv in een jaar (KB, 2001). Voor interventiewerkers beperkt het Belgische noodplan van 2003 de maximale effectieve dosis tot 250 mSv voor bijstand bij evacuatie en schuilen en tot 500 mSv voor levensreddende acties (KB, 2003). Overigens moet alle inspanning erop zijn gericht om dit soort waarden te vermijden en een waarde van 50 mSv niet te overschrijden (FANC, 2003).

^{bb} Dit regiem gold oorspronkelijk ook in de Europese Unie en geldt nog in vele lidstaten omdat de nieuwe Europese regels pas uiterlijk in februari 2018 moeten zijn omgezet in nationale regelgeving (EU, 2014).

^{cc} In de pers zijn berichten verschenen over ronselpraktijken en malafide tussenpersonen die worden gelokt door toegezegde gevarenbonussen (Mesmer, 2014).

werknemers (IRSN, 2015a)^{dd}. De maximale individuele dosis bedroeg 680 mSv. Collectief gezien kwam de stralingsblootstelling vooral bij “externen” terecht: ongeveer 400 Sv tegen ongeveer 100 Sv voor de werknemers in dienst van TEPCO^{ee}.

Nasleep

Net als bij Tsjernobyl is men vier jaar later nog steeds doende de gevolgen van het ongeval te beteugelen. Over de bevolking die van haard en huis verdreven is, is hierboven reeds gesproken. Sommige evacuatiegebieden worden stapje voor stapje bruikbaar gemaakt voor bewoning (IRSN, 2015b). Dat levert dan wel met radioactieve stoffen—in het bijzonder radioactief cesium—besmette grond op die ergens langdurig moet worden opgeslagen (IRSN, 2015c). Bij het gekoeld houden van de beschadigde reactoren ontstaan grote hoeveelheden eveneens vooral met radioactief cesium besmet water die niet zonder reiniging kunnen worden geloosd. Dat vereiste in allerijl de constructie van opslagtanks en de ontwikkeling met buitenlandse hulp van decontaminatietechnieken. Definitieve oplossingen zijn echter nog niet voorhanden (IAEA, 2015). Daarnaast lekt er door beschadiging van de reactoren en de reactorgebouwen radioactief water naar het grondwater; met man en macht wordt getracht te voorkomen dat dat water zich een weg baant naar zee, maar dat lukt vooralsnog niet volledig (IRSN, 2015d; IRSN, 2015e). De plannen tot verdere beheersing van de besmetting van de omgeving en de beschadigde installaties reiken thans tot midden van deze eeuw (IRSN 2015d).

4.6 Lessen

Wat valt uit deze ongevallen aan lering te trekken? De HGR somt hier enkele punten op die hij van belang acht voor noodplannen en noodplanning.

Allereerst valt te constateren dat in alle drie de gevallen voorafgaand aan het ongeval er onvoldoende systematisch aandacht was voor ongevalsfactoren. Mede door de zeldzaamheid van nucleaire ongevallen, sluipt de routine in en verflauwt de aandacht voor mogelijke ongevalsscenario's en de voorbereiding daarop. Zoals aangegeven speelden bij alle ongevallen de basisrisicofactoren een aanwijsbare rol. Het door de IAEA gepropageerde “veiligheidsdenken” vergt volgens de Raad systematische en voortdurend aandacht voor die basisrisicofactoren of achterliggende oorzaken om ongevallen te voorkomen, dan wel de gevolgen ervan zoveel mogelijk te beperken.

^{dd} In totaal is van meer dan 38.000 werknemers de stralingsbelasting geregistreerd. Het aantal eigen werknemers bedroeg ongeveer 4.300. Wel zijn niet alle dosiswaarden gebaseerd op door individuele werknemers gedragen persoonsdosimeters. Een deel is geschat op basis van de waarde van een persoonsdosimeter van een of enkele personen in een groep dan wel op basis van omgevingsmetingen. (Jourdain, 2014).

^{ee} Volgens een recente rapportage van de UNSCEAR is de blootstelling van de werknemers vermoedelijk onderschat (UNSCEAR, 2015). Ook is in de pers melding gemaakt van een werknemer bij wie leukemie is geconstateerd, mogelijk in samenhang met de stralingsblootstelling (Japan Times, 2015).

Een volgende bevinding is dat kernreactoren een “meest ernstig denkbaar” ongeval moeten kunnen overleven, maar dat ongevalsscenario’s in de praktijk een andere weg volgen dan te voren was bedacht. Dat geldt voor alle drie de ongevallen. Weliswaar bleven bij TMI de gevolgen voor mens en milieu in de omgeving van de centrale nog binnen te voren aanvaardbaar geachte perken, bij Tsjernobyl en bij Fukushima was dat niet het geval. Aandacht voor *beyond-design*scenario’s en de voorzieningen om de gevolgen daarvan te beperken acht de HGR dan ook van wezenlijk belang. Bij Fukushima had dat de verwoestende invloed van de tsunami op de ongevalsvoorzieningen verregaand kunnen voorkomen.

De drie ongevallen laten eveneens zien dat de invloed op de gezondheid van de omwonenden verder reikt dan de gevolgen van blootstelling aan ioniserende straling. Uiteraard is het nodig om de blootstelling aan straling zoveel mogelijk te voorkomen en te beperken. Dat is van belang omdat volgens de huidige inzichten er geen blootstellingsdrempel is waaronder effecten, zoals het krijgen van kanker, nihil zijn, ook al neemt de kans daarop af met de mate van stralingsblootstelling. Daarnaast kunnen ook psychosociale effecten hun sporen nalaten. De terechte beduchtheid voor stralingsgevolgen—in het bijzonder van de langdurige blootstelling aan ingeademde of met besmet voedsel of water ingeslikte radioactieve stoffen—, de verstoring van het normale leven door de verplichting tijdelijk binnenshuis te blijven (“schuilen”) of, al dan niet later, te evacueren kunnen nog lang gezondheid en welzijn van de betrokkenen nadelig beïnvloeden.

In het bijzonder Tsjernobyl, maar ook Fukushima, heeft geleerd dat de reikwijdte van nucleaire ongevallen, waar het de blootstelling aan straling betreft veel groter kan zijn dan aanvankelijk werd verondersteld. Maatregelen om de gevolgen van blootstelling aan straling te beperken moeten dus op veel grotere geografische schaal worden voorbereid dan thans veelal het geval is^{ff}. Maar dat heeft tot consequentie dat ook grote bevolkingscentra veel eerder binnen de invloedssfeer van het ongeval komen. In Fukushima zijn de gevolgen daarvan beperkt gebleven door veelal afluende wind, waardoor de radioactieve wolk zich voor een belangrijk deel over zee verspreidde. In de dichtbevolkte delen van Europa spelen deze overwegingen in versterkte mate (zie ook 3.2).

Gezondheidsgevolgen en economische gevolgen gevoegd bij een grote reikwijdte in ruimte en tijd van ernstige kernongevallen (Tsjernobyl, Fukushima) zijn volgens de Raad aanleiding voor een hernieuwde maatschappelijke risicobeoordeling van de huidige nucleaire technologieën. In dat kader verwijst de Raad naar het rapport van een Duitse commissie die na onderzoek van de ethisch grondslag van een te verantwoorden opwekking van elektriciteit met kernenergie, pleitte voor minder risicovolle tech-

^{ff} Fukushima heeft op dit punt in Europa een kentering teweeg gebracht. Zie bijvoorbeeld de Duitse aanbeveling om de zone van voorbereiding op een nucleair ongeval tot 100 km afstand van een centrale uit te breiden (Strahlenschutzkommission, 2014).

nologieën voor de energievoorziening (Ethik-Kommission Sichere energiever-sorgung, 2011). Deze conclusie heeft een rol gespeeld bij de beslissing van de huidige Duitse regering om alle kernenergiecentrales voor 2022 te sluiten.

Bij TMI en Tsjernobyl ontbrak een op de centrale gerichte vorm van noodplanning. Noodplannen waren niet voorbereid en moesten allerijl ontworpen worden. Bij TMI waren de gevolgen voor mens en milieu desondanks bescheiden. Maar in het geval van Tsjernobyl kwam de noodzakelijke evacuatie van de lokale bevolking laat op gang en leidde het ontbreken van een beleid voor de inname van stabiel jodium tot een verhoogd optreden van schildklierkanker. Bij Fukushima was er wel sprake van noodplanning, maar bleken de voorzieningen onvoldoende te zijn toegesneden op het ongevalsverloop en verliep de evacuatie van de bevolking onhandig door onvoldoende informatie over de locaties van stralingsblootstelling en kwam de uitreiking van stabiel jodium nauwelijks op gang. Overigens hebben de evacuatiemaatregelen wel de blootstelling aan straling van bevolkingsgroepen voorkomen of beperkt.

Bij de drie ongevallen was de communicatie op alle niveaus gebrekkig en bood ze de getroffen en geen duidelijk perspectief. Voor de korte termijn leidt dat tot verwarring en ongerustheid en tot wantrouwen in de crisisbeheersers. Tsjernobyl en Fukushima vereisten door de aantasting van het lokale milieu en door de terechte angst voor de gevolgen van stralingsblootstelling ook een communicatieplan voor de lange termijn. Dat ontbrak (Tsjernobyl) dan wel gaat met veel vallen en opstaan gepaard (Fukushima). Een voorbeeld van dat laatste is dat op zich correcte boodschappen, als dat het opsporen van gevolgen van stralingsblootstelling met bevolkingsonderzoek vermoedelijk niet mogelijk is, gemakkelijk als bagatellisering van die gevolgen worden ervaren. Ze hebben dan een boemerangeffect met verhoogde ongerustheid en wantrouwen tot gevolg. In 6.3 komt de Raad op communicatiekwes-ties terug.

Hier wreekte zich ook dat de aandacht voor de lange termijn ontbrak. Het herstel van een nieuwe “normale” leefsituatie kan profiteren van mede daarop gerichte acties op de korte (dagen, weken) en middellange (weken, maanden) termijn. Zowel bij Tsjernobyl als bij Fukushima wordt nog steeds gewor-steld met aanpassing van mens en milieu aan de nieuwe werkelijkheid van met radioactieve stoffen besmette gebieden (Reich et al, 2015). Wel zijn er een aantal initiatieven vanuit Japanse universiteiten en internationale en nationale organisaties op het terrein van de stralingsbescherming om lokale acties tot verbetering van de leefomstandigheden te ondersteunen (zie o.a. ICRP, 2015).

Een andere les is dat een ernstige kernongeval een enorme hoeveelheid radioactief afval kan opleveren. Afgezien van de ontmanteling van de beschadigde reactoren gaat het om afval dat vrijkomt bij het weer bewoonbaar maken van besmette gebieden. Dat laatste veroorzaakt in Fukushima ernstige opslagproblemen. Daarnaast bestond (en bestaat) in Fukushima ook de noodzaak van het koelen van de beschadigde reactoren met als gevolg een groot radioactief-afvalwaterprobleem, dat tot op heden niet afdoende is opgelost.

Verder merkt de Raad op dat de kosten van welk ongeval dan ook al snel tot in de miljarden euro's lopen. Daar is in de eerste plaats het definitieve verlies van de kernreactor of reactoren (TMI, Tsjernobyl, Fukushima), maar ook de kosten van de tijdelijke of permanente herhuisvesting van de getroffen bevolking (Tsjernobyl, Fukushima) en de economische schade door het verlies van bijvoorbeeld agrarische productie (Tsjernobyl, Fukushima). De kosten van Fukushima zouden zeker 11 biljoen yen (100 miljard euro) bedragen (The Times Japan, 2014). Een commissie van de *National Academies* in de Verenigde Staten kwam tot het dubbele (NAS-NRC, 2014). Een Franse studie becijferde voor een zeer ernstig ongeval in ongunstige omstandigheden een bedrag in de orde van grootte van 700 miljard euro (IRSN, 2013). Het gaat dus om zeer aanzienlijke bedragen in de orde van grootte van het Belgische bruto binnenlands product (380 miljard euro in 2012; FOD economie, 2013). Verder is een ernstig ongeval van invloed op het bedrijf van de andere kernenergiecentrales (in Japan alle stilgelegd na Fukushima, geen nieuwe kernenergiecentrales in de VS na TMI) en op de plaats van kernenergie in de energievoorziening (sluiting van kernenergiecentrales in Duitsland). Ook dat heeft aanzienlijke economische gevolgen.

De ongevallen van Tsjernobyl en van Fukushima hadden mogelijk kunnen worden voorkomen indien de actoren betrokken bij de veiligheid van kerncentrales onderling onafhankelijk posities hadden ingenomen. Van oudsher waren overheidsinstanties ter bevordering van de energievoorziening (waaronder de promotie van kernenergie) en belast met het veiligheidstoezicht nauw met elkaar verbonden. Een meer onafhankelijk toezicht had bij Fukushima vermoedelijk gezorgd voor een betere bescherming tegen extreme tsunami's (Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, 2012; Wang et al, 2013). De HGR bepleit de onafhankelijkheid van de veiligheidstoezichthouder om belangenconflicten zoveel mogelijk te vermijden (Lévêque, 2013). De Raad wijst er op dat onafhankelijk toezicht door recente Europese regelgeving verplicht wordt gesteld (EU, 2014).

5 NIET-NUCLEAIRE ONGEVALLLEN

In dit hoofdstuk bespreekt de Raad twee niet-nucleaire calamiteiten met grootschalige evacuaties. Ook hieruit zijn lessen te trekken voor het voorbereid zijn op kernongevallen (Mayhorn et al, 2014). De twee casussen zijn de treinontsporing in Mississauga (Ontario, Canada) in 1979 (Anonymus, 2014) en de stormschade en de overstroming ten gevolge van de orkaan Katrina in New Orleans in 2005 (US House of Representative, 2006; US Senat, 2006). Ten slotte komt ook het treinongeval in Wetteren in 2014 aan de orde (FOD mobiliteit en Vervoer, 2014).

5.1 Mississauga

Op 10 november 1979, in de nacht van zaterdag op zondag juist voor middernacht, ontspoorde in de Canadese stad Mississauga een goederentrein. De oorzaak van de ontsporing was een oververhit lager, waardoor een van de wagons een wielas verloor (GFT Ontwerp, GFT Onderhoud). De trein vervoerde propaan en andere brandbare koolwaterstoffen en telde een wagon met vloeibaar chloor. Door de ontsporing explodeerde een propaantank en produceerde daarbij een grote vuurbal (BLEVE⁹⁹). Ook andere wagons raakten in brand en de chloortank liep schade op. De crisisleiding vreesde het vrijkomen van een chloorwolk. Ongeveer twee uur na de ontsporing werd opdracht gegeven tot het evacueren van een benedenwindse woonwijk. Weer twee uur later waren 3.500 mensen vertrokken naar elders. Vervolgens werden stapsgewijs en afhankelijk van de windvoorspellingen verdere woonwijken en een ziekenhuis geëvacueerd. Uiteindelijk hebben 226.000 personen een veilig heenkomen gezocht, het overgrote merendeel bij vrienden en kennissen. Voor mensen die zelf geen onderdak konden vinden, werden opvangcentra ingericht. In de loop van de week konden de eerste evacués hun woningen weer betrekken. Nadat het vloeibare chloor in een andere tank was overgepompt werd vrijdagavond, dus bijna vijf dagen naar de ontsporing, het gebied weer vrijgegeven. Hoewel er de nodige verbrandingsgassen zijn vrijgekomen en ook een deel van het chloor, zijn bij de bewoners van Mississauga geen blijvende gezondheidseffecten geconstateerd.

Bevindingen

Het ongeval en in het bijzonder zijn nasleep zijn onderzocht door de Universiteit van Toronto (Burton et al, 1981). Uit de resultaten van de rapportage valt de nodige lering te trekken voor het beheersen van calamiteiten.

In Mississauga was de brandweer een initiërende rol bij calamiteiten toegedacht. Ook na in het werking stellen van het regionaal noodplan bleef de leiding bij de brandweercommandant. De eenduidige commandostructuur heeft bijgedragen aan een betrekkelijk probleemloos verloop van de eerste acties.

⁹⁹

BLEVE: boiling liquid expanding vapour explosion

In het noodplan werd de inschakeling voorzien van de politie, van ambulancediensten en van deskundigen op het gebied van gevaarlijke stoffen (in dit geval). Maar daarnaast werden ook organisaties die mede steunen op de inzet van vrijwilligers, als het Rode Kruis, het Leger des Heils en de ambulancedienst St Johns ingeschakeld. Dat kon snel geregeld worden mede omdat de crisisleiding de leidinggevendenden van die organisaties persoonlijk kende.

Meer dan 90 % van de evacués ging naar familie en kennissen of naar een hotel. Ongeveer 14.000 mensen zijn ondergebracht in opvangcentra. De kwaliteit van die centra liep uiteen: scholen, buurthuizen en sportcentra bleken meer geschikt dan winkelcentra. Hier wreekte zich de beperkte planning vooraf.

Technisch gezien verliep de evacuatie redelijk goed. Door de gefaseerde evacuatie ontstonden geen verkeersopstoppingen van particuliere auto's op weg naar een opvangadres. Voor mensen zonder eigen vervoer waren bussen beschikbaar en de ambulancediensten zorgden voor hulpbehoevendenden. Het feit dat de evacuatie kort na middernacht in een weekend begon, maakte dat veel gezinnen "compleet" waren en daarom veelal direct bereid waren om aan de evacuatieopdracht gevolg te geven.

Geëvacueerde wijken werden door de politie afgegrensd om vandalisme en diefstal te voorkomen. Maar mensen wilden terug om hun huisdieren te verzorgen of om kleding en medicatie op te halen (zie hierna). Dat werd in principe geweigerd, maar in de praktijk niet altijd. Bovendien kenden sommigen wel sluiptegen. Daarnaast hebben ongeveer 1.200 huishoudens het bevel tot evacuatie genegeerd.

De informatie bij de opdracht tot evacuatie bleek incompleet. Er was geen zicht op de duur van het verblijf elders; mensen gingen er meestal vanuit dat dat ze dezelfde dag weer konden terugkeren, of in elk geval de dag erna. Toen dat niet het geval bleek te zijn ontstonden problemen: mensen maakten zich zorgen over hun huisdieren, over hun medicatie, over hun kleding.

Verscheidene mensen vertrokken spontaan, dus zonder een opdracht of verzoek daartoe. Het waren vooral gezinnen die woonden nabij het evacuatiegebied. Deze vorm van vertrek kan een geordende evacuatie nadelig beïnvloeden door een toegenomen verkeersdruk. Ook is de veiligheid van hun woningen minder verzekerd dan van de woningen in het evacuatiegebied.

Mede door de onvolledige informatie bij de opdracht tot evacuatie, ontstond er een steeds grotere druk op de crisisleiding terugkeer toe te laten. Die wilde dat echter pas doen als het "chloor-gevaar" was geweken. Aan de politiestations die de toegang tot het afgegrensd gebied bewaakten, ontstonden daardoor steeds meer discussies tussen agenten en boze burgers.

5.2 Katrina

De oorsprong van de orkaan Katrina was een tropische storm op 23 augustus 2005 bij de Bahama-eilanden. In de daarop volgende dag werd gewaarschuwd voor een orkaan die naar verwachting bij Florida aan land zou gaan. Vervolgens zwierf de storm over de Golf van Mexico om op maandag 29 augustus New Orleans te bereiken. Daar veroorzaakte de orkaan niet alleen stormschade, maar leidden wind en golven tot dijkdoorbraken en liep een groot deel van de stad onder water (GFT Omgevingsfactoren, GFT Ontwerp). Een dag eerder had de burgemeester evacuatie bevolen. Ongeveer een miljoen inwoners verliet op eigen gelegenheid de stad^{hh} en ongeveer 26.000 personen werden opgevangen in de hoger gelegen *Superdome*. Enkele tienduizenden inwoners konden niet tijdig het overstromingsgebied verlaten of wilden dat in eerste instantie niet. Bijna 2.000 inwoners overleden door storm en overstroming.

Bevindingen

Als onderdeel van een studie van de *International Risk Governance Council*ⁱⁱ heeft Donald Moynihan van de University of Wisconsin in Madison, VS het antwoord van de Amerikaanse overheid op “Katrina” onderzocht (Moynihan, 2009). Hij maakte daarbij gebruik van het werk van Patrick Lagadec van de Franse *École polytechnique* over rampen in de 21^e eeuw (Lagadec, 2008).

De ongevallen met de kernenergiecentrales van Tsjernobyl en die van Fukushima waren “ondenkbaar”: de ongevalsscenario’s waren tevoren niet bedacht. Voor “Katrina” was dat in mindere mate het geval: stormschade en overstromingen waren aange-merkt als mogelijke gevolgen van orkanen. Er was zelfs een jaar eerder een oefening gehouden uitgaande van zo’n scenario, zij het achteraf bezien op een te bescheiden schaal en zonder dat de lessen volledig waren getrokken. Het “denkbaar” zijn van rampscenario’s kan echter leiden tot een zekere inertie, zowel bij overheid als bij burgers. De gecoördineerde overheidsrespons kwam (te) laat op gang. En hoewel 90 % van de inwoners tijdig was vertrokken uit het overstromingsgebied, betekende dat ook dat 10 % was achtergebleven. Voor sommigen ontbraken vervoermiddelen om hen naar veiliger oorden te brengen. Maar anderen dachten: “het zal deze keer wel weer meevallen”. Maar het viel dus niet mee en de hulpverleningsorganisatie was niet ingespeeld op het redden van burgers in een overstromingsgebied.

Was de ramp veroorzaakt door “Katrina” op zich voorstelbaar, dat gold niet voor de omvang van de gevolgen. De betrokken organisaties hadden nooit eerder met hulpverlening aan honderdduizenden getroffen te maken gehad. Daar kwam bij dat de hulpverleningsinfrastructuur, die bij het aan land komen van de orkaan nog intact leek, kort daarna voor een groot deel vernietigd werd. Hulpmiddelen, zoals politiewagens, ambulances en bussen stonden ongebruikt en onbruikbaar onder water, personeel

^{hh} Om opstoppingen te vermijden werd de rijrichting van rijstroken de ‘stad in’ omgedraaid.

ⁱⁱ <http://www.irgc.org/>, accessed 24-03-2015.

was voor een deel ook de stad ontvlucht en telefoonvoorzieningen waren vernietigd. Ook hier speelden ‘ondenkbare’ aspecten van de ramp parten.

Bij de voorbereiding op en hulpverlening bij een ramp van de omvang van Katrina zijn veel partijen betrokken. In de VS gaat het om federale, nationale en lokale instanties. In Europa is dat veelal niet anders. Daarmee krijgt de hulpverleningsstructuur een netwerkarakter waarin veel partijen met elkaar moeten samenwerken, zowel bij inspanningen om rampen te voorkomen als om de gevolgen van de ramp te beperken en terugkeer naar een ‘normale’ toestand te bewerkstelligen. Bij zo’n gecompliceerde netwerkorganisatie ligt het ontbreken van doeltreffende coördinatie, de bureaucratische reactie van partijen om terug te vallen op eerder afgesproken bevoegdheden en gebrek aan eenduidige leiding op de loer. Terwijl complexe rampen juist vragen om een doortastende leiding die naar bevind van zaken weet te handelen in plaats van het (niet op de ramp in kwestie toegesneden) boekje te volgen. Daar komt bij dat hoe uitgebreider en complexer het netwerk, hoe minder de ‘smeerolie’ van persoonlijk contacten een rol kan spelen.

Na de aanslagen in september 2001 in New York en Washington DC (‘9/11’) kreeg de voorbereiding op rampen in de VS, zeker op federaal niveau, een geheel andere accent. Het nieuwe *Department of Homeland Security* moest eerst en vooral een dam opwerpen tegen terroristische aanslagen. Weliswaar kreeg dit onderdeel van de federale overheid ook bevoegdheden bij het voorkomen en bestrijden van andersoortige rampen, maar aandacht en middelen gingen in de eerste plaats uit naar het bestrijden van terreur. Daar kwam bij dat de voorganger van de nieuwe instantie, de *Federal Emergency Management Agency* aanzienlijk was “uitgekleed” en nauwelijks nog effectieve federale steun kon bieden bij grootschalige rampen. Daarmee verslapte de aandacht voor rampen als “Katrina”, wat heeft bijgedragen aan de gevolgen van mens en samenleving.

5.3 Wetteren (FOD mobiliteit en Vervoer 2014)

In de vroege morgen van 4 mei 2013 ontspoorde tussen Schellebeke en Wetteren in Oost-Vlaanderen een goederentrein die op weg was van Rotterdam naar Gent. De eerste zeven tankwagons van de trein bevatten acrylonitrilⁱⁱ. Het gevolg was een gigantische brand en het lekken van acrylonitril naar het riool tijdens de bluswerkzaamheden. De bewoners van de woningen nabij het ongeval, 120 in getal, werden binnen enkele uren geëvacueerd. In een van de woningen werd een slachtoffer gevonden die vermoedelijk is overleden aan een acrylonitril-vergiftiging via het door oxidatie ontstane blauwzuur. Ongeveer 400 mensen meldden zich met klachten in het ziekenhuis. Op 7 mei werden meer bewoners geëvacueerd vanwege hoge concentraties acrylonitril in de omgevingslucht; in totaal ging het om bijna 2.000 personen. Op 22 mei konden de bewoners van alle woningen op één na terugkeren.

ⁱⁱ Gegevens over de giftigheid van acrylonitril zijn te vinden in de veiligheidskaart van het *International Programme on Chemical Safety* (IPCS, 2001).

De ongevalsanalyse van het officiële onderzoeksorgaan spoort goed met de benadering van 4.2 en 0 (Pietersen). De directe aanleiding was het niet goed reageren op een sein dat snelheidsvermindering voorschreef, wat leidde tot het met te hoge snelheid passeren van twee bochtige wissels en de ontsporing. Maar bijkomende omstandigheden en achterliggende oorzaken hebben evenzeer een rol gespeeld. Zo was het passeren van de wissel noodzakelijk vanwege werkzaamheden juist voor de ongevalslocatie (GFT Omgevingsfactoren), waardoor de treinbestuurder mogelijk werd afgeleid, dan wel het sein niet goed kon zien door de lampen bij het werk. In de dagen voorafgaand aan de ongevalsrit had hij een behoorlijk zwaar werkschema, wat mogelijk tot verminderde waakzaamheid en vermoeidheid heeft geleid (GFT Organisatie). De bestuurder zelf zegt niet vermoeid te zijn geweest, maar het onderzoeksverslag zegt daarover dat het niet past in de spoorcultuur om vermoeidheid te melden (GFT Organisatie). Treinen zijn uitgerust met een veiligheidssysteem, dat er echter vanuit gaat dat de bestuurder juist handelt en dat niet daadwerkelijk ingrijpt als dat, zoals hier, niet het geval is (GFT Defenses, GFT Ontwerp). Een beter systeem, waarover op Europees niveau afspraken zijn gemaakt, zal in België pas in 2019 zijn ingevoerd. Hier strijden veiligheid op het spoor en economische overwegingen met elkaar en delft veiligheid het onderspit (GFT Doelstellingen – Pietersen, 2015).

Direct na de ontsporing meldde de treinbestuurder het ongeval via het noodcommunicatiesysteem bij “traffic control”, maar het lukte hem niet mondeling contact te krijgen. Dat gebeurde pas via een telefoon aan een seinpaal (GFT Communicatie, GFT Materieel). Inmiddels waren de spoorregelaars gewaarschuwd door de werkploeg, die de brand waarnam. De brandweer was een kwartier na het ongeval ter plaatse, maar adequate informatie over de stoffen die de trein vervoerde, ontbraken op dat ogenblik nog, mede door het niet goed functioneren van het computersysteem met informatie over treinen en hun lading (GFT Materieel). Bij het gecontroleerd laten uitbranden van de brandende wagons en het afkoelen van de andere stond de brandweer voor een dilemma: het bluswater lokaal opslaan, wat voor lekkages in elk geval wordt aanbevolen (IPCS, 2001), dan wel afvoeren via het riool en naar De Schelde. Men koos voor het laatste met als gevolg dat acrylonitril via de rioolputten in de omgevingslucht geraakte.

Direct na het ongeval zijn de noodplannen in werking gesteld (KB, 2006). De plannen werd direct opgeschaald tot provinciaal niveau, waarbij de provinciale gouverneur de leiding heeft. Op problemen met de interpretatie van metingen en de vragen rond evacuatie en terugkeer na, kwamen geen grote strubbelingen aan licht. De problemen worden in diverse persinterviews vooral geweten aan gebrekkige communicatie, waardoor bewoners na aanvankelijk te zijn teruggekeerd, opnieuw de opdracht tot evacuatie kregen (Demeulemeester et al, 2013). De toenmalige federale minister van Binnenlandse Zaken en Gelijke kansen heeft wel een nadere evaluatie aangekondigd (De Kamer, 2013). De gemeentelijk plannen zullen wat betreft de afvoer van verontreinigd bluswater opnieuw onder loep worden genomen. Ook het Vlaamse plan milieu-incidenten trad in werking met uitgebreid aandacht voor de verontreiniging van water en bodem en voor aangetast voedsel - afvalverwijding (Van de Acker 2013).

Als reactie op de ongerustheid onder de bewoners over gevolgen van blootstelling aan acrylonitril voor de gezondheid is door het WIV-ISP een bevolkingsonderzoek uitgevoerd (WIV-ISP 2013a). Dit gebeurde mede op advies van de HGR (HGR 2013). De resultaten lieten bij een deel van de mensen verhoogde blootstelling aan acrylonitril zien die in verband kon worden gebracht met het vrijkomen van de stof uit de rioolbuizen (WIV-ISP 2013b). Volgens de onderzoekers waren de concentraties dusdanig dat voor nadelige invloed op de gezondheid niet hoeft te worden gevreesd.

5.4 Lessen

Ook hier is duidelijk dat meer aandacht voor de achterliggende factoren de ongevallen hadden kunnen voorkomen, dan wel de gevolgen ervan beperken. Voorbeelden zijn: ontwerp en onderhoud van treinen voor het vervoer van gevaarlijke stoffen (Mississauga), een adequaat waterbeheersingssysteem (Katrina) en een systeem ter bewaking van oververmoeidheid (Wetteren). Een fundamenteel punt is de samenloop van de risicodragende activiteit en grote bevolkingsconcentraties. In de in dit hoofdstuk besproken ongevallen gaat het om vervoer van gevaarlijke stoffen door dorpen en steden (Mississauga, Wetteren) en het situeren van een miljoenenstad aan een riviermonding (Katrina). Hierdoor worden de gevolgen van ernstige ongevallen of rampen vergroot.

Bij Mississauga bleek dat mensen bij de opdracht tot evacuatie zich in eerste instantie afvragen of de opdracht redelijk is en zich zorgen maken over hun verwanten en ook over hun huisdieren—uiteraard naast zorgen over de mogelijk invloed van het ongeval op de gezondheid (hier de mogelijke blootstelling aan chloorgas). Bij Katrina leidde twijfel aan de redelijkheid van de evacuatie tot veel achterblijvers en helaas tot de nodige slachtoffers. De HGR concludeert dat noodplanning communicatie-inspanningen en samenspraak met de bevolking vooraf vereist om hierop tijdens een ongeval op te kunnen voortborduren.

Bij ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken (Mississauga, Wetteren), is informatie over aard, hoeveelheid, verpakking of omhulling en giftigheid van groot belang voor de hulpdiensten; dit te zamen met andere informatie, zoals over de trein en de treinwagons. Bij Mississauga en Wetteren kwam die informatie weliswaar binnen enkele uren beschikbaar, maar de informatievoorziening vertoonde hapering. Iets dergelijks deed zich overigens voor bij Fukushima waar door het uitvallen van vrijwel de complete elektriciteitsvoorziening het bedrijfspersoneel verstoken bleef van informatie over de toestand van de kernreactoren. De Raad benadrukt dat informatie over de bij een ernstig ongeval betrokken systemen van levensbelang kan zijn voor de doeltreffendheid van de noodmaatregelen.

Zowel Mississauga als Katrina hebben laten zien dat het op elkaar ingespeeld zijn van de leidinggevenden in een noodplanorganisatie de effectiviteit van de maatregelen sterk kan bevorderen. Het eerste ongeval toont het positieve effect, het tweede het negatieve van gebrek aan persoonlijke relaties. Dat in een omvangrijk land als de VS

federale hulpverleningsorganisaties al snel een bureaucratische, onpersoonlijke structuur krijgen, moge onvermijdelijk zijn. Het is zaak om via geregelde oefeningen waarbij alle bestuurlijke niveaus zijn betrokken hiervoor een zo goed mogelijk tegenwicht te bieden. Ook al is België vele maatjes kleiner dan de VS, deze les moet ook in ons land ter harte worden genomen.

De kosten van inspanningen om ongevallen te voorkomen zijn veelal geringer dan die van het ongeval en zijn gevolgen, zoals ook in het vorige hoofdstuk werd geconcludeerd. Zelfs de kosten van het relatief bescheiden ongeval in Mississauga werden becijferd op 70 miljoen Canadese dollar; huidige waarde 200 miljoen dollar of 150 miljoen Euro (Burton et al, 1981). Maar ondanks deze bevinding liggen de politieke prioriteiten veelal niet bij geïntegreerde aandacht voor veiligheid en ongevallen, maar richt de aandacht zich op heel bepaalde veiligheidskwesties. Voorbeelden zijn: terrorisme na '9/11' in de VS, nucleaire veiligheid na Fukushima in Europa^{kk}.

De HGR betreurt het dat de aangekondigde evaluatie van de reactie van de overheid op Wetteren niet beschikbaar is. Wel heeft de Raad geconstateerd dat door provincie en gemeente informatiepunten zijn gecreëerd waar burgers met vragen over de nasleep, over hun gezondheid en over de financiële en juridische afwikkeling van het ongeval terecht konden (Crisiscentrum, 2014). Dergelijke opvangpunten zijn van groot belang voor goede afwikkeling van de nasleep van een ongeval, ook waar het gezondheid en welzijn van de betrokken burgers betreft.

^{kk}

Na de aanslagen in Parijs op 13 november 2015 zal de bestrijding van terroristische actie stijgen op de veiligheidsagenda.

6 COMMUNICATIE EN GEZONDHEIDSGEVOLGEN

Hoe reageert de bevolking op de mogelijkheid van een ernstig kernreactorongeval met mogelijke schade voor lijf, huis en haard? Uit onderzoek, onder andere in samenhang met de eerder besproken ongevallen, is daar het nodige over bekend. Ook onderzoek naar opvattingen over de mogelijkheid van natuurrampen en ongevallen bij industriële installaties en bij transport hebben kennis opgeleverd. In dit hoofdstuk vat de HGR die kennis samen en trekt ze conclusies voor doeltreffende noodplannen.

6.1 Risico en veiligheid

In het voorafgaande zijn ongevallen en rampen en hun oorzaken besproken. Die laatste lagen in het falen van complexe technologie, dan wel bij extreme natuurgebeurtenissen dan wel bij beide. Bij Mississauga, TMI, Tsjernobyl, Fukushima en Wetteren faalde de technologie, bij Katrina en bij Fukushima speelden extreme natuurgebeurtenissen een rol. Onvermijdelijk is onze leefomgeving niet absoluut veilig, iets dat zich ook met veel andere voorbeelden laat illustreren. Mensen moeten leven met de mogelijkheid van schade aan lijf, have en goed. Wanneer en waar die schade optreedt en in welke omvang en met welke ernst is met onzekerheid omgeven. Risico is een kenmerk van het leven en van onze samenleving.

Bij complexe technologieën, zoals kernenergieproductie, de chemische procesindustrie en de wereldwijde communicatienetwerken, kan het gros van de bevolking zich aan de ermee verbonden risico's niet of nauwelijks onttrekken en kan ze die risico's zeker niet beheersen. Ze moet erop vertrouwen dat een kleine groep experts ondersteund door hun opdrachtgevers er alles aan heeft gedaan en er alles aan blijft doen om de risico's tot het uiterst mogelijke te beperken. De harde realiteit, zoals ook weerspiegeld in de hiervoor besproken voorvallen, geven aan dat inspanningen om risico's te beheersen noodzakelijk blijven.

Een aspect dat in het begin van de ontwikkeling van de kernenergie-industrie weinig aandacht kreeg, zijn de gevolgen van sabotage en aanslagen. In de huidige wereld waar conflicten, ook al lijken ze lokaal te ontstaan, globaal worden uitgevochten, zijn acties om doelbewust bedrijfsprocessen te verstoren onderdeel van het aan die processen verbonden risico geworden. Daarbij gaat het om de fysieke beschadiging van installaties en verstoring van bedrijfsprocessen^{II}, maar ook om de verstoring van computerbesturingen (*cybersecurity* Baylon et al, 2015).

6.2 Risicoperceptie en risicocommunicatie

De term "risico" is in het dagelijks spraakgebruik ingeburgerd. Maar de betekenis ervan verschilt van persoon tot persoon en van situatie tot situatie (zie bijvoorbeeld

II In augustus 2014 is een stoomturbine van Doel 4 onklaar gemaakt, wat leidde tot verscherpte bewakingsmaatregelen in Belgische kernenergiecentrales (FANC 2014).

Vlek, 1996). Een zeer algemene door Rosa voorgestelde omschrijving die alle invalshoeken min of meer dekt, is (Jaeger et al, 2001; Rosa, 1998):

A situation or event in which something of human value (including humans themselves) has been put at stake and where the outcome is uncertain^{mm}.

Deze omschrijving brengt goed tot uitdrukking dat er alleen sprake kan zijn van risico's als er waarden in het geding zijn. Bij de risico's verbonden aan het bedrijven van kernenergiecentrales is dat niet anders (Laes et al, 2007). Echter die waarden zijn voor verschillende personen en maatschappelijke partijen verschillend. Zo is een belangrijke drijfveer voor de exploitant van een kernenergiecentrale om ongevallen te voorkomen de in extreme gevallen onmogelijk te dragen kosten. De toezicht houdende overheid heeft tot taak de veiligheid van mens en milieu te waarborgen, maar wil tevens schade aan de economie voorkomen. Werknemers willen een goede baan in een veilige werkomgeving. Omwonenden hebben een groot belang bij een veilige leefomgeving, maar hebben ook behoefte aan voorzieningen voor werk, consumptiegoederen en recreatie in hun nabijheid.

De manier waarop individuen en partijen het ongevalsrisico verbonden aan het bedrijven van kernenergiecentrales beoordelen zal dus uiteenlopen: hun perceptie van dat risico verschilt. Factoren die daarbij een rol spelen zijn maatschappelijk perspectief en gevoelens (Slovic et al, 1999). Bij de beoordeling van risico's door het publiek spelen factoren als onbekendheid en dreiging een belangrijker rol dan technische-wetenschappelijke risicobeschouwingen (Vlek et al, 1980; Slovic, 1999). Het vertrouwen in de partijen die zich achter een risico veroorzakende activiteit, zoals de vestiging van een kernenergiecentrale, scharen en die de veiligheid moeten garanderen (waaronder de overheid) speelt een belangrijker rol dan kennis. Dat blijkt zowel uit onderzoek naar opvattingen over kernenergieproductie als over andere technologieën, zoals genetische modificatie van voedingsgrondstoffen (Perko et al, 2012; Perko et al, 2014; Maris, 2001). Deze persoonlijke en institutionele kleuring van oordelen over risico's geldt evenzeer voor "deskundigen" als voor "leken", en voor "beslissers" als voor "bedreigden" (Shrader-Frechette, 1995).

Risicocommunicatie omschrijft de HGR als de confrontatie en poging tot overbrugging van de uiteenlopende risicopercepties in een open dialoog (zie ook GR, 1996). Maar zo'n dialoog is tot mislukken genoemd als de uiteenlopende waarden en waardeoordelen niet worden onderkend en het niet lukt tot een zeker gemeenschappelijk kader te komen. Een bottleneck is veelal dat "experts" de neiging hebben de uitkomst van hun risicoanalyse als een betere, want volgens hen wetenschappelijke en objectieve, basis voor handelen te beschouwen dan de zorgen en oordelen van groepen uit de

^{mm}

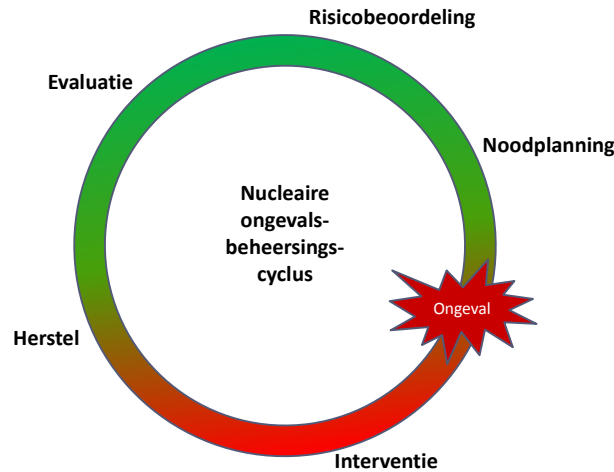
Vertaling: een situatie of gebeurtenis waarbij voor de mens waardevolle zaken (inclusief de mens zelf) op het spel staan en waarbij de uitkomst onzeker is.

bevolking – “leken” (Thompson et al, 1996). Een andere bottleneck is dat onder experts “scholen” ontstaan, mede gevoed door maatschappelijke overtuigingen (Silva et al, 2007). Als slechts een bepaalde school domineert en er binnen de “experts” geen ruimte is voor kritische reflectie (de Groot et al, 2013) dan zal het communicatieproces falen.

6.3 Communicatie bij nucleaire calamiteiten

Naar risicocommunicatie is in de afgelopen jaren het nodige onderzoek verricht (zie voor een overzicht (Fitzpatrick-Lewis et al, 2010). Onderzoek in België in verband met kernenergieproductie in de afgelopen vijf tot tien jaar heeft belangrijke informatie opgeleverd (Perko et al, 2014; Perko, 2012). Daarmee kunnen problemen die na de eerder besproken kernongevallen zijn opgetreden (Slovic, 2012), in de toekomst naar de HGR hoopt worden voorkomen of in elk geval verkleind.

Het idee van een nucleaire ongevalsbeheersingscyclus (Perko, 2012; Perko, 2011) past bij de opvatting in 3.1 van noodplanning als een voortdurend proces. Figuur 2 geeft die cyclus weer. Dat beeld staat zowel voor een daadwerkelijk ongeval als voor een oefening met ongevalsscenario's (in het laatste geval staat “ongeval” dan voor “verondersteld ongeval”). In de normale situatie is er in feite nog geen sprake van een cyclus maar starten de activiteiten in het “groene” gedeelte na een risicobeoordeling en een noodplan en wordt de cyclus dus in feite alleen voor oefeningen doorlopen. Bij een ernstig ongeval loopt de cyclus zeker door tot de fase van evaluatie maar of de installatie ooit nog in bedrijf zal zijn is de vraag. Bij de drie besproken kernreactorongevallen is dat niet het geval.



Figuur 2 Nucleaire ongevalsbeheersingscyclus. Ontleend aan ^{152,154 nn}

6.3.1 Besluitvorming en communicatie

Communicatie heeft een direct verband met het nemen van een besluit. Dat geldt ook in het kader van de voorbereiding op nucleaire ongevallen en bij de nasleep van een daadwerkelijk ongeval. Bij de voorbereiding gaat het er om vast te stellen wat mogelijk mis kan gaan en wat de mogelijke gevolgen daarvan zijn. Dat is niet slechts een zaak van overheden ondersteund door deskundigen, maar van alle belanghebbenden. In 3.1 en 3.2 werd gepleit voor een kwetsbaarheidsanalyse als grondslag voor noodplanning. De Raad acht een participatieve benadering daarvoor geëigend waarbij het zogeheten RISCUM-model (Westerlind et al, 2004; Andersson et al, 2003) goede diensten kan bewijzen. Dat model, dat ook in België onderwerp van studie is geweest (Laes et al, 2009), beschrijft besluitvorming als een communicatieproces en wil transparantie garanderen. Trefwoorden zijn “feiten”, “legitimatie” en “authenticiteit”. Het eerste slaat op wetenschappelijke kwaliteit. Legitimatie heeft met maatschappelijk normen en waarden van doen en met de verdeling van voor- en nadelen. Authenticiteit ten slotte verwijst naar de integriteit van actoren en openheid over belangen. Twee andere kenmerken van het model zijn procesbewaking door een niet betrokken partij en het zo nodig organiseren van tegenexpertise, zodat een variëteit aan zienswijzen aan bod kan komen. Zo gestructureerde processen voorkomen dat eenzijdigheid van informatie van participanten onopgemerkt en onbesproken blijft.

Maar ook bij een daadwerkelijk ongeval en de nasleep ervan is er sprake van het nemen van besluiten en het communiceren over overwegingen en conclusies. Bijvoorbeeld door het crisisbeheer over maatregelen (zie hoofdstukken 0 en 0), door de getroffen bevolking over het opvolgen van de maatregelen, door de hulpverleners over het invullen van hun taak en door de exploitant over de beheersing van het ongeval.

ⁿⁿ Perko noemt als bron van de nucleaire ongevalsbeheersingscyclus een vroegere publicatie van het SCK-CEN ¹⁵⁵.

Wil die communicatie en besluitvorming doeltreffend zijn, dan moet daarvoor de grondslag in het noodplan gelegd zijn. Maar, zoals hieronder nog nader wordt uiteengezet, is er ook bij een daadwerkelijk ongeval de noodzaak van tweezijdige communicatie.

Ten slotte: wie zijn bij participatie betrokken? Voor vragen over de veiligheid van een bepaalde kerncentrale en noodplannen lijkt het voor de hand liggende antwoord: overheden, de exploitant en de omwonenden. Maar zeker overheden en omwonenden zijn geen eenduidige groepen belanghebbenden. Er zijn lokale, provinciale, gewestelijke en federale overheden en binnen de overheid zijn er diensten voor toezicht, voor gezondheid, voor milieu en voor economie. Evenzo onder de omwonenden zijn er werknemers van de centrale, bezorgden, uiteenlopende kwetsbare groepen. Zij hebben allen een verschillende belang en veelal ook een andere kijk op nucleaire veiligheidskwesties in het algemeen en op veiligheidskwesties die verband houden met de centrale in kwestie. Het participatieproces moet dus zorgvuldig worden overdacht en partijen moeten daarnaast in staat worden gesteld volwaardig te kunnen deelnemen. Ook zullen de media bij de processen moeten zijn ingeschakeld om het overlegproces te kunnen volgen, maar ook beïnvloeden. Naast het hiervoor genoemde RISCOS-model zijn er de afgelopen jaren nuttige handleidingen voor participatieprocessen verschenen (Hage et al, 2008; Elliot et al, 2006).

Al deze activiteiten moeten naar de mening van de HGR zijn ingebed in een filosofie voor het leven in een hoogtechnologische maatschappij. Die benadering vraagt om een voortdurende ethische verantwoording van technologische risico's en bewustmaking van mensen van die risico's (zie ook Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung, 2011; Beck, 1986). Onderdeel ervan is ook, heel praktisch, communicatie over rampenplanning in het schoollespakket.

6.3.2 Communicatie overheid-bevolking: algemeen

Communicatie is een essentieel onderdeel van de gehele ongevalsbeheersingscyclus. Elke fase van de cyclus heeft daarbij zijn eigen kenmerken. Centraal is de communicatie over het risico verbonden aan de activiteit, hier het bedrijven van een kernenergiecentrale. Probleem is wel dat de vestiging van zo'n centrale vaak met controverses tussen betrokken partijen gepaard ging. In elk geval in België was dat het geval (Laes et al, 2007). In 2006 blijkt tussen de veertig en vijftig procent van de Belgische bevolking vertrouwen te hebben in de maatregelen van de overheid om de bevolking te beschermen tegen een nucleair ongeval en ongeveer een kwart niet (Turcanu et al, 2014). Het ongeval in Fukushima heeft de mate van dat vertrouwen wel enigszins doen dalen, maar tussen 2011 en 2013 neemt het vertrouwen weer licht toe^a. Door te blijven luisteren naar de zorgen van mensen over nucleaire-ongevalsrisico's en door te

^a De cijfers zijn als volgt (Turcanu et al, 2014). 2006: veel tot zeer veel vertrouwen 45 %, tegen weinig tot zeer weinig vertrouwen 25 %; 2009: respectievelijk 54 % tegen 18 %; 2011 (na Fukushima): 42 % tegen 28 %; 2013: 46 % tegen 23 %. In 2002 was het vertrouwen lager: even 20 % veel tot zeer veel en even

communiceren over noodplannen, over oefening met noodplannen, de resultaten daarvan en de verdergaande verbeteringen kan dat vertrouwen worden versterkt. Vertrouwen van de bevolking in de overheid is van groot belang voor de situatie van een daadwerkelijk ongeval, zoals ook de communicatieleidraad van het Crisiscentrum benadrukt (Crisiscentrum, 2007). Overigens zullen ook de exploitanten van de kernenergiecentrales hierbij een rol moeten spelen. Op de aard van de communicatie, de mogelijke hulpmiddelen en te verwachten reacties van de bevolking gaat de Raad verderop in.

Ook al geeft in enquêtes een belangrijk deel van der Belgische bevolking aan vertrouwen te hebben in de overheid om nucleaire ongevallen te kunnen beheersen, het is zaak dit vertrouwen te onderhouden, terwijl er zeker ruimte is voor verbetering. De nasleep van het Fukushima-ongeval—zoals de reeds genoemde stress-tests en de verbeterprogramma's die daaruit volgden—zijn bij uitstek zaken die onderwerp moeten zijn van een communicatieprogramma over nucleaire veiligheid. Daarbij mag kritiek op zaken die nog niet goed of goed genoeg zijn niet worden geschuwd. De Raad wijst er op dat onderwerpen, zoals de invloed van de levensduur van de Belgische kerncentrales op kans en ernst van een ongeval, de resultaten van de verplichte oefeningen en helderheid over het debat over de zogeheten kernuitstap, voldoende aandacht moeten krijgen.

Communicatie en communicatiemedia en communicatiemiddelen zijn in de 21^e eeuw aan grote veranderingen onderhevig. In de westerse wereld, maar ook daarbuiten, kan informatie via draadloze communicatie en zogeheten sociale media zich razendsnel en breed verspreiden. Voor een overheid biedt dat als onderdeel van noodplanning, zowel kansen als bedreigingen (Rainer et al, 2013). De kansen liggen in de mogelijkheid om niet alleen informatie te verspreiden, maar ook te ontvangen en waar nodig met betrokkenen te ontwikkelen. De bedreigingen zijn gelegen in het feit dat ook buiten het noodplanningsproces om allerlei informatie, waaronder verkeerde informatie en verdachtmakingen, vrijelijk kan circuleren en doeltreffende maatregelen kan dwarsbomen. Het is dus zaak om in de normale situatie gebruik van de nieuwe media voor te bereiden en te benutten. Dat kan de reeds genoemde basis van vertrouwen versterken en leiden tot doeltreffende communicatie in ongevalssituaties (Ng et al, 2012).

De grote veranderingen van het communicatielandschap hebben ook tot gevolg dat het gebruik van communicatiemiddelen onder de bevolking een steeds grotere diversiteit vertoont. Niet iedereen kan of wil overschakelen van krant, radio of tv naar smartphone en tablet. Dat maakt het voor de overheid, die communicatie over risico's, veiligheid en noodplannen moet voorbereiden, er niet gemakkelijker op. Voortdurende aandacht voor het veranderende communicatielandschap is echter nodig om in ongevalssituaties miscommunicatie en wantrouwen te voorkomen.

40 % weinig tot zeer weinig (Van Aeken et al, 2006). Daarbij zij aangetekend dat de vraagstelling in 2002 niet was toegespitst op ongevallen, maar op de risico's van nucleaire installaties in het algemeen.

6.3.3 Communicatie overheid-bevolking: ongevalssituatie

Een eenvoudige code voor de ernst van een nucleair ongeval—bijvoorbeeld te vergelijken met de schaal van Richter voor aardbevingen—zou een nuttig communicatiemiddel kunnen zijn in ongevalssituaties. De eerder genoemde INES-schaal (IAEA, 2008 - zie Hoofdstuk 0 en Annex I) was daarvoor ontworpen. Probleem is echter dat bij de voortekenen van een ongeval de uiteindelijke INES-schaalcode vaak niet is vast te stellen. Zo was het bij Fukushima nodig de code van INES-3 naar INES-7 te verhogen. In beschouwingen achteraf kan de INES-code zijn nut bewijzen, voor communicatie over een daadwerkelijk ongeval is de code naar de mening van de Raad minder geschikt.

In de praktijk blijken er binnen overheden en bedrijfsorganisaties denkbeelden over het gedrag van de bevolking in ongevalssituaties te bestaan die niet sporen met de werkelijkheid (Mileti, 2000). Belangrijke misvattingen zijn dat mensen bij de eerste informatie over een ernstig ongeval in paniek raken en dat ze de instructies voor bijvoorbeeld “schuilen” blindelings en onmiddellijk opvolgen. Ook de gedachte dat mensen in ongevalssituaties slechts met *one-liners* te bereiken zijn en dat waarschuwingen die achteraf “vals” blijken te zijn, tot elke prijs vermeden moeten worden, wordt door de praktijk gelogenstraft. Bij het ontwikkelen van een communicatiestrategie is het zaak deze ‘mythen’ te vermijden.

Over de kenmerken van een doeltreffende communicatiestrategie, de wijze van communiceren, en de te verwachten vragen bestaat een uitgebreide literatuur (o.a. Mileti, 2000; Covello, 2011). Desondanks blijken in de praktijk veel lessen niet geleerd (Rainer et al, 2013). Een van de moeilijkste zaken acht de Raad het opzetten van tweezijdige communicatiekanalen voor informatie-uitwisseling en voor samenwerking (Rainer et al, 2013). Dit is ook van belang in de interventiefase direct na de aanvang van het ongeval. Weliswaar verwachten mensen dan eerder instructies te ontvangen dan input van hen, maar lokale informatie kan van groot belang zijn voor de doeltreffendheid van de beschermingsmaatregelen (Rainer et al, 2013). Juist met de huidige media kan informatie vaak snel verzameld worden, maar de basis voor dat soort processen dient wel tevoren te zijn gelegd (Haataja et al, 2014).

In lijn met de reeds aangehaalde literatuur over een doeltreffende communicatiestrategie is het van belang dat in de interventiefase de instructies van de overheid zich richten op de zorgen die de getroffen bevolking vrijwel zeker zal hebben. De hiervoor besproken ongevallen (en andere) hebben in die zorgen het nodige inzicht gegeven. Nut en duur van maatregelen als “schuilen”, “inname van stabiel-jodiumtabletten” en “evacuatie” moeten duidelijk zijn. Ook de hereniging met verwanten en met huisdieren staan vaak hoog op de zorgenlijstjes van de getroffen. Daarnaast moeten kwetsbare groepen zoals zwangeren, baby’s, maar ook hulpbehoevenden, bedlegerigen en gehandicapten aandacht krijgen. Kern is dat mensen informatie krijgen aangereikt die hen in staat stellen zelf zoveel mogelijk de gevolgen van het ongeval doeltreffend te beheersen.

Bij nucleaire calamiteiten zullen altijd vragen spelen over stralingsrisico's en de wijze waarop de getroffen maatregelen effectief zijn om die te vermijden of te verminderen. Gepubliceerde aanbevelingen daarvoor als onderdeel van de radiologische noodplannen kan de HGR in grote lijnen onderschrijven (Covello, 2011; ICRP, 2009; Locke, 2011). Van belang is te beseffen dat als de normale bedrijfsvoering ernstig is verstoord en een kernongeval dreigt of plaatsvindt, mensen anders reageren dan wanneer er nog sprake is van normale bedrijfsvoering. Een eerste reactie is veelal ontkenning, gevolgd door het zoeken naar betrouwbaar geachte informatie. Zorg voor het eigen wel en wee en dat van verwanten krijgt prioriteit en bepaalt mede de reactie op instructies van officiële instanties (Mileti et al, 2000; Lindell et al, 2012). Zoals reeds aangegeven raken mensen niet direct in paniek bij de melding van een dreigende ramp (Mileti et al, 2000). Evenmin zullen ze dus zonder meer instructies opvolgen, tenzij ze die zinvol achten. Daarbij speelt sterk de factor van vertrouwen in de "boodschapper". Zoals al eerder is opgemerkt is het zaak in de "normale" situatie een vertrouwensrelatie op te bouwen, om die bij een calamiteit te kunnen verzilveren.

Later verschuiven de communicatiethema's naar vragen rond huisvesting, voeding, compensatie voor geleden en nog te lijden schade, onderwijs en werk. Daarbij is het beter zo duidelijk mogelijk de onzekere perspectieven te schetsen dan bepaalde onderwerpen vanwege die onzekerheid niet aan te snijden. Zowel Tsjernobyl als Fukushima tonen aan dat dat laatste leidt tot frustratie bij de betrokken bevolking en verlies aan vertrouwen in de overheid.

6.3.4 Communicatie binnen de noodplanningsorganisatie

Zoals eerder is aangegeven is bij een noodplanningsorganisatie een veelheid aan actoren betrokken. Bestuurlijke instanties, expertisecentra, hulpverleners, ordediensten en afdelingen van de exploitant van de kernenergiecentrale moeten bij een ongeval gemobiliseerd kunnen worden en moeten vervolgens samenwerken. De ervaring heeft geleerd dat een organisatieschema met taken en bevoegdheden daarvoor noodzakelijk, maar niet voldoende is. Samenwerking vereist ook dat sleutelfiguren elkaar kennen en vertrouwen. De opbouw van zo'n samenwerkingsnetwerk is een van de hoofdredenen om noodplannen te oefenen en om die oefeningen met voldoende regelmaat te herhalen. Wat eerder over risicoperceptie en risicocommunicatie is gezegd geldt onverkort voor perceptie en communicatie binnen de noodplanorganisatie. Bij de evaluatie van een oefening dient hieraan bijzondere aandacht te worden besteed naast het toereikend zijn van materiële voorzieningen.

6.4 Invloed op de gezondheid

Het ongevalsrisico verbonden aan het bedrijven van een kernenergiecentrale is traditioneel gedefinieerd in termen van de gevolgen voor de gezondheid van blootstelling aan ioniserende straling. Die blootstelling wordt veroorzaakt door de radioactieve stoffen in de kernreactor die bij het ongeval in de omgeving kunnen vrijkomen. Dit is terecht een overheersend aspect van het ongevalsrisico en een basis voor noodplanningsmaatregelen. Toch meent de HGR dat in het bijzonder de kernreactorongevallen

van Tsjernobyl en van Fukushima hebben geleerd dat een breder perspectief noodzakelijk is. De HGR kiest daartoe het begrip “kwetsbaarheid” en bespreekt dat hierna als eerste om vervolgens de mogelijke gevolgen van ongeval voor de gezondheid de revue te laten passeren.

6.4.1 Kwetsbaarheid

Mensen staan in hun leven voortdurend aan uiteenlopende omgevingsfactoren bloot, die voor een deel als stressoren met een mogelijk negatieve invloed op gezondheid en welzijn kunnen worden opgevat (WHO Europe, 2004). Ongevalsrisico's zijn zo'n stressor. De wijze en mate waarop gezondheid en welzijn van mensen worden aangetast—mensen kwetsbaar en gevoelig zijn (WHO Europe, 2004)—is afhankelijk van uiteenlopende factoren die van individu tot individu en van bevolkingsgroep tot bevolkingsgroep kunnen verschillen. Daarmee zullen ook de gevolgen uiteenlopen. Het ene individu is kwetsbaarder dan het andere en hetzelfde geldt voor bevolkingsgroepen. Sommige van die factoren beïnvloeden de blootstelling, zoals het al dan niet wonen in de nabijheid van een kernenergiecentrale en het al dan niet in staat zijn om direct gevolg te geven aan noodmaatregelen bij een daadwerkelijk kernreactorongeval zoals schuilen of evacueren. Andere beïnvloeden de manier waarop het organisme zich tegen de biologische of psychosociale invloed van de stressor kan verweren.

De huidige noodplannen duiden in het bijzonder kinderen en zwangeren als kwetsbare (in de terminologie van de Raad) groepen aan. Zoals hierna nog nader wordt besproken zijn er meer kwetsbare groepen te identificeren in het kader van noodplanning voor kernongevallen. Bijvoorbeeld zieken en gehandicapten, schoolkinderen (tijdens schooluren), etc. Een kwetsbaarheidsanalyse op lokale, regionale, nationale en internationale schaal acht de HGR aangewezen. Zo'n analyse zou zich bij voorkeur niet moeten beperken tot kernreactorongevallen. Verwezen zij naar 3.1 waar een kwetsbaarheidsanalyse in het kader van noodplanning kort werd besproken. Daar komen ook andere aspecten van kwetsbaarheid aan bod naast de zojuist genoemde.

6.4.2 Radiologische gevolgen

Bij een daadwerkelijk kernreactorongeval kunnen radioactieve stoffen uit de reactor-kern in de omgeving vrijkomen. Over soort en aard van deze radioactieve lozingen is veel bekend. Daarop hoeft hier niet uitgebreid te worden ingegaan. Indien het *containment* faalt komen radioactieve edelgassen, radioactief jodium en andere radioactieve stoffen, zoals radioactief cesium en strontium vrij. De mate waarin dat gebeurt, hangt af van de wijze waarop de veiligheidsomhullingen van de kernreactor worden doorbroken, van de eerdere mate van bedrijf van de kernreactor, van bijkomende gebeurtenissen als brand en explosies en van de weersomstandigheden zoals wind, windrichting en neerslag. Dat bij Tsjernobyl de radioactieve stoffen zich tot ver in Europa en zelfs daarbuiten konden verspreiden hing samen met de grafietbrand die de stoffen tot grote hoogte in de atmosfeer opstuwde. Bij Fukushima kwam een groot deel van de radioactieve stoffen door de heersende windrichting in zee terecht met minder mogelijkheden voor directe blootstelling van mensen.

In termen van tijd zijn de radioactieve edelgassen van belang direct na het vrijkomen. Mensen kunnen worden blootgesteld aan de straling vanuit de “wolk”. De stoffen worden grotendeels in de atmosfeer verdund en leiden binnen een termijn van uren na het beëindigen van de lozing nog nauwelijks tot zorg. De radioactieve jodiumverbindingen kunnen worden ingeademd, al dan niet na neergeslagen te zijn en opnieuw opgewerkt. Verder kunnen ze via gewassen worden ingenomen, bijvoorbeeld door consumptie van melk afkomstig van koeien die besmet gras hebben gegeten. Enkele maanden na het einde van de lozing is de straling van radioactief jodium dat is neergeslagen, zeer sterk afgenomen. Aangezien jodium dat wordt ingeademd of ingeslikt zich bij voorkeur ophoopt in de schildklier is het mogelijk blootstelling te voorkomen of aanzienlijk te beperken door het tijdig innemen van stabiel jodium (HGR, 2015). Op de lange termijn speelt de besmetting van de omgeving door vooral radioactief cesium, naast andere radioactieve stoffen, een rol. Blootstelling vindt plaats door bestraling vanaf de bodem of besmette gebouwen, planten en andere voorwerpen of door het consumeren besmet voedsel en water. Het gaat hier om een probleem van vele tientallen jaren. Ontsmetting is een optie maar vergt een grote en langdurige inspanning en leidt tot grote hoeveelheden radioactief afval.

Over hoe straling op levende organismen inwerkt is veel bekend. Het voornaamste vastgestelde effect is een verhoging van de kans op leukemie enkele jaren na de bestraling en van andere vormen van kanker later in het leven. In het bijzonder bij kinderen kan door het inademen of inslikken van radioactief jodium na enkele jaren schildklierkanker optreden. Bestraling van de gonaden en van de foetus en het ongeboren kind verhoogt de kans op geboortefwijkingen. Verder zijn er aanwijzingen dat straling van invloed is op het optreden van hart- en vaatziekten later in het leven en mogelijk ook op cognitieve functies. Deze effecten zijn van belang bij stralingsdoses van minder dan 1000 millisievert. De HGR heeft zich eerder op het standpunt gesteld en doet dat nog steeds dat er geen stralingsdosis is waaronder een mogelijk effect nihil is (HGR, 2006). Verder merkt de Raad op (zie ook 4.6) dat over langdurige blootstelling aan ioniserende straling. In dit lage- dosis bereik nog niet genoeg weten. Maar die blootstelling is wel de situatie waarin mensen na een nucleair ongeval bij terugkeer in licht besmet gebied verkeren. De zorg gaat in het bijzonder uit naar kinderen die gedurende een lange levensperiode via de voeding radioactieve stoffen binnenkrijgen (EC, 2011). Naast het eerder bepleite wetenschappelijk onderzoek is hier alle redenen de vinger aan de pols houden.

Bedrijfspersoneel, reddings- en herstelwerkers kunnen aan stralingsdoses van beduidend meer dan 1.000 millisievert worden blootgesteld, met stralingsziekte en overlijden tot gevolg. Bij Tsjernobyl is dat gebeurd, bij TMI en bij Fukushima niet.

Dat veel over de radiologische gevolgen van blootstelling aan ioniserende straling bekend is, wil niet zeggen dat voor een individu met zekerheid kan worden voorspeld wat de gevolgen van de blootstelling voor hem of haar zijn. Hooguit kan op bevolkingsniveau en mogelijk voor bepaalde leeftijdsgroepen, een grove schatting worden gemaakt van de gevolgen. Maar bij de blootstellingsniveaus voor de algemene bevolking zoals zojuist genoemd, kan niet worden aangegeven wie wanneer mogelijk wordt getroffen.

Deze onzekerheid is wel een van de stressoren waaraan de getroffen bevolking is blootgesteld (zie ook de volgende paragraaf).

Beslissingen over een verblijf in een omgeving met een verhoogd stralingsniveau, zoals bij reddings- en herstelwerkzaamheden nabij een beschadigde kernreactor of langdurig verblijf in een gebied dat na een ongeval met radioactieve stoffen is besmet, vereisen dan ook altijd een afweging van de verhoogde kans op kanker en andere gezondheidseffecten tegen de noodzaak van het werk of de onvermijdelijkheid van het verblijf in besmet gebied.

6.4.3 Psychologische en sociale consequenties

Rampen en ernstige ongevallen veroorzaken onder de betrokken bevolking ook psychiatrische aandoeningen (Havenaar et al, 2002). Dat geldt evenzeer voor kernreactor-ongevallen. Naast de invloed van het ongevalsrisico op zich komt na een kernreactor-ongeval daarbij de, op zich terechte, angst voor invloed van straling op de gezondheid, de onzekerheid over de toekomst, de ontwrichting van de samenleving, het moeten achterlaten van huis en haard, waaronder huisdieren en vee, in geval van evacuatie en de meer algemene onzekerheid over de terugkeer naar een normale situatie als dat ooit mogelijk is (Bromet et al, 2011; Bromet, 2011). Evacués worden in hun nieuwe omgeving vaak met de nek aangekeken. Producten uit mogelijk met radioactieve stoffen besmette gebieden worden elders gemeden met economische en sociale gevolgen voor de bevolking in de productiegebieden. Onderzoek onder de bevolking en het reddings- en herstelpersoneel bij TMI en Tsjernobyl heeft uitgewezen dat vele jaren na dato de psychische en sociale gevolgen nog steeds waarneembaar zijn (Bromet et al, 2011; Bromet, 2011). Voor de getroffen bevolking en het reddings- en herstelpersoneel bij Fukushima zal dat niet anders zijn. Het is dus zaak dat bij noodplanning met deze invloeden van het ongeval op de geestelijke gezondheid rekening wordt gehouden.

De HGR benadrukt dat de blootstelling aan straling bij deze psychologische en sociale effecten wel degelijk een rol speelt, zij het vermoedelijk niet in biofysische zin zoals bij het ontstaan van kanker. Maar waar de angst voor stralingsblootstelling en voor de mogelijke gevolgen van zo'n blootstelling een rol speelt bij de aantasting van de geestelijke volksgezondheid is de stralingsblootstelling dus een factor van betekenis.

6.4.4 Rol van hulpverleners

Bij een nucleair ongeval spelen op de korte en lange termijn dus veel zaken die gezondheid en welzijn beïnvloeden. Dit stelt eisen aan de hulpverleners, zoals urgentieartsen, verplegers, ambulancepersoneel en andere paramedici, en daarnaast aan politie, brandweer en civiele bescherming. Dit zijn professionals die voor allerhande ongevallen zijn opgeleid en met de afhandeling daarvan de nodige ervaring hebben. Dat is echter naar het inzicht van de Raad niet het geval voor nucleaire ongevallen met de mogelijke blootstelling aan ioniserende straling en besmetting met radioactieve stoffen

van grote groepen personen, zowel werknemers van de getroffen centrale als omwonenden. De hulpverleners zouden daarom moeten worden bijgeschoold en getraind in dienstverlening bij ongevallen met kerninstallaties. Gezien de organisatie van de diverse diensten die zijn betrokken bij de hulpverlening, constateert de Raad een behoefte aan coördinatie tussen het federale en het regionale niveau. Op federaal niveau ligt hier een taak voor het Crisiscentrum en de FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, die in de huidige praktijk nadere invulling behoeft.

7 HET HUIDIGE NUCLEAIRE EN RADIOLOGISCHE NOODPLAN

7.1 Algemene noodplan in België

Bij Koninklijk Besluit (KB) van 16 februari 2006 is de opzet van de zogeheten nood- en interventieplannen opnieuw vastgesteld (KB, 2006). Deze plannen zijn bedoeld om de gevolgen van een noodsituatie of dreigende noodsituatie te voorkomen dan wel te beperken. Het besluit verwijst naar een besluit uit 2003 (KB, 2003), waarin de besluitvormingsstructuur wordt beschreven. Onder “noodsituatie” verstaat het KB:

elke gebeurtenis die schadelijke gevolgen voor het maatschappelijk leven veroorzaakt of veroorzaken kan, zoals een ernstige verstoring van de openbare veiligheid, een ernstige bedreiging ten opzichte van het leven of de gezondheid van personen en/of ten opzichte van belangrijke materiële belangen, en waarbij de coördinatie van de disciplines is vereist om de dreiging weg te nemen of om de schadelijke gevolgen te beperken.

Het KB voorziet een uitwerking in de vorm van gemeentelijke, provinciale en federale nood- en interventieplannen. Voor een noodsituatie die beperkt blijft tot het gebied van een enkele gemeente volstaat het gemeentelijke noodplan. Is de geografische reikwijdte van de noodsituatie groter dan treedt het provinciale noodplan in werking tenzij de reikwijdte meer dan één provincie betreft. In het laatste geval is het federale noodplan toepasselijk onder bevoegdheid van de Minister van Binnenlandse Zaken. De noodplannen kennen een algemeen en bijzonder deel. De bijzondere nood- en interventieplannen vullen het algemene noodplan aan met specifieke richtlijnen voor een bijzonder risico.

Het KB regelt verder de samenwerking tussen vijf met name genoemde disciplines: hulpverleningsoperaties toebedeeld aan de brandweer, geneeskundige, sanitaire en psychosociale zorg met onder meer een rol voor de federale gezondheidsinspectie en voor het Rode Kruis, orde, veiligheid en evacuatie toebedeeld aan de politie, logistieke steun onder meer toebedeeld aan de brandweer en de civiele bescherming, en informatie aan de bevolking toebedeeld aan de bevoegde federale, provinciale of gemeentelijke overheid. Verder wordt voorzien in het vaststellen van een interventiezone rond de ongevalslocatie die is onderverdeeld in een rood, oranje en geel gebied met afnemende restricties voor toegang voor bewoners en niet-bewoners.

7.2 Nucleaire noodplan

7.2.1 Kerninstallaties in België

De Belgische kernenergiecentrales zijn gevestigd nabij grote bevolkingsagglomeraties en nabij de landsgrenzen. Zo ligt de kernenergiecentrale van Doel op minder dan 20 km van Antwerpen met een half miljoen inwoners en een veelvoud daarvan in de verdere agglomeratie. De centrale ligt naast het Antwerpse havenindustriegebied en

op enkele kilometer van de Nederlandse grens. De bevolkingsdichtheid in de directe nabijheid van de centrale van Tihange is geringer dan bij Doel, maar op enkele tientallen kilometer afstand bevinden zich steden met meer dan honderdduizend inwoners, zoals Namen, Luik en het Nederlandse Maastricht. De Franse grens ligt op een afstand van minder dan honderd kilometer. De situering van kernenergiecentrales in België illustreert dat bij het besluit om kernenergie verder in België te ontwikkelen eind jaren '60 van de vorige eeuw de mogelijkheid van ernstige ongevallen en de gevolgen daarvan voor mens en milieu geen overheersende rol speelde (Laes et al, 2007; Laes et al, 2004; Eggermont, 2013).

Inmiddels heeft de ervaring geleerd dat bij een ernstig kernreactorongeval, afhankelijk van de omstandigheden, een groot tot zeer groot gebied met vele honderdduizenden personen getroffen zal kunnen worden (cf. Pascal, 2012). Dat gebied zal zich, ook weer afhankelijk van de omstandigheden, tot buiten de landsgrenzen uitstrekken.

7.2.2 Reikwijdte en bevoegdheid

Het vigerende “nucleair en radiologisch noodplan voor het Belgisch grondgebied” is vastgesteld bij Koninklijk Besluit van 17 oktober 2003 (KB, 2003) en is als bijlage aan dat besluit toegevoegd^a. Het is een bijzonder noodplan in de zin van het KB van 16 februari 2006 dat hierboven kort is besproken (KB, 2006), waarbij de bevoegdheid ligt bij de federale minister van Binnenlandse Zaken. Het plan, verder aan te duiden als NNP^b, richt zich in het bijzonder op:

- ongevallen in de kernenergiecentrales van Doel en van Tihange, het Studiecencentrum voor Kernenergie te Mol, het Instituut voor Radio-elementen (IRE) te Fleurus, Belgoprocess en Belgonucleaire te Dessel;
- de ongevallen in nabije buitenlandse nucleaire installaties, namelijk de kernenergiecentrales van Chooz, Gravelines en Cattenom (Frankrijk), en van Borssele (Nederland);
- de radiologische noodsituaties die samenhangen met lucht- en ruimtevaart en met het militair bedrijf;
- de radiologische noodsituaties bij vervoer van splijtstoffen, of radioactieve bestanddelen (met inbegrip van het radioactief afval);
- de radiologische noodsituaties naar aanleiding van terroristische daden.

Radiologische ongevallen in andere installaties en in ziekenhuizen vallen in eerste instantie niet onder het NNP, maar onder gemeentelijke of onder provinciale noodplannen.

^a De HGR is geïnformeerd dat het noodplan wordt herzien. Een nieuwe versie wordt mogelijk in 2016 gepubliceerd.

^b NNP: Nucleair NoodPlan

7.2.3 Structuur

Het NNP karakteriseert zich door een gecentraliseerd beheer op het federale niveau met een provinciale en gemeentelijke implementatie van de maatregelen die op het federale niveau worden vastgesteld. Het centrale beslissingsorgaan binnen het beheer van een nucleaire of radiologische noodsituatie is het federaal coördinatiecomité (COFECO)^c. Dit comité wordt voorgezeten door de Minister van Binnenlandse Zaken of zijn afgevaardigde, de Emergency Director van overheden (EDA)^d en omvat verder de vertegenwoordigers van de andere federale overheidsdiensten die een rechtstreekse bevoegdheid hebben bij het beheer van de nucleaire noodsituatie (volksgezondheid, landbouw, economie, etc.). Dit coördinatiecomité heeft de volledige verantwoordelijkheid over het beheer van de noodsituatie en staat onder meer in voor de beslissingen over de bescherming van de bevolking en het leefmilieu, als ook voor het definiëren van de communicatiestrategie. Het coördinatiecomité baseert zijn beslissingen op de adviezen van enerzijds de evaluatiecel en anderzijds de socio-economische cel.

De evaluatiecel bestaat uit technisch-wetenschappelijke deskundigen onder voorzitterschap van het FANC en staat in voor de radiologische en technische analyse van de noodsituatie. Naast vertegenwoordigers van het FANC en zijn diensten omvat de cel deskundigen van het Federaal Agentschap voor de Veiligheid van de Voedselketen (FAVV), het Studiecentrum voor Kernenergie, het IRE, het Koninklijk Meteorologisch Instituut en Defensie. De cel adviseert COFECO over maatregelen om de bevolking en het leefmilieu te beschermen tegen de nucleaire en radiologische dreiging, waarbij ze zich aanvankelijk op modellen moet baseren. Voor een duidelijk beeld van de radiologische situatie kan ze later gebruik maken van de radiologische metingen die in het leefmilieu worden verricht. De centrale meetcel verzamelt de resultaten van de meetploegen die ter plaatse de radiologische situatie karakteriseren. Verder heeft ze rechtstreeks toegang tot het radiologisch meetnetwerk TELERAD en kan ze een beroep doen op de twee systemen voor stralingsmetingen vanuit de lucht om snel de besmetting met radioactieve stoffen van grote gebieden in kaart te brengen.

De socio-economische cel adviseert over de sociaal-economische gevolgen van de noodsituatie en van de maatregelen die ter bescherming van de bevolking en het leefmilieu worden voorgesteld. Overigens is het wenselijk deze cel te implementeren.

Ten slotte organiseert de informatiecel de communicatie naar de bevolking toe aan de hand van de communicatiestrategie die COFECO uittekent.

Alle cellen, met uitzondering van de meetploegen in het veld, voeren hun activiteiten uit in het Coördinatie- en Crisiscentrum van de Regering (CGCCR).

^c Het KB van 31 januari 2013 spreekt van “Beheerscel” (KB, 2003) en de brochure van 2013 van “Beleids-cel” (Crisiscentrum 2013).

^d EDA: *Emergency Director of Authorities*

7.2.4 Noodplannings- en interventiezones

Ter voorbereiding op nucleaire ongeval omschrijft het NNP zogeheten noodplannings- en interventiezones. Een noodplanningszones is een cirkelvormig gebied rondom een kerninstallatie waar interventie maatregelen (zie Hoofdstuk 0) zijn voorbereid. Voor de kernenergiecentrales van Doel, Tihange, Chooz (Frankrijk) en Borssele (Nederland) gaat het om een zone met een straal van 10 kilometer voor evacuatie, van 10 kilometer voor schuilen en van 20 kilometer voor de predistributie van stabiel-jodiumtabletten. De Raad komt in Hoofdstuk 0 op de toereikendheid van deze afstanden terug.

Bij een daadwerkelijk ontval neemt de crisisleiding een beslissing over de maatregelen die worden genomen. Die behoeven niet het gehele gebied van de noodplanningszones te beslaan, maar kunnen ook de bevolking in een deel ervan betreffen. Evenzeer kunnen gebieden op grotere afstand van de ongevalscentrale worden aangewezen. De gebieden waar maatregelen worden getroffen worden in het noodplan aangeduid als interventiezones.

7.2.5 Notificatie- en alarmniveaus

Het NNP treedt in werking na een melding van de exploitant van een Belgische nucleaire installatie. Elke exploitant dient een mogelijke noodsituatie te melden aan het CGCCR aan de hand van een notificatieniveau (N1, N2, N3 of NR) in functie van de ernst of de mogelijke ontwikkeling van de noodsituatie. Notificatieniveau N0 dient voor het melden van abnormale situaties zonder dat de activering van het NNP vereist is (bv. bij staking van het personeel van de installatie). COFECO zet het notificatieniveau om in een alarmniveau (U1, U2, U3 of UR) op basis van een advies van de evaluatiecel. Het alarmniveau kan overeenkomen met het notificatieniveau, maar dit hoeft niet. Zie Tabel 1.

Tabel 1 Overzicht van notificatie- en alarmniveaus van het nucleaire en radiologische noodplan (Kb 2003).

N*	U†	Omschrijving
N ₀		Abnormale gebeurtenis zonder te verwachten lozing <i>geen acties buiten de site en/of collectieve maatregelen voor het personeel</i>
N ₁	U ₁	Lozing met verwaarloosbare gevolgen buiten de site <i>geen beschermingsacties buiten de site</i>
N ₂	U ₂	Lozing met beperkte gevolgen buiten de site <i>maatregelen mogelijk voor de voedselketen</i>
N ₃	U ₃	Lozing met ernstige gevolgen buiten de site <i>maatregelen mogelijk voor de bevolking en de voedselketen</i>
N _R	U _R	Lozing op korte termijn (vlugge kinetiek) met mogelijk binnen 4 uur een blootstelling hoger dan de interventierichtwaarde

* - notificatieniveau
† - alarmniveau

Bij een ongeval in een nucleaire installatie in het buitenland wordt de Belgische overheid verwittigd via de Federale Overheidsdienst Buitenlandse Zaken of via de Europese Commissie of het Internationaal Atoomenergieagentschap (IAEA). Ook meldingen van het meetnetwerk TELERAD kunnen het NNP activeren, bijvoorbeeld bij de detectie van een wolk met radioactieve stoffen die over het Belgische grondgebied trekt.

Notificatieniveau N1 en alarmniveau U1 corresponderen met een nucleaire of radiologische noodsituatie waarbij gevolgen buiten het terrein van de nucleaire installatie naar verwachting uitblijven. De niveaus N2-U2 zijn voorzien voor situaties waarbij maatregelen voor de bescherming van de voedselketen te verwachten zijn. Niveaus N3-U3 zijn bedoeld voor situaties waarbij naar verwachting directe beschermingsmaatregelen voor de bevolking noodzakelijk zijn, zoals schuilen, het innemen van stabiel-jodiumtabletten^e en evacuatie. Dan is er sprake van de overschrijding van de interventierichtwaarden, die in Tabel 2 zijn opgesomd. Niveaus NR-UR zijn bedoeld voor situaties die zich snel ontwikkelen. In die gevallen laat de provinciale gouverneur de bevolking in een vooraf gedefinieerde zone, de zogeheten reflexzone, schuilen. Na een eerste analyse van de federale cellen, kondigt COFECO een urgentieniveau U1, U2 of U3 af en verloopt het crisisbeheer als hierboven omschreven.

Tabel 2 Interventierichtwaarden voor nucleaire noodsituaties in België (FANC 2003)^f

Maatregel	Lichaamsdosis (effectieve dosis)	Schildklierdosis (equivalente dosis)
Aanbeveling om te schuilen	5*-15 mSv (geïntegreerd over 24 uur)	
Aanbeveling om stabiel jodium in te nemen **		10*-50 mSv kinderen en jongeren tot en met 18 jaar alsook zwangere vrouwen en vrouwen die borstvoeding geven
		50*-100 mSv (volwassenen)
Evacuatie	50*-150 mSv (geïntegreerd over 7 dagen)	

* Over het algemeen gerechtvaardigd interventieniveau

** De aanbeveling voor de inname van stabiel jodium zal, indien mogelijk en in geval dit aangewezen is, gekoppeld worden aan een aanbeveling om te schuilen

^e Voor de betekenis van het innemen van stabiel-jodiumtabletten zie het afzonderlijke advies van de HGR over dit onderwerp (HGR 2015).

^f Het besluit tot vaststelling van deze waarden geeft nadere informatie over de toepassing ervan (FANC, 2003).

De uitvoering van door COFECO vastgestelde maatregelen berust bij de gemeentelijke nood- en interventieteams onder leiding van een of meer burgemeesters, die zijn verwittigd via de provinciale gouverneurs.

7.2.6 Informatie en communicatie

De belangrijkste bron van technische informatie over een (dreigend) ongeval is de exploitant van de centrale. Naast de hiervoor genoemde melding aan de overheid, zal de exploitant ook het bedrijfsnoodplan in werking moeten stellen. Bij nucleaire ongevalsituaties ondersteunt het FANC het CGCCR. Het FANC moet de informatie van de exploitant beoordelen en zo nodig aanvullen. Het CGCCR is verantwoordelijk voor de informatieverstrekking aan de bevolking, de hulpverleners en provinciale en lokale overheden over het ongeval en in het bijzonder over de maatregelen om de gevolgen ervan te beperken. De lagere overheden geven de informatie door aan belanghebbenden binnen hun jurisdictie. Om de informatieverstrekking in goede banen te leiden bestaat er binnen het CGCCR een informatie- en communicatiestructuur, aangeduid als “infocel”. Naast het FANC speelt hierin ook het FAVV een rol, gezien de mogelijkheid van besmetting van levensmiddelen met radioactieve stoffen. Voor de informatie aan artsen en medische hulpverleners werken het FANC en de FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu samen.

7.3 Nieuwe Europese regelgeving

In 2014 zijn twee nieuwe Europese richtlijnen van kracht geworden die ook hun invloed zullen hebben op nucleaire-rampenbestrijding en noodplannen (EU, 2014a ; EU, 2014b). In 0 heeft de Raad deze richtlijnen voor zover van belang voor het adviesonderwerp samengevat. De richtlijnen moeten in augustus 2017 en februari 2018 in de wet- en regelgeving van de EU-lidstaten zijn verwerkt (zie 0).

Kernpunten van de richtlijnen zijn onafhankelijk toezicht, transparantie richting bevolking over veiligheidskwesties en versterking van de internationale samenwerking in verband met het grensoverschrijdend karakter van ernstige kernongevallen. De EU-lidstaten, althans die met kerninstallaties, krijgen de verplichting de veiligheid van de kerninstallaties periodiek te evalueren, en verscherpte aandacht te schenken aan de veiligheidsvoorzieningen, in het bijzonder de reactoromhulling, en aan de veiligheidscultuur bij de vergunninghouders. Hoewel de richtlijnen de samenwerking tussen de lidstaten op het terrein van de nucleaire veiligheid beogen te versterken—iets waar duidelijk behoefte aan is (ENCO, 2013)—, ligt de verantwoordelijkheid daarvoor bij de lidstaten. Ondanks het grensoverschrijdende karakter van ernstige kernongevallen voorziet de Europese regelgeving niet op toezicht op Europees niveau.

Voor België betekenen de nieuwe richtlijnen aanpassing van het ARBIS (KB, 2001) en van de besluiten over de veiligheid van kerninstallaties (KB, 2015; KB, 2011). Ook bij de herziening van het nucleaire noodplan zal met de aangepaste en aangescherpte Europese regels rekening moeten worden gehouden. Deze ontwikkeling van het EU-

beleid spoort met de aanbevelingen in dit advies, zij het dat de Raad sommige punten detailleert.

7.4 Belangrijke kanttekeningen

In voorafgaande hoofdstukken heeft de Raad aandachtspunten en aanbevelingen voor noodplannen en noodplanning, inclusief die gericht op nucleaire en radiologische ongevallen, geformuleerd (zie 3.2, 4.6, 5.4 en Hoofdstuk 0). In het volgende hoofdstuk (0) komen de maatregelen aan bod. Bij de herziening van het noodplan en de verdere noodplanning zou met deze conclusies en aanbevelingen rekening gehouden kunnen worden. In aanvulling daarop acht de HGR de volgende kanttekeningen van belang.

Het valt de Raad op dat het noodplan sterk is gericht op de directe dreiging van een nucleair ongeval. Dat is ook begrijpelijk omdat juist bij het optreden van een storing in de bedrijfsvoering van een kernreactor urgent maatregelen moeten worden vastgesteld ter bescherming van mens en milieu. Over de middellange termijn en over de herstelfase—de terugkeer naar een min of meer normale toestand—rept het noodplan nauwelijks. Uiteraard hangen de wijze van opereren van de noodplan-organisatie en de aard van de te nemen maatregelen sterk af van het daadwerkelijk verloop van een ongeval. Maar waar de diverse fasen sterk in elkaar grijpen zou het aangeven van een beleidslijn voor de latere fasen passend zijn.

Exploitanten van kerninstallaties zijn verplicht om een bedrijfsnoodplan op te stellen en dat operationeel te houden. De HGR mist een beschrijving van de wijze waarop een bedrijfsnoodplan en het externe nucleaire noodplan in elkaar grijpen.

Op het te verwachten gedrag van de bevolking bij de dreiging van een ongeval met een kernreactor gaat het noodplan niet in. Toch is het anticiperen op de reactie van de bevolking essentieel voor een doeltreffende uitvoering van het noodplan. In het vorige hoofdstuk en in Hoofdstuk 0 is daar de nodige aandacht aan besteed. Verder mist de Raad aandacht voor bijzondere groepen. Het noodplan noemt zwangere vrouwen en kleine kinderen als kwetsbare groepen. Vanuit radiologisch oogpunt is dat zeker te billijken, maar afhankelijk van de te nemen maatregelen komen ook andere groepen in een kwetsbare positie te verkeren, bijvoorbeeld zieken en hulpbehoevenden bij een evacuatie. In elk geval meent de Raad dat de maatregelen voor kwetsbare groepen in het noodplan nadere uitwerking behoeven.

De integratie van het nucleaire noodplan met de algemene nood- en interventieplannen is op papier geregeld. Het echter zaak om deze integratie duidelijk handen en voeten te geven. Dat heeft gevolgen voor training en oefening (hiervoor zijn daarvan voorbeelden gegeven), maar ook voor het betrekken van alle bestuurlijke niveaus bij communicatie over en voorbereiding op mogelijke ernstige kernongevallen. Ook al kent een ernstig kernongeval al snel een federale reikwijdte, de samenwerking en medewerking van lokale en regionale autoriteiten en hulpverleningsdiensten blijft van belang. Dit vereist voorbereiding vooraf, want die samenwerking laat zich bij een daadwerkelijk ongeval moeilijk alsnog organiseren.

Hiervoor gaf de Raad al aan dat in de voorbereiding op mogelijke kernongevallen overleg, afstemming en samenwerking met de omringende landen onvermijdelijk en noodzakelijk is. Ook de zojuist besproken Europese regelgeving benadrukt dit.

De in reactie op het Fukushima-ongeval in de EU uitgevoerde stress-tests (zie Hoofdstuk 0) is een voorbeeld van Europese samenwerking op het terrein van nucleaire veiligheid. Wel valt het de HGR op dat bij deze veiligheidsbeoordeling de rol van het toezicht door de bevoegde autoriteiten buiten beeld bleef. Verder vormden de mogelijkheid van terroristische en sabotage-acties geen onderdeel van de gepubliceerde beoordeling, evenmin als het (externe) nucleaire noodplan dat onderwerp is van dit advies (Eggermont, 2013). Een Europees onderzoek gaf een overzicht van de nucleaire noodplannen in de EU-lidstaten—zonder overigens man en paard te noemen—(ENCO, 2013), maar zowel op nationaal als Europees niveau laten aanpassingen van het nucleaire noodplan op zich wachten.

Zonder te willen afdoen aan lokale regionale en nationale verschillen, steunt de HGR verdere harmonisatie in een Europees kader van veiligheidscriteria, notificatieniveaus en referentiewaarden. Ook de uitvoering van maatregelen als schuilen, evacuatie, de verstrekking van stabiel-jodiumtabletten en restricties voor besmette agrarische en andere voedingsproducten in vervolg op een ongeval vereist samenwerking. De voorstellen van de samenwerkingsverbanden van Europese nucleaire en stralingsveiligheidsautoriteiten, HERCA en WENRA^g, zijn een stap in die goede richting (HERCA, 2014). Het huidige noodplan komt op dit punt niet verder dan het melden van een ongeval op Belgische grondgebied, iets wat overigens voortvloeit uit Europese en bilateraal afgesproken regels.

De HGR verwijst in dit verband ook naar de activiteiten van het *European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery* (NERIS), dat samenwerking binnen Europa tracht te bewerkstelligen en te bevorderen (Gallego, 2012)^h. NERIS heeft een strategische onderzoeksagenda vastgesteld met drie onderzoeksterreinen: (a) verbetering van de modellen voor verspreiding van radioactieve stoffen via de lucht en via water, (b) verbetering van de dosisschattingen als grondslag voor ongevalsbeheersing aan de hand van kennis over de zogeheten

^g HERCA omvat de toezichthouders uit 31 Europese landen inclusief de lidstaten van de EU, WENRA omvat de toezichthouders uit de lidstaten van de EU met kernenergiecentrales, Zwitserland en Oekraïne.

^h Thans werken 56 organisaties uit Europese landen samen in NERIS, het merendeel onderzoeks- en adviesinstanties. NERIS stelt zich ten doel: “*Improving the effectiveness of current European, national and local approaches for preparedness concerning nuclear or radiological emergency response and recovery; Promoting more coherent approaches in preparedness for nuclear or radiological emergency response and recovery throughout Europe; Identifying gaps and needs for further developments in preparedness for nuclear or radiological emergency response and recovery; Addressing new and emerging challenges in the field of preparedness for nuclear and radiological emergency response and recovery; Maintaining and improving know-how and technical expertise in preparedness for nuclear or radiological emergency response and recovery among all interested stakeholders in Europe.* (Gallego, 2012)”

bronterm, ongevalsscenario's, etc. en (c) verbetering van het betrekken van *stakeholders* bij ongevalsvoorbereiding met extra aandacht voor lokale voorbereiding en het verbeteren van communicatiestrategieën (NERIS, 2014). Daarmee beoogt NERIS de "lessen" van Fukushima in praktische acties om te zetten en de sterk uiteenlopende benaderingen en voorzieningen van Europese landen dichterbij elkaar te brengen.

De internationale samenwerking moet zich niet tot noodplannen en noodplanning beperken, maar onderdeel zijn van een bredere samenwerking op het terrein van de nucleaire veiligheid. Zo zijn de nationale toezichthouders van de EU-lidstaten verenigd in de *European Nuclear Safety Regulators Group* (ENSREG), die de Europese Commissie adviseert (ENSREG, 2015). Via dit kanaal wordt overleg op Europees en verder internationaal niveau bevorderd. De door EU-regelgeving verplicht gestelde intercollegiale toetsing van het beleid van de nationale nucleaire-veiligheidsautoriteiten is ook een bijdrage aan dit proces. Gezien de complexiteit van nucleaire veiligheid, zowel in technische zin als waar het de noodzakelijke betrokkenheid van een veelheid van maatschappelijke partijen betreft, acht de HGR het aangewezen dat België een debat over versterken van het Europees toezicht in dit verband aanzwengelt en daarbij het perspectief van een Europese veiligheidsautoriteit betreft. Een verder argument daarvoor is dat het Euratom-verdrag harmonisatie van het nucleaire veiligheidsbeleid in de EU-lidstaten beoogde te bewerkstelligen (EU, 2010), maar dat op dit punt nog veel te winnen valt (ENCO, 2013). Ook een recente analyse opgesteld vanuit economische gezichtspunt concludeert dat een versterkt supranationaal nucleair toezicht vereist is (Lévêque, 2013).

8 INTERVENTIE EN HERSTEL

In dit hoofdstuk plaatst de Raad kanttekeningen bij interventies die als onderdeel van het noodplan moeten zijn voorbereid en tijdens een ongeval tot uitvoering kunnen worden gebracht. Vervolgens wordt aandacht besteed aan de fase van “herstel”, als de acute dreiging van blootstelling van mens en milieu aan ioniserende straling door het kernongeval is geweken.

8.1 Ongevulsfasen en voorbereiding

In Figuur 1 is schematisch het optreden van een ongeval en de nasleep ervan geschetst. Bij het bespreken van maatregelen is het van belang de diverse fasen nauwkeuriger te omschrijven. De Raad volgt de benadering van het Franse CODIRPA-rapport (ASN, 2012) en onderscheidt:

- De fase van dreiging en interventie, en;
- De herstelfase.

De eerste fase (dreiging en interventie) begint met een (ernstige storing) van de bedrijfsprocessen. Kan die storing worden beheerst, dan is er mogelijk wel schade aan kerninstallatie, maar komen geen radioactieve stoffen in de omgeving vrij, althans niet in een mate dat direct maatregelen ter bescherming van de bevolking moeten worden genomen. Lukt het niet om de storing te beheersen en dreigen aanzienlijke hoeveelheden radioactieve stoffen in het milieu terecht te komen, zoals bij Tsjernobyl en Fukushima het geval was, dan zijn direct maatregelen nodig om mens en milieu te beschermen. Het noodplan geeft aan welke maatregelen dat zijn en hoe die worden uitgevoerd. De fase van dreiging en interventie eindigt als de beschadigde systemen van de kerncentrale zover onder controle zijn dat de dreiging van het vrijkomen van radioactieve stoffen is gewekenⁱ.

Vervolgens belandt men in herstelfase. Na een overgangperiode van enkele weken of maanden, treedt de langdurige periode van herstel in. In de overgangperiode zijn de maatregelen nog steeds gericht op het voorkómen van ernstige blootstelling aan ioniserende straling via besmet voedsel, besmette voorwerpen en bodembesmetting. Uitgaande van de toestand die dan bereikt wordt, wordt in de volgende maanden en jaren getracht de normale situatie zoveel mogelijk te herstellen. Bij een ernstig kernongeval zal dat niet voor alle gebieden mogelijk zijn, zoals Tsjernobyl en Fukushima ons leren.

ⁱ De hier gekozen terminologie komt niet letterlijk met die in het CODIRPA-rapport (ASN, 2012) overeen, maar wel in betekenis.

^j Het blijft lastig heel precies het eind van de fase van dreiging en interventie te beschrijven, althans in termen van het vrijkomen van radioactieve stoffen. Zo is er bij Fukushima nog steeds het gevaar van lekken van radioactief besmet koelwater naar het grondwater en de zee (zie 4.5), terwijl er thans wel vooral sprake is van maatregelen die bij de herstelfase behoren.

Hierna bespreekt de Raad eerst de interventie maatregelen voor de fase van dreiging en herstel. Vervolgens komt de herstelfase aan bod.

8.2 Interventiemaatregelen

Gebruikelijke maatregelen ter beperking van de gevolgen van een kernongeval waarbij radioactieve stoffen zijn vrijgekomen, zijn schuilen, inname van stabiel jodium, evacuatie, adembescherming, ontsmetting en het beperken van de consumptie van besmet voedsel en water. Op de iets langere termijn gaat het om maatregelen in de sfeer van de landbouw, veeteelt en watervoorziening. (ICRP, 2009). De Raad bespreekt deze maatregelen hier niet in detail, daar ze op zich genoeg gekend zijn en ook in het vigerende noodplan gestructureerd worden beschreven (KB, 2003)^k. De aandacht ligt op kanttekeningen van belang voor het radiologisch noodplanningsproces.

8.2.1 Schuilen

Schuilen is het verblijf in een gebouw met ramen en deuren gesloten. Doel is het zoveel mogelijk beperken van blootstelling aan radioactieve stoffen die zich na het kernongeval via de lucht verspreiden (KB, 2003). Het gaat in het bijzonder om de externe blootstelling aan radioactieve edelgassen. Schuilen is een maatregel van korte duur, hooguit enkele dagen. Indien immers voor een aanzienlijk gebied “schuilen” is afgekondigd dan stopt daar het publieke leven grotendeels: voedselvoorziening ligt stil, medische zorg is niet bereikbaar, verwanten zijn soms gescheiden en passanten kunnen niet naar huis. Het is van belang dat de getroffen bevolking zo snel mogelijk een perspectief wordt geboden van hetzij terugkeer naar een min of meer normale situatie, hetzij van verdergaande maatregelen, zoals evacuatie.

Het vigerende noodplan geeft aan dat de bevolking voortdurend wordt geïnformeerd over de ontwikkeling in overeenstemming met de zojuist geponeerde stelling. Het valt de Raad echter op dat vooral wordt geleund op klassieke informatiekanalen als omroepwagens en radio en tv. Verwijzend naar 6.3 beveelt de HGR aan actief gebruik te maken van sociale media en dat gebruik zorgvuldig voor te bereiden. Op deze wijze kunnen schuilende burgers ook informatie richting crisisbeheerders zenden.

Het advies of de opdracht tot schuilen kan bij een kernongeval worden gecombineerd met het advies stabiel jodium in te nemen. Dit ter voorkoming of beperking van bestraling van de schildklier door bij het ongeval vrijgekomen radioactief jodium (zie 8.2.3). In tegenstelling tot wat vroeger werd gedacht is voor distributie van stabiel-jodiumtabletten niet altijd ruimschoots tijd, hetzij omdat het ongeval zich heel snel ontwikkelt (Tsjernobyl), hetzij omdat andere zaken ook veel aandacht vragen (Fukushima met de gevolgen van de aardbeving en de tsunami). De Raad verwijst naar zijn advies over dit onderwerp (HGR, 2015) en 8.2.3.

^k

Zie ook de resultaten van het EURANOS-project: <https://euranos.iket.kit.edu/index.php?action=euranos&title=products>, accessed 09-11-2015.

De ongevallen van Tsjernobyl en Fukushima hebben geleerd dat de radiologische gevolgen zich aanzienlijk verder kunnen uitstrekken dan tot op enkele kilometer afstand van de kernenergiecentrale. De Raad volgt daarom de aanbeveling van de samenwerkende Europese toezichthouders om schuilen voor te bereiden tot op afstanden van een honderdtal kilometer van een kernenergiecentrale (HERCA, 2014), dat wil zeggen aanmerkelijk verder dan de 10 kilometer van het vigerende noodplan. Dat vereist, zoals in het gerefereerde rapport wordt aangegeven, in Europa en zeker in België samenwerking en afstemming met de buurlanden. De noodzaak van schuilen op grote afstand zal in de praktijk afhangen van de wijze waarop radioactieve stoffen die bij het ongeval zijn vrijgekomen, zich met de lucht verspreiden.

8.2.2 Evacueren

Evacuatie van een bevolkingsgroep is een zeer ingrijpende maatregel. De gehele bevolking van een bepaald gebied of bepaalde groepen moeten zich immers naar veiliger oorden begeven. Bij de in de hoofdstukken 0 en 0 besproken ongevallen is duidelijk geworden wat er zoal goed en wat er zoal mis kan gaan. Het Belgische noodplan is, net zoals dat het geval was bij TMI en Fukushima gebaseerd op evacuatie op eigen gelegenheid. Wel stelt het plan dat het niet afdoende is om een advies of opdracht tot evacuatie voor de bewoners van een bedreigd gebied te geven gecombineerd met een marsroute, maar dat voorzieningen nodig zijn voor personen en huishoudens die niet op eigen gelegenheid op pad kunnen gaan. Hoewel die voorzieningen niet alle in detail in het noodplan hoeven te worden beschreven, moet dat in de achterliggende documentatie wel het geval zijn. Het gaat onder meer om de voorbereiding van routes voor gemotoriseerd verkeer het gebied uit, zo nodig brandstofverstrekking en publiek transport voor mensen die niet over een auto kunnen beschikken. Daarnaast gaat het om de zorg voor mensen in scholen, ziekenhuizen en zorginstellingen, maar ook in gevangenissen en winkelcentra, zoals het vigerende noodplan aangeeft. De Raad ondersteunt de beschreven *bottom-up*-benadering, waarbij elke instelling een eigen noodplan moet opstellen, maar wijst op de noodzaak van een goede integratie van al die deelplannen met het lokale, provinciale en federale noodplan. De eerdere conclusies over de noodzaak van oefeningen en over het opbouwen van een netwerk van crisismanagers zijn hier onverkort van toepassing.

Als preventieve evacuatie niet mogelijk is, dan dient zich de vraag aan van decontaminatie van personen, voertuigen en goederen van mensen die het getroffen gebied moesten verlaten. In het bijzonder bij de evacuatie van Fukushima is gebleken dat dit een complexe operatie is. Het vereist geëigende stralingsmonitors, decontaminatievoorzieningen en normen voor "vrijgave". Extra gecompliceerd is de controle en decontaminatie van hulpbehoevenden. Het vigerende noodplan besteedt daar enige aandacht aan, maar verwijst verder naar de provinciale noodplannen. De Raad betwijfelt of dat voldoende is, temeer daar het zeker niet kan worden uitgesloten dat evacuatie nodig is naar locaties buiten het Belgische grondgebied. In dat verband benadrukt de Raad opnieuw de noodzaak van samenwerking en overleg met de buurlanden, zoals ook door de Europese nucleaire toezichthouders wordt aanbevolen (HERCA, 2014). Fukushima, maar ook Tsjernobyl, heeft geleerd dat evacuatie van

gebieden verder dan 5 kilometer van de ongevalscentrale noodzakelijk kan zijn; de Europese toezichthouders bevelen aan om in noodplannen uit te gaan van planningszones van ten minste 20 kilometer. De HGR bepleit deze aanbeveling in België over te nemen. Dat heeft wel consequenties voor de benodigde voorzieningen, bijvoorbeeld in termen van vervoer (Pascal, 2012).

Net als bij het hiervoor besproken schuilen (8.2.1) is doeltreffende (tweeweg)communicatie van belang. De aanbevelingen daarvoor zijn ook hier van toepassing. Daarbij komt dat als woonlocaties inderdaad ernstig besmet raken met radioactieve stoffen, het verblijf elders zeer langdurig kan zijn en soms min of meer permanent (Tsjernobyl, Fukushima). Het is van groot belang de getroffen bevolking daar zo snel mogelijk op voor te bereiden.

De Raad wijst er ten slotte op dat bij het besluit tot evacuatie de nadelige gevolgen voor de gezondheid van de operatie moeten worden betrokken. Een voorbeeld zijn verkeersongevallen bij grootschalige evacuaties. Bij een evacuatie van een ziekenhuis vermindert, in elk geval tijdelijk, de zorg voor de patiënten met alle mogelijke consequenties van dien. Deze voorbeelden laten zich gemakkelijk aanvullen. Een besluit tot evacuatie bij een nucleair ongeval vereist dus, meer dan bij schuilen, een afweging tussen de inperking van de radiologische gevolgen tegen andere nadelige gevolgen voor de gezondheid. De ranges van de radiologische interventiewaarden (Tabel 2) zijn mede bedoeld daarvoor ruimte te bieden.

8.2.3 Innemen van stabiel jodium

Al heel vroeg in de geschiedenis van de nucleaire opwekking van elektriciteit is onderkend dat bij ongevalslozingen van radioactief materiaal uit de reactorkern de schildklier een kwetsbaar orgaan is. Radioactief jodium, in het bijzonder isotoop 131, ontstaat bij de kernsplijtingsreactie. Het hoopt zich na inademen of inslikken op in de schildklier. De bestraling van dit orgaan kan leiden tot schildklieraandoeningen en in het bijzonder tot schildklierkanker. Vooral ongeboren kinderen, baby's en kleine kinderen zijn gevoelig voor de gevolgen van de bestraling. Ook is al lang bekend dat door het tijdig "blokkeren" van de schildklier met stabiel jodium, bijvoorbeeld door het slikken van kaliumjodidetabletten, bestraling van de schildklier door radioactief jodium verregaand kan worden voorkomen (zie bijvoorbeeld NCRP 1977)¹. In vele landen, waaronder België (zie 7.2.5), is dan ook voorzien in de distributie en toediening van stabiel jodium, als beschermingsmaatregel bij ernstige kernreactorongevallen (NEA, 2003).

Het Tsjernobyl-ongeval heeft overduidelijk het belang van bescherming van de schildklier bij een kernreactorongeval laten zien (zie 4.4). Zoals hiervoor is beschreven, is in de gebieden rond de kernenergiecentrale een verhoogd optreden van schildklierkanker waargenomen, in het bijzonder bij personen die ten tijde van het ongeval jong tot

¹ In Engelstalige publicaties wordt de term *iodine thyroid blocking* (ITB) gebruikt.

zeer jong waren of in de maanden na het ongeval zijn geboren. Van preventieve inname van stabiel jodium is in die gebieden geen sprake geweest. Het valt te verwachten dat ook in de komende jaren extra gevallen van schildklierkanker die aan het ongeval zijn toe te schrijven, zullen voorkomen.

In 4.5 is vermeld dat er bij het Fukushima-ongeval zeker aanleiding was tot toepassing van blokkering van de schildklier met stabiel jodium, maar dat dit slechts mondjesmaat is gebeurd. De reden was een gebrekkige communicatie tussen de betrokken instanties en kinken in de beslissingsketen. Uit zowel het Tsjernobyl- als het Fukushima-ongeval valt tevens de les te trekken dat de gebieden waar blootstelling aan radioactief jodium bij een kernreactorongeval tot gezondheidsproblemen kan leiden zeer uitgestrekt zijn en bovendien snel kunnen wisselen met verandering van de weersomstandigheden.

Het Belgische nucleaire noodplan omvat een strategie om de schildklier te beschermen tegen de straling van radioactief jodium door de inname van stabiel jodium in de vorm van kaliumjodide-tabletten. Deze maatregel ter voorkoming of in elk geval beperking van de stralingsblootstelling wordt meestal gecombineerd met de aanwijzing om te schuilen (zie 8.2.1), of in ernstige gevallen met evacuatie (zie 8.2.2). Als onderdeel van de strategie zijn plaatselijk voorraden van stabiel jodium beschikbaar, terwijl in het gebied nabij kernenergiecentrales via de apotheken huis-aan-huisdistributie heeft plaatsgevonden. Het Belgische nucleaire noodplan voorziet die predistributie van jodiumtabletten bij gezinnen en collectiviteiten^m in de noodplanningszones rond nucleaire installaties. Voor de kernenergiecentrales in België en die juist over de landsgrenzen gaat het om een gebied van maximaal 20 km afstandⁿ. Hier hebben bovendien de apotheken voorraden met jodiumtabletten. Voor gebieden op grotere afstand van de nucleaire installaties beschikken de apotheken over voorraden kaliumjodide in poedervorm en zijn er op verschillende locaties reservevoorraden jodiumtabletten aanwezig.

Vooruitlopend op het voorliggende rapport heeft de HGR een advies over bescherming van de schildklier bij nucleaire en radiologische ongevallen uitgebracht (HGR, 2015). Voor een gedetailleerde beschouwing van de toepassing van stabiel jodium bij de voorbereiding op kernreactorongevallen en bij de bescherming van de bevolking bij een daadwerkelijk ongeval zij naar dat advies verwezen. De Raad vat hier zijn belangrijke bevindingen samen.

Wil het innemen van stabiel jodium effectief zijn, dan is het noodzakelijk vooraf een distributiestrategie te ontwikkelen als onderdeel van het nucleaire noodplan. De aandacht moet zich daarbij in de eerste plaats richten op de genoemde doelgroepen (baby's, kinderen, zwangere en zogende vrouwen) in een gebied tot op 100 km van

^m Collectiviteiten: scholen, hospitalen, fabrieken, crèches, etc.

ⁿ Voor de nucleaire installatie te Fleurus gaat het om predistributie in een gebied van maximaal 10 km afstand.

de nucleaire installatie (zoals ook onlangs is aanbevolen door de Europese nucleaire toezichthouders - HERCA 2014). Daar het noodzakelijk is om bij een ongevalsdreiging en zeker bij een daadwerkelijk ongeval snel stabiel jodium in te nemen, betekent de grootschalige distributie een forse uitdaging voor de verantwoordelijke diensten. De doeltreffendheid en de doelmatigheid van de gekozen strategie voor de grootschalige distributie van kaliumjodidetabletten bij een ernstige dreiging van een nucleaire ongeval moet dan ook zorgvuldig worden getoetst en periodiek worden getest.

Gezien de tijd die nodig is voor de bereiding door de apothekers van individuele doses van kaliumjodide uit poeder en de praktische moeilijkheden daarbij, beveelt de Raad aan dat alle apotheken verplicht beschikken over grote voorraden (bv. 1000 of 5000 tabletten) kaliumjodidetabletten van 65 mg en een voorraad bijsluiters. Dit zou ook het geval moeten zijn in de ziekenhuisapotheken in samenhang met het actieplan alarmering ziekenhuizen^o.

Ten slotte benadrukt de Raad de noodzaak van voorlichting aan het medisch, farmaceutisch en interventiepersoneel over nut en noodzaak van het innemen van stabiel jodium bij nucleaire ongevallen en over de mogelijke bijwerkingen en contra-indicaties.

8.2.4 Controle van het gebruik van voedsel en drinkwater

Als voedsel en water besmet raken met radioactieve stoffen die bij een kernongeval zijn vrijgekomen, dan ligt het voor de hand om gebruik van deze producten door mens en dier te vermijden of in elk geval zoveel mogelijk te beperken. Maar al snel zal zich de vraag voordoen welke niveaus van besmetting vanuit gezondheidskundig oogpunt nog zijn te aanvaarden. Het Belgische radiologische noodplan vermeldt hiervoor maximaal toelaatbare niveaus die binnen een termijn van drie maanden te gebruiken zijn. Die waarden zijn gebaseerd op Europese regelgeving (EU, 1987; EU, 1989a; EU, 1989b), en kunnen later op Europees niveau worden gewijzigd. Ze hebben een relatie met de internationale-handelsrichtlijnen van de Codex Alimentarius (Codex Alimentarius, 2011), een instantie verbonden aan de Voedsel- en Landbouworganisatie van de Verenigde Naties (FAO) en de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO).

Na enige tijd—in de orde van maanden—zal er zowel nabij het getroffen gebied als verder in binnen- en buitenland, druk ontstaan om de normen te verlagen. Dat heeft te maken met de uitgangspunten van het stralingsbeschermingsbeleid, in het bijzonder met het ALARA-beginsel om de blootstelling zo laag als redelijkerwijs mogelijk is te houden (ICRP, 2009). Maar het heeft ook te maken met angst voor blootstelling aan ioniserende straling (Brumfiel, 2013), en met een zekere stigmatisering van producten uit besmette gebieden (Bachev et al, 2014). De nasleep van Fukushima illustreert dat duidelijk. Nam de Japanse overheid aanvankelijk de referentiewaarden van de Codex Alimentarius over, na een jaar werden ze in twee stappen verlaagd mede om zo het vertrouwen van de bevolking in de getroffen gebieden te herwinnen (Bachev et

^o Ook Plan MASH genoemd. MASH staat voor *Mise en alerte des services hospitaliers*.

al, 2014; Lecomte et al, 2015). Maar dat dwong de Europese Unie om de na Tsjernobyl vastgestelde maximaal toelaatbare niveaus (EU, 1987; EU, 1989a; EU, 1989b) te verlagen in elk geval voor de import van Japanse voedingsproducten (EU, 2011).

Het is vermoedelijk onvermijdelijk dat er tegen voedsel uit met radioactieve stoffen besmette gebieden bij consumenten weerstand zal ontstaan en tussen handelspartners wrijving. Maar de HGR beveelt aan om dit soort effecten zoveel mogelijk te beperken door voorbereiding vooraf en sluitende afspraken op Europees niveau. Ook hier onderstreept de Raad het belang van doeltreffende communicatie, zowel in “vredetijd” als in de periode na een ongeval (zie 6.3.1). Dat dient niet alleen mogelijke handelsbelangen, maar in de eerste plaats de gezondheid van de getroffen bevolking. Die moet gecontroleerd en vrijgegeven voedsel en drinkwater zonder vrees voor gezondheidsschade kunnen gebruiken.

8.3 Herstelfase

De aandacht van het Belgische noodplan en van noodplanning in het algemeen beperkt zich tot de fase van dreiging en interventie. Dat is op zich niet erg mits bij de opzet van een noodplan, zeker waar het ernstig ongevallen met kerninstallaties betreft, ermee rekening wordt gehouden dat een langdurige herstelfase kan volgen. Voor zover mogelijk moeten naar de zienswijze van de Raad de interventie maatregelen daarop vooruitlopen. Daarnaast vereist de herstelfase ook voorbereiding, temeer daar het in een ongunstige geval kan gaan over een generaties lang durend herstel van grote gebieden waar tienduizenden leefden en zo mogelijk na een eventuele evacuatie, weer moeten gaan leven (Liland et al, 2009).

In deze paragraaf draagt de HGR overwegingen aan die in de herstelfase van belang zijn. Hij sluit daarbij aan bij het reeds genoemde CODIRPA-rapport (ASN, 2012)^p. Uitgangspunt is dat ook voor de herstelfase plannen toegesneden op een specifieke kernenergiecentrale worden voorbereid. Het gaat daarbij niet om gedetailleerde procedures maar om een strategie en om een instrumentarium dat flexibel kan worden ingezet afhankelijk van de omstandigheden. Voorop staat uiteraard de bescherming van werknemers en de algemene bevolking die in de met radioactieve stoffen besmette gebieden (moeten) vertoeven. Maar daarnaast moeten ook de nadelige gevolgen voor het economische en sociale leven worden beperkt, wat overigens indirect van belang is voor gezondheid en welzijn.

In de volgende paragrafen belicht Raad kenmerken van herstelplannen.

^p Ook in Slovenië is een strategie voor de herstelfase ontwikkeld (Janzekovic, 2014).

8.3.1 Aanpak

Men zich voorstellen dat het vanuit radiologisch oogpunt het eenvoudigst zou om de besmette gebieden alle ‘onbewoonbaar’ te verklaren. Maar het is de vraag of dit werkelijk in het belang van de bevolking is. Het verdreven zijn van huis en haard laat immers bij individuen en groepen de nodige sporen na (6.4). Daarom meent de HGR dat het belang van een terugkeer naar de eigen omgeving moet worden afgewogen tegen het radiologisch risico (en eventuele andere risico's).

Naast overwegingen van gezondheid en welzijn zijn sociaaleconomische gegevens over de getroffen gebieden nodig om een strategie voor de herstelfase te kunnen uitwerken. De Raad verwacht dat dit soort gegevens in België in voldoende mate voorhanden zijn en verwijst naar de gegevensbestanden van de FOD Economie en naar die van gewestelijke instanties. Op basis daarvan kunnen acties worden uitgewerkt voor de overgangperiode, maar in het bijzonder voor de herstelperiode. Samenwerking en overleg met economische *stakeholders*, gemeentelijke overheden en lokale organisaties zijn een voorwaarde voor het welslagen van de strategie.

In Frankrijk zijn op dit vlak de nodige vorderingen gemaakt. De HGR verwijst opnieuw naar de rapportages van CODIRPA⁹.

Bij herhaling heeft de Raad er in dit advies al op gewezen dat bij de voorbereiding op kernongevallen en bij de implementatie van maatregelen mocht zo'n ongeval onverhoopt gebeuren, samenwerking en overleg met de bevolking en relevante *stakeholders* noodzakelijk is (zie ook Reich et al, 2015; ICRP, 2009). Dit geldt ook voor de herstelfase. De Raad wijst er op dat de bevolking en overheden van de gemeenten van de opvanglocaties bij een evacuatie ook partij zijn, ook al worden ze niet direct door blootstelling aan radioactieve stoffen bedreigd.

8.3.2 Overgangperiode

Hiervoor werd al aangegeven dat het moeilijk is om het begin van de overgangperiode precies aan te geven. Uitgangspunt is dat woon- en werkgebieden niet opnieuw worden bedreigd door uit de getroffen kernenergiecentrale vrijkomende radioactieve stoffen. De overheid maakt in de overgangperiode de balans op van de gebieden die vanuit gezondheidsoogpunt bewoonbaar zijn en de gebieden waar sprake is van besmette woningen, goederen en bodem. In het laatste geval zal, in nauw overleg met de betrokken bevolking een saneringsplan moeten worden opgesteld. Is sanering niet mogelijk dan zullen plannen voor herhuisvesting elders nodig zijn.

⁹ Zie de publicaties op website <http://post-accidentel.asn.fr/Gestion-post-accidentelle/Elements-de-doc-trine>, accessed 30-10-2015.

Kenmerk in de overgangperiode is dus het vaststellen van zones die langdurig voor permanente bewoning ongeschikt zijn, zones die door ontsmetting voor bewoning geschikt gemaakt kunnen worden, en zones waar het normale leven direct zijn beslag weer kan krijgen. Bij het voorbereiden van plannen voor de herstelfase is het goed criteria voor sanering en bewoning vast te stellen. Fukushima heeft laten zien dat bij het ontbreken van een voorbereiding en bij onevenwichtige communicatie gevoed door onduidelijke overwegingen verwarring troef is en het vertrouwen in de overheid snel daalt (4.5). De Raad wijst op internationaal aanbevolen radiologische criteria voor zonerings in de herstelfase (ICRP, 2009).

Bij het vaststellen van zones zullen modellen en informatie over de verspreiding van de vrijgekomen radioactieve stoffen een belangrijk rol spelen. Maar de HGR meent dat de zonerings zoveel mogelijk op gemeten besmettingsniveaus moet zijn gebaseerd. Het TELERAD-systeem kan hierbij goede diensten bewijzen, naast metingen door veldploegen. Daarnaast breekt de Raad een lans voor metingen vanuit de lucht door met meetapparatuur uitgerust helikopters of verkenningsvliegtuigen. Ook bij kernongevallen in de buurlanden kunnen metingen vanuit de lucht goede diensten bewijzen.

Het is niet de bedoeling dat slechts op basis van radiologische referentiewaarden grenzen tussen de zones worden getrokken. Van belang is dat er een duidelijk onderscheid in de te verwachten blootstelling aan straling is tussen de diverse zones en tevens dat zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van natuurlijke grenzen.

Voor zones die weliswaar besmet zijn, maar waar wonen en werken vanuit gezondheidskundig oogpunt kunnen worden toegestaan, beveelt de HGR aan om onderscheid te maken tussen een “beschermde zone” en “zone met verhoogd toezicht”. In de “beschermde zone” is wonen en werken alleen gezondheidskundig verantwoord als maatregelen worden genomen om de blootstelling aan straling zoveel mogelijk te beperken, bijvoorbeeld door het beperken of vermijden consumptie van lokaal geproduceerd voedsel en drinkwater. In de andere zone zijn zulke restricties niet nodig, maar moet er actief voor worden gewaakt, bijvoorbeeld door het monitoren van voedsel en water, dat onverwachte en ongewenste blootstellingssituaties optreden.

Zoals hiervoor is besproken kunnen er in de fase van dreiging en interventie maatregelen zijn getroffen, zoals de beperking van de consumptie van voedsel en drinkwater (8.2.4). Mogelijk zullen deze maatregelen nog enige tijd van kracht moeten blijven, ook al is bewoning toegestaan. Ook en juist hier is overleg met de betrokken bevolking over achtergrond, aard en duur van de maatregelen noodzakelijk.

8.3.3 Aandachtspunten voor de langetermijnstrategie

Dit advies is niet de plaats om een uitputtende lijst van kenmerken op te stellen voor een herstelstrategie. Dat is in de eerste plaats al lastig omdat elke strategie toegesneden moet zijn op de omgeving van een specifieke kernenergiecentrale. Maar zeker zo belangrijk is dat zo'n strategie moet worden voorbereid in overleg met betrokkenen en niet slechts door een groep van experts. De Raad noemt wel enkele zaken die naar

zijn mening bij de voorbereiding van zo'n strategie, in het bijzonder in verband met gezondheid en welzijn, aan bod moet komen. Het gaat om:

- De zorg voor de lichamelijke en geestelijke gezondheid van de bevolking die in een besmet gebied moet wonen en werken.
- Het monitoren van de gezondheid waarbij de gezondheidstoestand bij begin van de herstelfase, of zo mogelijk nog eerder, referentiepunt is.
- Het op orde brengen van de voedselvoorziening en het monitoren van de gehalten aan radioactieve stoffen in voedsel en water, met bijzondere aandacht voor lokaal geteeld voedsel.
- Het beheer van de industriële productie en productiecentra.
- Het monitoren van de besmettingsniveaus in bodem, water en lucht en het saneren van besmette locaties.
- Het beheer van radioactief afval, in het bijzonder van afval van saneringsoperaties.
- Het beleid voor schadevergoeding aan individuele burgers en bedrijven, met speciale aandacht voor het midden- en kleinbedrijf omdat daar de lasten vaak op de schouders van enkelen rusten.
- Het beleid voor het herstel van de bereikbaarheid.
- Het beleid voor het herstel van de bedrijvigheid in de getroffen gebieden.

Deze en andere aandachtspunten zijn van belang voor een zo goed mogelijk herstel van het economische en sociale leven. Bij deze punten plaatst de Raad de volgende kanttekeningen.

Gezondheid en welzijn: Uiteraard dienen de mogelijke radiologische gevolgen de nodige aandacht te krijgen en onderwerp te zijn van een monitoringsprogramma. Maar de angst voor de mogelijke gevolgen van straling en het wonen en werken in een niet-normale leefomgeving laten evenzeer hun sporen na op gezondheid en welzijn (zie 6.4). Van belang is dat daarom de aandacht is gericht op het individu en niet slechts op het collectief. Overigens spelen de niet-radiologische gevolgen ook in de opvanglocaties waar de ontheemden soms lang moeten verblijven onder, vergeleken met hun leven in vroeger tijd, vaak sobere omstandigheden.

Veel mensen hebben huisdieren, vooral honden en katten. Eerder is al aangegeven dat bij een evacuatie, volgend op zorgen over verwanten, mensen zich zorgen maken over hun huisdieren. Ook in de herstelfase is dit een aandachtspunt. Allereerst gaat het om dieren die bij een evacuatie zijn achtergebleven. Verder is het de vraag of huisdieren zich vrij in de omgeving mogen bewegen, naast eventuele restricties aan voer en water. Gezien het belang van huisdieren voor mensen, vraagt de Raad nadrukkelijk aandacht voor dit punt.

Voedsel en water: In samenhang met de radiologische criteria voor de zonerings, in het bijzonder die voor de zones met "verhoogd toezicht", moeten er grenzen worden gesteld aan de besmetting van voedsel en drinkwater. Voor drinkwater is uiteraard de blootstelling van de lokale bevolking van belang. Maar bij de niveaus van voedsel gaat het ook over de mogelijkheden van het exporteren van voedsel vanuit de besmette

zones. In 8.2.4 heeft de Raad al aangegeven met Fukushima als voorbeeld hoe dat tot verwarring kan leiden. Het is van belang voor het stellen van grenzen aan de besmetting van voedsel en drinkwater, en voor het in de loop van de tijd aanpassen daarvan, een helder beleid te ontwikkelen.

Voldoende drinkwater is essentieel voor het overleven van mensen, ongeacht de situatie waarin zij verkeren. In België wordt drinkwater voor een groot deel verkregen uit grondwater en voor een ander deel uit oppervlaktewater. Radioactieve stoffen die bij een kernongeval vrijkomen, kunnen grondwaterlagen bereiken dan wel in het oppervlaktewater terecht komen en zich mogelijk tot ver buiten de besmette gebieden verspreiden. Een voorbeeld is een besmetting van de Maas na een ongeval met de kernenergiecentrale van Chooz, met consequenties voor grote delen van België en voor buurlanden. Hoe lastig het is om besmet grondwater in toom te houden, wordt geïllustreerd door het Fukushima-ongeval (4.5). Over alternatieven voor de drinkwatervoorziening moet reeds nu worden nagedacht en niet pas in de herstelfase na een daadwerkelijk ongeval.

Onder dit punt vraagt de Raad ook aandacht voor vee en andere dieren. Veelal zal verblijf in besloten ruimten nodig zijn en moeten restricties worden gesteld aan de besmettingsniveaus van voer en water. Voor dieren die bij evacuatie van de bevolking in besmette gebieden zijn achtergebleven zal om radiologische redenen afslachten soms onvermijdelijk zijn, wat weer bijdraagt aan de hoeveelheid van het te verwerken radioactieve afval.

Industriële productie: In 3.2 is al gewag gemaakt van het vaak in elkaars nabijheid gelegen zijn van kernenergiecentrales en industriële complexen. Een voorbeeld is de chemische industrie in het Antwerpse havengebied op een steenworp afstand van de kernenergiecentrale van Doel. Dit heeft consequenties voor het voorbereid zijn op een kernongeval en is evenzeer van belang in de herstelfase na een daadwerkelijk ongeval. Onder welke condities voor werknemers kunnen de bedrijven weer functioneren en op welk productieniveau?

De HGR beveelt aan dat over deze en samenhangende vragen reeds nu wordt nagedacht. De provincies zouden daarbij het voortouw kunnen nemen, ondersteund door federale, gewestelijke en lokale overheidsdiensten, met inbegrip van politie en brandweer. Vertegenwoordigers van de betrokken nucleaire en niet-nucleaire bedrijven dienen bij dit overleg betrokken te zijn evenals verzekeraars.

Monitoring: De noodzaak van monitoring volgt niet alleen uit de wens zones af te bakenen en de besmetting van allerhande producten, goederen en milieucompartimenten te controleren. Vanuit de bevolking zullen voortdurend vragen komen naar de mate van besmetting van hun leefomgeving. Ook al zijn dit soort vragen in principe op basis van theoretische modelberekeningen te beantwoorden, de ervaring leert dat mensen daar geen genoegen mee nemen en de neiging hebben de uitkomsten te wantrouwen.

In het nucleaire en stralingsbeschermingsdomein wordt het meten van stralings- en besmettingsniveaus gezien als voorbehouden aan deskundigen. Het is echter de vraag of burgers niet uitgebreider bij monitoring kunnen worden ingeschakeld. De Raad verwijst naar een interessant rapport hierover uit Japan (Hemmi et al, 2014) en beveelt aan de mogelijkheden van het inschakelen van burgers in de Belgische situatie nader te onderzoeken.

Radioactief afval: De hoeveelheid radioactief afval die na het ongeval en bij de sanering van besmette gebieden vrijkomt is enorm, en kan de capaciteit van de beschikbare opslagvoorzieningen ver te boven gaan. Het is dus zaak om tevoren na te denken over opslagmogelijkheden, die bovendien zeker enkele honderden jaren intact moeten blijven gezien de halveringstijden van de dominante radioactieve stoffen. Fukushima, meer nog dan Tsjernobyl, vormt een duidelijke illustratie.

Schadevergoeding en compensatie: Voor burgers en voor het midden- en kleinbedrijf is het na een kernongeval alras moeilijk om de eindjes aan elkaar te knopen. Het is daarom niet meer dan redelijk dat het bedrijf dat de kernongevalscentrale bedrijft en zo nodig de overheid bijspringt om de schade, in elk geval in financiële zin, te lenigen. Bij Fukushima moesten de regelingen hiervoor achteraf worden bedacht, met de nodige conflicten tussen exploitant, overheid en de getroffen burgers en bedrijven tot gevolg. De HGR beveelt aan dat hiervoor regelingen worden ontworpen, bij voorkeur op Europees niveau.

Bereikbaarheid: Voorwaarde voor een herstel van het economische en sociale leven is een herstel van de bereikbaarheid van de gebieden waar bewoning weer mogelijk is en van de gebieden waar herstelwerkzaamheden uit veiligheidsoogpunt noodzakelijk zijn. Uiteraard hangen de mogelijkheden hiertoe af van het daadwerkelijke ongevalsverloop. Maar het is zaak tevoren een aanpak te ontwerpen die dan later aan de feitelijke omstandigheden wordt aangepast.

Bedrijvigheid: Het herstel van de bedrijvigheid is uiteraard van groot belang voor de bevolking in de gebieden die weer voor bewoning geschikt worden geacht. Een zorgvuldig beleid is noodzakelijk, maar niet eenvoudig zoals het moeizame herstel van de rijst- en visexport uit de streken rond de Fukushima-ongevalscentrale laat zien. Waar in België het toerisme een belangrijke economische motor is, zal het niet eenvoudig zijn dat in getroffen gebieden weer op gang te brengen.

De Raad sluit dit hoofdstuk af met een verwijzing naar 6.3. Om wrijvingen zoals die bij de in de hoofdstukken 0 en 0 beschreven ongevallen aan het licht kwamen, zoveel mogelijk te vermijden, is het opbouwen en versterken nu van een (tweezijdige) relatie met de bevolking nabij kernenergiecentrales, maar in feite met die in het gehele land, noodzakelijk. Daarmee kan een basis van vertrouwen tussen overheid en burger worden geschapen die zich uitbetaalt als het in het nucleaire onverhoopt mis gaat. Zo'n benadering moet zich niet beperken tot nucleaire en radiologische risico's, maar zou onderdeel moeten zijn van een beleid gericht het op intomen van grootschalige technologische risico's in de huidige Belgische, Europese en mondiale samenleving.

9 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De Raad heeft zich in dit advies gebogen over risicobeheersing bij een ernstig kernongeval. Aanleiding was de nasleep van het ongeval in Fukushima en de overweging dat zo'n ongeval in of nabij het dichtbevolkte België grote gevolgen kan hebben gezien de concentratie van nucleaire installaties. De centrale vragen van dit advies zijn:

Hoe kan een proces van zorgvuldige voorbereiding de nadelige gevolgen voor mens en milieu van een ernstig kernreactorongeval voorkomen of zoveel mogelijk beperken? Hoe trekken we lessen voor de nucleaire veiligheid uit de ervaringen van vroegere ongevallen?

Het advies plaatst tal van kritische kanttekeningen bij het proces van noodplanning, ingebed in de algemene rampenplanning. Na een analyse van nucleaire maar ook niet-nucleaire ongevallen heeft de Raad concrete aanbevelingen geformuleerd, elementen geïdentificeerd en aanvullingen voorgesteld met bijzondere aandacht voor kwetsbaarheid en risicocommunicatie.

In dit slothoofdstuk brengt de Raad zijn bevindingen samen. Zijn conclusies en aanbevelingen zijn gerangschikt naar drie hoofdthema's: bewustwording, paraatheid en volledigheid. Gezien het grensoverschrijdend karakter van ernstige kernongevallen zijn aanbevelingen voor een internationale aanpak toegevoegd. Ten slotte breekt de Raad een lans voor een voorzorgbenadering in het nucleaire veiligheidsbeleid met een adequate noodplanning als sluitstuk.

9.1 Meer bewustwording

1 *Een ernstig kernongeval kan ook in België voorkomen en vereist snelle herziening van de noodplanning*

Conclusie: Hoe uitzonderlijk ook ernstige ongevallen met industriële installaties en dus ook met kernenergiecentrales kunnen voorkomen, ook in België. De scenario's van zulke ongevallen bleken vaak onvoorspeld en onbedacht. De maatschappelijke gevolgen waren vaak zeer aanzienlijk. Het ongeval in Fukushima is een duidelijk voorbeeld. Een ongeval met een falende Belgische kernenergiecentrale, dan wel met een centrale in een buurland, kan grote gevolgen hebben voor gezondheid en welzijn van de gehele bevolking en voor de Belgische en zelfs voor de Europese economie. Ook Europese nucleaire toezichthouders (HERCA-WENRA) vragen aandacht voor en bepleiten een betere aanpak van zulke ernstige gevolgen.

Adequate nucleaire noodplanning is daarom noodzakelijk. Een noodplan moet flexibel van opzet zijn, aangezien het verloop van een ongeval veelal onvoorspelbaar is. Een waaier van scenario's zijn nodig bij het voorbereiden en oefenen van noodplannen, waaronder scenario's voor zogeheten *beyond-design*-ongevallen. Gezien de langetermijngevolgen van kernongevallen moeten noodplannen ook daarop inspelen.

Aanbeveling: De HGR beveelt aan om het Belgische nucleair en radiologisch noodplan, dat al dateert van 2003, zo snel mogelijk in 2016 aan te passen, het jaar van de vijfde verjaardag van het Fukushima-ongeval. De mogelijke interactie met andere risicovolle activiteiten verdient aandacht, maar het grensoverschrijdend karakter van na-genoeg elk ernstig kernongeval en de mogelijke duur ervan moeten centraal komen te staan naast aandacht voor de andere elementen die in dit advies zijn besproken. Waar noodplanning het sluitstuk is van het nucleaire veiligheidsbeleid kunnen die aanpassingen gevolgen hebben voor de besluitvorming over het gebruik van kernenergie voor elektriciteitsopwekking.

2 *Let op achterliggende oorzaken van een ongeval en vermijd belangenvermenging*

Conclusie: Kernongevallen en andere industriële ongevallen vertonen opvallende overeenkomsten in de oorzaken die eraan ten grondslag liggen. De Raad heeft in dit advies aandacht besteed aan factoren die achterliggende oorzaken blootleggen, waaronder ontwerpfouten, gebrekkige communicatie, training, procedures en falende of ontbrekende veiligheidsvoorzieningen. Ook hier is het Fukushima-ongeval een sprekend voorbeeld. Om aandacht voor die zogeheten basisrisicofactoren levend te houden, wat past binnen een adequate veiligheidscultuur, is onafhankelijk toezicht van de overheid op het kernenergiebedrijf noodzakelijk. Gebrek aan onafhankelijk toezicht heeft in Japan tot het ongeval van Fukushima bijgedragen, onder meer door onvoldoende voorzieningen tegen tsunami's. Het ongevalsrisico neemt toe als toezichthouders niet los staan van kortetermijnbelangen van politieke of commerciële aard.

Aanbeveling: Bij de periodieke (her)beoordeling van de veiligheid van kerninstallaties moet de toezichthouder eisen dat achterliggende oorzaken van ongevallen voldoende aan bod komen.

De HGR adviseert om de onafhankelijkheid van het Belgische toezicht op kerninstallaties in de praktijk te garanderen onder meer door procedures om belangenvermenging tegen te gaan.

3 *Er is nood aan kwetsbaarheidanalyses van complexe technologieën met oog voor de menselijke interactie zeker bij noodplanning*

Conclusie: De onvoorspelbaarheid van ongevalsscenario's is inherent aan complexe industriële installaties. Een aspect van deze systemische onzekerheid is het zogeheten *common-mode*-falen. Een probleem bij één kernreactor kan ook het functioneren van andere reactoren van de centrale beïnvloeden en de integriteit van splijtstofbassins, zoals bij Fukushima. Deze vorm van falen vergroot het ongeval en zijn gevolgen.

Een kwetsbaarheidsanalyse is een middel om bronnen van systemische onzekerheid op te sporen en zou daarom onderdeel moeten zijn van zowel het vergunnings- als het noodplanningsproces. Zo'n analyse kan interventie maatregelen effectiever maken. Ze

geeft ook inzicht in de opvattingen van mensen over de veiligheid van de installatie en in lokale kennis over zwakheden en bedreigingen.

Aanbeveling: De HGR beveelt aan om in alle gevallen consequent een kwetsbaarheidsanalyse uit te voeren als grondslag voor rampenplanning bij nucleaire en complexe industriële installaties. Zo'n analyse moet zich richten op het identificeren van mogelijke ongevalsscenario's. Ook ongevallen met een heel kleine kans van optreden maar met verstrekkende gevolgen moeten de nodige aandacht krijgen. Maar ze dient ook de kwetsbaarheid van de lokale bevolking te adresseren en haar weerbaarheid tegen individuele en collectieve gevolgen voor gezondheid en welzijn op de korte en de lange termijn.

4 Maatschappelijke structuren in getroffen gebieden kunnen voor lange perioden zijn verstoord

Conclusie: De moeilijkheid om ongevalsscenario's te voorspellen en de onvoorziene interacties tussen een falende kernenergiecentrale en andere installaties maken dat het vrijkomen van een deel van de radioactieve stoffen uit de kerninstallatie niet kan worden uitgesloten. Ondanks multiple veiligheidsvoorzieningen, zoals insluitingssystemen, illustreert Fukushima dat ook bij westerse reactortechnologie grote lozingen naar het milieu mogelijk zijn. Ongeacht de relatief kleine kans kunnen de gevolgen van zulke *beyond-design*-ongevallen zeer ernstig zijn, zich over vele jaren uitstrekken en gebieden generaties lang onleefbaar maken.

Aanbeveling: De HGR wijst op de langetermijngevolgen van ernstige kernongevallen. De Raad beveelt dan ook aan om bij noodplanning een aanpak te voorzien gericht op lange tijd vergend herstel, dat wil zeggen voor de fase als het ongeval op zich onder controle is. Er dient als onderdeel van het noodplanningsproces een langetermijnstrategie te worden ontwikkeld om het maatschappelijke leven zo veel mogelijk te herstellen, hoe moeilijk die ook zal zijn in een dichtbevolkt land.

5 Er is nood aan een transdisciplinair en participatief leerproces bij noodplanning

Conclusie: De maatschappij trekt moeilijk lessen uit daadwerkelijke ongevallen. Dat geldt zowel voor politici als voor deskundigen. Het hangt samen met een verschuiving van politieke prioriteiten, mede door andere schokkende gebeurtenissen en onder invloed van de media en van belangengroepen. Zo waren bij Katrina de tekortkomingen in orkaanveiligheid mede het gevolg van de focus in de VS op terroristische actie. Ook kan groepsdenken onder deskundigen de aandacht voor de reeds genoemde systemische onzekerheden onbewust belemmeren.

Willen noodplanmaatregelen doeltreffend zijn om gevolgen zoveel mogelijk te beperken dan moeten het betrokken personeel en de lokale bevolking bewust zijn van de ongevalsrisico's en van de beschermingsmaatregelen. De aanbevolen kwetsbaarheidsanalyse is een manier om de bevolking te betrekken bij het vergunnings- en

noodplanningsproces en om informatie te bekomen over uitdagingen, belemmeringen en mogelijkheden voor interventie maatregelen.

Participatie roept onvermijdelijk ethische vragen op in relatie tot de voor- en nadelen van het kernenergiebedrijf. Deze vragen verdienen een transparante behandeling om condities voor de aanvaardbaarheid van dat bedrijf na te gaan. Zo ontstaan ook perspectieven voor de opbouw van vertrouwen van de lokale bevolking in de diverse overheden en in de nucleaire toezichthouder.

Aanbeveling: De HGR beveelt een voortdurend leerproces aan vertrekkend van schierongevallen en ongevalsoefeningen. Dit vereist een structuur die een open uitwisseling van ervaring, kennis en probleemgerichte samenwerking van diverse disciplines en beleidsniveaus mogelijk maakt. Zo'n netwerkbenadering bij ongevalsbeheersing bevordert persoonlijke contacten tussen sleutelfiguren. Die aanpak laat zich uitbreiden tot hechtere samenwerking met buurlanden.

De HGR adviseert overheden te experimenteren met sociale leerprocessen, waarbij de lokale bevolking, de reactorexploitant, het FANC, lokale overheden en de hen ondersteunende deskundigen zijn betrokken. Die processen kunnen input leveren voor het beheersen van kernongevallen en van ongevallen in het algemeen. Participatieve projecten vereisen transparante procedures ook om belangenvermenging en lobbying in te perken.

Het lessen trekken uit ongevallen vereist niet alleen de expertise van nucleaire ingenieurs. Daarom beveelt de Raad aan hierbij ook sociologen, ethici, deskundigen in communicatie en verzekeringskundigen, naast gezondheidkundigen en psychologen in te schakelen.

6 *Er is nood aan evenwichtige, tweezijdige communicatie over risico's*

Conclusie: Communicatie over kernongevallen en noodplanning hoort onderdeel te zijn van een transparant communicatieproces over kernenergie. Evenwichtige informatie over radiologische risico's en onzekerheden is cruciaal, maar het accent mag niet alleen daarop liggen of op maatregelen om gevolgen ervan te beperken. Tsjernobyl en Fukushima hebben laten zien dat de invloed op gezondheid en welzijn meer omvat. Vrees voor gezondheidsschade later, het tijdelijk of permanent verdreven zijn van huis en haard, omgaan met andere dilemma's en sociale stigmatisering zijn evenzeer uitdagingen voor communicatie, zowel in "vredetijd" als in ongevalssituaties. Mensen reageren na een ongeval anders dan ervoor; hun leefomgeving en hun zorgen kunnen door het ongeval drastisch veranderen. Ze raken na een melding van een ongeval of ongevalsdreiging niet direct in paniek, maar zoeken een betrouwbare bron.

Verschillen in perceptie van nucleaire risico's en de effectiviteit van noodplanmaatregelen mogen geen belemmering vormen voor het adresseren van de zorgen van de

bevolking, ook als die de uitkomst van risicoanalyses en keuzes in vraag stellen. Vertrouwen kan worden gecreëerd door verschillende zienswijzen expliciet aan de orde te stellen. Een duurzame opbouw van vertrouwen kan bij een ongeval de opvolging van maatregelen effectiever maken.

Aanbeveling: De HGR beveelt aan om het communicatieproces als onderdeel van het noodplanningsproces uit te breiden en transparanter te maken. Communicatie is een tweerichtingsproces waarbij naast evenwichtige technische informatie over het stralingsrisico en zijn onzekerheden ook de zorgen van de bevolking aandacht moeten krijgen. Hierbij komen emoties, waarden en sociale tegenstellingen om de hoek kijken. Ongevalsecommunicatie verdient voor de Raad dan ook een plaats in de aanbevolen participatieve benadering die uitstijgt boven het eenzijdig verstrekken van instructies en het beantwoorden van vragen over stralingsrisico's. Respect voor de zorgen over het wel en wee van familie en dieren, over inkomen en faire compensatie voor de geleden schade en perspectieven voor terugkeer naar een min of meer normaal leven verdienen ruime aandacht.

Er is een geëigende communicatiestructuur nodig die de toets van transparantie doorstaan heeft en gescheiden is van het directe crisisbeheer. Het in Zweden ontwikkelende en in België getoetste RISCOS-model reikt daarvoor condities aan die het verschil maken tussen communicatie en publieksbeïnvloeding.

7 *Er is aandacht nodig voor de rol van sociale media in crisismanagement*

Conclusie: Het huidige communicatielandschap verschilt aanzienlijk van dat van tien tot twintig jaar geleden. Internet en sociale media maken informatie-uitwisseling tussen een veelheid van uiteenlopende actoren direct mogelijk. Die nieuwe media kunnen een rol spelen bij snelle informatieverstrekking in ongevalssituaties, maar ook een bron zijn van verwarring en misleiding. Daarnaast blijven klassieke media als kranten, radio en tv vooralsnog hun rol bij risico- en ongevalscommunicatie behouden.

Aanbeveling: Sociale media worden door de overheid thans vooral gebruikt om publieke reacties te monitoren, hoewel een kentering merkbaar is. De HGR adviseert sociale media actief en tweezijdig te gebruiken voor uitwisseling van informatie over ongevalsmaatregelen en over de zorgen van de bevolking in verband met het ongeval. Deze aanbeveling is des te belangrijker omdat sociale media een middel zijn om unieke informatie over de lokale situatie bij een ongeval te verkrijgen.

9.2 Betere paraatheid

8 *Adequate noodmaatregelen zijn het sluitstuk van het nucleaire veiligheidsbeleid*

Conclusie: De zogeheten stress-tests van kerninstallaties was een reactie van de landen van de Europese Unie op het Fukushima-ongeval. Deze door de overheid gecoördineerde zelfevaluatie van exploitanten leverde op Europees niveau geëvalueerde verbeteringsprogramma's op die zeker bevorderlijk maar niet voldoende zijn voor het

geheel van de nucleaire veiligheid in Europa. De stress-tests onderzochten de interne noodplannen van nucleaire installaties, maar niet de kwaliteit van externe noodplannen en de behoefte aan herziening van die plannen. Ook na het implementeren van die programma's blijft er werk aan de winkel. De Raad wijst er op dat er geen duidelijkheid is geschapen over de kwetsbaarheid van de fysieke beveiliging van kerninstallaties. De dreiging van terrorisme vereist een zekere inhoudelijke terughoudendheid bij het verschaffen van informatie over zwaktes en daarmee samenhangende maatregelen. Maar dit behoeft duidelijkheid over de beveiligingsproblematiek niet te verhinderen en dient als inherente onzekerheid te worden betrokken bij beschouwingen over noodplanning.

Verder is de invulling die nationale overheden betrokken bij crisisplanning aan Fukushima hebben gegeven, niet onafhankelijk geëvalueerd. Een Europese studie onderzocht op participatieve basis de paraatheid van noodplannen in een aantal landen en concludeerde dat er veel kan verbeteren.

De HGR verwelkomt de aanzet in de nieuwe Europese regelgeving over nucleaire veiligheid, waaronder de verruiming van noodplanning met aandacht voor langetermijngevolgen.

Aanbeveling: De Raad beveelt aan om het proces tot harmonisering van nucleaire veiligheidscriteria en noodplanningsvereisten in Europa voort te zetten en daarop toezicht te organiseren op Europees vlak. Een studie in opdracht van de Europese Commissie bracht geen duidelijkheid over de kwaliteit van specifieke veiligheidscondities in de EU-lidstaten. De Raad bepleit deelname van België aan een bevraging van alle belanghebbenden naar de mate van paraatheid van het antwoord op nucleaire crisis-situaties, zoals met Frankrijk was gepland voor grensinstallaties.

De HGR stelt voor om beveiligingsvoorzieningen (onder meer in verband met sabotage) op een geëigende manier te integreren in de *off-sitenoodplanning*.

9 Complexe maatregelen in een dichtbevolkt gebied dienen voorbereid ook voor langere duur en grotere afstanden

Conclusie: Het Belgisch nucleair noodplan richt zich vooral op dreigende blootstelling aan radioactieve stoffen in de eerste dagen en weken na een ongeval. Het plan beschrijft maatregelen als schuilen, distributie van stabiel-jodiumtabletten, evacuatie en beperking van lokaal geproduceerd voedsel. Het overweegt dergelijke maatregelen in de noodplanningszones met afstanden van 5 tot 20 km tot ongevalsinstallatie.

Kortetermijnmaatregelen worden contraproductief als ze te lang zonder duidelijk perspectief voortduren. In het bijzonder schuilen, evacuatie en in mindere mate beperking van lokaal geteeld voedsel hebben een ontwrichtende invloed op de samenleving die er door wordt getroffen. Verder hebben Tsjernobyl en Fukushima getoond dat de afstanden van de noodplanningszones te bescheiden zijn. Interventie op grotere afstanden tot 100 km en meer kan nodig zijn en vraagt een voldoende voorbereiding.

Het noodplan rept niet over maatregelen voor de overgangperiode die begint als gevaar van lozing van radioactieve stoffen is geweken, noch over aanpak van de mogelijk lange herstelperiode erna.

Aanbeveling: De HGR beveelt aan om de omvang van de noodplanningszones voor schuilen, distributie van stabiel jodium en evacuatie uit te breiden tot realistische afstanden gebaseerd op de ervaringen van ongevallen. Verwijzend naar een aanbeveling van Europese nucleaire toezichthouders (HERCA-WENRA) beval de Raad al eerder aan om de distributiestrategie van stabiel jodium uit te breiden tot 100 km. Deze afstand zou ook voor schuilen moeten gelden. Evacuatie is een verreгаande maatregel die op zich ook slachtoffers kan maken, maar niet kan worden uitgesloten. Evacuatie tot ten minste 20 km dient op basis van radiologische en niet-radiologische criteria strategisch selectief te worden voorbereid.

De HGR adviseert om maatregelen voor te bereiden voor de overgangs- en herstelperiode. Die langetermijnmaatregelen moeten bestaan uit strategische opties die in voorkomend geval aan de situatie kunnen aangepast. Zij richten zich op het verminderen van maatschappelijke ontwrichting en op de zorgen van de getroffen bevolking. Voor versterking van dichtbevolkte complexe gebieden, ook buiten de noodplanningszones, zijn denkoefeningen aangewezen met terugkoppeling naar veiligheidsvereisten.

10 Er is meer aandacht nodig voor medische coördinatie en kwetsbare mensen in crisissituaties

Conclusie: Het noodplanningsproces vereist inschakeling via de bevoegde administraties van de medewerkers in de gezondheidszorg: van (para)medisch personeel, van spoeddiensten en ziekenhuizen, naast psychosociale hulp. Het noodplan besteedt beperkte aandacht aan kwetsbare groepen, zeker in geval van evacuatie. Het is onduidelijk of voldoende hulpverleners beschikbaar is om voor kwetsbaren te zorgen. De Raad vraagt zich af of het (para)medisch personeel en de hulpverleners van het Rode Kruis voldoende voorbereid zijn om hun rol bij een nucleaire ramp te vervullen en of de coördinatie door de bevoegde medische overheden voldoende is geregeld.

Aanbeveling: Kwetsbare personen en groepen die speciale zorg nodig hebben bij het opvolgen van maatregelen als schuilen en in het bijzonder evacuatie, dienen te voren te worden geïdentificeerd. De Raad adviseert hulpverleners voldoende te trainen en uit te rusten om voor kwetsbaren te zorgen. Goed voorbereide communicatie is nodig richting scholen en de algemene bevolking.

11 Voorzie beschermingsmaatregelen voor externen bij interventie- en opruimingswerken

Conclusie: De langdurige besmetting met radioactieve stoffen van uitgebreide landstreken na een ernstig ongeval heeft tot gevolg dat naast interventiepersoneel een grote groep werknemers in de overgangs- en herstelperiode blootgesteld kan zijn aan

ioniserende straling afkomstig van besmette bodem, gebouwen, infrastructuur, etc. Fukushima en Tsjernobyl leren dat velen onder hen “externe” werknemers zijn zonder nucleaire ervaring en kennis en met behoefte aan specifieke aanvullende beschermingsmaatregelen.

Aanbeveling: De HGR beveelt aan om voorzieningen binnen de EU voor “externe” werknemers uit te breiden tot ongevals- en noodplanning in samenhang met interventie in en herstel van gebieden die door een nucleair ongeval besmet zijn geraakt met radioactieve stoffen. Die voorzieningen dienen te omvatten: voorlichting, richtlijnen voor opleiding en training, procedures voor monitoring van radioactieve stoffen en doses, en referentieniveaus voor stralingsblootstelling. De opvolging van de gezondheid van die werknemers vergt eveneens proactieve aandacht.

9.3 Volledigheid

12 De veiligheidsbenadering dient vervolledigd met ongevalsscenario's niet voorzien bij het ontwerp en revisie van de installaties

Conclusie: Dat ongevallen niet verlopen volgens het “boekje” van tevoren uitgevoerde risicoanalyses heeft niet alleen gevolgen voor de noodplanning en later herstel. Lessen van nucleaire en niet-nucleaire ongevallen slaan op het ganse nucleaire veiligheidsbeleid en zeker op de risicoanalyse die aan ontwerp en bedrijf van een kerninstallatie ten grondslag liggen.

Net als noodplanning hoort ook het veiligheidsbeleid het karakter te hebben van een voortdurend proces. De verplichte periodieke revisie is een stap in die richting. De systemische onzekerheden die inherent zijn aan het bedrijf van elke complexe industriële installatie, dienen geanalyseerd en steeds opnieuw betrokken te worden bij de risicoanalyse van een specifieke (kern)installatie. Ook technologische ontwikkelingen die de mogelijkheid en omvang van een ernstig ongeval kunnen verkleinen, moeten in die analyses een plaats krijgen en leiden tot aanpassingen (*retrofitting*). De Raad denkt bijvoorbeeld aan maatregelen—inmiddels voorzien bij nieuwe generaties kernenergiecentrales—om te beletten dat een gesmolten reactorkern doordringt in de bodem en het grondwater bereikt.

Aanbeveling: De HGR beveelt aan bij de periodieke veiligheidsbeoordeling van een kernenergiecentrale (en in het bijzonder bij levensduurverlenging) de risicoanalyse die aan het ontwerp en het bedrijf van de installatie ten grondslag ligt onder de loep te nemen en daarbij *beyond-design*-ongevallen met mogelijk grote gevolgen te betrekken, ook al is de kans erop klein.

13 Er is aandacht nodig voor bevolkingsdichtheid en mobiliteit

Conclusie: Bij de maatregelen voor de korte en de lange termijn na een nucleair ongeval is voor de Belgische situatie van bijzonder belang de situering van kernenergie-

centrales nabij dichtbevolkte gebieden. Elke maatregel is daardoor vele malen gecompliceerder dan bijvoorbeeld maatregelen bij het ongeval van Fukushima. De kwetsbaarheid van de verkeersinfrastructuur als internationaal knooppunt verhoogt deze uitdaging, waarbij een beroep op buurlanden al snel kan vereist zijn bijvoorbeeld om evacuatie te ondersteunen.

Aanbeveling: De HGR adviseert om bij de nucleaire noodplanning speciale aandacht te geven aan kwetsbaarheidsaspecten van grote bevolkingsbewegingen in een dichtbevolkt land met verkeerscongestie. Integratie in een langetermijnstrategie is nodig naast overleg met buurlanden om verplaatsing en huisvesting van grote groepen mensen voor te bereiden.

14 *Interactie van nucleaire en andere industriële risico's kunnen een crisis verergeren*

Conclusie: Kernenergiecentrales zijn veelal gesitueerd in de buurt van industriële complexen, zoals Doel, gelegen in het Antwerpse industrie- en havengebied. Dat brengt extra risico's met zich mee, waarmee niet altijd rekening is gehouden. Zo kan een chemische procesinstallatie niet altijd snel worden uitgeschakeld en kan verlies aan controle ervan risico's met zich meebrengen die de gevolgen van het nucleaire ongeval kunnen verergeren. Dit zijn elementen die in de kwetsbaarheidsanalyse en daarmee in de noodplannen aangekaart dienen te worden.

Aanbeveling: De HGR beveelt aan om bij de kwetsbaarheidsanalyse en de periodieke veiligheidsevaluatie van een kernenergiecentrale de wisselwerking met nabijgelegen industriële installaties te betrekken en op basis daarvan nucleaire en niet-nucleaire noodplannen te herzien.

15 *De structuur en werking van de crisiscentra dient periodiek geëvalueerd*

Conclusie: Elke kernenergiecentrale beschikt verplicht over een bedrijfsnoodplan. In het kader van de stress-tests zijn de bedrijfsnoodplannen herbeoordeeld. Dat is niet gebeurd voor 'externe' noodplannen die onderwerp zijn van dit advies. De Raad mist in het Belgische nucleaire noodplan de verbinding met het bedrijfsnoodplan, afgezien van de verplichte melding van storingen door de bedrijfsleiding aan de autoriteiten.

Aanbeveling: De HGR beveelt aan om in Europees kader de nucleaire noodplannen aan een 'stress-test' te onderwerpen met een onafhankelijke beoordeling, en daarbij de rol van de toezichthouders en de crisisbeheersingscentra te betrekken, zowel operationeel, strategisch als communicatief.

16 *Neem scenario's in acht voor verspreiding van radioactieve stoffen in het aquatisch milieu*

Conclusie: Tot nu toe werd bij nucleaire ongevallen vooral rekening gehouden met verspreiding van radioactieve stoffen via de lucht. Dat is de belangrijkste en voor de

gezondheid en het milieu een bedreigende weg. Fukushima leert dat radioactieve stoffen ook via grond- en oppervlaktewater kunnen weglekken en zich ver verspreiden. Overigens dreigde dat ook bij Tsjernobyl te gebeuren. Verspreiding via grond- en oppervlaktewater, al dan niet na depositie van via de lucht verspreide radioactieve stoffen, kan grote gevolgen hebben voor de drinkwatervoorziening, de landbouw en het milieu. In België speelt ook, net als bij Fukushima, de besmetting van het mariene milieu.

Aanbeveling: De HGR beveelt aan om bij de voorbereiding op ernstige kernongevallen uitdrukkelijk aandacht te besteden aan de verspreiding van radioactieve stoffen via grond- en oppervlaktewater en naar de zee. Voor de korte termijn speelt hier vooral de bedreiging van de drinkwatervoorziening. Op de lange termijn gaat het ook om landbouw, veeteelt, visserij en de besmetting van plant en dier.

17 Voorzie een aanpak voor kernafval bij langdurige nucleaire crisis

Conclusie: Bij de nasleep van een ernstig kernongeval ontstaan grote hoeveelheden radioactief afval. Bronnen zijn de installatie zelf, de nevenstructuren en het koelwater. Wil men dit afvalwater zuiveren en besmette zones weer bruikbaar maken dan komt daar technologie bij kijken om de grote hoeveelheden radioactief water, besmette grond en reinigingsafval te beheersen. Ondanks de problemen met afval bij Tsjernobyl en Fukushima laat zelfs een denkoefening over het beheer van radioactief afval afkomstig van een kernongeval in België en Europa op zich wachten.

Aanbeveling: De HGR beveelt aan om bij de voorbereiding op de gevolgen van een ernstig kernongeval voorzieningen te treffen voor monitoring, karakterisering, opslag en verwerking van vloeibaar en vast radioactief afval dat kan vrijkomen bij het beheersen van het ongeval en bij de ontsmetting van het omringende (woon)gebied. De Raad beveelt aan om NIRAS^r te betrekken bij een oefening ter zake en die voorzieningen onderdeel te maken van nucleair afvalbeleid op Europees vlak.

9.4 Grensoverschrijdende aanpak

18 Elk groot nucleair ongeval vereist een internationale aanpak van noodmaatregelen

Conclusie: Ernstige ongevallen met kernenergiecentrales hebben gevolgen die niet bij de Belgische grens ophouden. Dat geldt zeker voor ernstige ongevallen door falen van kernreactoren in Doel en Tihange en van reactoren in de centrales binnen 100 km van de grens als Gravelines, Chooz, Cattenom en Borssele. Voor noodplanning betekent dat opschaling naar Europees niveau. De Raad stelt vast dat een Europese toezichthoudende instantie ontbreekt die handelend en coördinerend kan optreden en logistieke steun kan verlenen bij een grensoverschrijdende nucleaire crisis.

^r Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen.

Aanbeveling: De HGR beveelt aan te onderzoeken hoe binnen de Europese Unie het veiligheidstoezicht en het crisisbeheer kan worden geharmoniseerd en versterkt. Bij kernongevallen met een grensoverschrijdend karakter is centrale aansturing een voorwaarde om de gevolgen voor mens, milieu en economie coherent en doeltreffend te kunnen beperken met een meer afgestemde aanpak tussen landen en voldoende technische middelen. Met dit doel voor ogen suggereert de Raad dat een Europese Nucleaire Veiligheids Autoriteit zou worden op poten gezet.

19 Er is een geharmoniseerde EU aanpak nodig van noodplanning en verzekeringen

Conclusie: Hoewel tussen buurlanden afspraken zijn gemaakt over informatie-uitwisseling en samenwerking bij kernongevallen met een grensoverschrijdend karakter, stelt de Raad vast dat er beduidende verschillen van aanpak bestaan tussen de Europese landen. Zo zijn de criteria voor maatregelen op de korte termijn niet geharmoniseerd. De Raad doelt onder meer op referentiewaarden voor te nemen maatregelen, besluitvormingsinstrumenten bij een crisis en ontbrekende afspraken over evacuatie aan weerszijden van grenzen.

Frankrijk heeft als enige EU-lidstaat nagedacht over interventiemiddelen en crisismaatregelen voor de lange termijn. Die middelen en maatregelen staan elders in Europa nog in de kinderschoenen en zijn pas vanaf 2018 binnen de EU verplicht. Door de besmetting van het milieu met radioactieve stoffen is een langdurige crisissituatie met internationaal karakter mogelijk. Het gebrek aan Europese harmonisering van de verzekerbaarheid van kernreactorongevallen kan de uitvoering van een langetermijnstrategie voor herstel bemoeilijken.

Aanbeveling: De HGR beveelt aan om overleg en samenwerking over nucleaire noodplanning op internationaal vlak te versterken, zowel bilateraal tussen buurlanden als op Europees niveau, en daarbij ook verzekeringsaspecten te betrekken.

Lessen trekken uit ongevallen en noodplanervaringen vereist nader onderzoek. Zowel uit overwegingen van kwaliteit als van urgentie meent de Raad dat onderzoek en ontwikkeling op het terrein van nucleaire veiligheid en noodplanning in Europees verband moeten worden uitgevoerd. De Raad onderschrijft de strategische onderzoeksagenda van het NERIS-platform en beveelt aan om de Belgische deelname aan Europees onderzoek breder en actiever te ondersteunen.

9.5 Naar een voorzorgstrategie

20 Een adequaat nucleair veiligheidsbeleid vereist een voorzorgstrategie met verrijmde participatieve aanpak ook in de noodplanning.

Conclusie: Een nucleair veiligheidsbeleid met noodplanning als sluitstuk beoogt het voorkomen van ongevallen en, mochten ze toch gebeuren, op het zoveel mogelijk beperken van de gevolgen ervan. Volgens de Raad dient echter een adequaat nucleair

veiligheidsbeleid te zijn gebaseerd op voorzorg als element van duurzame ontwikkeling. Inderdaad kwesties over de ontwikkeling van kernenergie, over de veiligheid van kerninstallaties en over de gevolgen van ongevallen zijn complex en met onzekerheid omgeven. Die kwesties raken ook onvermijdelijk menselijke waarden die in de samenleving uiteenlopend worden beoordeeld. Al die elementen – complexiteit, onzekerheid en ambiguïteit --, vragen om een voorzorgbenadering. Vermits een ongeval met ernstige en langdurige gevolgen voor de gezondheid en het leefmilieu niet valt uit te sluiten, vereist zo'n strategie al in de directe toekomst een ruimere aanpak van noodplannings- en veiligheidsbeleid.

Aanbeveling: De Raad dringt daarom aan op een strategische aanpak die geënt is op realistische crisisafstanden en –duur, met een grensoverschrijdende Europees karakter, die lessen trekt uit nucleaire en niet-nucleaire ongevallen en waarbij ook minder waarschijnlijke ongevalsscenario's onder de loep worden genomen.

Tevens beveelt de Raad aan om kwetsbaarheidsanalyses, noodplanning en communicatie participatief vorm te geven, gericht op de zorgen van burgers, met oog voor de distributie van risico's en kosten en rekening houdend met lange termijn perspectieven. Zo'n aanpak ter voorbereiding van crisis verruimt preventie tot voorzorg. Deze voorzorgstrategie vereist de opstart van een wettelijk gestructureerde participatie van relevante actoren, inclusief burgers.

10 REFERENTIES

Acton JM, Hibbs M. Why Fukushima Was Preventable. Washington, DC: Carnegie Endowment for International Peace; 2012. The Carnegie Papers - Nuclear Policy. Internet: <http://carnegieendowment.org/files/fukushima.pdf>

Alexander D. Towards the development of a standard in emergency planning. *Disaster Prev Manag* 2005;14(2):158-75.

Anonymus. Mississauga Train Derailment (1979). Mississauga, Ontario, Canada: City of Mississauga; 1980. Local History. Internet: http://www.mississauga.ca/portal/residents/localhistory?paf_gear_id=9700018&item_id=5500001

ASN - Autorité de Sûreté Nucléaire. Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire. Éléments de doctrine pour la gestion post-accidentelle d'un accident nucléaire. Paris:ASN; 2012. Internet: <http://post-accidentel.asn.fr/Gestion-post-accidentelle/Elements-de-doctrine>

Bachev H, Ito F. Implications of Fukushima Nuclear Disaster for Japanese Agri-Food Chains. *Int J Food Agricult Econ* 2014;2(1):95-120.

Battist L, Buchanan J, Congel F, Nelson C, Nelson M, Peterson H *et al.* Population Dose and Health Impact of the Accident at the Three Mile Island Nuclear Station. A preliminary assessment for the period March 28 through April 7, 1979; 1979. Part of the preliminary report of the Joint Assessment Group by the Ad Hoc Population Dose Assessment Group.

Baylon C, Brunt R, Livingstone D. Cyber Security at Civil Nuclear Facilities: Understanding the Risks. London: Chatham House; 2015. Internet: https://www.chathamhouse.org/sites/files/chathamhouse/field/field_document/20151005CyberSecurityNuclearBaylonBruntLivingstone.pdf,

Beck U. Risikogesellschaft. Auf dem Weg in ein neue andere Moderne. Frankfurt am Main, Deutschland: Suhrkamp Verlag; 1986.

Belgisch Koninkrijk. Koninklijk besluit van 20 juli 2001 houdende algemeen reglement op de bescherming van de bevolking van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van de ioniserende stralingen. BS van 30 augustus 2001: 28909-9367

Belgisch Koninkrijk. Koninklijk besluit van 16 februari 2006 betreffende de nood- en interventieplannen. Belgisch Staatsblad van 15 maart 2006;176(85):15407-14.

Belgisch Koninkrijk. Koninklijk besluit van 17 oktober 2003 tot vaststelling van het nucleair en radiologisch noodplan voor het belgische grondgebied. BS van 24 november 2003.

Belgisch Koninkrijk.. Koninklijk besluit van 31 januari 2003 tot vaststelling van het noodplan voor de crisisgebeurtenissen en –situaties die een coördinatie of een beheer op nationaal niveau vereisen. Belgisch Staatsblad 2003 februari 21;173(57):8619-26.

Belgisch Koninkrijk.Koninklijk besluit tot wijziging van het koninklijk besluit van 30 november 2011 houdende veiligheidsvoorschriften voor de kerninstallaties, voor wat

betreft de uitbreiding van het toepassingsgebied (19 december 2014). Belgisch Staatsblad 2015;185(22):6107-

Bromet EJ, Havenaar JM, Guey LT. A 25 year retrospective review of the psychological consequences of the Chernobyl accident. Clin Oncol (R Coll Radiol) 2011;23(4):297-305.

Bromet EJ. Emotional consequences of nuclear power plant disasters. Health Phys 2014;106(2):206-10

Bromet EJ. Lessons learned from radiation disasters. World Psychiatry 2011;10(2):83-4.

Brumfiel G. Fukushima: Fallout of fear. Nature 2013;493(7432):290-3.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. SSK -Strahlenschutzkommission. Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken. Bonn: Strahlenschutzkommission; 2014. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Internet:

http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2014/Planungsgebiete.pdf.

Burton I, Kliman M, Powell D, Schmidt L, Timmerman P, Victor P *et al.* The Mississauga Evacuation. Toronto, ON: Ministry of the Solicitor General; 1981. Final Report. Internet: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Diciembre2004/pdf/eng/doc4131/doc4131.htm>,

Cardis E, Krewski D, Boniol M, Drozdovitch V, Darby SC, Gilbert ES, et al. Estimates of the cancer burden in Europe from radioactive fallout from the Chernobyl accident. Int J Cancer 2006;119(6):1224-35.

Cardis E, Hatch M. The Chernobyl accident--an epidemiological perspective. Clin Oncol (R Coll Radiol) 2011;23(4):251-60.

Chisholm RF, Kasl SV, Dohrenwend BP, Dohrenwend BS, Warheit GJ, Goldstein RL, et al. Behavioral and mental health effects of the Three Mile Island accident on nuclear workers: a preliminary report. Ann N Y Acad Sci 1981;365:134-5.

Codex Alimentarius. Codex Guideline Levels for Radionuclides in Foods Contaminated Following a Nuclear or Radiological Emergency. Rome: Food and Agriculture Organization; 2011. Fact Sheet. Internet: <http://www.fao.org/crisis/27242-0bfef658358a6ed53980a5eb5c80685ef.pdf>

Covello V. Risk Communication – Linking Science with Society. Vienna: International Atomic Energy Agency. Presentation at the International Experts' Meeting on Radiation Protection after the Fukushima Daiichi Accident: Promoting Confidence and Understanding, Vienna; 2014. Internet: <http://www-pub.iaea.org/iaeametings/cn224Presentations.aspx>.

Craye M, Funtowicz S, van der Sluijs JP. A reflexive approach to dealing with uncertainties in environmental health risk science and policy. Int J Risk Assess Manag 2005;5(2-4):216-36.

FOD Binnenlandse Zaken; Crisiscentrum. Wetteren: 1 jaar later. Brussel; Crisiscentrum; 2014. Internet: <http://centredecrise.be/nl/news/crisisbeheer/wetteren-1-jaar-later>

FOD Binnenlandse Zaken; Crisiscentrum.. Leidraad crisiscommunicatie. Brussel: Crisiscentrum; 2007 juni. Internet: https://5052.fedimbo.belgium.be/sites/5052.fedimbo.belgium.be/files/leidraad_nl.pdf, accessed 16-12-2015.

de Groot E, Endedijk M, Jaarsma D, van Beukelen P, Simons R-J. Development of critically reflective dialogues in communities of health professionals. Adv Health Sci Educ 2013;18(4):627-43, doi:10.1007/s10459-012-9403-y.

De Kamer. Vergadering van de Commissie voor Binnenlandse Zaken, Algemene Zaken en Openbaar Ambt van woensdag 29 mei 2013 Voormiddag. Brussel ; 2013. Internet: <http://www.dekamer.be/doc/CCRI/pdf/53/ic761x.pdf>.

Demeulemeester S, Eerdeken E. Jan Briers kop van Jut na giframp in Wetteren. Knackbe. 2013. Internet: <http://www.knack.be/nieuws/belgie/jan-briers-kop-van-jut-na-giframp-in-wetteren/article-normal-94522.html>

Dew MA, Bromet EJ, Schulberg HC, Dunn LO, Parkinson DK. Mental health effects of the Three Mile Island nuclear reactor restart. Am J Psychiatry 1987;144(8):1074-7.

Duplat G. Nucléaire: Chooz arrêté en 1991. Le Soir. 1989 juin 9. Internet: http://archives.lesoir.be/nucleaire-chooz-arrete-en-1991_t-19890609-Z01Q3Z.html.

EC – European Commission. Working Party on Research Implications on Health and Safety Standards of the Article 31 Group of Experts. Recent scientific findings and publications on the health effects of Chernobyl. Brussels: European Commission; 2011. Radiation Protection No 170. Summary report. Internet: <http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/170.pdf>

Eggermont G. Nucleaire veiligheid en rampenplanning historisch herbekeken. Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming 2013;38(1):33-78.

Elliott J, Heesterbeek S, Luykensmeyer CJ, Slocum N, Steyaert S, Lisoir H, editors. Participatieve methoden. Een gids voor gebruikers. Brussel: King Baudouin Foundation and the Flemish Institute for Science and Technology Assessment (viWTA); 2006. Internet: http://www.demos.be/sites/default/files/pub_1599_participatieve_methoden.pdf

ENCO. Review of Current Off-site Nuclear Emergency Preparedness and Response Arrangements in EU Member States and Neighbouring Countries. Vienna, Austria / Rez, Czech Republic: ENCO / UJV; 2013. ENER/D1/2012-474, Final Report. Internet: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_nep_epr_review_2012-474_main_0.pdf

ENSREG. The role of ENSREG: European Nuclear Safety Regulators Group; 2015. Internet: <http://www.ensreg.eu/members-glance/role-ensreg>

Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung. Deutschlands Energiewende – Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft. Berlin: Die Bundesregierung; 2011. Internet: <http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/Anlagen/2011/07/2011-07-28-abschlussbericht-ethikkommission.pdf>

EU – Europese Unie. Uitvoeringsverordening Nr. 351/2011 van de Commissie van 11 april 2011 tot wijziging van Verordening nr. 297/2011 tot vaststelling van bijzondere voorwaarden voor levensmiddelen en diervoeders van oorsprong uit of verzonden vanuit Japan in verband met het ongeval in de kerncentrale van Fukushima. Publicatieblad van de Europese Unie van 12 april 2011;L97:20-3.

EU – Europese Unie. Europese Raad. Conclusies van de Europese Raad, van 24/25 maart 2011. Brussel: Europese Raad; 2011.
Document EUCO 10/1/11 REV 1. Internet: http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/nl/ec/120299.pdf.

EU – Europese Unie. Richtlijn 2014/87/Euratom van de Raad van 8 juli 2014 houdende wijziging van Richtlijn 2009/71/Euratom tot vaststelling van een communautair kader voor de nucleaire veiligheid van kerninstallaties. Publicatieblad van de Europese Unie 2014;L219:42-52.

EU – Europese Unie. Richtlijn 2009/71/Euratom van de Raad van 25 juni 2009 tot vaststelling van een communautair kader voor de nucleaire veiligheid van kerninstallaties. Publicatieblad van de Europese Unie 2009;L172(2.7.2009):18-22.

EU – Europese Unie. Richtlijn 2013/59/Euratom van de Raad van 5 december 2013 tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming tegen de gevaren verbonden aan de blootstelling aan ioniserende straling, en houdende intrekking van de Richtlijnen 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom en 2003/122/Euratom. Publicatieblad van de Europese Unie 2014;L13(17.1.2014):1-73.

EU– Europese Unie. The Euratom Treaty: Consolidated Version; 2010. Internet: http://europa.eu/eu-law/decision-making/treaties/pdf/consolidated_version_of_the_treaty_establishing_the_european_atomic_energy_community/consolidated_version_of_the_treaty_establishing_the_european_atomic_energy_community_en.pdf.

EU – Europese Unie. Verordening (Euratom) Nr. 3954/87 van de Raad van 22 december 1987 tot vaststelling van maximaal toelaatbare niveaus van radioactieve besmetting van levensmiddelen en diervoeders ten gevolge van een nucleair ongeval of ander stralingsgevaar. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen 1987;L371(30.12.1987):11-3.

EU – Europese Unie. Verordening (Euratom) Nr. 944/89 van de Commissie van 12 april 1989 tot vaststelling van maximaal toelaatbare niveaus van radioactieve besmetting in minder belangrijke levensmiddelen na een nucleair ongeval of ander stralingsgevaar. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen 1989;L101(13.4.1989):17-8.

EU – Europese Unie. Verordening (Euratom) Nr. 2218/89 van de Raad van 18 juli 1989 tot wijziging van Verordening (Euratom) nr. 3954/87 tot vaststelling van maximaal toelaatbare niveaus van radioactieve besmetting van levensmiddelen en diervoeders

ten gevolge van een nucleair ongeval of ander stralingsgevaar. Publikatieblad van de Europese Gemeenschappen 1989;L211(22.7.1989):1-3.

FANC - Federaal Agentschap voor de Nucleaire Controle. Heropstart Doel 4: FANC legt bijkomende veiligheids- en beveiligingsmaatregelen op aan alle Belgische kerncentrales. Brussel: FANC; 2014. Internet: <http://www.fanc.fgov.be/nl/news/heropstart-doel-4-fanc-legt-bijkomende-veiligheids-en-beveiligingsmaatregelen-op-aan-alle-belgische-kerncentrales/727.aspx>

FANC - Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle. "Belgian Stress tests" specifications Applicable to power reactors. Brussel: FANC; 2011. Internet: <http://www.fanc.be/GED/00000000/2800/2847.pdf>.

FANC - Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle. National progress report on the stress tests of nuclear power plants. Brussel: 2014. Internet: <http://www.fanc.be/GED/00000000/3500/3597.pdf>

Farrell TB, Goodnight GT. Accidental rhetoric: The root metaphors of three mile Island. Commun Monogr 1981;48(4):271-300.

FANC – Federal Agency for Nuclear Control. Radiological incident at IRE. Brussel; 2008. Internet: <http://www.fanc.be/nl/page/radiological-incident-at-ire/827.aspx>

FANC – Federal Agency for Nuclear Control. Belgische weerstandstests: Nationaal rapport voor de kerncentrales. Brussel: 2011. Internet: <http://www.fanc.be/GED/00000000/3000/3008.pdf>.

FANC – Federal Agency for Nuclear Control. Interventierichtwaarden voor radiologische noodsituaties. Brussel; 2003. Internet: <http://www.fanc.be/nl/page/interventierichtwaarden-voor-radiologische-noodsituaties/299.aspx>

Fitzpatrick-Lewis D, Yost J, Ciliska D, Krishnaratne S. Communication about environmental health risks: A systematic review. Environ Health 2010;9(1):67, doi:10.1186/1476-069X-9-67.

FOD Binnenlandse Zaken. Noodplanning en crisisbeheer in België. Brussel: Algemene Directie Crisiscentrum; 2013. Internet: <http://crisiscentrum.be/nl/publication/noodplanning-en-crisisbeheer-belgie>

FOD Economie. Federaal Openbare Dienst Economie. Middenstand en Energie; 2011. Internet: http://economie.fgov.be/nl/consument/Energie/Nucleaire/kerncentrales/Productiepark_kerncentrales/#.VGOKMmotAqM.

FOD Economie. Kerncijfers: statistisch overzicht van België. Brussel: 2013. Internet: http://economie.fgov.be/nl/binaries/NL_kerncijfers_2013bis_tcm325-233791.pdf

Fukushima nuclear crisis estimated to cost ¥11 trillion: study. The Japan Times. 2014 August 27. Internet: <http://www.japantimes.co.jp/news/2014/08/27/national/fukushima-nuclear-crisis-estimated-to-cost-%C2%A511-trillion-study/#.VkNnuTZdHic>.

Gallego E. The European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery: The NERIS Platform. Hayama, Kanagawa,, Japan: Institute for Global Environmental Strategies; 2012. Presentation at FAIRDO Working Session, Fukushima University, 19th July, 2012. Internet: http://www.iges.or.jp/jp/archive/pmo/pdf/20120719/S3_Gallego.pdf

Garric A. Au cœur d'une centrale en démantèlement. Le Monde. 2012 mars 5. Internet: http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/03/05/au-c-ur-d-une-centrale-en-demantelement_1648096_3244.html

Gillon L. L'Accident de Tchernobyl. Louvain-la-Neuve: UCL; 1986.

Girard P, Hériard Dubreul G. Conséquences sociales et psychiques de l'accident de Tchernobyl: La situation en Ukraine, sept ans après l'accident. Parijs: Mutadis Consultants. Rapport Mutadis 93/JSP 2/PG/GHD/003. Internet: http://www.mutadis.org/images/stories/pdf/rapport_jsp2_ukraine.pdf.

Government of Japan. Roadmap towards Settlement of the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, TEPCO: Step 2 Completion Report. Tokyo: Nuclear Emergency Response Headquarters Government-TEPCO Integrated Response Office; 2011. Internet: http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11_e/images/111216e4.pdf

Groeneweg J. Controlling the controllable. The management of safety [PhD-thesis]. Leiden: DSWO Press;1992.

GR - Gezondheidsraad. Commissie Herbezinning kernenergie. Herbezinning kernenergie. Risicoanalyse, menselijk handelen, interventiewaarden. Den Haag: GR; 1989. Publicatie nr 1989/13.

GR – Gezondheidsraad. Prudent precaution. The Hague: Gezondheidsraad; 2008. Publicatie no. 2008/18E. Internet: <http://www.gezondheidsraad.nl/en/publications/gezonde-leefomgeving/prudent-precaution>.

GR – Gezondheidsraad. Commissie Risicomaten en risicobeoordeling. Risico, meer dan een getal. Den Haag: Gezondheidsraad; 1996. Publicatie nr 1996/03. Internet: <http://www.gezondheidsraad.nl/nl/taak-werkwijze/werkterrein/gezonde-leefomgeving/risico-meer-dan-een-getal>

Gulati R, Casto C, Kroutiris C. How the Other Fukushima Plant Survived. Harvard Bus Rev. 2014. Internet: <https://hbr.org/2014/07/how-the-other-fukushima-plant-survived>.

Haataja M, Hyvärinen J, Laajalahti A. Citizens' Communication Habits and Use of ICTs During Crises and Emergencies. Human Technol 2014;10(2):138-52.

Hage M, Leroy P. Stakeholder Participation Guidance for the Netherlands Environmental Assessment Agency: Main Document. Bilthoven/Nijmegen: Netherlands Environmental Assessment Agency/Radboud University Nijmegen; 2008. MNP-publicatienummer 550032007. Internet: http://www.pbl.nl/en/publications/2008/StakeholderParticipationGuidancefortheNetherlandsEnvironmentalAssessmentAgency_MainDocument.html

- Hassel H. Risk and vulnerability analysis in practice: evaluation of analyses conducted in Swedish municipalities. *Nat Hazards* 2012;63(2):605-28.
- Hatch MC, Beyea J, Nieves JW, Susser M. Cancer near the Three Mile Island nuclear plant: radiation emissions. *Am J Epidemiol* 1990;132(3):397-412.
- Hatch MC, Wallenstein S, Beyea J, Nieves JW, Susser M. Cancer rates after the Three Mile Island nuclear accident and proximity of residence to the plant. *Am J Public Health* 1991;81(6):719-24.
- Hatch M, Susser M, Beyea J. Comments on "A reevaluation of cancer incidence near the Three Mile Island nuclear plant". *Environ Health Perspect* 1997;105(1):12.
- Havenaar JM, Cwikel JG, Bromet EJ, Meichenbaum D, editor. *Toxic Turmoil. Psychological and Societal Consequences of Ecological Disasters*. New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers; 2002; The Plenum Series on Stress and Coping. ISBN 0-306-46784-4.
- Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Geneva: World Health Organization; 2006. Report of UN Chernobyl Forum Expert Group 'Health'. Internet: http://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/assessment_mitigation/en/
- Hemmi A, Graham I. Hacker science versus closed science: building environmental monitoring infrastructure. *Info Commun Soc* 2014;17(7):830-42, doi:10.1080/1369118x.2013.848918.
- HERCA, WENRA. Heads of the European Radiological protection Competent Authorities – Western European Nuclear Regulators. Approach for a better cross-border coordination of protective actions during the early phase of a nuclear accident. Stockholm: 2014. Internet: <http://www.asn.fr/Informer/Actualites/HERCA-et-WENRA-proposent-une-approche-europeenne-pour-la-gestion-des-situations-d-urgence-nucleaire>.
- HGR - Hoge Gezondheidsraad. Dringend advies ingevolge het treinongeval in Wetteren met betrekking tot blootstelling aan toxische stoffen. Brussel: HGR; 2013. Publicatie nr. 8939. Internet: <http://www.health.belgium.be/internet2Prd/groups/public/@public/@shc/documents/e2divers/19090315.pdf>
- HGR - Hoge Gezondheidsraad. Evaluatie van de stijgende stralingsblootstelling van patiënten door *Computed Tomography* (CT) en optimalisatie van de stralingsbescherming. Brussel: HGR; 2006. Publicatie No 8080. Internet: http://www.health.belgium.be/internet2Prd/groups/public/@public/@shc/documents/e2divers/10820441_nl.pdf
- HGR – Hoge Gezondheidsraad. Nucleaire ongevallen, leefmilieu en gezondheid in het post-Fukushima tijdperk. Deel: Bescherming van de schildklier. Brussel; 2015 No 9275.
- Hogberg L. Root causes and impacts of severe accidents at large nuclear power plants. *Ambio* 2013;42(3):267-84.

Holt E. Debate over health effects of Chernobyl re-ignited. *Lancet* 2010;375(9724):1424-5.

Houts PS, Tokuhata GK, Bratz J, Bartholomew MJ, Sheffer KW. Effect of pregnancy during TMI crisis on mothers' mental health and their child's development. *Am J Public Health* 1991;81(3):384-6.

Hug M. Un siècle d'énergie nucléaire. Académie des technologies; 2009.

IAEA. IAEA Safety Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2007. 2007 Edition. Internet: http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1290_web.pdf.

IAEA - International Atomic Energy Agency. Developing Safety Culture In Nuclear Activities - Practical Suggestions to Assist Progress. Vienna: IAEA 1998. Safety Reports Series 11. Internet: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P064_scr.pdf.

IAEA – International Atomic Energy Agency. Mission Report: IAEA International Peer Review Mission on Mid-and-Long-Term 1 Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4 (Third Mission), Tokyo and Fukushima Prefecture, Japan, 9–17 February 2015. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2015. Internet: <https://www.iaea.org/sites/default/files/misionreport130515.pdf>.

IAEA - International Atomic Energy Agency. International Nuclear Safety Advisory Group. Safety Culture. Vienna: IAEA; 1991. Safety Series No. 75-INSAG-4. Internet: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub882_web.pdf

IARC. Agenda for Research on Chernobyl Health (ARCH): Project Proposals for Urgent Priorities. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer; 2010. Deliverable 1 of the ARCH-project of the EU FP7 programme. Internet: <http://arch.iarc.fr/documents/index.php>.

ICRP – International Commission on Radiological Protection. Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas After a Nuclear Accident or a Radiation Emergency. ICRP Publication 111. *Ann ICRP* 2009;39(3):1-70, doi:10.1016/j.icrp.2011.08.009.

ICRP - International Commission on Radiological Protection. Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. ICRP Publication 109. *Ann ICRP* 2009;39(1):37-110, doi:10.1016/j.icrp.2011.08.009.

ICRP - International Commission on Radiological Protection. ICRP Dialogue Initiative. Ottawa; 2015. Internet: <http://www.icrp.org/page.asp?id=189>.

ICANPS - The Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company. Final Report on the Accident at Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power

Company - Recommendations. Tokyo: Investigation Committee on the Accident at Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company; 2012. Internet: <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/eng/final-report.html>.

INES - The International Nuclear Event Scale. Vienna; 2008. Internet: <http://www.iaea.org/sites/default/files/ines.pdf>.

INSAG – International Nuclear Safety Advisory Group. INSAG-7 The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1. Vienna: International Atomic Energy Agency; 1992. Safety Series No. 75-INSAG-7. Internet: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub913e_web.pdf.

IPCS - International Programme on Chemical Safety . Acrylonitrile. Geneva: International Programme on Chemical Safety; 2001. Internet: http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=en&p_card_id=0092.

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Examen de la méthode d'analyse coût-bénéfice pour la sûreté. Rapport DSR No 157 (annexes). Fontenay-aux-Roses Cedex, France; 2013.. Internet: http://www.irsn.fr/fr/actualites_presse/actualites/pages/20130326_etude-irsn-2007-cout-accidents_nucleaires.aspx#.VB8yQ_I_tlw.

IRSN. Les conséquences sanitaires de l'accident de Fukushima. Situation des travailleurs impliqués dans les opérations menées à la centrale nucléaire de Fukushima Dai-ichi. Point de la situation en mars 2015. Fontenay-aux-Roses Cedex, France;; 2015. Internet: http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-2014/Pages/consequences-sanitaires-accident-fukushima-en-2014.aspx#.VnFYal-cHic

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Estimation des doses potentiellement reçues par la population japonaise. Point de la situation en décembre 2013. Fontenay-aux-Roses Cedex, France: 2013. Fukushima en 2014: Les conséquences sanitaires de l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi - note d'information; 2014. Internet: http://www.irsn.fr/fr/connaissances/installations_nucleaires/les-accidents-nucleaires/accident_fukushima-2011/fukushima-2014/pages/consequences-sanitaires-accident-fukushima-en-2014.aspx#.VALTkvl_tlw.

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Accident nucléaire de FUKUSHIMA Daiichi. Point de la situation en mars 2015. Fontenay-aux-Roses Cedex, France: 2015. Internet: http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-2015/Documents/IRSN_fukushima_point_installations_201503.pdf

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Actualisation des connaissances relatives à l'évolution de la pollution radioactive de l'eau de mer, des 23 sédiments marins et des espèces marines issue du site nucléaire accidenté de Fukushima Daiichi ; 2015. Internet: http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-2015/Documents/IRSN_Fukushima_10_milieu-marin_201503.pdf

IRSN - Institut de Radioprotection. Accident de la centrale nucléaire Fukushima Dai-ichi. Décontamination et gestion des déchets. Point de la situation en mars 2015; 2015.

Investigation Committee on the Accident at Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company. Interim Report on the Accident at Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company - Recommendations. Tokyo: Investigation Committee on the Accident at Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company; 2011. Internet: <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/eng/interim-report.html>.

Jaeger CC, Renn O, Rosa EA, Webler T. Risk, Uncertainty, and Rational Action. London: Earthscan Publications Ltd.; 2001. ISBN 1 85383 770 9.

Janzekovic H, Stritar A, Duai DS, Tkavc M, Nemec BV. Development of the Post-Accident Strategy after the Nuclear or Radiological Accident. Ljubljana, Slovenia: Nuclear Society of Slovenia. Presentation at the 23rd International Conference Nuclear Energy for a New Europe, Portoroz, Slovenia; 2014. Internet: <http://www.nss.si/nene2014/downloads.html>.

Jasanoff S. Technologies of humility. Nature 2007;450(7166):33.

JNSI- Japan Nuclear Safety Institute. TEPCO Fukushima Daini Nuclear Power Station Research on the status of response to the Tohoku-Pacific Ocean Earthquake and Tsunami and Lessons learned therefrom (Proposals). Tokyo:JNSI; 2012. Internet: http://www.genanshin.jp/report/data/F2jiko_Report.pdf.

Jones S. Windscale and Kyshtym: a double anniversary. J Environ Radioact 2008;99(1):1-6.

Jourdain J-R, Etherington G. Fukushima Worker Dose Assessment: Lessons Learnt. European Commission. Presentation at the EU Scientific Seminar 2014 Fukushima - Lessons learned and issues, Luxembourg; 2014. Internet: http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/seminars/scientific_seminar_en.htm.

Kai M. Experience and current issues with recovery management from the Fukushima accident. Ann ICRP 2015 June 1, 2015;44(1 suppl):153-61, doi:10.1177/0146645315572292.

Laes E, Chayapathi L, Meskens G, Eggermont G. Kernenergie (on)besproken. Leuven, België: Acco; 2007. ISBN: 978-90-334-6659-5.

Laes E, Chayapathi L, Meskens G, Eggermont G. Kernenergie en Maatschappelijk Debat. Brussel: Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek (viWTA); 2004. Internet: <http://docplayer.nl/489509-ViWta-kernenergie-en-maatschappelijk-debat-studie-in-opdracht-van-het-viWta-samenleving-en-technologie.html>.

Laes E, Eggermont G, Bombaerts G. A risk governance approach for high-level waste in Belgium: A process appraisal. Gothenburg, Sweden: University of Gothenburg; 2009. Paper presented at the Managing Radioactive Waste Problems and Challenges in a Globalizing World conference, Gothenburg, December 15-17, 2009. Internet: http://www.gu.se/digitalAssets/1292/1292026_Laes_paper.pdf

- Lagadec P. La Force de réflexion rapide – Aide au pilotage des crises. *Préventique-Sécurité* 2010;112(Juillet-Août):31-5.
- Lagadec P. A new cosmology of risks and crises: time for a radical shift in paradigm and practice. Palaiseau Cedex, France: École polytechnique CNRS; 2008. Cahier n° 2008-08. Internet: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00338386/document>
- Lalonde C. Managing crises through organisational development: a conceptual framework. *Disasters* 2011;35(2):443-64.
- Laramée de Tanneberg V. Electricité: les Belges peuvent préparer leurs bougies pour
- Lecomte J-F, Charron S, Schneider T, Croüail P, Lafage S. Gestion des produits alimentaires locaux. Fontenay-aux-Roses Cedex, France: Société française de radioprotection; 2015. Présentation à la manifestation 'Fukushima, 4 ans après', Paris 2015. Internet: <http://www.sfrp.asso.fr/spip.php?article464>
- Legassov V. «Le testament» de Valeri Alexeevitch Legassov [traduction Association Suisse Pour l'Energie Atomique]. *La Pravda*. 1988. Internet: http://www.dissident-media.org/infonucleaire/testament_legassov.html.
- Lévêque F. Nucléaire On/Off. Paris: Dunod; 2013. ISBN 9782100705108.
- Levin RJ, De Simone NF, Slotkin JF, Henson BL. Incidence of thyroid cancer surrounding three mile island nuclear facility: The 30-year follow-up. *The Laryngoscope* 2013;123(8):2064-71, doi:10.1002/lary.23953.
- Lewis HW, Budnitz RJ, Castleman AW, Dorfman DE, Finlayson FC, Garwin RL *et al.* Report to the American Physical Society by the study group on light-water reactor safety. *Rev Mod Phys* 1975;47(15 1):S1-S124 (IOS2976).
- Liland A, Lochard J, Skuterud L. How long is long-term? Reflections based on over 20 years of post-Chernobyl management in Norway. *J Environ Radioact* 2009;100(7):581-4.
- Lindell MK, Perry RW. The Protective Action Decision Model: Theoretical Modifications and Additional Evidence. *Risk Anal* 2012;32(4):616-32, doi:10.1111/j.1539-6924.2011.01647.x.
- Locke PA. Communication of radiation benefits and risks in decision making: some lessons learned. *Health Phys* 2011;101(5):626-9, doi:10.1097/HP.0b013e3182299539.
- Marris C. Public views on GMOs: deconstructing the myths. Stakeholders in the GMO debate often describe public opinion as irrational. But do they really understand the public? [viewpoint]. *EMBO reports* 2001;2(7):545-8.
- Mayhorn CB, McLaughlin AC. Warning the world of extreme events: A global perspective on risk communication for natural and technological disaster. *Saf Sci* 2014;61:43-50, doi:10.1016/j.ssci.2012.04.014.

McKenna T, Welter PV, Callen J, Martincic R, Dodd B, Kutkov V. Tools for placing the radiological health hazard in perspective following a severe emergency at a light water reactor (LWR) or its spent fuel pool. *Health Phys* 2015;108(1):15-31.

Mesmer P. La pègre japonaise fait son miel de l'après-Fukushima. *Le Monde*; 2014..
Internet: http://www.lemonde.fr/japon/article/2013/02/04/la-pegre-japonaise-fait-son-miel-de-l-apres-fukushima_1826617_1492975.html.

Mileti DS, Peek L. The social psychology of public response to warnings of a nuclear power plant accident. *J Hazard Mater* 2000;75(2-3):181-94, doi:10.1016/S0304-3894(00)00179-5.

Mould RF. *Chernobyl Record: The Definitive History of the Chernobyl Catastrophe*. CRC Press; 2000. ISBN 9780750306706.

Moynihan DP. *The Response to Hurricane Katrina*. Geneva: International Risk Governance Council; 2009. Internet: http://irgc.org/wp-content/uploads/2012/04/Hurricane_Katrina_full_case_study_web.pdf

NAIIC – The National Diet of Japan Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission. *Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission. The official report of The Fukushima 5 Nuclear Accident Independent Investigation Commission*. Tokyo: The National Diet of Japan; 2012.
Internet: <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naaic.go.jp/en/report/>

NAS – NRC. National Academy of Science - National Research Council. Committee on Lessons Learned from the Fukushima Nuclear Accident for Improving Safety and Security of U.S. Nuclear Plants. *Lessons Learned from the Fukushima Nuclear Accident for Improving Safety of U.S. Nuclear Plants*. Washington, DC: The National Academies Press; 2014. Internet: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=18294.

Nauman J, Wolff J. Iodide prophylaxis in Poland after the Chernobyl reactor accident: benefits and risks. *Am J Med* 1993;94(5):524-32.

NCRP - National Council on Radiation Protection and Measurements. *Protection of the Thyroid Gland in the Event of Releases of Radioiodine*. Bethesda, MD, USA.; 1977. NCRP Report No 055.

NEA - Nuclear Energy Agency. *Short-term Countermeasures in Case of a Nuclear or Radiological Emergency*. Paris:NEA, OECD; 2003. Internet: <http://www.oecd-nea.org/rp/reports/2003/nea3600-short-term.pdf>,

NERIS - European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery. *Strategic Research Agenda of the NERIS Platform*. Fontenay-aux-Roses, France: NERIS - c/o CEPN Version 2 (Draft04); 2014
Internet: <http://www.euneris.net/index.php/library/root/document/strategic-research-agenda-of-the-neris-platform-v2.html>.

Ng K-H, Lean M-L. The Fukushima Nuclear Crisis Reemphasizes the Need for Improved Risk Communication and Better Use of Social Media. *Health Phys* 2012;103(3):307-10.

- NIRAS. Het Masterplan. Het cAt-project in Dessel. Brussel: 2010. Rapport NIROND 2010-02. Internet: <http://www.niras-cat.be/nl/getpage.php?i=24>.
- Pascal A. La population autour des sites nucléaires français : un paramètre déterminant pour la gestion de crise et l'analyse économique des accidents nucléaires. Radioprotection 2012;47(1):13-31, doi:10.1051/radiopro/2011150.
- Perko T. Modelling Risk Perception and Risk Communication in Nuclear Emergency Management: An Interdisciplinary Approach [PhD thesis]: Universiteit Antwerpen; 2012. Internet: <http://uahost.uantwerpen.be/m2p/publications/1358880649.pdf>.
- Perko T, Thijssen P, Turcanu C, Van Gorp B. Insights into the reception and acceptance of risk messages nuclear emergency communication. J Risk Res 2014;17(9):1207-32.
- Perko T. Modelling Risk Perception and Risk Communication in Nuclear Emergency Management: An Interdisciplinary Approach [PhD thesis]. Antwerpen: Universiteit Antwerpen; 2012. Internet: <http://uahost.uantwerpen.be/m2p/publications/1358880649.pdf>
- Perko T. Importance of risk communication during and after a nuclear accident. Integr Environ Assess Manag 2011;7(3):388-92, doi:10.1002/ieam.230.
- Perko T, Zeleznik N, Turcanu C, Thijssen P. Is knowledge important? Empirical research on nuclear risk communication in two countries. Health Phys 2012;102(6):614-25.
- Perry RW, Lindell MK. Preparedness for Emergency Response: Guidelines for the Emergency Planning Process. Disasters 2003;27(4):336-50.
- Perry RW, Lindell MK. Understanding Citizen Response to Disasters with Implications for Terrorism. J Conting Crisis Manage 2003;11(2):49-60.
- Pietersen C. Tripod analyse treinramp Wetteren; 2015. Internet: <http://veiligheidsvisie.com/2015/01/10/tripod-analyse-treinramp-wetteren/>
- Proceedings of the 18th Prefectural Oversight Committee Meeting for Fukushima Health Management Survey. Fukushima, Japan: Fukushima Medical University, Radiation Medical Science Center for the Fukushima Health Management Survey; 2015 February 12. Survey results. Internet: <http://fmu-global.jp/survey/proceedings-of-the-18th-prefectural-oversight-committee-meeting-for-fukushima-health-management-survey/>
- Rainer K, Grubmüller V, Pejic I, Götsch K, Leitner P. Social Media Applications in Crisis Interaction. Systems Connecting matter, life, culture and technology 2013;1(1).
- Rasmussen NC. Reactor Safety Study. An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants. Washington, DC: US Nuclear Regulatory Commission. Report WASH-1400 (NUREG 75/014); 1974. Internet: <http://teams.epri.com/PRA/Big%20List%20of%20PRA%20Documents/WASH-1400/02-Main%20Report.pdf>. <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0706/ML070610293.pdf>.
- Reason J. Human error: models and management. BMJ 2000;320(7237):768-70.

Reason J. The Chernobyl errors. Bull Brit Psychol Soc 1987;40:201-6.

Reconstruction Agency. The Process and Prospects for Reconstruction. Tokyo: Government of Japan, Reconstruction Agency; 2014. Internet: http://www.reconstruction.go.jp/english/topics/Progress_to_date/index.html.

Reconstruction Agency. Current Status and Path Toward Reconstruction. Tokyo: Government of Japan, Reconstruction Agency; 2013. Internet: http://www.reconstruction.go.jp/english/130528_CurrentStatus_PathToward_FINAL.pdf.

Renn O. White paper on risk governance. Towards an integrative approach. Geneva, Switzerland: International Risk Governance Council; 2005. White paper no. 1. Internet: http://www.irgc.org/IMG/pdf/IRGC_WP_No_1_Risk_Governance_reprinted_version.pdf.

Reich MR, Goto A. Towards long-term responses in Fukushima. Lancet 2015;386(9992):498-500, doi:10.1016/S0140-6736(15)61030-3.

Rosa EA. Metatheoretical foundations for post-normal risk. J Risk Res 1998;1(1):15-44.

Shrader-Frechette KS. Evaluating the expertise of experts. Risk Health, Safety & Environment 1995;6:115-26.

Silva CL, Jenkins-Smith HC, Barke RP. Reconciling Scientists' Beliefs about Radiation Risks and Social Norms: Explaining Preferred Radiation Protection Standards. Risk Anal 2007;27(3):755-73.

Slovic P. Trust, Emotion, Sex, Politics, and Science: Surveying the Risk-Assessment Battlefield. Risk Anal 1999;19(4):689-701.

Slovic P. Perception of risk. In: The perception of risk. London: Earthscan Publications; 2000; Risk society and policy series. p. 220-31.

Slovic P. The perception gap: Radiation and risk. Bull Atom Sci 2012;68(3):67-75, doi:10.1177/0096340212444870.

Svendsen ER, Kolpakov IE, Stepanova YI, Vdovenko VY, Naboka MV, Mousseau TA *et al.* 137-Cesium exposure and spirometry measures in Ukrainian children affected by the Chernobyl nuclear incident. Environ Health Perspect 2010;118(5):720-5, doi:10.1289/ehp.0901412.

Stirling A. On science and precaution in the management of technological risk. Volume I. A synthesis report of case studies. Brussel: EC, Joint Research Centre; 1999. Report EUR No: EUR 19056/EN. Internet: <http://ftp.jrc.es/EURdoc/eur19056en.pdf>,

The Chernobyl Forum. Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and 2 Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine (and second 3 revised edition). Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency; 2005. Internet: <http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Chernobyl/chernobyl.pdf>

Turcanu C, Carlé B, Paridaens J, Hardeman F. On the constructive role of multi-criteria analysis in complex decision-making: An application in radiological emergency management In: Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications, Valencia, Spain, 22-25 September 2008. Boca Raton, FL, USA: CRC Press; 2008

Turcanu C, Perko T. The SCK•CEN Barometer 2013: Perceptions and attitudes towards nuclear technologies in the Belgian population. Mol, België: SCK.CEN; 2014. Open Report SCK•CEN-BLG-1097. Internet: http://publications.sckcen.be/dspace/bitstream/10038/8284/1/blg_report_barometer2013_3_0r.pdf

Thompson PB, Dean WR. Competing conceptions of risk. Risk Health, Safety & Environment 1996;7(4):361-84.
TRIPOD Incident Analyse: Overzicht onderzoeksproces en TRIPOD methode. Apeldoorn, Netherlands: Safety Solutions Consultants BV; 2014. Internet: <http://www.tripodincidentanalyse.nl/download/start/file/121176>.

Tsuda T, Tokinobu A, Yamamoto E, Suzuki E. Thyroid Cancer Detection by Ultrasound Among Residents Ages 18 Years and Younger in Fukushima, Japan: 2011 to 2014. Epidemiology 2015; Pre-publication.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Ionizing radiation: sources and biological effects. UNSCEAR 1982 report to the General Assembly, with annexes. New York United Nations; 1982. Internet: <http://www.unscear.org/unscear/en/publications/1982.htm>.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2013 Report. New York: United Nations. Volume I, Report to the General Assembly, Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami; 2014. Internet: <http://www.unscear.org/unscear/en/publications.htm>

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Ionizing radiation. Report to the General Assembly with scientific annexes. New York: United Nations 2011;2(D): Health effects due to radiation from the Chernobyl accident. Internet: http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076_Report_2008_Annex_D.pdf.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Annex J. Exposures and effects of the Chernobyl accident. In: Sources and Effects of Ionizing Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with scientific annexes. New York: United Nations; 2000. Internet: http://www.unscear.org/unscear/publications/2000_2.html.

U.S. Government. Report of The President's Commission on the Accident at Three Mile Island; 1979. Internet: <http://www.threemileisland.org/downloads/188.pdf>.

US General Accounting Office. Three Mile Island: The Most Studied Nuclear Accident in History. 1980. Internet: <http://www.gao.gov/products/EMD-80-109>.

US House of Representatives. Select Bipartisan Committee to Investigate the Preparation for and Response to Hurricane Katrina. The Final Report : A Failure of Initiative. Washington, DC: ; 2006. Internet: <http://www.katrina.house.gov/>

US Senate. Committee on Homeland Security and Governmental Affairs. Hurricane Katrina: A Nation Still Unprepared. Washington, DC; 2006. Internet: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CRPT-109srpt322/pdf/CRPT-109srpt322.pdf>

Van Aeken K, Turcanu C, Bombaerts G, Carlé B, Hardeman F. Risk perception of the Belgian population Results of the public opinion survey in 2006. Mol, België: SCK.CEN; 2007. Scientific Report SCK•CEN-BLG-1038. Internet: http://publications.sckcen.be/dspace/bitstream/10038/660/1/blg_1038_barometer_2006.pdf

van Asselt MBA. Perspectives on Uncertainty and Risk. The PRIMA Approach to Decision Support [thesis Universiteit Maastricht]. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 2000. ISBN 0-7923-6656-5.

Van de Acker W. Wetteren: een trein ontspoord. Brussel: Departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse Overheid; 2013. Internet: http://www.beswic.be/nl/news_board/trein_wetteren.pdf/view?searchterm=wetteren.

Vlek CAJ. A multi-level, multi-stage and multi-attribute perspective on risk assessment, decision-making and risk control. Risk Decision Policy 1996;1(1):9-31.

Vlek C, Stallen PJ. Rational and personal aspects of risk. Acta Psychologica 1980;45(1-3):273-300.

Wagenaar WA, Groeneweg J. Accidents at sea: multiple causes and impossible consequences. Int J Man Mach Stud 1987;27:587-98.

Wagenaar WA, Hudson PTW, Reason JT. Cognitive failures and accidents. Applied Cognitive Psychology 1990;4(4):273-94.

Wakeford R. The silver anniversary of the Chernobyl accident. Where are we now? J Radiol Prot 2011;31(1):1.

WANO. Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture. London: World Association of Nuclear Operators; 2013. WANO PL 2013-1. Internet: <http://www.wano.info/Documents/PL%202013-01%20Traits%20of%20a%20Healthy%20Safety%20Culture.pdf>

Wang Q, Chen X, Yi-chong X. Accident like the Fukushima unlikely in a country with effective nuclear regulation: Literature review and proposed guidelines. Renew Sust Energy Rev 2013;17:126-46. Internet: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.012>

Westerlind M, Andersson K. RISCOP II – Enhancing Transparency and Public Participation in Nuclear Waste Management: Euratom 6th Framework Programme; 2004. Presentation at Euradwaste '04, Luxembourg;2004. Internet: http://cordis.europa.eu/fp6- Euratom/ev_euradwaste04_proceedings.htm

Westtoer. Trendrapport KITS Kust 2005-2010. Brugge: Westtoer; 2011. Internet: <http://www.toerismevlaanderen.be/publicaties/trendrapport-kits-kust-2005-2010>.

WHO – World Health Organisation. Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation. Geneva; 2013. Internet:

http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/fukushima_risk_assessment_2013/en/.

WHO Europe- World Health Organisation. Health Aspects of Air Pollution - answers to follow-up questions from CAFE. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2004. Report on a WHO working group meeting Bonn, Germany, 15–16 January 2004. Internet: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/health-aspects-of-air-pollution-answers-to-follow-up-questions-from-cafe>

Wing S, Richardson D, Armstrong D, Crawford-Brown D. A reevaluation of cancer incidence near the Three Mile Island nuclear plant: the collision of evidence and assumptions. *Environ Health Perspect* 1997;105(1):52-7.

Wing S, Richardson D, Armstrong D. Response: Science, public health, and objectivity: research into the accident at Three Mile Island. *Environ Health Perspect* 1997;105(6):567-70.

WIV-ISP- Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid . Epidemiologische analyse van de blootstelling aan acrylnitril. Brussel ; 2013. Internet: <https://www.wiv-isp.be/Programs/Public-health-surveillance/Pages/TreinongevalWetteren.aspx>

WIV-ISP - Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid. Reconstructie blootstelling aan acrylonitril. Brussel; 2013. Presentatie infomoment 13 november 2013 Internet: http://www.digitaalwetteren.be/images/docs/20131113%20Presentatie%20WIV-ISP%20-%20Wetteren_biomonitoring_inwoners.pdf

Yajima K, Kurihara O, Ohmachi Y, Takada M, Omori Y, Akahane K *et al.* Estimating Annual Individual Doses for Evacuees Returning Home to Areas Affected by the Fukushima Nuclear Accident. *Health Phys* 2015;109(2):122-33.

Zeigler DJ, Brunn SD, Johnson JH, Jr. Evacuation from a Nuclear Technological Disaster. *Geogr Rev* 1981;71(1):1-16, doi:10.2307/214548.

SAMENSTELLING VAN DE WERKGROEP

De samenstelling van het Bureau en het College alsook de lijst met de bij KB benoemde experts is beschikbaar op de website van de HGR: [samenstelling en werking](#).

Al de experts hebben **op persoonlijke titel** aan de werkgroep deelgenomen. Hun algemene belangenverklaringen alsook die van de leden van het Bureau en het College kunnen worden geraadpleegd op de website van de HGR ([belangenconflicten](#)).

De volgende experts hebben hun medewerking en goedkeuring verleend bij het opstellen van het advies. Het voorzitterschap werd waargenomen door **Gilbert EGGERMONT** en het wetenschappelijk secretariaat door Eric JADOUL.

DE GUCHT Véronique	Gezondheidspsychologie	Universiteit Leiden, NL
EGGERMONT Gilbert	Stralingsbescherming	VUB
JAMAR François	Nucleaire geneeskunde	UCL
PASSCHIER Wim	Risico-analyse	Maastricht University, NL
SAMAIN Jean-Paul	Stralingsbescherming	UMons, ex-FANC
SMEESTERS, Patrick	Radiobiologie	UCL, ex-FANC
VANMARCKE Hans	Stralingsbescherming	SCK·CEN, KUL

De volgende experts werden gehoord maar waren niet betrokken bij de goedkeuring van het advies.

ALE Ben	Veiligheid en rampenbestrijding	TU Delft, NL
DE BEULE Karina	Woordvoerdster	ex-FANC
GODET Jean-Luc	Stralingsbescherming	ASN, Frankrijk
HARDEMAN Frank	Stralingsbescherming	SCK·CEN
MOLITOR Marc	Onderzoeksjournalist	ex-RTBF
PETITFRERE Michael	Stralingsbescherming	ASN, Frankrijk
TURCANU Catrinel	Risicoperceptie	SCK·CEN

De volgende administraties/ministeriële kabinetten werden gehoord:

RAMACKER Benoît	IBZ
SONCK Michel	FANC
VAN BLADEL Lodewijk	FANC

ANNEXES

The annexes are provided for information purposes.

Annex I THE INTERNATIONAL NUCLEAR AND RADIOLOGICAL EVENT SCALE - INES ⁹

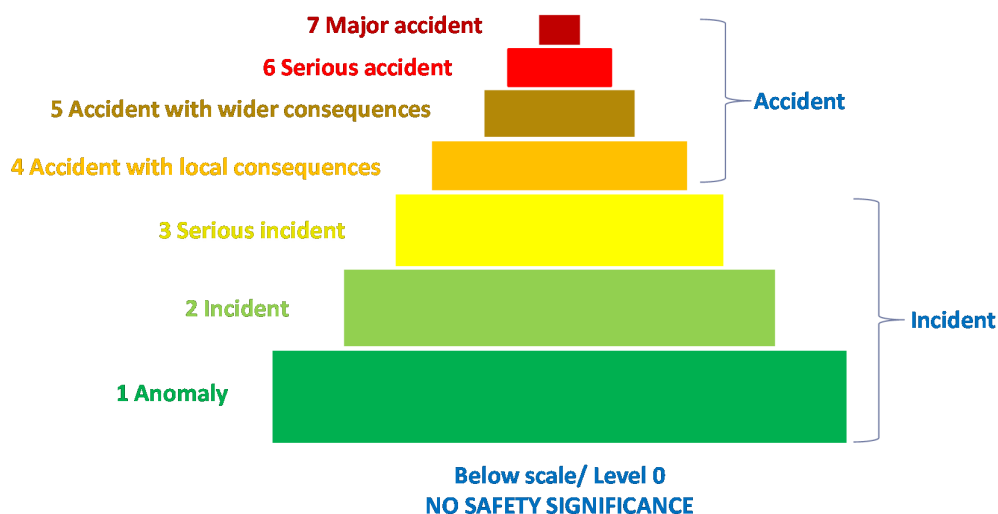


Figure 1 The international nuclear and radiological event scale for classifying events in nuclear installations. Derived from ⁹.

Figure 1 graphically represents INES, the internationally agreed scale for classifying anomalous events in nuclear installations (IAEA 2009). The scale was developed in the 1980s as a public communication tool for nuclear and radiological incidents and accidents (to be compared with the Richter-scale for earthquakes and the Beaufort-scale for wind speed). The present 2008 version takes into account experiences with actual incidents and accidents and envisages to cover all anomalous events with radiation exposure. An inherent problem with INES is that the classification of a nuclear event may change depending on the way the event develops. The Fukushima-accident presents an example: the INES-level increased during the development of the accident to the final level of 7.

The level of events with no safety significance for either the installation or the wider environment is 0 and in fact below scale. Levels 1 to 3 pertain to events that might entail human exposure to ionising radiation. In case of level 4 events small amounts of radioactive substances are released at the installation site.

Levels 5 to 7 pertain to nuclear and radiological accidents. In case of events at nuclear power plants the reactor core has been damaged. The level increases with

increasing releases of radioactive substances and with the geographical range of the affected area.

The first serious accidents with nuclear installations date from 1957 and occurred in the former Soviet Union and the United Kingdom (Jones 2008).^s Both accidents were related to plutonium production for military purposes. The first accident in Khystym of INES-level 6 resulted in the release of radio-isotopes of cerium and zirconium and to a lesser extent of caesium and strontium. People nearby were evacuated. The Windscale-accident of INES-level 5 resulted in the release of radioactive noble gases and of radioactive iodine. Countermeasures focused on the prevention of exposure of the thyroid to radioactive iodine.

Commercial electrical power production by nuclear fission has resulted in three major accidents. The first of INES-level 5 occurred in 1979 in the nuclear power plant of Three Mile Island in the United States (the president's commission on the Accident at Three Mile Island, 1979). The release of radioactive substances consisted mainly of noble gases. In 1986 an INES-level 7 accident occurred in the nuclear installation of Chernobyl in the former Soviet Union (now in Ukraine). It was related to a test of electrical power availability in anomalous circumstances (WHO 2006; IAEA 1992). Large amounts of radioactive substances were released and dispersed over large parts of Europe and farther away. During the first weeks and months exposure to radioactive iodine was the main concern. In the long run (many tens of years) radioactive caesium exposes man and the environment in a large region around the damaged nuclear installation. The local population was evacuated and a 30 km zone is still considered inhabitable. The most recent accident occurred in 2011 in Fukushima prefecture in Japan and is also classified as INES-level 7 (Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations 2011 en 2012). A submarine earthquake followed by a tsunami damaged several of the nuclear reactors of the Fukushima-Dai-ichi power plant. Large amounts of radioactive substances were released and deposited in the wide surroundings of the plant including the Pacific. The local population was evacuated with still an uncertain perspective of return for many. The three accidents are discussed in more detail in the main text of the present report.

^s Not considering intentional nuclear weapon explosions.

Annex II ROOT CAUSES OF ACCIDENTS: GENERAL SAFETY TYPES

In this annex the Council presents a short overview of the root causes of accidents that have been referred to in the main text of the report as *general failure types*. The overview is based on publications of the Dutch psychologist Wagenaar en his colleagues and collaborators (Wagenaar et al 1990; Pietersen; Wagenaar et al 1987).

Human error lies at the basis of the large majority of industrial accidents, nuclear accidents not excluded. Such errors or 'unsafe acts' not only occur during the operation of the industrial installations, but also occur in the design phase and during maintenance and quality control. However, blaming a worker for an error leading to the accident, such as neglecting a sign to reduce speed by the train engineer of the 'Wetteren-train', does not contribute to increasing industrial safety. As often as not the 'unsafe act' is made possible or even enforced, by systemic flaws that sometimes lie dormant for quite some time as *latent* systemic failures. The design height of the Fukushima tsunami protection and the inertia of the debate whether the protection at the plant should be improved are examples of such latent failures leading to unsafe acts (at least in retrospect) of designers and of regulators, plant directors and their advisors. To really improve industrial safety and prevent accidents or mitigate their consequences it is necessary to investigate root causes of systemic failures. Analysis of a multitude of accidents has demonstrated that root causes are remarkably similar. Studies of Wagenaar and colleagues in the 1980s revealed eleven root causes or so-called general failure types that are listed in Table 1. They are grouped as factors to prevent accidents (10) and factors to mitigate accidents (1, defences). Viewing emergency planning also as a process after an accident has occurred, the same factors are relevant for preventing serious consequences or at least limiting them.

Table 1 General failure types (in English, Dutch and French).

General Failure Types	Basisrisicofactoren	Facteurs fondamentaux de risque
<i>Prevention</i>	<i>Preventie</i>	<i>Prévention</i>
Design	Ontwerp	Conception
Hardware	Materieel en middelen	Matériel et équipement
Procedures	Operationele procedures	Procédures opérationnelles
Error enforcing conditions	Omgevingsfactoren	Facteurs externes
Housekeeping	Orde en netheid	Entretien
Training	Training en opleiding	Training et instruction
Incompatible goals	Doelstellingen	Buts incompatibles
Organisation	Organisatie	Organisation

General Failure Types	Basisrisicofactoren	Facteurs fondamentaux de risque
Communication	Communicatie	Communication
Maintenance Management	Onderhoud	Maintenance
<i>Mitigation</i>	<i>Mitigatie</i>	<i>Mitigation</i>
Defences	Defenses	Defences

Design failures relate to the design of the installation. Only seldom the design of an installation is flawed with respect to physical processes taken place. Tsjernobyl is perhaps an example given the implementation of a nuclear process that needed active control from a safety point of view. But design failures quite often refer to ergonomic features of the operational controls making it difficult for operators to safely control the processes. The design of the control room of TMI is an example.

The last failure type in the table is *defences* or better a lack thereof. Defences are the classical engineering way to compensate for errors in design and as such can be quite effective. The 'defence-in-depth' approach in nuclear reactor construction is an example. Defences are usually based on scenarios leading to what is often called 'credible' accidents. However, the problem is that many accidents are the endpoint of *improbable* scenarios, as has been illustrated in the main text of the present report and for which no combination of defences was or could be designed.

Hardware defects can be prevented to a large extent by quality control, but will inevitable occur (e.g. through aging equipment). They may lead to accidents when remaining undetected or when, in case they are observed, they do not lead to control of the plant management.

A lack of adequate *communication* contributed to all accidents discussed in the present report, both at their occurrence and in their aftermath. It relates to blocked information channels, e.g. in not reporting near-accidents, or neglecting safety instructions because of overconfidence in the safety of an installation (all three nuclear accidents discussed). Fukushima and Wetteren also demonstrated the role of defective communication in the aftermath of an accident.

The real world differs from that on the design table to a large extent because of the context or the environment of the industrial operations. This context or environment, such as time pressure (Chernobyl, Wetteren), unexpected environmental occurrences (Fukushima), or dangerous physical conditions (aftermath of Chernobyl, Fukushima, Wetteren) promotes the occurrence or consequences of accidents by the failure type *error enforcing conditions*.

After Chernobyl and again after Fukushima the nuclear sector stressed the reinforcement of 'safety culture', as described in the main text of the present report. In fact this relates to the *organisation* failure type.

Chernobyl also provides an example of *incompatible goals*: ensuring the availability of electricity versus experimenting to resolve safety design questions. But this failure type is also a root cause of the Wetteren accident that might have been prevented by earlier implementation of the agreed European railway safety policy.

Unclear, unavailable or incorrect information about tasks, both in normal operations and in case of process deviations may induce accident scenarios by the *procedures* failure type. The TMI report provides examples.

Insufficient *training* not only increases the consequences of an accident, as has emphasized in the present report, but also increases the accident risk itself. In all three nuclear accidents discussed in the present report this failure type played a role.

Negligent *housekeeping* as a root cause of accidents is not primarily related to unsafe individual behaviour, but to defective management that did not correct this behaviour.

Defective *maintenance management* is directly related to other failure types, such as *procedures*, *organisation*, *training* and *housekeeping*. The reason that it is listed separately is because it plays a prominent role in many accident scenarios. The TMI and Mississauga accidents provide examples.

Annex III TIMELINE OF THE EVENTS AT THE ACCIDENT WITH THE NUCLEAR POWER PLANT OF FUKUSHIMA-DAI-ICHI (UNSCEAR 2014)

Table 2 Timeline of events following the earthquake and tsunami. All times are UTC+9 (Japanese Standard Time). Table 1 of UNSCEAR 2013 Report. New York: United Nations; 2014. Volume I, Report to the General Assembly, Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami..

Date	Reactor	Environment	Public	Workers
2011-03-11	14:46, EARTHQUAKE			
	Scram in Units 1, 2 and 3 of TEPCO's FDNPS ^a Loss of external electricity			
2011-03-11	15:35, MAJOR TSUNAMI			
	15:37, loss of all electricity, except DC on Unit 3			
2011-03-11	Around 20:00, possible start of damage to reactor core and pressure vessel in Unit 1		16:40, MEXT ^b activated SPEEDI ^c and started making daily predictions of concentrations in air and deposition densities for unit release of radioactive material 20:50, evacuation within 2 km ordered 21:23, evacuation within 3 km ordered 21:23, sheltering from 3 km to 10 km ordered	
	2011-03-12		05:44, evacuation within 10 km	

Date	Reactor	Environment	Public	Workers
	02:45, strong likelihood of reactor pressure vessel failure in Unit 1	Ambient dose equivalent rate ^a near main gate of FDNPS: 04:00, about 0.1 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$	18:25, evacuation within 20 km ordered Screening began of residents at refuges using Geiger-Müller survey meters.	Some workers remained in the main control room for several days following the explosions at Units 1 and 3. Presumed to have inhaled radioactive material (mainly radioiodine) because they lacked protective equipment (e.g. face masks)
	15:36, reactor building of Unit 1 damaged by hydrogen explosion	04:50, 1 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 10:30, 390 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ Emergency monitoring teams of Fukushima Prefecture and JAEA ^d started to measure ambient dose rates and airborne dust, including iodine within 20-km radius.		
2011-03-13	02:42, high pressure coolant injection in Unit 3 ceased Around 06:30 to 09:10, likely damage to reactor pressure vessel in Unit 3			Potassium iodide tablets provided for emergency workers at FDNPS.
2011-03-14	11:01, reactor building of Unit 3 damaged by hydrogen explosion 12:30, failure of reactor core isolation cooling system in Unit 2 By 18:22, indications that core in Unit 2 completely uncovered Around 21:18, failure of reactor pressure vessel containment in Unit 2			Emergency dose limit for emergency workers raised from 100 mSv to 250 mSv ^f

^a Portable or fixed equipment for area monitoring took measurements of the dosimetric quantity, $H^*(10)$, ambient dose equivalent rate, expressed in units of microsievert per hour ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) or millisievert per hour ($\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$).

Date	Reactor	Environment	Public	Workers
2011-03-15	Between 06:00 and 06:12, hydrogen explosion occurred at Unit 4 from backflow of gases vented from Unit 3; peak dose rate about 0.6 mSv/h at site boundary From around 07:38, major discharge of radioactive material from Unit 2	09:00, maximum dose rate of about 12 mSv/h recorded near the main gate	11:00, Sheltering in place between 20-km and 30-km radius ordered	
2011-03-16		Monitoring of food and drinking water started.	Evacuation from within 20 km of FDNPS completed. Off-site centre in Okuma Town evacuated Guidance on taking stable iodine when evacuating from within 20 km of FDNPS was issued. Stable iodine not taken because evacuation already completed	
2011-03-17			Instructions first issued on restrictions on distribution of foodstuffs.	
2011-03-18		Monitoring of airborne dust, soil and deposition started.		
2011-03-19			MHLW ^e advised against drinking tap water if levels exceeded 300 Bq·kg ⁻¹ of radioiodine and 200 Bq·kg ⁻¹ of radio-caesium	

Date	Reactor	Environment	Public	Workers
2011-03-23		Marine monitoring started	Restrictions begin on consumption of food-stuffs. Tokyo Municipal Water Authority urges residents to use bottled water for infant formula	
2011-03-24			Ban on tap water lifted by Tokyo Metropolitan Government.	Contamination of feet of three workers confirmed; caused by stepping into puddles of contaminated water wearing low-cut shoes
2011-03-26			Radiation measurements made of the thyroids of 1,080 children living in Kawamata Town, Iitate Village and Iwaki City (until 30 March)	
2011-03-30			Re-configuration of the restricted areas and other evacuation areas decided by the Government.	
2011-04-01	Highly-contaminated water unintentionally released to the Pacific Ocean (until 2011-04-06)			
2011-04-04	Weakly-contaminated water deliberately discharged to the Pacific Ocean (until 2011-04-10)			
2011-04-22			"Deliberate evacuation areas" and "evacuation-prepared area in case of emergency" established	
2011-05-10	Moderately-contaminated water unintentionally released to the Pacific Ocean (until 2011-05-11)			
2011-06-30			"Specific spots recommended for evacuation" were specified in Date City	
2011-07-19	Step 1 of the Roadmap to Recovery (Le. dose rates steadily in decline etc.) attained ⁹			

Date	Reactor	Environment	Public	Workers
2011-09-30			"Evacuation-prepared area in case of emergency" was terminated	
2011-12-16	Step 2 of the Roadmap to Recovery (i.e. cold shutdown state, releases under control etc.) attained ^g			
2012-03-31				Dose assessments (due to internal and external exposure) completed for about 21,000 workers

[a] Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station of the Tokyo Electric Power Company.

[b] Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

[c] System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information

[d] Japan Atomic Energy Agency.

[e] Ministry of Health, Labour and Welfare

[f] Expressed in effective dose, the 'emergency dose limit' in Japan corresponds to an ICRP 'reference level' (see ⁸⁵, section V.A). The increase in the emergency dose limit was repealed on 1 November 2011 for new workers and on 16 December 2011 for most emergency workers registered before 31 October (footnote g)

[g] Roadmap towards settlement of the accident at FDNPS, TEPCO. Step 2 completion report (2011), Nuclear Emergency Response Headquarters (Government of Japan 2011). This triggered the repealing of the emergency dose limit (footnote f).

Annex IV RECENT EUROPEAN REGULATIONS

In 2014 two European directives went into force with binding regulations for the European Member States related to the safety of nuclear installations and measures to limit the impact of serious nuclear accidents. One is a revision of the 'basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure' (EU 2014a). The other amended the 'Community framework for the nuclear safety of nuclear installations' (EU 2014b). The basic safety standards directive should be incorporated in the legislation of the EU Member States on or before February 6, 2018. For Belgium this implies amending the Royal Decree of July 20, 2001, often denoted as ARBIS (Dutch) or RGPRI (French) (KB 2001). The other directive should be incorporated in national legislations before or on August 15, 2017. This means amending two Royal Decrees (KB 2015; KB 2011), that were based on the original European Community nuclear safety framework directive (EU 2009).

In this annex the Superior Health Council summarizes the main points of the new regulations in so far as relevant for the present report.

Basic safety standards (EU 2014)

The considerations of the directive emphasize the necessity of general emergency management provisions that encompass a system of reference levels (consideration 41 and 42). Furthermore Member States should cooperate in the efficient management of cross-border consequences of nuclear emergencies (consideration 43). These considerations are reflected in the scope of the directive that encompasses 'emergency exposure situations' (art. 2). Art. 4 defines concepts such as 'emergency', 'emergency exposure situation', 'emergency management system', 'emergency occupational exposure', 'emergency response plan', 'emergency worker', 'protective measures' and 'reference level'. Here only the definitions of 'emergency response plan'

arrangements to plan for adequate response in the event of an emergency exposure situation on the basis of postulated events and related scenarios

and of 'reference level'

in an emergency exposure situation or in an existing exposure situation, the level of effective dose or equivalent dose or activity concentration above which it is judged inappropriate to allow exposures to occur as a result of that exposure situation, even though it is not a limit that may not be exceeded

are reproduced. These definitions are in line with the way these concepts are used in the present report. This also holds for the other concepts.

The general principles of radiation protection, *i.e.* 'justification', 'optimisation' and 'dose limitation', also apply in emergency situations, be it that in emergency situations exposure within the usual dose limits cannot be guaranteed (art. 5).

Member States are obliged to set reference levels for emergency situations (art. 7), using the guidance of Annex I if they so wish. Workers in an undertaking where radiation exposure might occur (art. 15) and in particular emergency workers (art. 17) should be informed about the emergency response plan. Emergency workers should be trained regularly with respect to the functions they have to perform in emergency situations. Art. 53 obliges Member States to ensure that exposure in emergency situations remains within the dose limits for 'normal' situations. In case that is not possible exposures should not exceed a reference level of 100 mSv. In exceptional, life-saving operations the reference level may be set at 500 mSv.

Chapter VII, Section 2 of the directive (art. 69-71) deals with limiting public exposure in emergency situations and the information of the affected population about measures to ensure exposure limitation. Annex XII of the directive lists elements of this information. Chapter IX, Section 5, too, focuses on exposure in emergency situations (art.97-99). These articles require an emergency management system, emergency response plans and international cooperation in emergency response. The requirements are of a general nature and not in contradiction with the recommendations of the present report. The directive also prescribes recovery provisions in the emergency response plan and provisions to deal with remaining exposure (so called 'existing' exposure situations).

Nuclear safety framework (EU 2009; EU 2015)

The new nuclear safety framework directive exacerbates the requirements of the nuclear safety framework of 2009 and was inspired by the Fukushima accident (consideration 5). Fundamental requirements are competent, independent nuclear regulators (consideration 6), cooperation between Member States given the cross-border character of serious nuclear accidents (consideration 10), transparent public communication on safety issues (consideration 12), reinforcement of the 'defence in depth' safety concept (consideration 17), ensuring an effective safety culture (consideration 18), more attention to the reactor containment systems (consideration 20) and peer review of the functioning of the regulatory authorities between Member States (consideration 23).

As mentioned above the directive prescribes a reinforced national nuclear safety framework, to be implemented by the Member States (art. 4 ^b). Art. 5 details the independence of the national regulatory authority. The primary responsibility for nuclear safety lies with the licence holders; art. 6 lists requirements for licence holders. The principle of transparency is dealt with in art. 8. Section 2 of the amended directive contains articles pertaining to obligations in case of incidents and accidents (art. 8b-8c). Art. 8d prescribes a periodic safety review of nuclear installations. Member

^b The numbers refer to the amended articles of the original directive ²⁰⁵ and not to the articles in the new directive ¹¹⁵.

States are required to ensure on-site emergency response provisions and coordination with other emergency response systems (art. 8e). The principle of international peer review between nuclear regulators is stated in art. 8f.

1. *Een ernstig kernongeval kan ook in België voorkomen en vereist snelle herziening van de noodplanning*
2. *Let op achterliggende oorzaken van een ongeval en vermijd belangenvermenging*
3. *Er is nood aan kwetsbaarheidanalyses van complexe technologieën met oog voor de menselijke interactie zeker bij noodplanning*
4. *Maatschappelijke structuren in getroffen gebieden kunnen voor lange perioden zijn verstoord*
5. *Er is nood aan een transdisciplinair en participatief leerproces bij noodplanning*
6. *Er is nood aan evenwichtige, tweezijdige communicatie over risico's*
7. *Er is aandacht nodig voor de rol van sociale media in crisismanagement*
8. *Adequate noodmaatregelen zijn het sluitstuk van het nucleaire veiligheidsbeleid*
9. *Complexe maatregelen in een dichtbevolkt gebied dienen voorbereid ook voor langere duur en grotere afstanden*
10. *Er is meer aandacht nodig voor medische coördinatie en kwetsbare mensen in crisis-situaties*
11. *Voorzie beschermingsmaatregelen voor externen bij interventie- en opruimingswerken*
12. *De veiligheidsbenadering dient vervolledigd met ongevalsscenario's niet voorzien bij het ontwerp en revisie van de installaties*
13. *Er is aandacht nodig voor bevolkingsdichtheid en mobiliteit*
14. *Interactie van nucleaire en andere industriële risico's kunnen een crisis verergeren*
15. *De structuur en werking van de crisiscentra dient periodiek geëvalueerd*
16. *Neem scenario's in acht voor verspreiding van radioactieve stoffen in het aquatisch milieu*
17. *Voorzie een aanpak voor kernafval bij langdurige nucleaire crisis*
18. *Elk groot nucleair ongeval vereist een internationale aanpak van noodmaatregelen*
19. *Er is een geharmoniseerde EU aanpak nodig van noodplanning en verzekeringen*
20. *Een adequaat nucleair veiligheidsbeleid vereist een voorzorgstrategie met verruimde participatieve aanpak ook in de noodplanning.*