



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

# Afweging van voor- en nadelen van beschermende maatregelen bij kernongevallen

*Een verkenning van mogelijkheden  
voor optimalisatie*







Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **Afweging van voor- en nadelen van beschermende maatregelen bij kernongevallen**

Een verkenning van mogelijkheden voor optimalisatie

RIVM-rapport 2020-0058

## Colofon

© RIVM 2020

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

DOI 10.21945/RIVM-2020-0058

T.J. Kerckhoffs (auteur), RIVM  
M. van der Linden (auteur), RIVM  
C.J.W. Twenhöfel (auteur), RIVM  
R.C.G.M. Smetsers (auteur), RIVM  
S.A.J. Dekkers (auteur), RIVM

Contact:

Fieke Dekkers  
Milieu en veiligheid/Centrum Veiligheid  
Fieke.dekkers@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming in het kader van het programma Ondersteuning beleid stralingsbescherming 2019.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
Nederland  
www.rivm.nl

## Publiekssamenvatting

### **Afweging van voor- en nadelen van beschermende maatregelen bij kernongevallen**

Een verkenning van mogelijkheden voor optimalisatie

Bij een kernongeval moet de overheid maatregelen nemen zodat mensen aan zo weinig mogelijk straling blootstaan. Mensen in de directe omgeving van het ongeval kunnen bijvoorbeeld schuilen, jodium slikken of uit het gebied vertrekken. Welke maatregelen passend zijn, is afhankelijk van de aard en ernst van het kernongeval. Naast het gewenste effect, een lagere blootstelling aan straling, kunnen maatregelen ook onbedoelde, vaak negatieve, effecten hebben. Dat bleek onder meer na het kernongeval in Fukushima (2011).

Om een goede afweging te kunnen maken, heeft het RIVM op een rij gezet wat er bekend is over het afwegen van voor- en nadelen van crisismaatregelen. Dit is in opdracht van de ANVS gedaan. Inmiddels is veel kennis beschikbaar, maar onderzoek naar de afzonderlijke gevolgen van maatregelen gebeurt versnipperd. Ook bestaat er nog geen methode om alle effecten tegen elkaar af te kunnen wegen of om aan te geven welk effect het belangrijkste is. De gevolgen van evacuatie zijn het meest onderzocht, omdat dit de meest ingrijpende maatregel is.

Het RIVM heeft gekeken naar de gevolgen van maatregelen voor de gezondheid, de economie en de samenleving. Maatregelen die bedoeld zijn om de gezondheid van de bevolking te beschermen, kunnen de gezondheid soms ook schaden. In Fukushima bijvoorbeeld zijn ouderen en ernstig zieke ziekenhuispatiënten met onvoldoende medische zorgvoorzieningen geëvacueerd. Het aantal mensen dat door de evacuatie overleed, was daardoor waarschijnlijk groter dan het aantal mensen dat erdoor werd gered.

De voorbereiding en uitvoering van maatregelen kosten geld, bijvoorbeeld voor de tijdelijke opvang van mensen die een gebied moeten verlaten. Maar de maatregelen kunnen tot op grote afstand van het ongeval economische gevolgen hebben, bijvoorbeeld doordat producten tijdelijk niet kunnen worden gemaakt door een gebrek aan onderdelen.

Crisismaatregelen kunnen grote gevolgen hebben voor de leefbaarheid van een gebied. Mensen durven soms bijvoorbeeld uit angst voor straling niet meer terug te keren. Als dat op grote schaal gebeurt, daalt de werkgelegenheid en kunnen voorzieningen als scholen en winkels wegvallen.

Kernwoorden: kernongeval, maatregelen, afweging, voordelen, nadelen



## Synopsis

### **Weighing up the advantages and disadvantages of protective measures to be taken in the event of nuclear accidents**

An exploratory study of the options for optimisation

In the event of a nuclear accident, the government must take measures to minimise exposure of the public to radiation. People in the immediate vicinity of the site of the accident can, for example, take shelter, take iodine pills or leave the area. The measures deemed appropriate will depend on the nature and severity of the nuclear accident in question. In addition to the required effect: lower exposure to radiation, measures can also have unintended, and often negative, effects. This has become apparent after various nuclear accidents, including the one in Fukushima, in 2011.

RIVM was commissioned by the Dutch Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (ANVS) to list what is known about weighing up the advantages and disadvantages of crisis measures so that this can be carried out soundly, should it be necessary. A great deal of knowledge is now available but research into the individual consequences of measures is fragmentary. There is, for example, still no method for weighing up all the effects against one another or to indicate which of them is the most significant. The consequences of evacuation have been investigated more than those of other measures because it is the most far-reaching.

RIVM has looked at the consequences of measures for the public health, the economy and society in general. Measures intended to protect the health of the population can sometimes harm it instead. In Fukushima, for example, elderly people and severely ill hospital patients were evacuated without adequate medical care. Consequently, more people probably died as a result of the evacuation than were saved.

The preparation and implementation of measures cost money – for temporary accommodation for people who have to leave an area, for example. The economic consequences of measures can, moreover, affect areas located considerable distances from the site of an accident because the manufacture of products is temporarily prevented by the shortage of parts, for instance.

Furthermore, crisis measures can have enormous consequences for the liveability of an area. People might not dare to return out of fear of radiation and, if this is generally the case, employment will fall and local amenities, such as schools and shops, will cease to exist.

Keywords: nuclear accident, measures, weighing up, advantages, disadvantages





## Inhoudsopgave

### **Samenvatting — 9**

#### **1 Inleiding — 13**

- 1.1 Opbouw onderzoek — 13
- 1.2 In beschouwing genomen beschermingsmaatregelen — 14
- 1.3 Aanpak — 14
- 1.4 Terminologie — 15
- 1.5 Leeswijzer — 16

#### **2 Het radiologisch beschermingskader bij noodsituaties — 19**

- 2.1 Ontwikkelingen in Nederland sinds 1986 — 19
- 2.2 Radiologische beschermingsstrategie bij noodsituaties volgens ICRP — 21
  - 2.2.1 Blootstellingssituaties en fasering — 21
  - 2.2.2 Uitgangspunten van de bescherming volgens ICRP — 22
  - 2.2.3 Factoren bij de optimalisatie — 24
- 2.3 Conclusie — 25

#### **3 Over de dimensies — 27**

#### **4 De dimensie effecten op de gezondheid — 29**

- 4.1 Criterium fysieke gezondheid — 29
  - 4.1.1 Effecten van maatregelen op de blootstelling aan straling — 29
  - 4.1.2 Praktijkvoorbeelden — 30
  - 4.1.3 Mogelijke indicatoren — 32
- 4.2 Criterium mentale gezondheid — 34
  - 4.2.1 Praktijkvoorbeelden — 34
  - 4.2.2 Mogelijke indicatoren — 35
- 4.3 Samenvatting & uitdagingen — 37
  - 4.3.1 Uitdagingen — 37

#### **5 De dimensie financieel-economische effecten — 39**

- 5.1 Directe kosten en opbrengsten — 39
  - 5.1.1 Praktijkvoorbeelden — 39
  - 5.1.2 Mogelijke indicatoren — 40
- 5.2 Gevolgen voor de economie — 42
  - 5.2.1 Mogelijke indicatoren — 43
- 5.3 Kosten als hulpmiddel bij kwantificatie en afweging — 44
- 5.4 Samenvatting & uitdagingen — 45
  - 5.4.1 Uitdagingen — 45

#### **6 De dimensie sociaal-maatschappelijke effecten — 47**

- 6.1 Leefbaarheid — 47
  - 6.1.1 Praktijkvoorbeelden — 47
  - 6.1.2 Mogelijke indicatoren — 49
- 6.2 Milieu — 50
- 6.3 Acceptatie — 51
  - 6.3.1 Praktijkvoorbeelden — 52
  - 6.3.2 Mogelijke indicatoren — 53
  - 6.3.3 Uitwerking en operationalisatie van indicatoren — 54

6.4	Burgerparticipatie — 55
6.5	Samenvatting en uitdagingen — 55
6.5.1	Uitdagingen — 56
<b>7</b>	<b>De dimensie overige bestuurlijke kaders — 59</b>
7.1	Juridisch — 59
7.2	Uitvoerbaarheid — 59
7.3	Ethiek — 60
<b>8</b>	<b>Overzicht dimensies en additionele overwegingselementen — 61</b>
<b>9</b>	<b>Afwegingskaders en methoden — 63</b>
9.1	IAEA-beoordelingskader — 63
9.2	EURANOS — 64
9.3	CODIRPA — 65
9.4	PACE/COCO-2 — 66
9.5	<i>J-value</i> -methode — 67
9.6	CONFIDENCE — 67
9.7	Methodiek nationale veiligheid — 69
9.8	IRGC — 71
9.9	Beschouwing afwegingskaders — 72
<b>10</b>	<b>Conclusie — 73</b>
10.1	Beschouwing — 73
10.2	Kennisvragen — 74
10.3	Praktische overwegingen — 76
<b>11</b>	<b>Literatuurlijst — 77</b>

## Samenvatting

Als er onverhoopt een kernongeluk plaatsvindt, kunnen er verschillende maatregelen genomen worden om de bevolking te beschermen tegen de radiologische gevolgen. In de eerste fase, tijdens en onmiddellijk na het ongeluk, zijn de belangrijkste maatregelen schuilen, evacueren en het innemen van stabiel jodium. In de jaren na het ongeluk in Fukushima is de aandacht toegenomen voor de – vaak negatieve – effecten die maatregelen hebben, náást de gewenste reductie van de blootstelling aan straling. Hiermee is ook de vraag belangrijker geworden, hoe verschillende effecten van maatregelen tegen elkaar afgewogen kunnen worden. Om te komen tot een geoptimaliseerd pakket maatregelen, waarvan de voordelen groter zijn dan de nadelen, zullen bestuurders bijvoorbeeld effecten van maatregelen op de psychische gezondheid van burgers moeten afwegen tegen effecten op de economische ontwikkeling.

In opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming heeft het RIVM een overzicht opgesteld van de bestaande kennis over het afwegen van voor- en nadelen van crisismaatregelen die genomen kunnen worden bij een kernramp. We beschouwen hierbij effecten op de volgende gebieden:

- effecten op de gezondheid;
- financieel-economische effecten;
- sociaal-maatschappelijke effecten;
- overige bestuurlijke kaders.

### **Effecten op de gezondheid**

Effecten van maatregelen op de fysieke en mentale of psychosociale gezondheid kunnen op verschillende manieren gemeten worden. Na het ongeval in Fukushima zijn bijvoorbeeld schattingen vergeleken van het aantal vermeden stralingsdoden met het aantal doden als gevolg van evacuatie van ziekenhuispatiënten en bejaarden. Daarbij was de conclusie dat de nadelen van deze evacuatie waarschijnlijk groter waren dan de voordelen. Hieruit kan niet geconcludeerd worden dat evacuatie van ziekenhuispatiënten nooit gerechtvaardigd is: als een evacuatie met meer zorg wordt uitgevoerd, hoeven er immers geen slachtoffers te vallen. Dat dit kan, is bijvoorbeeld aangetoond bij de evacuatie van het VUmc in 2015. Naast het aantal doden dat veroorzaakt en vermeden wordt door een maatregel, kunnen gezondheidseffecten van maatregelen nog aan de hand van een aantal andere indicatoren worden afgewogen. We noemen hierbij als voorbeelden de DALY-systematiek, waarbij de ziektelast tijdens het leven van een slachtoffer wordt meegewogen, en de *Loss of Happy Life Expectancy*, waarin welzijn in brede zin wordt meegewogen. In de nasleep van Fukushima is uit onderzoek gebleken dat, wanneer de LHpLE-aanpak wordt gehanteerd, de negatieve effecten van stress op de *Happy Life Expectancy* groter waren dan de positieve effecten van radiologische aard.

### **Financieel-economische effecten**

De voorbereiding en uitvoering van beschermende maatregelen brengen kosten met zich mee. Hierbij kan men denken aan de kosten verbonden aan de distributie van stabiel jodium of kosten voor tijdelijke accommodatie voor mensen die een gebied moeten verlaten. Aan

maatregelen kunnen ook opbrengsten verbonden zijn: accommodatie voor burgers bij permanente relocatie kan gezien worden als nieuw kapitaal. De kosten en opbrengsten van een maatregel kunnen met elkaar verrekend worden, om zo de netto kosten te bepalen. Beschermingsmaatregelen kunnen economische effecten hebben tot ver buiten het fysieke effectgebied van het ongeval, bijvoorbeeld doordat ze de productiecapaciteit in een groter gebied beïnvloeden. Ook kunnen maatregelen imagoschade veroorzaken, of juist voorkomen. Effecten op andere gebieden dan de economie kunnen soms ook worden vertaald naar kosten. Kosten kunnen hiermee een effectieve manier zijn om effecten op verschillende gebieden tegen elkaar af te wegen. Een duidelijk voorbeeld hiervan is het concept *Value of Statistical Life (VSL)*, waarmee een monetaire waarde kan worden gekoppeld aan verloren levensjaren (berekend volgens de DALY- of QALY-methodiek) of aan absolute sterftegevallen.

### **Sociaal-maatschappelijke effecten**

Crisismaatregelen kunnen grote gevolgen hebben voor de leefbaarheid in het getroffen gebied. Het voorbeeld van Fukushima laat zien dat bij langdurige evacuatie een deel van de bevolking niet zal terugkeren. Bij grootschalige bevolkingskrimp daalt de werkgelegenheid en kunnen belangrijke voorzieningen zoals scholen en winkels wegvallen. Leefbaarheid is subjectief maar kan worden gerelateerd aan objectieve indicatoren, zoals de kwaliteit van woningen, voorzieningen in de buurt en de bereikbaarheid. Sociale aspecten dragen ook bij aan de leefbaarheid. Evacuatie en relocatie na een kernongeval kunnen leiden tot verlies van sociale contacten, met eenzaamheid als gevolg.

In een crisissituatie is het belangrijk om te weten in welke mate mensen maatregelen accepteren en navolgen. Het is lastig om vooraf vast te stellen hoe mensen handelen in een crisissituatie, omdat dit afhangt van een groot aantal factoren. Het is bekend dat angst en onzekerheid invloed kunnen hebben op beslissingen, en dat burgers risico's vaak anders inschatten dan experts. Vertrouwen in de overheid of rampenbestrijdingsorganisatie speelt ook een belangrijke rol: in de omgeving van Fukushima is slechts een deel van de geëvacueerde bevolking teruggekeerd naar gebieden waar dat kan, ondanks beloften van de overheid dat het gebied veilig is. Duidelijke communicatie en het ondersteunen van burgermetingen kunnen het vertrouwen vergroten.

### **Overige bestuurlijke kaders**

Bestuurlijke kaders spelen een belangrijke rol bij het maken van afwegingen: haalbaarheid, rechtmatigheid en ethische afwegingen zijn voorbeelden. Deze aspecten onderscheiden zich van de andere in het rapport beschouwde gebieden omdat genomen maatregelen geen effect hebben op deze bestuurlijke afwegingen. Maatregelen kunnen bijvoorbeeld een effect hebben op de gezondheid, maar niet op hun eigen rechtmatigheid. Bestuurlijke criteria geven eerder een afbakening van de ruimte waarbinnen maatregelen genomen worden. Een belangrijke overeenkomst tussen alle in dit rapport beschouwde gebieden is, dat het mogelijk is indicatoren te ontwikkelen voor de beoordeling van maatregelen. Dit geldt ook voor bestuurlijke kaders. Daarmee kunnen in een overkoepelend afwegingskader de effecten van

maatregelen worden gewogen samen met bestuurlijke aspecten en is het mogelijk tot een geïntegreerde afweging te komen.

In dit rapport geven we voor de hierboven genoemde gebieden een overzicht van bijbehorende criteria en indicatoren. Ook hebben we een aantal kaders gepresenteerd die kunnen dienen als input en inspiratie voor het tegen elkaar afwegen van bovenstaande dimensies. In totaal zijn in deze verkenning acht verschillende initiatieven beschouwd:

- IAEA-beoordelingskader;
- EURANOS;
- CODIRPA;
- PACE/COCO-2;
- *J-value*-methode;
- CONFIDENCE;
- methodiek nationale veiligheid;
- IRGC-*framework*.

De bestaande kaders en indicatoren verschillen van elkaar wat betreft diepgang en invulling. Binnen de meeste kaders uit het stralingsdomein is wel degelijk ruimte voor dimensies die verder kijken dan het puur radiologische, maar het niveau van uitwerking en concretisering verschilt sterk.

Dit rapport laat zien dat het onderzoek op het gebied van afwegen van voor- en nadelen van beschermende maatregelen na een kernongeval veelbelovend is. Op dit moment is er echter nog geen overkoepelende systematiek om de veelheid van indicatoren voor de effecten van maatregelen te combineren binnen één afwegingskader. Om te komen tot een dergelijke systematiek moet nog een aantal kennisvragen worden beantwoord op het gebied van:

- kwantificering van effecten;
- weging van effecten;
- dubbeltellingen van effecten en hoe deze te voorkomen;
- het vertalen van internationale ervaringen;
- attributie van effecten;
- afwegingen voor en tijdens een ongeval.

Daarnaast signaleren we een aantal praktische overwegingen: bij het afwegen van voor- en nadelen van beschermende maatregelen bij een kernongeval is het van belang om vooraf een gewenst detailniveau vast te stellen. Een meer generieke afweging zal daarbij gemakkelijker te maken zijn, maar ook minder informatief zijn, dan een meer gedetailleerde afweging. Het gewenste detailniveau hoeft niet in elke fase van het ongeval hetzelfde te zijn. Ook is het belangrijk om een tijdshorizon vast te stellen. De ervaringen van Tsjernobyl en Fukushima laten zien dat de effecten van een kernongeval en de respons hierop zich nog decennialang kunnen manifesteren. Het is van belang om een duidelijke tijdspanne te kiezen waarbinnen effecten van maatregelen worden meegenomen.



# 1 Inleiding

Een ernstig kernongeval in of nabij Nederland kan onze samenleving behoorlijk ontwrichten. Om de negatieve gevolgen van zo'n ongeval zo goed mogelijk te mitigeren dient het openbaar bestuur, in goed overleg met relevante partijen in de samenleving, snel en doelmatig te handelen. In korte tijd zal het besluiten moeten nemen over kwesties als: Welke maatregelen zijn nodig om de maatschappij zo goed mogelijk te beschermen? Wanneer kunnen deze het beste worden genomen? Hoe zorgen we voor een optimale balans tussen de voor- en nadelen van ingrijpende maatregelen zoals bijvoorbeeld evacuatie? Achter deze ogenschijnlijk simpele vragen schuilt een ingewikkelde wereld. Een optimaal besluit vereist immers een zorgvuldige afweging van alle voor- en nadelen van potentiële maatregelen, waarbij de belangen van alle relevante partijen in de samenleving moeten worden meegenomen. Dit afwegingsproces is niet alleen bijzonder complex, maar het moet ook nog onder hoge tijdsdruk tot resultaat leiden.

Om dit afwegingsproces te ondersteunen, heeft de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) aan het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) gevraagd om een verkenning uit te voeren naar de huidige wetenschappelijke kennis op het gebied van het afwegen van maatschappelijke voor- en nadelen van maatregelen bij kernongevallen. De beschouwde maatregelen waren hierbij beperkt tot de directe maatregelen schuilen, evacuatie en innemen van stabiel jodium.

Aanleiding tot dit verzoek zijn onder meer de lessen die zijn geleerd na het kernongeval in Fukushima (maart 2011) en enkele recente wetenschappelijke publicaties met betrekking tot de daaropvolgende evacuatie van burgers uit het getroffen gebied. Hieruit is onder andere gebleken dat de evacuatiehandeling zelf een aantal grote negatieve bijeffecten heeft gehad. Het gaat daarbij onder meer over dodelijke slachtoffers als direct gevolg van de evacuatie en over negatieve gevolgen voor het mentaal welzijn van evacués (zie onder andere Hasegawa et al., 2016). Deze rapportage bevat een overzicht van de bevindingen uit de door het RIVM uitgevoerde verkenning naar de maatschappelijke voor- en nadelen van maatregelen bij kernongevallen, en naar de instrumenten die bestaan om deze tegen elkaar af te wegen.

## 1.1 Opbouw onderzoek

In dit onderzoek hebben we structuur aangebracht door de volgende drie elementen met elkaar te verbinden. Ten eerste hebben we de verschillende dimensies (kijkrichtingen) waarlangs de effecten van een maatregel kunnen worden beschouwd, geïdentificeerd. Deze dimensies zijn zoveel mogelijk onafhankelijk van elkaar. Zo kunnen bijvoorbeeld de gevolgen van evacuatie worden uitgedrukt in effecten op de gezondheid van de evacués, maar ook in de gevolgen die het heeft voor de economische ontwikkeling van het geëvacueerde gebied.

Ten tweede is binnen deze verkenning gezocht naar manieren om verschillende dimensies tegen elkaar af te kunnen wegen. Dit met als

doel om maatregelen te kunnen selecteren die, alle dimensies beschouwend, een netto positief effect hebben voor de samenleving.

Op de derde plaats willen we met dit onderzoek (methodische) handvatten aanreiken voor een verdere uitwerking van de dimensies en afwegingskaders, met het accent op de Nederlandse context. Het inventariseren van aanvullende kennisvragen hangt hier nauw mee samen.

## **1.2 In beschouwing genomen beschermingsmaatregelen**

Deze verkenning richt zich dus op het identificeren van relevante dimensies en afwegingskaders op het gebied van voor- en nadelen van beschermingsmaatregelen bij kernongevallen. Om dit onderzoek enigszins in te kaderen, hebben we de volgende vier interventies geselecteerd waarop een 'afwegingsmethodiek' kan worden toegepast: schuilen, evacuatie, relocatie en jodiumprofylaxe. Hoewel de oorspronkelijke vraag betrekking had op de directe maatregelen schuilen, evacueren en innemen van stabiel jodium in de fase ten tijde van het ongeval (vroeg fase, zie Tabel 1 voor een overzicht van de gehanteerde terminologie), hebben we toch voor een iets bredere scope gekozen. Deze keuze is gemaakt omdat de bovenstaande interventies niet los van elkaar kunnen worden beschouwd. Zo heeft een besluit tot wel of niet schuilen in de vroege fase van een ongeval een effect op de noodzaak, het tijdstip en de duur van een eventuele latere evacuatie of relocatie. Ook zullen zowel de effecten als de perceptie van (een besluit tot) relocatie variëren naarmate hier wel of geen evacuatie aan voorafgegaan is. Wanneer je in de vroege fase van een ongeval een optimale afweging wilt maken, dan zul je de betekenis van nu te nemen besluiten voor de langere termijn (bijvoorbeeld de herstelfase) dus expliciet mee moeten wegen.

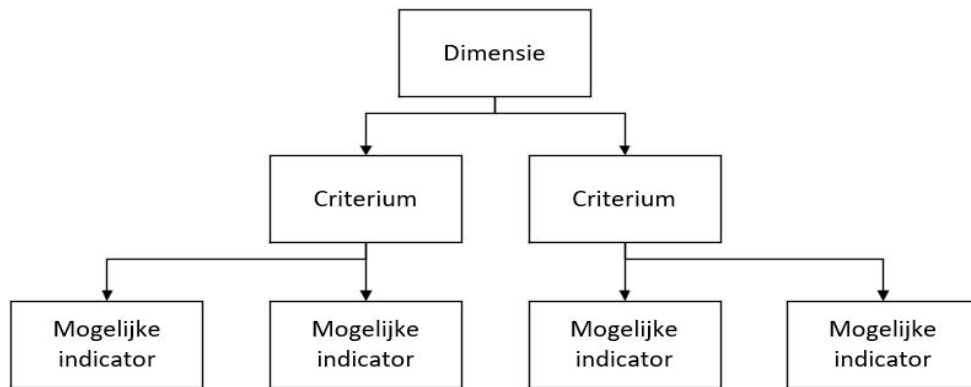
## **1.3 Aanpak**

Deze verkenning is uitgevoerd aan de hand van een uitgebreide review van bestaande literatuur, in combinatie met een consultatie van deskundigen. Er is gekeken naar wetenschappelijke artikelen en naar publicaties van relevante organisaties. Het gaat hierbij zowel om publicaties die specifiek voortkomen uit het 'stralingsveld' als om meer algemene publicaties die zich richten op overkoepelende thema's als evacuatie en rampenbestrijding. Voor deze laatste categorie is een uitgebreide literatuursearch uitgezet bij de bibliotheek van het RIVM. Hierbij is gezocht naar literatuur gericht op de effecten van evacuatie en relocatie volgend op gebeurtenissen als overstromingen, aardbevingen en bosbranden. Binnen de literatuursearch zijn alleen publicaties uit 2005 of later meegenomen. Dit omdat, mede door snelle ontwikkelingen op het gebied van telecommunicatie, oudere publicaties een minder representatief beeld geven van de huidige situatie. Het projectteam heeft zelf een overzicht gemaakt van relevante publicaties binnen het stralingsveld. Alle voor het onderzoek relevante publicaties zijn opgenomen in de literatuurlijst.

Het resultaat van deze aanpak is een overzicht van relevante dimensies en afwegingskaders. Op hun beurt zijn de dimensies uitgewerkt in een aantal criteria en bijbehorende indicatoren (zie Figuur 1). Er is gekozen voor een relatief korte lijst van dimensies op een wat hoger abstractieniveau, die vervolgens zijn onderverdeeld in meer specifieke



criteria en, tot slot, in concrete en veelal meetbare indicatoren. Voor een deel van de dimensies zijn zulke indicatoren nog niet beschikbaar, terwijl er voor andere dimensies juist meerdere, overlappende indicatoren zijn.



*Figuur 1. Samenhang tussen dimensies, criteria en indicatoren, zoals in dit rapport gehanteerd. Gezondheid is een voorbeeld van een in dit rapport beschouwde dimensie. Binnen deze dimensie onderscheiden we de criteria fysieke gezondheid en mentale gezondheid. Een voorbeeld van een indicator is het aantal sterfgevallen dat door een maatregel wordt voorkomen of veroorzaakt.*

Bij het bepalen van welke dimensies überhaupt zijn opgenomen in dit rapport, is gekeken naar twee maatstaven. Ten eerste dient de behandelde set aan dimensies een representatieve afspiegeling te zijn van wat er in de literatuur en in de reeds bestaande afwegingskaders naar voren komt. Ten tweede dienen de opgenomen dimensies elkaar zo min mogelijk te overlappen.

#### **1.4 Terminologie**

Binnen deze rapportage worden meerdere termen gebruikt die vatbaar zijn voor verschillende interpretaties en die in de literatuur in verschillende betekenissen worden gebruikt. Daarom geven we hier een omschrijving van de betekenis die de auteurs in dit rapport aan bepaalde termen geven.

Tabel 1. Overzicht van gehanteerde definities.

<b>Term</b>	<b>Gehanteerde definitie</b>
Schuilen	Schuilen betreft de afkondiging aan de bevolking in een aangewezen gebied om binnenshuis te blijven zolang de lucht besmet is of er (een nieuwe) luchtbesmetting dreigt. Dit met het doel om een deel van de (mogelijke) blootstelling aan straling, met name via inhalatie, te voorkomen. Het advies tot schuilen kan gepaard gaan met een oproep tot het sluiten van ramen en deuren en het uitschakelen van mechanische ventilatie.
Evacuatie	Evacuatie betreft het weghalen en opvangen van personen uit een aangewezen gebied, omdat er sprake is van een dreigende of plaatsvindende besmetting van lucht en omgeving. Dit met het doel om (een significant deel van de) mogelijke blootstelling aan straling te voorkomen. Een evacuatie kan vrijwillig zijn, of opgelegd.
Relocatie	Relocatie betreft het huisvesten buiten de oorspronkelijke woonomgeving van mensen die hun eigen woning hebben moeten verlaten, als gevolg van een significante besmetting van de woonomgeving. Relocatie kan zowel tijdelijk als permanent van aard zijn.
Jodiumprofylaxe	Het uitbrengen van een advies aan de bevolking in een bepaald gebied om op een bepaald tijdstip (reeds gedistribueerde) tabletten met stabiel jodium in te nemen.
Vroege fase van een stralingsongeval	De fase van een stralingsongeval wanneer er sprake is van een dreigende of zich voltrekkende lozing van radioactieve deeltjes, waardoor lucht en omgeving besmet raken.
Herstelfase van een stralingsongeval	De fase van een stralingsongeval waarin er geen sprake meer is van een zich voltrekkende lozing of een nieuwe besmetting met radioactieve deeltjes. In die fase dienen in een bepaald gebied maatregelen te worden genomen die erop gericht zijn om het leven van alledag weer op te pakken.

## 1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bespreekt de huidige stand van zaken door nader in te gaan op het kader dat momenteel in Nederland wordt gehanteerd bij het nemen van beslissingen over maatregelen volgend op een kernongeval of een ander ernstig stralingsongeval.

Vervolgens gaan hoofdstuk 3 tot en met 8 nader in op verschillende dimensies, aan de hand waarvan de voor- en nadelen van beschermingsmaatregelen kunnen worden bepaald. Hierbij vormt hoofdstuk 3 een algemene introductie voor de vier in dit onderzoek meegenomen dimensies, met onderliggende criteria en indicatoren (hoofdstuk 4, 5, 6 en 7). Hoofdstuk 8 bevat een overzicht en introduceert nog enkele bestuurlijke aspecten van belang.

In hoofdstuk 9 bespreken we enkele reeds bestaande (internationale) afwegingskaders die in meer of mindere mate verschillende dimensies tegen elkaar afwegen.

In de conclusie (hoofdstuk 10) wordt nader ingegaan op wat er kan worden geleerd van het bovenstaande en wat dit betekent voor het verder uitwerken van een Nederlands afwegingskader. Ook is er aandacht voor mogelijke hiaten in reeds bestaande initiatieven. Tot slot komen de fundamentele vragen en dilemma's aan de orde die gepaard gaan met het opzetten van een kader waarlangs de voor- en nadelen van verschillende maatregelen tegen elkaar worden afgewogen. Hetzelfde geldt voor het identificeren en uitwerken van hiervoor relevant geachte dimensies, criteria en indicatoren.



## 2 Het radiologisch beschermingskader bij noodsituaties

In Nederland zijn de uitgangspunten voor het nemen van maatregelen in de context van een kernongeval gebaseerd op het beschermingskader zoals opgesteld door de *International Commission on Radiological Protection* (ICRP). Deze ICRP-richtlijnen liggen ten grondslag aan zowel de *IAEA Basic Safety Standards* als de Euratom-richtlijnen op het gebied van stralingsbescherming. De omzetting van de 2013/59/Euratom-richtlijn naar Nederlandse wetgeving is in 2018 van kracht geworden. De ICRP-kaders voor het afwegen van voor- en nadelen van maatregelen zijn vooral theoretisch van aard. Nadere praktische uitwerkingen daarvan, met name voor de respons op radiologische noodsituaties, is een nog voortdurend proces.

In dit hoofdstuk worden, vanuit nationaal en vanuit internationaal perspectief, de belangrijkste ontwikkelingen, standpunten en concepten van het radiologisch beschermingskader samengevat. Doel van het hoofdstuk is de achtergrond te schetsen waartegen het huidige onderzoek naar voor- en nadelen van crisismaatregelen plaatsvindt. Daarnaast laten we zien hoe de aandacht voor afwegingen van voor- en nadelen van crisismaatregelen in de loop van de tijd is toegenomen.

### 2.1 Ontwikkelingen in Nederland sinds 1986

In de jaren vóór het kernongeval bij Tsjernobyl, in april 1986, was in Nederland de bestrijding van stralingsongevallen en bij nucleaire faciliteiten op regionale schaal voorbereid. De ramp bij Tsjernobyl toonde echter onomstotelijk aan dat de gevolgen van een kernongeval niet alleen de regionale schaal, maar ook de nationale schaal ruimschoots konden overstijgen. In veel Europese landen, waaronder Nederland, vormde 'Tsjernobyl' dus de aanleiding voor een verregaande herziening van het stelsel van de kernongevallenbestrijding. In Nederland resulteerde dat in 1989 in het Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding (NPK) (Rijksoverheid, 1989). Het NPK, dat later als Uitvoeringsvoorschrift C-5 werd opgenomen in de Kernenergiewet (Kew), vormde de basis voor een gecoördineerde inzet van de verschillende bestuurslagen en uitvoerende diensten ten tijde van een kernongeval, zoals een ongeval met een binnenlandse of buitenlandse kerncentrale.

Het NPK uit 1989 was deels gebaseerd op de uitgangspunten van het stralingsbeschermingskader zoals destijds geformuleerd door de ICRP, maar de praktische uitwerking van het stelsel werd, zoals gebruikelijk in die tijd, vanuit nationaal perspectief ingevuld. Dit leidde tot een unieke verzameling van interventies en interventieniveaus. Alleen met betrekking tot voedselmaatregelen was er, dankzij Tsjernobyl, sprake van internationale harmonisatie. De NPK-interventieniveaus, uitgedrukt in dosiswaarden, waren gericht op het voorkomen van acute gezondheidseffecten en het zoveel mogelijk beperken van het risico op kanker. De niveaus gaven aan wanneer het treffen van beschermende maatregelen diende te worden overwogen. Uit de uitwerking van het NPK kan worden afgeleid dat radiologische argumenten hierbij leidend geweest zijn. Een uitzondering hierop bestond voor de maatregelen late evacuatie

en terugkeer naar (besmette) gebieden. Hiervoor bestond een traject tussen een laag en een hoog interventieniveau, waardoor rekening kon worden gehouden met de omvang van het ongeval. Bij een geschatte dosis onder het laag niveau wegen de nadelige effecten van de maatregel niet op tegen de voordelen, bij een dosis boven het hoog niveau zal in bijna alle gevallen de maatregel worden uitgevoerd. In het gebied tussen laag en hoog is een afweging tussen de voor- en nadelen van de maatregelen nodig. Hierbij geldt het ALARA-principe (*As Low As Reasonably Achievable*), waarbij economische en sociale factoren in aanmerking worden genomen bij de afweging van de maatregel (Rijksoverheid, 1989).

Het NPK beschreef een ingewikkelde en op zichzelf staande organisatie, die in de jaren daarna vanwege de zeldzaamheid van nucleaire rampen weinig operationele inzet heeft gekend. Daarmee dreigde het NPK in de loop der jaren vooral een papieren plan te worden. Tien jaar na vaststelling is daarom het Project Revitalisatie NPK (RNPK) uitgevoerd, waarbij het NPK is aangepast aan de (bestuurlijke) ontwikkelingen van de jaren negentig op het gebied van de algemene rampenbestrijding. Uitgangspunt daarbij was dat het NPK flexibeler moest worden en alleen die zaken moet regelen waarvoor niet in de normale rampenbestrijding is voorzien (Smetsers 2006).

Ook waren er in de tussenliggende periode nieuwe ICRP-aanbevelingen uitgekomen (ICRP 1991). Deze aanbevelingen lagen zowel ten grondslag aan de *'International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources'* van de *International Atomic Energy Agency* (IAEA 1996), als aan de Europese *'Richtlijn 96/29/Euratom van de Raad van 13 mei 1996 tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming van de gezondheid der bevolking en der werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren'* (Euratom 1996). De Nederlandse regelgeving op het terrein van de stralingsbescherming, het in 2001 van kracht geworden Besluit stralingsbescherming, was een uitwerking van deze Europese richtlijn (Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 2001). De Nederlandse regelgeving op het gebied van straling was daarmee meer dan voorheen gebaseerd op internationale aanbevelingen en voorschriften. Ook het RNPK-project, dat in 2002 is afgerond, is door deze ontwikkelingen beïnvloed.

In de jaren daarna is het nationale stelsel voor de kernongevallenbestrijding nog regelmatig geactualiseerd. Hierbij zijn de gehanteerde interventieniveaus meerdere keren aangepast, vooral om de praktische toepasbaarheid te verhogen.

In de afgelopen jaren heeft zich een nieuwe cyclus voltrokken van ICRP-aanbevelingen, Euratom-richtlijnen en implementatie daarvan in de nationale wet- en regelgeving. In 2007 heeft de ICRP een update uitgebracht van haar aanbevelingen (ICRP, 2007). Daarin wordt onder meer een meer uitgesproken beschermingsstrategie voor radiologische noodsituaties gepresenteerd. De ICRP-aanbevelingen zijn verwerkt in de meest recente Euratom-richtlijn *'tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming tegen de gevaren verbonden aan de blootstelling aan ioniserende straling'* (Euratom, 2013). En begin 2018 zijn deze

Euratom-richtlijnen middels het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs) geïmplementeerd in de Nederlandse regelgeving (Ministerie van Infrastructuur & Milieu, 2017).

Afdeling 6.1 van het Bbs bevat de bepalingen met betrekking tot radiologische noodsituaties. Daarin staat onder meer:

- In geval van een ongeval of radiologische noodsituatie binnen of buiten het Nederlandse grondgebied nemen de ondernemer, het bestuur van de veiligheidsregio en Onze in het eerste lid bedoelde Ministers, passende beschermingsmaatregelen overeenkomstig het toepasselijke nationale crisisplan. Daarbij wordt rekening gehouden met de feitelijke kenmerken van het ongeval of de radiologische noodsituatie en de geoptimaliseerde beschermingsstrategie, opgenomen in het nationale crisisplan.
- Een interventie wordt slechts verricht indien de daarvan verwachte beperking van de schade en de nadelige sociale en maatschappelijke gevolgen, veroorzaakt door ioniserende straling, voldoende is om de schade, de nadelige sociale en maatschappelijke gevolgen en de kosten van de interventie te rechtvaardigen.
- De vorm, de omvang en de duur van de interventie zijn zodanig, dat het voordeel van de daarmee te bereiken beperking van de gezondheidsschade, rekening houdend met de schade die aan de interventie is verbonden, zo groot is als redelijkerwijs mogelijk is.

Met betrekking tot het optimalisatieproces bij radiologische noodsituaties laat het Bbs een duidelijke verschuiving zien ten opzichte van de situatie in 1989: de nationale regelgeving op dit punt is sterker gebaseerd op internationale richtlijnen en de reikwijdte van het optimalisatieproces is breder en explicieter geformuleerd dan voorheen. De praktische uitwerking van deze bepalingen is nu gaande. Dit rapport beoogt hieraan ondersteuning bieden.

Omdat zowel de Euratom-richtlijn(en daarmee indirect ook het Bbs) een uitwerkingen is van de ICRP-richtlijnen, volgt hieronder een korte uiteenzetting van het ICRP-perspectief op stralingsbescherming bij noodsituaties.

## **2.2 Radiologische beschermingsstrategie bij noodsituaties volgens ICRP**

### *2.2.1 Blootstellingssituaties en fasering*

Het ICRP-systeem is een raamwerk voor de stralingsbescherming voor alle situaties van blootstelling aan ioniserende straling.

Bij noodsituaties gaat de ICRP uit van drie verschillende fasen: de vroege fase (overeenkomend met de fase die ook in dit rapport vroege fase wordt genoemd, zie Tabel 1), de intermediaire fase en de lange-termijnfase.

De eerste twee fasen omvatten de respons op de noodsituatie, de laatste definieert de fase van herstel en nazorg. In de terminologie van de ICRP komt dit overeen met respectievelijk een 'blootstelling in een noodsituatie' en een 'bestaande blootstellingssituatie'. Bij een groot nucleair ongeval,

vergelijkbaar met bijvoorbeeld Fukushima, kan de tijdlijn van respons tot aan herstel en nazorg vele jaren in beslag nemen.

Respons op noodsituatie		Herstel en nazorg
Vroeg	Intermediair	Lange termijn

Figuur 2. Fasering van de respons op noodsituaties volgens de indeling van de ICRP (naar ICRP 1XX, 201X).

In de vroege fase zijn besluiten over urgente maatregelen, zoals evacuatie, schuilen en de inname van jodiumtabletten aan de orde. Om effectief te zijn, dienen urgente maatregelen snel genomen te worden.

De overgang naar de intermediaire fase kan worden gemaakt als de bron is gestabiliseerd en verdere emissies onwaarschijnlijk zijn. Het accent ligt in deze fase op het karakteriseren van de radiologische situatie en het eventueel nemen van aanvullende maatregelen in gebieden met (onverwacht) hoge blootstellingen. Verder vormt de radiologische situatie in deze fase het uitgangspunt voor de ontwikkeling van herstelplannen voor de besmette gebieden.

Is de radiologische situatie voldoende gekarakteriseerd, dan kan een overgang naar de lange-termijnfase plaatsvinden. De lange-termijnfase van herstel en nazorg start met een besluit over de bestemming van de besmette gebieden en implementatie van de herstelplannen. De weg naar rehabilitatie is per gebied verschillend en kan afhankelijk van de omvang van het ongeval meerdere jaren in beslag nemen. Voorbeelden van herstelmaatregelen zijn het schoonmaken van gebouwen en de infrastructuur, het omploegen/afgraven van landbouwgronden, maatregelen voor de veilige productie van voedsel, beperkingen van verblijf in gebieden of wijziging van een gebiedsbestemming. Is bewoning in een gebied niet meer mogelijk, dan volgt relocatie, dat wil zeggen een herhuisvesting van de bevolking naar schonere gebieden.

Bij het afwegen van voor- en nadelen van maatregelen in de vroege fase is het belangrijk rekening te houden met effecten die keuzen in deze fase hebben op een latere fase. Door in de vroege fase te evacueren, zou bijvoorbeeld langdurige relocatie in een latere fase vermeden kunnen worden: als niet gekozen wordt voor evacuatie in de vroege fase, is het mogelijk dat langdurige relocatie nodig is om te voorkomen dat de totale dosis voor leden van de bevolking onacceptabel hoog wordt. Een strikte scheiding van vroege en late fase is daarom niet zinvol.

### 2.2.2 *Uitgangspunten van de bescherming volgens ICRP*

Het uiteindelijke doel van de beschermingsstrategie bij radiologische noodgevallen is het voorkomen van (ernstige) deterministische effecten en het verlagen van risico's op stochastische effecten. De ICRP hanteert voor de beschermingsstrategie voor noodsituaties de beginselen van rechtvaardiging, optimalisatie en dosisbeperkingen. Deze uitgangspunten worden toegepast op de blootstellingssituaties 'noodsituatie' en 'bestaande situatie'. In de publicaties ICRP 109 en ICRP 111 (ICRP 2009a, ICRP 2009b) zijn deze twee blootstellingssituaties nader uitgewerkt.



### **Rechtvaardiging**

Het principe van rechtvaardiging zorgt ervoor dat een beslissing tot het nemen van beschermende maatregelen meer goed dan kwaad doet. Dat wil zeggen dat er een netto positief individueel of maatschappelijk effect is. De consequentie is dat beoordeling hiervan niet beperkt is tot alleen het radiologisch domein, maar vele aspecten uit andere domeinen kent. Omdat zo'n afweging in de praktijk veelal lastig te maken is, vereist ICRP alleen een netto positief effect, zodat een kwantitatieve 'weging' van factoren achterwege kan blijven (ICRP 2009a). Dit rapport beoogt bij te dragen aan de onderbouwing van een systematiek die zo'n weging wel mogelijk maakt.

### **Optimalisatie**

Optimalisatie behelst een proces waarin de bescherming tegen blootstelling wordt geoptimaliseerd. Dat wil zeggen dat de kans op blootstelling, de hoogte van de individuele dosis en het aantal blootgestelde personen zo laag als redelijkerwijs mogelijk wordt gehouden. Met andere woorden: de bescherming is, gegeven de heersende omstandigheden, gemaximaliseerd. Net als bij rechtvaardiging worden hierbij sociale en economische aspecten in beschouwing genomen.

De principes van rechtvaardiging en optimalisatie zijn overgenomen uit eerdere ICRP-publicaties. In de nieuwe richtlijnen wordt hier een aantal nieuwe elementen aan toegevoegd:

- De begrippen rechtvaardiging van het besluit en optimalisatie van de bescherming zijn van toepassing op de volledige beschermingsstrategie. Het volstaat niet om rechtvaardiging en optimalisatie op de maatregelen afzonderlijk toe te passen. Redenen hiervoor zijn dat de uitwerking van afzonderlijke maatregelen elkaar kunnen beïnvloeden, of dat een aantal individueel te rechtvaardigen maatregelen samen wel een groot maatschappelijk detrimet veroorzaken. De eerder vermelde constatering dat het afwegen van voor- en nadelen van maatregelen in alleen de vroege fase niet zinvol is, sluit hierbij aan.
- Bij de uitvoering van rechtvaardiging en optimalisatie wordt sterk de nadruk gelegd op het betrekken van sociale en economische factoren in de afweging. ICRP geeft niet aan hoe dit in de praktijk uitgevoerd zou kunnen worden. In het vervolg van dit rapport geven we een overzicht van onderzoek dat op dit gebied gedaan is buiten ICRP.
- Het belang van betrokkenheid van een ruime groep stakeholders in de afweging voor zowel beschermende als herstelmaatregelen wordt door de ICRP onderstreept. Stakeholders kunnen uit alle denkbare groeperingen van de samenleving komen.

### **Referentieniveau**

Om het proces van optimalisatie richting te geven, introduceert ICRP 103 het begrip referentieniveau (RN). De voorheen gehanteerde interventieniveaus volstaan immers niet meer, omdat deze zijn afgeleid voor een individuele maatregel, terwijl optimalisatie en rechtvaardiging op de volledige beschermingsstrategie zouden moeten worden toegepast.

Het referentieniveau is bedoeld als hulpmiddel bij de optimalisatie. Het fungeert als indicator of het niveau van bescherming (voor de hoogst blootgestelden) toereikend is. Het RN zorgt er daarmee ook voor dat het optimalisatieproces niet te ver doorslaat naar onrealistisch lage dosiswaarden. Het RN is gedefinieerd als een residuele jaardosis; een effectieve dosis opgelopen in een jaar met inbegrip van de te verwachten reductie van dosis na succesvolle implementatie van de beschermende maatregelen. Voor noodsituaties ligt het referentieniveau tussen 20 en 100 mSv residuele effectieve jaardosis. Het werkelijke RN kan gekozen worden, afhankelijk van de ernst van het ongeval. In het Bbs wordt uitgegaan van een startwaarde van 100 mSv. Het niveau kan naar wens vervolgens stapsgewijs worden verlaagd. In de fase van herstel en nazorg ligt het referentieniveau bij een jaardosis tussen 1 en 20 mSv, waarbij gestreefd wordt naar een waarde van omstreeks 1 mSv jaardosis op de lange termijn.

Optimalisatie van de beschermingsstrategie wordt zowel toegepast tijdens de voorbereiding op een ongeval, alsook tijdens een ongeval zelf. Het RN representeert in het eerste geval een ambitieniveau voor de bescherming. Tijdens de respons fungeert het RN als een benchmark voor beoordeling van de uitwerking van de maatregelen. Optimalisatie stopt overigens niet als een verwachte blootstelling onder het vastgestelde RN valt. Er resteert altijd een verplichting tot verdere optimalisering, zolang verdere maatregelen gerechtvaardigd kunnen worden. Een systematiek voor het afwegen van voor- en nadelen van de volledige beschermingsstrategie zou dit proces ondersteunen.

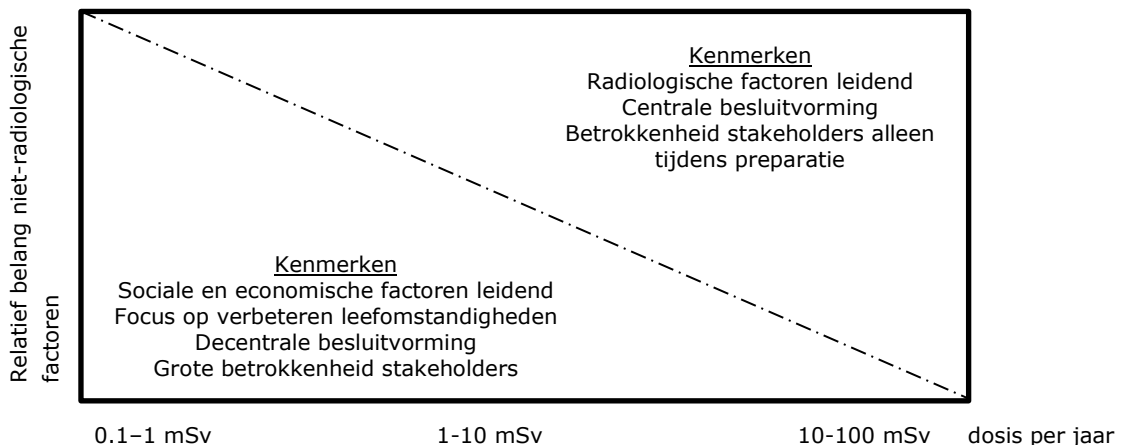
### 2.2.3 *Factoren bij de optimalisatie*

De ICRP-richtlijn verwijst onder andere naar de ICRP 101-publicatie (ICRP, 2006) voor een nadere invulling van de 'sociale en economische' factoren die bij de rechtvaardiging en de optimalisatie in beschouwing moet worden genomen. Belangrijke factoren die hierin worden genoemd zijn: radiologische/gezondheidskundige kenmerken van de blootgestelde groep, de kenmerken van de blootstelling, sociale factoren zoals onrust en acceptatie, economische factoren (kosten), politieke afwegingen, het wettelijk kader, niet-radiologische gezondheidsrisico's en milieueffecten.

In de vroege fase van een noodsituatie is het doorvoeren van een proces van rechtvaardiging en optimalisatie met inbegrip van stakeholder-consultaties niet of moeilijk uitvoerbaar. In de praktijk overheersen hier vooraf vastgestelde (radiologische) criteria en is de besluitvorming centraal georganiseerd (zie Figuur 3)., zodat snel en effectief maatregelen kunnen worden genomen. Rechtvaardiging en optimalisatie worden hierbij geacht vooraf te zijn uitgevoerd. Wanneer de (verwachte) potentiële dosis hoog en dicht bij het gekozen referentieniveau ligt, dan domineren in de ICRP-systematiek radiologische factoren de besluitvorming van beschermende maatregelen. Om een snelle respons in de (urgente) vroege fase te kunnen waarborgen, worden specifieke maatregelen gekoppeld aan operationele condities en waarneembare grootheden. Een praktische uitvoering van dit concept vinden we in de IAEA-beschermingsstrategie (zie paragraaf 9.1).

Bij lagere blootstelling en/of gedurende latere fasen gaan 'andere', veelal sociale en economische factoren een rol van spelen in de besluitvorming voor beschermende maatregelen. De focus van de beschermingsstrategie

verschuift hierbij van bescherming van de bevolking tegen radiologische gevolgen naar een verbetering van de leefomstandigheden. Betrokkenheid van een brede groep stakeholders is voor het proces en de acceptatie van doorslaggevend belang. Deze methodiek leent zich vooral voor beoordelingen tijdens de latere intermediaire en lange-termijnherstelfase van een ongeval. Radiologische factoren vormen dan maar een beperkt deel van de input van de beschermingsstrategie.



*Figuur 3. Schematische weergave van het relatieve belang van 'niet-radiologische' factoren bij het nemen van besluiten over stralingsbeschermende maatregelen (naar OECD-NEA, 2013 & STUK, 2014).*

## 2.3 Conclusie

Nationale en internationale ontwikkelingen in de uitgangspunten van een radiologische beschermingsstrategie tonen aan dat er bij het optimalisatieproces steeds meer nadruk komt te liggen op het meenemen van niet-radiologische factoren. Is bij hoge dosis het radiologisch aandeel in de afweging nog doorslaggevend, bij lagere dosis wordt de afweging meer en meer beïnvloed door sociaal-maatschappelijke, economische en andere niet-radiologische aspecten. In het besluitvormingsproces dient dan een breed samengestelde groep van stakeholders betrokken te worden. De ICRP-richtlijnen, de daarop gebaseerde Euratom-richtlijnen en de implementatie daarvan in het Nederlandse Bbs geven weinig tot geen richting aan het proces van optimalisatie en de multidisciplinaire afwegingen voor rechtvaardiging van een beschermingsstrategie.

Veel van de dimensies die in het afwegingsproces meegenomen moeten of kunnen worden, zijn nog niet gedefinieerd of uitgewerkt. In de hoofdstukken van dit rapport wordt nader ingegaan op hoe deze dimensies verder kunnen worden uitgewerkt en welke afwegingskaders kunnen assisteren bij het meenemen van verschillende dimensies in de verschillende fasen van een stralingsongeval.



### 3 Over de dimensies

Er bestaat een breed scala aan maatregelen die tijdens of volgend op een kernongeval overwogen kunnen worden. Als algemeen uitgangspunt kan worden gesteld dat een maatregel zinvol is als het geheel aan voordelen groter is dan het geheel aan nadelen. De kernvraag is nu: hoe weeg je, gegeven de situatie, de voor- en nadelen van een maatregel optimaal af en welke dimensies zijn hiervoor relevant?

De hoofdstukken 4 tot 7 richten zich op het laatste onderdeel van deze vraag, door het bespreken van vier verschillende dimensies waarlangs de effecten van maatregelen in kaart kunnen worden gebracht:

- hoofdstuk 4: Effecten op de gezondheid;
- hoofdstuk 5: Financieel-economische effecten;
- hoofdstuk 6: Sociaal-maatschappelijke effecten;
- hoofdstuk 7: Overige bestuurlijke aspecten.

Bovenstaande dimensies worden zoveel mogelijk afzonderlijk van elkaar beschouwd. Sommige bijbehorende criteria, zoals de mentale en fysieke gezondheid van mensen, lopen in de praktijk echter door elkaar heen of kunnen elkaar beïnvloeden. Dat geldt bijvoorbeeld voor de dimensies gezondheid en financieel-economische effecten. Soms zijn criteria die tot hetzelfde overkoepelende concept behoren uitgesplitst over meerdere in dit rapport opgenomen dimensies. De psychosociale effecten van beschermingsmaatregelen zijn hiervan een goed voorbeeld. Het concept psychosociaal refereert zowel naar de psychische gezondheid van iemand (zie dimensie gezondheid) als naar de relatie van diegene met de eigen (sociale) omgeving. Deze twee aspecten zijn respectievelijk opgenomen in de dimensie gezondheid en in de dimensie sociaal-maatschappelijk.

In elk volgend hoofdstuk introduceren we de daar beschouwde dimensie en bespreken we verschillende mogelijkheden om die dimensie uit te werken en waar mogelijk te kwantificeren. Daarvoor wordt elke dimensie nader ingevuld door middel van een set aan criteria met bijbehorende indicatoren (zie Figuur 1).

Volgend op de discussie van de vier afzonderlijke dimensies in hoofdstukken 4 tot en met 7, bevat hoofdstuk 8 een overkoepelende beschouwing.



## 4 De dimensie effecten op de gezondheid

Gezondheid is een belangrijke dimensie van waaruit de effecten van maatregelen als schuilen, evacuatie en relocatie kunnen worden beoordeeld. Binnen de dimensie gezondheid zijn twee beoordelingscriteria uitgewerkt: fysieke gezondheid en mentale gezondheid.

### 4.1 Criterium fysieke gezondheid

Het criterium fysieke gezondheid heeft betrekking op het aantal slachtoffers dat valt als gevolg van of wordt voorkomen door de genomen maatregelen. Dit kunnen zowel dodelijke als niet dodelijke slachtoffers zijn, of langdurig zieken. Er bestaan meerdere indicatoren die kunnen worden gebruikt om invulling te geven aan het criterium fysieke gezondheid. In paragraaf 4.1.3 worden vier mogelijke indicatoren nader toegelicht:

- Het absolute aantal doden;
- *Loss of Life Expectancy* (LLE);
- *Disability Adjusted Life Years* (DALY's);
- *Quality Adjusted Life Years* (QALY's).

Eerst bespreken we in paragraaf 4.1.2 kort effecten van de maatregelen evacueren, schuilen en innemen van stabiel jodium op de blootstelling aan straling. Aansluitend geven we drie praktijkvoorbeelden waarbij het criterium fysieke gezondheid expliciet naar voren is gekomen in de context van maatregelen als evacuatie en relocatie: het kernongeval nabij Fukushima (Japan), de evacuatie van het VU medisch centrum in Amsterdam en orkaan Rita (Verenigde Staten).

#### 4.1.1 *Effecten van maatregelen op de blootstelling aan straling*

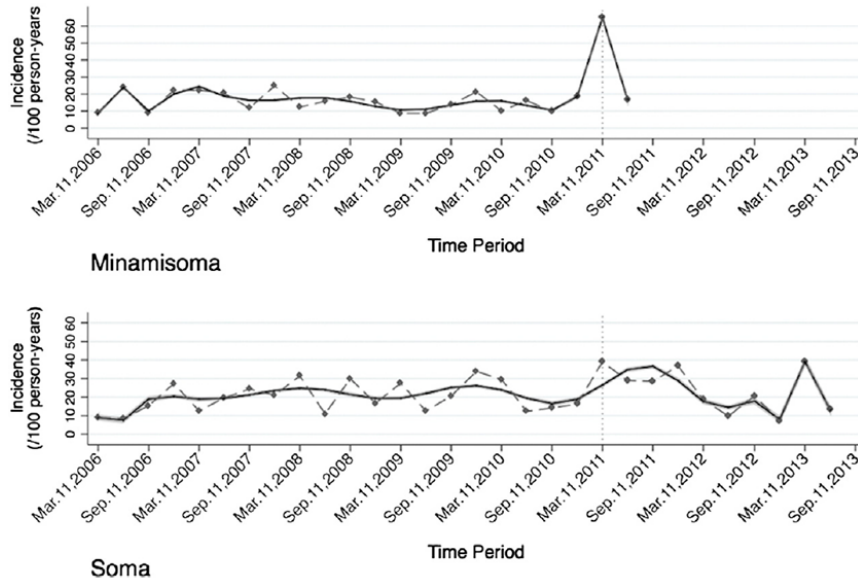
De maatregelen evacueren, schuilen en innemen van stabiel jodium kunnen effectieve manieren zijn om de dosis die mensen oplopen bij een kernongeval te reduceren. Als bewoners worden geëvacueerd voordat er een lozing plaatsvindt, kan de dosis zelfs tot nul worden teruggebracht. De maatregel schuilen is vooral gericht op het beperken van blootstelling ten gevolge van inhalatie tijdens het overtrekken van een radioactieve wolk. Door te schuilen kan gedurende enkele uren een aanzienlijke reductie van de blootstelling worden bereikt. Hoe groot deze reductie is, hangt sterk af van de plaats in een gebouw waar geschuild wordt, van de mogelijkheid eventuele mechanische ventilatie uit te schakelen en van de weersomstandigheden (PGS1). Inname van stabiel jodium op het juiste moment kan de schildklierdosis, en daarmee de kans op schildklierkanker, sterk verlagen. Kwantitatieve schattingen voor het effect op de fysieke gezondheid van een verlaging van de blootstelling aan straling zijn onder meer gebaseerd op gegevens van de atoombomoverlevenden in Japan. Een indicator voor het criterium gezondheid die direct is gekoppeld aan blootstelling aan straling is het detriment (ICRP 2007), een gewogen combinatie van de kans op door straling veroorzaakte (al dan niet fatale) kanker en ernstige erfelijke effecten. In deze indicator worden ook verloren levensjaren meegewogen. Zoals we in het vervolg zullen zien, is er daarmee overlap met enkele andere indicatoren.

#### 4.1.2 *Praktijkvoorbeelden*

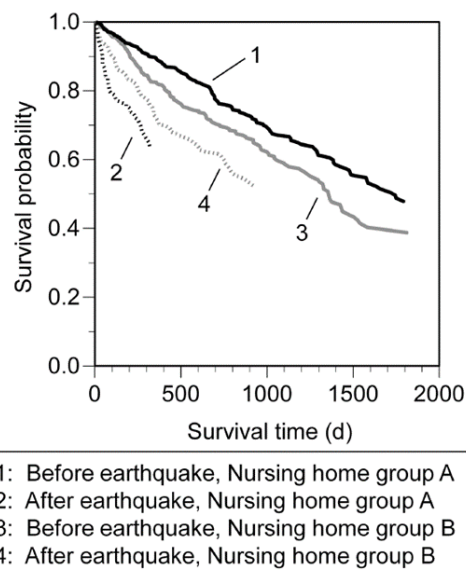
Na de aardbeving en tsunami in Japan op 11 maart 2011 ontstonden problemen bij de kerncentrale Fukushima Daiichi. Diezelfde dag besloot de Japanse overheid om inwoners binnen 2 km van de centrale te evacueren. Deze afstand werd de volgende dag vergroot tot 10 km en later tot 20 km. In het gebied tot 20 km waren naar schatting 1240 ziekenhuispatiënten en 980 bejaarden in verzorgingshuizen aanwezig. Bij de evacuatie was nauwelijks medisch personeel aanwezig en werden bedlegerige patiënten vervoerd met reguliere bussen. Naar schatting zijn tijdens de evacuatie meer dan vijftig personen vroegtijdig overleden, door onderkoeling, uitdroging en verslechtering van bestaande medische problemen (Tanigawa et al., 2012).

Op 15 maart gaf de Japanse overheid het advies om tussen 20 en 30 km van de kerncentrale te schuilen. Na dit advies kwam de bevoorrading van dit gebied in de problemen omdat medewerkers in de transportsector zich zorgen maakten over blootstelling aan straling. Daarom werd besloten om ziekenhuizen en verzorgingshuizen te evacueren. Tussen 18 en 22 maart werden 509 patiënten en bejaarden geëvacueerd. Door een goede organisatie vielen er tijdens deze evacuatie géén doden (Hasegawa et al., 2016). Wel nam in de periode na de evacuatie het sterftcijfer onder de evacués toe (Nomura et al., 2016). Het verlies in levensverwachting door evacuatie was zelfs hoger dan het potentiële verlies in levensverwachting door vermeden stralingsblootstelling als de evacuatie zou zijn uitgesteld (Murakami et al., 2015). Bij deze studies is gebruikgemaakt van een controlegroep patiënten en bejaarden die niet werd geëvacueerd, omdat die zich net buiten de zone van 30 km bevond. De onderzoekers schrijven het verhoogde sterftcijfer toe aan mentale en lichamelijke belasting als gevolg van de evacuatie en ontoereikende medische zorg op de opvanglocaties (zie Figuur 4 en Figuur 5 voor de uitkomsten van beide studies).





Figuur 4. Sterftecijfers voor bejaarden in verzorgingshuizen in Minamisoma (wel evacuatie) en Soma (geen evacuatie). Beide steden liggen aan de kust, ten noorden van Fukushima Daiichi. De aardbeving was op 11 maart 2011 (stippellijn). Figuur uit Nomura et al., 2016.



Figuur 5. Overlevingskans voor bejaarden in verzorgingshuizen. Groep A is geëvacueerd (Minamisoma), groep B niet (Soma). Figuur uit Murakami et al., 2015.

Een ander praktijkvoorbeeld is de evacuatie van het VUmc in Amsterdam. Het ziekenhuis werd in 2015 volledig ontruimd nadat een waterleiding was gesprongen en de elektriciteit uit voorzorg was afgesloten. De evacuatie verliep traag maar zorgvuldig, waardoor er geen doden vielen onder de in totaal 339 bedlegerige patiënten. Medisch specialisten bepaalden naar welk ziekenhuis patiënten verplaatst moesten worden. De brandweer en het korps mariniers werden ingezet om patiënten via de trappen naar beneden te tillen. Ook waren er voldoende ambulances aanwezig om alle patiënten zorgvuldig te vervoeren (NAZN, 2017).

Orkaan Rita in Texas (2005) liet zien dat ook een dreigende ramp kan leiden tot grootschalige (vrijwillige) evacuatie. Meer dan 2,5 miljoen mensen sloegen destijds op de vlucht, maar de infrastructuur op de vluchtroutes was ontoereikend. Ook de communicatie van de overheid was gebrekkig, en veel inwoners vreesden dat de orkaan even dodelijk zou worden als Katrina een maand eerder. Er ontstonden lange files waarin ongeveer honderd mensen overleden als gevolg van oververhitting, verkeersongelukken en verslechtering van bestaande gezondheidsproblemen. Slechts zes personen stierven door directe gevolgen van de orkaan (Zachria et al., 2006; Carpender et al., 2006).

Ook op de lange termijn kunnen crisismaatregelen zoals beslissingen over relocatie ernstige gevolgen hebben voor de gezondheid. Na de vroege fase van een kernongeval kan een deel van de geëvacueerde bevolking mogelijk niet terugkeren naar huis. Dat was in 2011 onder meer het geval bij de kernramp in Fukushima. In totaal zijn toen bijna 170.000 personen geëvacueerd uit de omgeving van Fukushima Daiichi. Halverwege 2014 woonden nog steeds ongeveer 48.000 van de evacués buiten Fukushima-prefectuur. Dit heeft op verschillende plaatsen in Japan geleid tot woningnood en druk op openbare voorzieningen (Ashley et al., 2017). In de 42 maanden na de aardbeving werden in de Tohoku-regio 3194 *Disaster-Related Deaths* (DRD's) geregistreerd, waarvan meer dan de helft in Fukushima-prefectuur (Hasegawa et al., 2015). DRD's zijn doden die indirect veroorzaakt zijn door de crisis, als gevolg van meervoudige relocatie, veranderingen in leefomgeving en slechte leefomstandigheden op opvanglocaties. Meer dan 90 procent van de slachtoffers was ouder dan 66 jaar (Hasegawa et al., 2016). Risicofactoren voor hart- en vaatziekten, zoals overgewicht, diabetes, hoge bloeddruk en dyslipidemie, namen na de ramp toe in Fukushima. De toename was groter voor evacués dan voor niet-evacués (Nomura et al., 2015; Hasegawa et al. 2015; Hasegawa et al., 2016; Ohira et al., 2017). Dit heeft waarschijnlijk te maken met veranderingen in leefstijl onder de evacués, zoals verhoogd alcoholgebruik en een gebrek aan fysieke activiteit, gerelateerd aan werkloosheid en het verlies van het sociale netwerk (Ohira et al., 2017).

#### 4.1.3

##### *Mogelijke indicatoren*

##### **Absolute aantal doden**

Het effect op de fysieke gezondheid kan worden uitgedrukt in het absolute aantal doden en eventueel gewonden. Dit kan zowel op de korte als de lange termijn beschouwd worden. Zoals gebleken uit de praktijkvoorbeelden, kan het aantal doden op korte termijn (tijdens evacuatie) worden beperkt door te zorgen voor goede communicatie, goede organisatie, adequate transportmiddelen, geschikte opvanglocaties, voldoende medisch personeel en adequate medische voorzieningen. Door evacuatie dan wel relocatie wordt de blootstelling aan straling beperkt, waardoor – op termijn – het aantal stralingsgerelateerde kankergevallen afneemt, en daarmee ook het aantal sterfgevallen.

In Fukushima zijn geen sterfgevallen als gevolg van stralingsziekte waargenomen. In de gebieden waar de hoogste blootstellingen optraden, zal het risico op bepaalde vormen van kanker waarschijnlijk licht verhoogd zijn (WHO, 2013). Wel waren er in Fukushima-prefectuur

ongeveer 1800 DRD's als gevolg van de evacuatie en relocatie (Hasegawa et al., 2015).

### **Loss of Life Expectancy**

Een andere manier om gezondheidseffecten te kwantificeren is om het verlies van levensverwachting te bepalen (*Loss of Life Expectancy*, LLE). Hierbij wordt niet gekeken naar het absolute aantal doden, maar naar het aantal levensjaren dat verloren gaat als gevolg van het overlijden van het slachtoffer. Op deze manier kan rekening worden gehouden met de leeftijd van de personen die komen te overlijden. Als wordt gerekend met een gemiddelde levensverwachting van bijvoorbeeld 84 jaar, dan leidt een veertigjarig dodelijk slachtoffer tot 44 verloren levensjaren. Uit het praktijkvoorbeeld van Fukushima bleek dat het overgrote deel van de *Disaster Related Deaths* (DRD) boven de 66 was (Hasegawa et al., 2016). Wanneer hier wordt gerekend met LLE's in plaats van het absolute aantal doden, komt er een genuanceerder beeld uit van de impact van een maatregel als evacuatie. Zo is de LLE voor jonge, gezonde mensen als gevolg van evacuatie laag en voor bejaarden met onderliggende gezondheidsproblematiek hoog. Voor stralingsblootstelling is de LLE voor jonge mensen juist hoger dan voor bejaarden, omdat zij meer levensjaren verliezen als zij kanker ontwikkelen (Murakami et al., 2015).

### **Disability Adjusted Life Years**

Een nadeel van de LLE-methode is dat deze de ziektelast niet meeneemt, welke zich deels nog tijdens het leven van een slachtoffer manifesteert. Dit wordt wel meegenomen in de DALY-methode. Voor schildklierkanker na besmetting met radioactief jodium is dit aspect van belang: schildklierkanker is slechts zelden fataal (UNSCEAR 2008). De ziektelast is de som van het aantal jaren dat verloren gaat door vroegtijdige sterfte door ziekte én het aantal ziektejaarsequivalenten. Het aantal ziektejaarsequivalenten wordt bepaald door het aantal jaren geleefd met de ziekte te vermenigvuldigen met een weegfactor. Deze geeft aan in hoeverre het leven negatief wordt beïnvloed door de ziekte in kwestie. De wegingsfactor ligt tussen 0 (geen nadelige gevolgen) en 1 (zeer ernstige nadelige gevolgen) en is voor een breed scala aan ziekten vastgesteld. Zo heeft een ernstige aandoening als alzheimer een wegingsfactor van 0,666, maar is dit 'slechts' 0,081 voor tandbederf (WHO, 2004a). De uiteindelijke ziektelast wordt uitgedrukt in DALY's (*Disability-Adjusted Life Years*) (RIVM, 2019).

### **Quality Adjusted Life Years**

Naast gezondheidsverlies uitgedrukt in DALY's, kan ook de gezondheidswinst worden berekend. Gezondheidswinst wordt uitgedrukt in QALY's (*Quality-Adjusted Life Years*), waarbij één QALY gelijkstaat aan één jaar leven in perfecte gezondheid. Bij het berekenen van DALY's en QALY's worden verschillende aannamen gedaan en methoden gebruikt. Als het effect van een maatregel wordt besproken, zal het aantal QALY's dus niet precies overeenstemmen met het aantal DALY's (Sassi, 2016).

## 4.2 Criterium mentale gezondheid

Mentale gezondheid is het tweede criterium van de overkoepelende dimensie gezondheid. Een belangrijk deel van de psychosociale effecten van beschermingsmaatregelen vallen onder de criterium. Het criterium heeft betrekking op de aanwezigheid van mentale aandoeningen onder mensen als gevolg van beschermingsmaatregelen, dan wel het bredere mentaal welzijn van deze groep. De precieze invulling van dit criterium hangt af van de indicatoren die worden gebruikt. Paragraaf 4.2.2 licht drie mogelijke indicatoren toe:

- Absolute aantal mensen met een mentale aandoening;
- *Disability/Quality Adjusted Life Years (DALY's/QALY's)*;
- *Loss of Happy Life Expectancy (LHLE)*.

Een belangrijke vraag bij dit criterium is hoe breed of nauw mentale gezondheid wordt gedefinieerd. Dit heeft implicaties voor de indicatoren die worden gebruikt om de effecten weer te geven. Wat betreft deze indicatoren is er deels een overlap met de uitwerking van het criterium fysieke gezondheid.

We bespreken eerst, in paragraaf 4.2.1, drie praktijkvoorbeelden waarbij mentale gezondheid expliciet naar voren is gekomen in de context van maatregelen als evacuatie en relocatie: overstromingen in Groot-Brittannië, het kernongeval bij Fukushima (Japan), en de aardbevingen in Groningen.

### 4.2.1 *Praktijkvoorbeelden*

Er zijn meerdere voorbeelden van hoe evacuatie of relocatie een negatief effect kan hebben op de mentale gezondheid van evacués. Uit een onderzoek van Munro et al. (2017) naar de gevolgen van evacuatie wegens overstromingen in Groot-Brittannië blijkt bijvoorbeeld dat mensen die tijdelijk hun huis hebben moeten verlaten een jaar na dato relatief veel mentale klachten hebben. Dit ten opzichte van mensen die ook zijn geraakt door overstromingen, maar juist niet zijn geëvacueerd. Het gaat hier onder andere om depressie en Posttraumatische Stresstoornis (PTSS). Van de geëvacueerde groep ontwikkelde 40 procent PTSS-gerelateerde klachten. Voor de niet geëvacueerde groep was dit 'slechts' 26 procent. Ook blijkt dat mensen die geen waarschuwingstijd hebben gekregen vatbaarder zijn voor depressie en PTSS dan mensen met een waarschuwingstijd van 12 uur of meer. Van de mensen zonder waarschuwingstijd heeft 48 procent PTSS-gerelateerde klachten, in tegenstelling tot 36 procent van de mensen die wel werden gewaarschuwd. We merken hierbij op dat ook in Nederland in het recente verleden mensen zijn geëvacueerd bij (dreigende) overstromingen. Dit gebeurde in 1993 in Limburg, en in 1995 in het rivierengebied. In de gevonden literatuur over de effecten van deze gebeurtenissen wordt helaas geen duidelijk onderscheid gemaakt in effecten op de gezondheid van de watersnood zelf en die van de evacuatie. Wel zijn er bij deze overstromingen lessen geleerd over de acceptatie van de genomen maatregelen (zie ook paragraaf 6.3).

De mentale gezondheid van evacués volgend op een stralingsongeval is ook onderzocht. Wegens Fukushima hebben veel mensen hun huis (moeten) verlaten. Binnen deze groep zijn er significant meer mentale

problemen (depressie, angststoornissen, PTSS, enzovoort) aanwezig dan in de rest van Japan. In 2011 had 14,6 procent van de evacués hiermee te maken, tegenover een landelijk gemiddelde van drie procent (Kunii et al., 2016). Kanttekening hierbij is wel dat de demografische samenstelling van de in de studie beschouwde populatie mogelijk anders is dan die van Japan als geheel. De problemen uiten zich onder andere in een verhoogd aantal zelfmoorden. In 2017 waren er al 83 zelfmoorden onder evacués officieel geassocieerd als *'disaster-related'* (Maeda & Oe, 2017). Een andere problematiek waar gereleerde mensen mee te maken krijgen in Japan is het zogeheten *'radiation stigma'*. Veel mensen van buiten de getroffen gebieden kijken wegens misconcepties rond straling negatief naar deze eerste groep, met onder andere discriminatie en buitensluiting tot gevolg (Kunii et al., 2016). Een deel van de mentale ziektelast van evacués komt overigens mede voort uit onzekerheden over de opgelopen blootstelling aan straling en niet alleen puur uit het evacuatieproces (Maeda & Oe, 2017; Kunii et al., 2016).

Een laatste praktijkvoorbeeld van de gevolgen van onzekerheid en (dreigende) relocatie is de casus Groningen. Binnen het aardbevingsgebied in Groningen hebben 170.000 mensen te maken met schade aan hun woning als gevolg van gasboringen. Volgens het eindrapport van het onderzoeksprogramma Gronings Perspectief (Postmes et al., 2018) kampen ongeveer 10.000 mensen uit deze groep met aan stress gerelateerde (fysieke) gezondheidsproblemen. Met name mensen die mogelijk hun huis uit moeten voor het aanbrengen van versterkingen of doordat de woning moet worden gesloopt, hebben te maken met een verminderd sociaal en fysiek functioneren. De onderzoekers van Gronings Perspectief schatten dat er per jaar minstens vijf mensen komen te overlijden als gevolg van deze problematiek (Postmes et al., 2018). De casus Groningen laat zien dat psychosociale belasting in de vorm van onzekerheid ook een factor van belang is.

#### 4.2.2 *Mogelijke indicatoren*

##### **Absolute aantal mensen met een mentale aandoening**

Ook de effecten van maatregelen op de mentale gezondheid kunnen worden uitgedrukt in het absolute aantal of het percentage mensen dat als gevolg hiervan leidt aan mentale aandoeningen. Omdat mentale aandoeningen ook voorkomen onder de bevolking wanneer er geen sprake is van een crisis en hierop volgende beschermingsmaatregelen, is het belangrijk om aandoeningen die wel hieruit voortkomen in perspectief te plaatsen.

Deze benadering wordt relatief veel gehanteerd om effecten op de mentale gezondheid uit te drukken, zoals ook blijkt uit de drie bovenstaande praktijkvoorbeelden.

##### **DALY/QALY-methode**

Er kan ook worden gekeken naar de ziektelast die bepaalde maatregelen teweegbrengen op het gebied van de geestelijke gezondheid. Dit is overeenkomstig enkele van de indicatoren behorende tot het criterium fysieke gezondheid. Het gaat dan specifiek om mentale aandoeningen zoals PTSS of depressie. In het geval van deze diagnosticeerbare en erkende ziekten, kunnen effecten worden uitgedrukt volgens de reeds geïntroduceerde DALY- of QALY-methodiek. Zo heeft PTSS een

weegfactor voor het ziektejaarequivalent van iets meer dan 0,1 verloren gezond levensjaar per jaar (WHO, 2004a).

### ***Loss of Happy Life Expectancy (LHpLE)***

Alternatief kan er een bredere blik op mentale gezondheid worden geadopteerd die verder gaat dan de simpele aan- of afwezigheid van een erkende ziekte. Dit is in lijn met de definitie van de *World Health Organization* van mentale gezondheid (WHO, 2004b). Hierbij wordt mentale gezondheid gelinkt aan de mate van welzijn in de brede zin van het woord: het behelst ook zaken als de mogelijkheid van mensen om bij te kunnen dragen aan de maatschappij en in staat te zijn om hun eigen capaciteiten te benutten. Voordeel van deze benadering is dat ook niet diagnoseerbare elementen zoals aanhoudende gevoelens van stress of angst kunnen worden meegenomen die het dagelijks leven van mensen kunnen belemmeren.

Gevoelens van stress en angst of (de afwezigheid van) blijdschap en geluk zijn inherent subjectief en daardoor lastiger te kwantificeren dan een meer objectief te bepalen ziektelast. De DALY- of QALY-methodiek kan hier dan ook niet altijd worden toegepast. Dit vraagt om een andere manier van meten en kwantificeren. Een voorbeeld van een alternatieve benadering is de *Loss of Happy Life Expectancy (LHpLE)*-aanpak (Murakami et al., 2018). '*Happy Life Expectancy*' staat voor de hoeveelheid levensjaren welke mensen doorbrengen in een zelf gerapporteerde staat van (emotioneel) welzijn. Dit wordt in kaart gebracht door mensen te vragen naar hun emotionele welzijn en of ze in een bepaalde periode geluk hebben ervaren. Vervolgens wordt dit gecombineerd met objectieve data met betrekking tot levensverwachting. Door (chronische) stress kan het zijn dat mensen aangeven geen geluk te ervaren, hetgeen leidt tot een '*Loss of Happy Life Expectancy*'. In de nasleep van Fukushima is uit onderzoek gebleken dat wanneer de LHpLE-aanpak wordt gehanteerd, de effecten van stress op *Happy Life Expectancy* enkele malen groter werden bevonden dan die van radiologische aard.

Tabel 2. Overzicht dimensie gezondheid.

<b>Gezondheid</b>			
<i>Criteria</i>	<i>Indicatoren</i>	<i>Voordelen</i>	<i>Beperkingen</i>
Fysieke gezondheid	Absolute aantal doden	Relatief gemakkelijk in kaart te brengen, vergt weinig analyse.	Dekt niet alle effecten op fysieke gezondheid.
	<i>Loss of Life Expectancy</i> (LLE)	Relatief gemakkelijk in kaart te brengen met beperkte analyse.	Dekt niet volledig de ziektelast.
	<i>Disability Adjusted Life Years</i> (DALY's)	Dekt ook ziektelast en heeft dus een hoger detailniveau.	Vergt meer analyse dan wel gegevens voor het verkrijgen van een accuraat beeld.
	<i>Quality Adjusted Life Years</i> (QALY's)		
Mentale gezondheid	Absolute aantal mensen met een mentale aandoening	Relatief gemakkelijk in kaart te brengen, vergt weinig analyse.	Dekt niet alle effecten op mentale gezondheid.
	<i>Disability/Quality Adjusted Life Years</i> (DALY's/QALY's)	Dekt ook ziektelast en heeft dus een hoger detailniveau.	Vergt meer analyse dan wel gegevens voor het verkrijgen van een accuraat beeld.
	<i>Loss of Happy Life Expectancy</i> (LHpLE)	Neemt ook subjectieve gevoelens van angst en stress mee.	Relatief nieuwe methodiek die nog weinig gebruikt is.

### 4.3 Samenvatting & uitdagingen

Hierboven is de dimensie gezondheid beschouwd door in te gaan op twee bijbehorende impactcriteria (fysieke en mentale gezondheid) en de mogelijke uitwerking daarvan in indicatoren. Tabel 2 bevat een overzicht.

#### 4.3.1 Uitdagingen

Er zijn enkele algemene uitdagingen en vragen rond de dimensie gezondheid. Om te beginnen is het complex om effecten op zowel de mentale gezondheid als de fysieke gezondheid toe te schrijven aan een precieze bron. Hoe bepaal je bijvoorbeeld of een effect het resultaat is van de ramp zelf of van een hierop volgende maatregel? Het voorbeeld van Fukushima laat zien dat mensen niet alleen stress ondervonden wegens maatregelen zoals evacuatie en relocatie, maar dat er op de achtergrond ook veel angst en onbehagen was over de mogelijke stralingsdosis die men had opgelopen.

Ook is het niet altijd duidelijk waar de grens ligt tussen fysieke en mentale gezondheidsproblemen. Te meer omdat fysieke klachten een

effect kunnen hebben op de mentale gesteldheid en vice versa (psychosomatische klachten en somatoforme stoornissen). Verder is het belangrijk om te bepalen naar welke tijdshorizon wordt gekeken. Uit onderzoek volgend op Fukushima blijkt dat naarmate de tijd verstrijkt na een stralingsongeval en de daaropvolgende maatregelen, een steeds kleiner percentage mensen last heeft van bijvoorbeeld depressie of PTSS (Kumagai & Tanigawa, 2018). Dit terwijl een aantal fysieke gezondheidseffecten van blootstelling aan straling, zoals het ontwikkelen van kanker, zich juist op de langere termijn afspelen.

Tot slot rijst de vraag hoe alle relevante gezondheidseffecten kunnen worden meegenomen, dan wel hoe bepaald kan worden waar de grens moet liggen tussen effecten die wel of niet worden beschouwd. Een goed voorbeeld hiervan is de gerapporteerde toename van overgewicht en obesitas onder mensen die geëvacueerd zijn als gevolg van Fukushima (Kumagai & Tanigawa, 2018). Moeten de gezondheidseffecten van overgewicht ook worden meegewogen als effect op de fysieke gezondheid, of valt dit buiten de scope?



## 5 De dimensie financieel-economische effecten

Maatregelen die worden genomen in het kader van een stralingsongeval brengen ook financiële en economische gevolgen met zich mee. Binnen de dimensie financieel-economische effecten zijn twee beoordelingscriteria uitgewerkt: directe kosten en opbrengsten alsmede indirecte gevolgen voor de economie (ook wel *indirecte* kosten en opbrengsten genoemd). Deze uitsplitsing van de dimensie financieel-economisch is op hoofdlijnen overeenkomstig de onderverdeling zoals gehanteerd binnen de PACE-COCO2-methode (zie paragraaf 9.4).

De dimensie financieel-economische effecten is niet alleen een op zichzelf staande dimensie, maar ook een middel om andere dimensies mee uit te drukken. Een voorbeeld hiervan is het in kosten (euro's) uitdrukken van de extra ziektelast die een maatregel teweeg kan brengen. Hier wordt nader op ingegaan in paragraaf 5.3.

In paragraaf 5.4 van dit hoofdstuk geven we een samenvatting van het bovenstaande en bespreken we enkele uitdagingen binnen de dimensie financieel-economische effecten.

### 5.1 Directe kosten en opbrengsten

Dit criterium heeft betrekking op de kosten en opbrengsten die direct aan beschermingsmaatregelen kunnen worden geattribueerd. Specifiek gaat het om kosten en opbrengsten die verbonden zijn met het geografische gebied dan wel de (rechts)personen waar deze maatregelen betrekking op hebben. Hierbij kan worden gekeken naar zowel publieke als private kosten en opbrengsten (OECD, 2000; Higgins et al., 2008).

Paragraaf 5.1.2 licht drie mogelijke indicatoren nader toe:

- directe kosten;
- directe opbrengsten;
- directe herstelkosten.

Paragraaf 5.1.1 presenteert eerst een aantal praktijkvoorbeelden: het kernongeval nabij Fukushima (Japan); de gevolgen van het kernongeval bij Tsjernobyl (Oekraïne) voor Wit-Rusland en het verspreiden van jodiumtabletten (Nederland en Zwitserland).

#### 5.1.1 *Praktijkvoorbeelden*

De directe kosten van een kernongeval (kosten die specifiek gemaakt worden als gevolg van een kernongeval) kunnen zeer hoog zijn. Het *Japan Center for Economic Research* (JCER) raamt de totale kosten van het ongeval in Fukushima tussen de 35 en 81 biljoen yen (ongeveer 315 tot 728 miljard dollar). Hierbij zijn de exacte getallen afhankelijk van het precieze pakket aan maatregelen dat wordt gekozen door de overheid. In alle scenario's is er echter een bedrag van 10 biljoen yen (ongeveer 90 miljard dollar) geschat voor het compenseren van geëvacueerde en gereloceerde inwoners en bedrijven (JCER, 2019). Het gaat hierbij onder andere over het opkopen van land door de overheid tegen marktprijzen en het uitkeren van andere soorten schadevergoeding.

Voor de landen getroffen door het kernongeval bij Tsjernobyl, zijn er in de daaropvolgende jaren ook grote kostenposten geweest. Zo stelt de Wit-Russische overheid dat het in 2009 nog een miljoen dollar per dag toewees aan de bestrijding van de gevolgen van de kernramp. De totale schade voor het land werd (met peildatum 2009) geschat op 235 miljard dollar (*Belarus Foreign Ministry, 2009*). Wanneer we specifiek kijken naar relocatie volgend op Tsjernobyl, dan blijkt dat er op grote schaal bouwprojecten moesten worden opgestart om evacués te voorzien van een nieuw thuis. Tussen 1986 en 2000 zijn er in Wit-Rusland, Oekraïne en de Russische federatie in totaal 130.000 nieuwe woningen en flats, 11.000 ziekenhuisbedden en scholen met plaats voor 111.000 kinderen gebouwd. Al deze projecten kunnen worden gezien als direct gevolg van het oorspronkelijke ongeval (IAEA, 2006).

Daarnaast zijn er ook aan voorbereidende maatregelen zoals het preventief distribueren van jodiumtabletten kosten verbonden. Zo heeft het verspreiden van jodiumtabletten onder 4,6 miljoen mensen in Zwitserland ongeveer 31 miljoen dollar gekost (Ashley et al., 2017a). Dit komt neer op iets minder dan zeven dollar per persoon. In Nederland zijn in 2017 ongeveer 1,2 miljoen huishoudens voorzien van jodiumtabletten. Wanneer wordt gerekend met de adviesprijs voor deze tabletten (2,95 euro per verpakking), komt dit neer op ongeveer 35,5 miljoen euro aan kosten. Dit is exclusief de gemaakte kosten voor distributie en voorlichting (Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn & Sport, 2017).

Op het moment van afronden van dit rapport (maart 2020) zijn financieel-economische effecten van maatregelen om de verspreiding in te perken van het coronavirus dat covid-19 veroorzaakt, zeer actueel. Dit zal waarschijnlijk in de komende jaren leiden tot nieuwe wetenschappelijke inzichten en mogelijk ook afwegingskaders. Mogelijk zullen deze ook aanknopingspunten bieden voor het afwegen van voor- en nadelen van maatregelen na een kernongeval.

### 5.1.2 *Mogelijke indicatoren*

#### **Directe kosten**

Bij deze indicator gaat het over activiteiten en ontwikkelingen als gevolg van maatregelen waaraan een concrete marktwaarde kan worden toegekend. Tabel 3 geeft een niet uitputtend overzicht van enkele kostenposten van toepassing bij evacuatie en relocatie (op basis van Ashley et al., 2017b; OECD, 2000).

Tabel 3. Voorbeelden van typen directe kosten.

Type kostenpost	Toelichting
Transportkosten	Wanneer grote groepen mensen zich moeten verplaatsen, brengt dit kosten met zich mee. Het kan hier gaan om het regelen van transportmiddelen zoals bussen of speciaal medisch vervoer vanuit de overheid of de kosten die mensen maken om met eigen vervoer een veilig heenkomen te zoeken.
Tijdelijke accommodatie en voedselvoorziening	Het opvangen en voorzien van primaire levensbehoefte van mensen die een gebied hebben moeten verlaten. Net als bij transportkosten kan het hier gaan om publieke uitgaven voor het opzetten van bijvoorbeeld opvangcentra, maar ook om de kosten die mensen zelf hebben gemaakt. Voorbeelden zijn het regelen van hotelovernachtingen of het betrekken van een tijdelijke (huur)woning.
Toezicht op en beveiliging van het ontruimde gebied	Volgend op een evacuatie of relocatie, zal het verlaten gebied in kwestie moeten worden beveiligd. Dit om te voorkomen dat mensen het gebied betreden en om verdere schade aan of het verlies van eigendommen zoveel mogelijk te beperken.
Verlies van inkomen wegens onbereikbaarheid van werkplek	Als een werkplek zich bevindt in een gebied onderhevig aan evacuatie of relocatie, dan zal het personeel (tijdelijk) niet in staat zijn om te werken. Dit betekent voor sommige mensen (tijdelijk) een lager inkomen of soms zelfs het volledig kwijtraken hiervan.
Verlies van productiewaarde (goederen en diensten)	Doordat ondernemingen in een gebied stilliggen, worden er geen of minder goederen en diensten geproduceerd of geleverd. In afwezigheid van de maatregel zouden deze activiteiten wel hebben plaatsgevonden. (De maatregelen die de Chinese overheid heeft genomen om verspreiding van het coronavirus te beperken zijn hiervan een illustratief voorbeeld.)
Verloren gegane waarde van kapitaal van zowel huishoudens als bedrijven in het ontruimde gebied	Wegens onbereikbaarheid van een gebied zullen de kapitaalgoederen die daar aanwezig zijn (land, onroerende goederen, werktuigen, enzovoort) afnemen in waarde of volledig moeten worden afgeschreven.
Medische kosten	De kosten die worden gemaakt als gevolg van medische handelingen voor mensen uit het evacuatiegebied.

Er zijn verschillende eenheden waarin directe kosten kunnen worden uitgedrukt. Een voor de hand liggende optie is het uitdrukken in euro's of een andere valuta (zoals bijvoorbeeld in Ashley et al., 2017b). Alternatief kunnen de gemaakte kosten en opbrengsten worden uitgedrukt als een percentage van het Bruto Nationaal Product. Wanneer alleen wordt

gekeken naar de gemaakte overheidsuitgaven, dan kunnen deze worden afgezet tegen de totale begroting. Dit plaatst de gemaakte kosten en de mogelijke last ervan voor de samenleving beter in perspectief.

### **Directe opbrengsten**

Beschermingsmaatregelen en de hieruit voortvloeiende activiteiten kunnen ook leiden tot directe opbrengsten. Zo zijn in Tabel 3 alleen tijdelijke accommodatiekosten opgenomen als mogelijke kostenposten. Dit omdat de kosten voor de permanente nieuwe accommodatie van evacués (zoals de eerder omschreven situatie rond Tsjernobyl) kunnen worden gezien als compensatie voor kapitaal dat reeds verloren is gegaan. Dit betekent dat het vanuit een puur economisch perspectief niet zozeer als economische kostenpost, maar eerder als een netto opbrengst moet worden gezien (OECD, 2000). Dit gaat uiteraard wel voorbij aan eventuele extra kosten die niet direct terugkomen in de waarde van het nieuw opgebouwde fysieke kapitaal of het feit dat nieuwe kapitaalgoederen wegens locatie of kwaliteit minder waard zijn. Door te kijken naar zowel directe kosten als directe opbrengsten, kan het netto 'resultaat' van een maatregel in kaart worden gebracht. Net als bij de indicator directe kosten, kunnen directe opbrengsten ook worden uitgedrukt in euro's of als percentage van bijvoorbeeld het BNP.

### **Directe herstelkosten**

De indicatoren hierboven richten zich expliciet op concrete uitgaven (en mogelijke opbrengsten) die zijn geassocieerd met het nemen van beschermingsmaatregelen. Alternatief kan er ook worden gekeken naar de kosten die zijn verbonden aan het herstellen van de door een kernongeval gecreëerde situatie. Zo stellen Ashley et al. (2017a) dat deze kosten kunnen worden gezien als de kosten die nodig zijn om de situatie van getroffenen zoveel als mogelijk te herstellen tot de status van voor het ongeval. Bezien vanuit relocatie betekent dit bijvoorbeeld dat gereloceerde mensen qua woning, inkomen en toegang tot diensten zich weer in een gelijkwaardige situatie bevinden als die van voor het stralingsongeval.

## **5.2 Gevolgen voor de economie**

Bij het criterium gevolgen voor de economie gaat het primair over de financieel-economische effecten van beschermingsmaatregelen buiten het fysieke gebied en de (rechts)personen waar deze direct betrekking op heeft (OECD, 2000). Het criterium bevat twee mogelijke indicatoren:

- negatieve gevolgen voor de economie;
- positieve gevolgen voor de economie.

Paragraaf 5.2.1 licht deze criteria nader toe. Voor beide geldt echter dat het belangrijk is om te definiëren wat de grenzen zijn van het gebied waarvoor de (indirecte) effecten in kaart worden gebracht. Dit kunnen de regio's zijn die grenzen aan het getroffen gebied, maar ook de nationale economie als geheel of zelfs meerdere landen beslaan (bijvoorbeeld de Benelux, de Europese Unie of de hele wereld). Binnen de uitwerking van dit criterium is ervoor gekozen om indirecte effecten gelijk te stellen aan effecten voor de nationale economie als geheel. Hierbij wordt met name gekeken naar macro-economische effecten. Het gaat dus niet om

concrete opbrengsten en uitgaven, maar om overkoepelende systeemeffecten (OECD, 200; Higgins et al., 2008).

### 5.2.1

#### *Mogelijke indicatoren*

#### **Negatieve gevolgen voor de economie**

Beschermingsmaatregelen in een deel van het land kunnen leiden tot negatieve gevolgen voor de nationale economie als geheel. Tabel 4 hieronder geeft een overzicht van enkele mogelijke effecten (voorbeelden afkomstig uit OECD, 2013; World Bank, 2015 & Higgins et al., 2008).

*Tabel 4. Voorbeelden van negatieve gevolgen voor de economie.*

<b>Type effect</b>	<b>Toelichting</b>
<i>Supply chain</i> en productie-effecten	Doordat bedrijven in het geëvacueerde gebied stilliggen, zijn zij niet in staat om de afnemers van hun producten buiten het getroffen gebied te bevoorraden. Andersom zullen deze stilgelegde bedrijven ook geen producten meer afnemen. Dit kan leiden tot wijdverspreide bevoorradings- en productieproblemen. Dit type effect beperkt zich niet tot goederen. Ook diensten als telefoon- en internetverkeer of vitale processen zoals de opwekking en distributie van elektriciteit kunnen in het geding komen.
Effecten op transport en vervoer	Binnen het getroffen gebied kunnen zich belangrijke transportknooppunten (luchthavens, spoorwegen, snelwegen, enzovoort) bevinden welke als gevolg van beschermingsmaatregelen buiten gebruik worden gesteld. Dit kan een effect hebben op de stroom van personen en goederen door het hele land.
Imagoschade	Als gevolg van het oorspronkelijke ongeval en de beschermingsmaatregelen die hierop volgen, kan er imagoschade ontstaan. Zo kunnen mensen een reis naar het direct getroffen gebied of zelfs het land als geheel als niet veilig percipiëren. Ten slotte: als mensen uit een bepaalde regio moesten worden geëvacueerd, kun je dan gevoelsmatig nog wel veilig op vakantie in het land in kwestie?

Wat de bovenstaande voorbeelden gemeen hebben is dat zij kunnen worden uitgedrukt in macro-economische effecten. Zo kunnen problemen met bevoorrading doorwerken in de hoeveelheid goederen die worden in- en uitgevoerd, maar ook een effect hebben op de totale binnenlandse productie. Problemen wegens imagoschade en bijvoorbeeld teruglopende aantallen toeristen, kunnen op hun beurt een effect hebben op de werkgelegenheid en consumentenbestedingen.

Als uitkomstmaat van deze indicator dient er dan ook één te worden geselecteerd die dergelijke macro-economische effecten kan vangen. Zo gebruiken Waddington et al. (2017a; 2017b) veranderingen in het Bruto Nationaal Product (BNP) per capita om effecten in kaart te brengen. In deze lijn kunnen de effecten van maatregelen ook worden uitgedrukt in veranderingen in bijvoorbeeld stijging van de werkloosheid of de schuldquote (de staatsschuld uitgedrukt als percentage van het BNP).

Deze laatste twee factoren worden gebruikt door het Analistennetwerk Nationale Veiligheid (ANV) om de gevolgen van ingrijpende gebeurtenissen uit te drukken voor de vitaliteit van de Nederlandse economie (ANV, 2019b).

### **Positieve gevolgen voor de economie**

Ook voor dit criterium is het van belang om niet alleen naar de negatieve, maar ook naar de mogelijke positieve gevolgen te kijken. Zo kan wederom tot een netto eindresultaat worden gekomen. Veel van de in Tabel 3 en Tabel 4 genoemde kostenposten en negatieve effecten kunnen op hun beurt weer leiden tot positieve gevolgen voor de nationale economie die deze deels kunnen compenseren (OECD, 2000). Een toename van investeringen gericht op bijvoorbeeld de huisvesting van evacués, heeft ook voor de bredere economie positieve gevolgen. Zo zal er bijvoorbeeld meer werkgelegenheid komen bij leveranciers voor de bouwsector en andere gerelateerde bedrijven (World Bank, 2015). Ook kan de neergang van bepaalde sectoren in het getroffen gebied juist leiden tot de opkomst hiervan in andere (OECD, 2000). Een voorbeeld hiervan is het toerisme in Indonesië, volgend op de aanslagen in Bali (2005). Terwijl de lokale toeristenindustrie op Bali in de jaren daarna een sterke krimp ervoer, zagen andere Indonesische eilanden juist een sterke toename (Rindrasih et al., 2019). Waar er dus negatieve gevolgen waren voor het getroffen gebied, werden deze voor de nationale economieën opgevangen doordat activiteiten zich verplaatsten. Voor de indicator positieve gevolgen kunnen dezelfde voorgestelde uitkomstmaten worden gebruikt als voor de indicator negatieve gevolgen.

### **5.3 Kosten als hulpmiddel bij kwantificatie en afweging**

Het begrip kosten kan ook worden gebruikt als hulpmiddel bij het kwantificeren van andere dimensies. Door meerdere dimensies te vertalen naar kosten (in euro's), kunnen deze beter met elkaar worden gecombineerd of vergeleken. Een goed voorbeeld hiervan is de dimensie fysieke gezondheid. Bij deze dimensie worden de gevolgen van een maatregel uitgedrukt in verloren levensjaren (DALY- of QALY-methodiek) dan wel in absolute aantallen doden. Het is mogelijk om aan beide eenheden een monetaire waarde toe te kennen. Hiervoor kan het concept *Value of Statistical Life* (VSL) worden gebruikt. VSL vertegenwoordigt een bedrag waarbij de lasten van de investering in het waarborgen van een statistisch levensjaar door bijvoorbeeld veiligheidsmaatregelen in balans is met de baten die dit levensjaar oplevert (Helsloot, Pieterman & Hanekamp, 2010).

Het concrete getal dat hieraan wordt toegekend verschilt. Zo stellen Helsloot, Pieterman & Hanekamp (2010) dat dit 75.000 euro per jaar is. Uitgaande van een gemiddelde leeftijd van tachtig jaar, komen ze op basis van internationaal onderzoek uit op zes miljoen euro per mensenleven. Van Gils et al. (2013) stellen op basis van verschillende onderzoeken dat vanuit een maatschappelijk perspectief gezien de waarde van een QALY rond de 80.000 euro zit.

## 5.4 Samenvatting & uitdagingen

Waar er bij sommige dimensies nog een keus gemaakt dient te worden tussen welke criteria en indicatoren het beste kunnen worden gehanteerd, zijn de onder de dimensie financieel-economische effecten geïntroduceerde elementen veelal complementair aan elkaar (zie Tabel 5 voor een overzicht). Dit wil zeggen dat als er een bepaald type kosten mee wordt gewogen, ook de opbrengsten moeten worden meegenomen om tot een gebalanceerd beeld te komen van de gevolgen.

Tabel 5. Overzicht dimensie financieel-economische effecten.

<b>Financieel-economische effecten</b>			
<i>Criteria</i>	<i>Indicatoren</i>	<i>Voordelen</i>	<i>Nadelen</i>
Directe kosten en opbrengsten	Directe kosten	Gemakkelijk te kwantificeren en in kaart te brengen.	Lastig om zaken mee te nemen zonder concrete marktwaarde en een grens te stellen aan welk type kosten worden meegeteld.
	Directe opbrengsten	Gemakkelijk te kwantificeren en in kaart te brengen. Gecombineerd met directe kosten, geeft deze indicator een accurater beeld van de situatie.	Lastig om zaken mee te nemen zonder concrete marktwaarde en een grens te stellen aan welk type opbrengsten worden meegeteld.
	Directe herstelkosten	Faciliteert een integrale kijk op kosten en helpt bij het meenemen van kosten op de langere termijn.	Lastiger te kwantificeren en in kaart te brengen. Mede doordat het kijkt naar de langere termijn.
Gevolgen voor de economie	Negatieve gevolgen voor de economie	Helpt bij het in kaart brengen van structurelere effecten voorbij de directe omgeving van het ongeval.	Lastig om dubbel-tellingen met directe kosten te voorkomen. Minder gemakkelijk in kaart te brengen.
	Positieve gevolgen voor de economie	Helpt bij het in kaart brengen van structurelere effecten voorbij de directe omgeving van het ongeval. Gecombineerd met negatieve gevolgen, geeft deze indicator een accurater beeld van de situatie.	Lastig om dubbel-tellingen met directe opbrengsten te voorkomen. Minder gemakkelijk in kaart te brengen.

### 5.4.1 Uitdagingen

Er is een aantal concrete uitdagingen verbonden aan een verdere uitwerking van deze dimensie. Om te beginnen is het van belang om te bepalen waar de grens ligt van de kosten die wel en niet worden

meegenomen. Het voorbeeld van Tsjernobyl laat zien dat er zelfs dertig jaar later nog kosten worden gemaakt als gevolg van de ramp. Het is belangrijk om tot overeenstemming te komen over de tijdshorizon tot wanneer bepaalde kosten worden geïncorporeerd. Een volgende hieraan gerelateerde uitdaging is de attributie van kosten aan specifieke maatregelen. Vooral wanneer economische gevolgen worden uitgedrukt in bijvoorbeeld veranderingen in het BNP, kan het complex zijn om in kaart te brengen hoe dit precies is gekoppeld aan maatregelen als evacuatie en relocatie.

Tot slot kan het vooral binnen deze dimensie lastig zijn om dubbeltellingen van effecten te voorkomen, met name omdat economische kosten en opbrengsten vaak veel raakvlakken hebben met effecten op andere gebieden, zoals mentale of fysieke gezondheid. Zo kunnen er als gevolg van een maatregel mensen ziek worden (effecten voor de fysieke gezondheid), maar brengt deze extra ziektelast ook medische kosten met zich mee (economische kosten). Ook kan het complex zijn om een harde knip te maken tussen enerzijds het criterium directe kosten en opbrengsten en anderzijds de gevolgen voor de nationale economie. Zo zullen overheidsuitgaven als direct gevolg van beschermingsmaatregelen bijvoorbeeld invloed hebben op het nationaal inkomen. Eventueel zou er een keuze kunnen worden gemaakt of één van beide voorgestelde criteria volstaat.



## 6 De dimensie sociaal-maatschappelijke effecten

In dit hoofdstuk worden de sociaal-maatschappelijke effecten van crisismaatregelen besproken. Hierbij zijn evacuatie en relocatie de voornaamste crisismaatregelen met mogelijk sociaal-maatschappelijke gevolgen. De dimensie sociaal-maatschappelijke effecten is sterk verbonden met de dimensie gezondheid: effecten van maatregelen op sociale structuren vormen samen met die op de mentale gezondheid de psychosociale effecten voor de maatschappij. Binnen deze dimensie worden drie beoordelingscriteria uitgewerkt: leefbaarheid (paragraaf 6.1), milieu (paragraaf 6.2) en acceptatie (paragraaf 6.3).

Burgerparticipatie en -metingen worden besproken in paragraaf 6.4. Als laatste wordt in paragraaf 6.5 een samenvatting gegeven en worden enkele uitdagingen besproken.

### 6.1 Leefbaarheid

Leefbaarheid wordt gedefinieerd als de mate waarin de omgeving aansluit bij de wensen en behoeften van mensen (Leidelmeijer en Van Kamp, 2004). Dit zijn behoeften zoals woningen, scholen, werkgelegenheid, winkels en recreatiemogelijkheden. Behoeften en wensen kunnen sterk variëren van persoon tot persoon. Ervaren leefbaarheid is dus inherent subjectief. Het individuele oordeel over leefbaarheid wordt bepaald door tevredenheid over factoren in de omgeving, maar ook het belang dat het individu hecht aan deze factoren (Gieling et al., 2017). Bij een ernstig stralingsongeval zullen zowel het ongeval zelf als sommige (ingrijpende) beschermingsmaatregelen een effect hebben op de ervaren leefbaarheid.

Naast de fysieke kwaliteit van de woonomgeving zijn ook sociale aspecten zoals onderlinge betrokkenheid en sociale cohesie belangrijk voor een goede leefbaarheid (Knol et al., 2002). Een sterk sociaal netwerk draagt ook bij aan een goede gezondheid, zowel fysiek als mentaal (Holt-Lundstad et al., 2010). Wanneer bewoners worden geëvacueerd of gerelocceerd kunnen sociale netwerken krimpen of versplinteren met isolatie als gevolg, wat invloed kan hebben op de gezondheid. Een noodsituatie kan echter ook leiden tot onderlinge verbondenheid, wanneer individuen door een externe dreiging zichzelf identificeren met een groep (Drury, 2012). Dit draagt bij aan de weerbaarheid van zowel de gemeenschap als het individu (Norris et al., 2008).

Paragraaf 6.1.1 hieronder presenteert een aantal praktijkvoorbeelden die het belang geven van het criterium leefbaarheid in zijn algemeen. Daaropvolgend worden in paragraaf 6.1.2 een tweetal indicatoren besproken: subjectieve en objectieve leefbaarheid.

#### 6.1.1 *Praktijkvoorbeelden*

Na een kernongeval is een snelle terugkeer van evacués en het voorkomen van grootschalige emigratie uit getroffen gebieden uit oogpunt van leefbaarheid wenselijk. Het voorbeeld van Fukushima laat zien dat dit niet gemakkelijk te realiseren is. In 2011 zijn bijna 170.000 personen geëvacueerd uit de omgeving van Fukushima. Maar

ondanks grootschalige saneringswerkzaamheden woonden eind 2018 nog altijd meer dan 40.000 personen uit deze groep op tijdelijke opvanglocaties (*Fukushima Prefectural Govt.*, Japan, 2020; Hardie en McKinley, 2014). Angst voor straling en een gebrek aan vertrouwen in de overheid zijn er mede oorzaak van dat mensen niet terugkeren naar Fukushima (Orita et al., 2013; Zhang et al., 2014).

Getroffen steden en dorpen kampen met bevolkingskrimp en vergrijzing, omdat vooral jonge mensen niet terugkeren. Dit leidt tot een vicieuze cirkel: door een gebrek aan arbeidskracht gaan bedrijven failliet en stagneert de wederopbouw, waardoor het gebied steeds onaantrekkelijker wordt voor zowel bewoners als investeerders, en de emigratie toeneemt. Beschikbare banen zijn veelal tijdelijke vacatures in de bouw. Deze zijn voor jonge mensen onaantrekkelijk. Een studie onder verpleegkundigen liet zien dat werkgelegenheid en voorzieningen zoals scholen een belangrijke rol spelen bij de keuze om wel terug te keren (Hirohara et al., 2019). Ook na orkaan Katrina in 2005 bleken evacués vaker terug te keren als voorzieningen als scholen, ziekenhuizen en kinderdagverblijven intact gebleven waren (Groen en Polivka, 2010).

Bevolkingskrimp is dus nadelig voor de leefbaarheid, omdat dit leidt tot minder mogelijkheden en voorzieningen (Leidelmeijer et al., 2019). Een voorbeeld van deze dynamiek treffen we, veel dichter bij huis, aan in Oost-Groningen. Hier daalt de leefbaarheid door zowel aardbevingen als bevolkingskrimp, die deels het gevolg is van aardbevingen (De Haan en Simon, 2016). Bewoners zien graag dat er geïnvesteerd wordt in het aardbevingsbestendig maken van woningen om de leefbaarheid te verbeteren. Onder bewoners die aardbevingsschade hebben geleden nemen gevoelens als machteloosheid en boosheid toe, neemt de ervaren veiligheid af en zijn mensen minder tevreden over hun woonomgeving (Postmes et al., 2018). Ook hebben de aardbevingen invloed op de sociale cohesie, in zowel positieve als negatieve zin. Aan de ene kant zijn sociale netwerken een bron van steun, aan de andere kant kan het praten over problemen leiden tot toenemende stress of jaloezie, wanneer mensen bijvoorbeeld verschillende schadevergoedingen ontvangen.

Tsjernobyl en Fukushima laten zien dat langdurige evacuatie of relocatie kan leiden tot het verlies van sociale contacten wanneer families, burens en gemeenschappen op verschillende opvanglocaties worden onderbracht (Bay en Oughton, 2005). Orui et al. (2018) onderzochten mentale gezondheidsproblemen na het ongeval in Fukushima en vonden dat interacties met vrienden het herstel bevorderen. Ook het hebben van een duidelijke sociale rol binnen een gemeenschap, bijvoorbeeld via werk of sociale activiteiten, heeft een positief effect. Goede integratie van evacués op de opvanglocatie resulteert in een vermindering van negatieve gevoelens, zoals angst en stress (Kobayashi et al., 2019). Wel kunnen er spanningen ontstaan tussen de oorspronkelijke bewoners en de evacués. In Japan is sprake van discriminatie van mensen uit Fukushima, omdat ze beschouwd worden als 'besmet' (Devlin et al., 2013). Op verschillende plaatsen in Japan nam de druk op de huizenmarkt en sociale voorzieningen toe door de instroom van evacués (Ashley et al., 2017).

Tot slot kan ook vrijwillige evacuatie grote sociale gevolgen hebben. Na het ongeval in Fukushima vertrokken vooral vrouwen met kinderen, uit

angst voor straling (Orita et al., 2013, Zhang et al., 2014). Vaders voelden zich financieel verantwoordelijk voor hun gezin en bleven vaker achter om te werken. Het uiteenvallen van gezinnen resulteerde in gevoelens van isolatie en eenzaamheid (Yoshioka-Maeda et al., 2018) en een toename van het aantal scheidingen (Devlin et al., 2013).

### 6.1.2 *Mogelijke indicatoren*

#### **Subjectieve leefbaarheid**

Door het subjectieve karakter kan leefbaarheid in kaart worden gebracht door burgers te vragen naar hun mening over de leefomgeving. Enquêtes kunnen worden aangepast aan de situatie, zodat gericht kan worden gevraagd naar de belangrijkste aspecten.

In Nederland wordt elke drie jaar het Woononderzoek (WoOn) uitgevoerd (Rijksoverheid, 2020), waarbij burgers gevraagd worden naar hun woonsituatie en de tevredenheid met hun woonomgeving. Het percentage mensen dat bijvoorbeeld gevoelens van isolatie ervaart, is een mogelijke subjectieve indicator voor leefbaarheid (Coumans, 2016).

#### **Objectieve leefbaarheid**

Een grootschalige bepaling van leefbaarheid door enquêtes is in de praktijk lastig, te meer in de (directe) nasleep van een kernongeval. Er zijn echter ook meetinstrumenten ontwikkeld om leefbaarheid te meten aan de hand van (vooraf) kwantificeerbare omgevingscondities of indicatoren. Een voorbeeld hiervan is de Leefbaarometer 2.0 (Leidelmeijer et al., 2014). De resultaten van deze 'barometer' worden vergeleken met en geijkt aan de resultaten uit het WoON. Op deze manier kan het subjectieve oordeel over leefbaarheid van de ondervraagden worden gerelateerd aan objectieve indicatoren.

De Leefbaarometer wordt elke twee jaar opnieuw ingezet; de laatste meting is uit 2018 (Leidelmeijer et al., 2019). De Leefbaarometer gebruikt honderd indicatoren, onderverdeeld in vijf categorieën (zie Tabel 6).

Tabel 6. Categorieën uit de Leefbaarometer 2.0.

Categorie	Toelichting
Woningen	Omvat 26 indicatoren die gezamenlijk een beschrijving geven van het type woningen in de buurt. Er zijn indicatoren voor onder andere het aandeel nieuwbouwwoningen, vrijstaande huizen en sociale huur.
Bewoners	Omvat zestien indicatoren die de buurtbewoners beschrijven, zoals het aantal ouderen, arbeidsongeschikten en gezinnen met en zonder kinderen.
Voorzieningen	Deze categorie weegt het zwaarst in de Leefbaarometer en omvat 23 indicatoren. Onder voorzieningen vallen scholen, huisartsen, cafés en culturele instellingen, maar ook bereikbaarheid, uitgedrukt in de afstand tot bijvoorbeeld het dichtstbijzijnde station.
Veiligheid	Omvat slechts zes indicatoren, maar is de op één na belangrijkste categorie. Bijbehorende indicatoren beschrijven misdrijven zoals vernielingen, inbraken en berovingen, maar ook overlast.
Fysieke omgeving	Omvat 29 indicatoren die zowel positieve als negatieve aspecten van de fysieke omgeving beschrijven. Positieve aspecten zijn bijvoorbeeld het aandeel rijksmonumenten en de nabijheid van bossen, parken en water. Negatieve aspecten zijn bijvoorbeeld de nabijheid van industrie en hoogspanningsmasten. Ook aardbevings- en overstromingsrisico zijn meegenomen als indicatoren.

Gegevens voor de Leefbaarometer zijn afkomstig van onder andere het Centraal Bureau voor de Statistiek. De leefbaarheid kan voor het hele land worden bepaald en regionale verschillen kunnen in kaart worden gebracht. Een nadeel van de methode is dat gevoelens als angst en onzekerheid lastig te vangen zijn in bovengenoemde (makkelijk kwantificeerbare) indicatoren, terwijl deze gevoelens tijdens of vlak na een kernongeval een grote invloed hebben op de leefbaarheid. Dit is mogelijk pas op langere termijn zichtbaar, bijvoorbeeld door toenemende leegstand en lagere huizenprijzen. Het is echter mogelijk om nieuwe indicatoren te ontwikkelen. Zo was bijvoorbeeld aardbevingsrisico niet meegenomen als indicator in de eerste versie van de Leefbaarometer. Coumans (2016) gebruikt bijvoorbeeld als objectieve indicator voor sociale isolatie het percentage mensen dat geen wekelijks contact heeft met familie, vrienden of buren. Deze gegevens zijn niet op voorhand beschikbaar en moeten worden uitgevraagd.

## 6.2 Milieu

Natuurgebieden en stedelijk groen dragen bij aan de leefbaarheid, maar kunnen ook als apart beoordelingscriterium worden uitgewerkt. De focus van dit rapport ligt echter op gevolgen voor de mens. Daarom wordt dit criterium slechts kort besproken.

De depositie van radionucliden kan leiden tot milieuschade door directe bestraling. Ook kunnen gedeponeerde radionucliden door de bodem en door grond- en oppervlaktewater migreren en later opgenomen worden door planten. Blootstelling van dieren aan straling in Tsjernobyl en Fukushima resulteerde in een verhoogde kans op genetische defecten en mutaties (Mousseau en Møller, 2014).

Als gevolg van een ernstig ongeval of een ingrijpende maatregel kan een natuurgebied geheel of gedeeltelijk 'verloren' gaan dan wel 'hersteld' worden. Biodiversiteit is een mogelijke indicator (CLO, 2017). Om biodiversiteit te kwantificeren, kan onder andere gekeken worden naar het aantal soorten en hun populatieomvang en genetische diversiteit.

Ecologische veiligheid is in de Nationale Veiligheidsstrategie 2019 opgenomen als één van de zes nationale veiligheidsbelangen (ANV 2019b, zie ook paragraaf 9.7). De indicatoren die worden gebruikt om effecten te kwantificeren zijn:

- het oppervlak van het getroffen gebied;
- het type natuurgebied (gebieden die behoren tot Natura 2000, de ecologische hoofdstructuur en de Waddenzee zijn specifieke beschermwaardige gebieden);
- de duur van de aantasting.

Hoewel niet alle milieuaspecten volledig onder de term leefbaarheid geschaard kunnen worden, zou er desgewenst toch voor gekozen kunnen worden om de criteria leefbaarheid en milieu te integreren.

### **6.3 Acceptatie**

De verwachte acceptatie en daarmee de mate van navolging van voorgenomen maatregelen is het derde criterium binnen de dimensie sociaal-maatschappelijk. Hier gaat het om de acceptatie en mate van navolging van maatregelen door de mensen waar deze betrekking op hebben.

In een studie over de maatschappelijke acceptatie van overheidsbeleid, stellen Hoogerwerf et al. (1993) dat acceptatie gaat over het aanvaarden van rechten en plichten of, alternatief, van handelingen. Hierbij heeft acceptatie drie onderdelen: opvatting, houding en gedrag.

Een simpel voorbeeld luidt als volgt: een inwoner kan het overheidsbeleid om op te roepen tot schuilen goedkeuren (opvatting), hij kan geneigd zijn om te gaan schuilen en anderen hierbij te helpen (houding) en hij kan uiteindelijk daadwerkelijk overgaan tot schuilen (gedrag). Wanneer er voor alle drie de onderdelen een positieve 'score' is, kan worden gesteld dat er sprake is van volledige acceptatie (Hoogerwerf et al., 1993). Dit betekent echter niet dat gedrag pas plaatsvindt als er sprake is van een positieve opvatting of houding en vice versa. Zo kan iemand het niet eens zijn met de verplichting tot het betalen van inkomstenbelasting (opvatting), maar dit wel doen (gedrag). Dit bijvoorbeeld omdat de sancties voor het niet vertonen van het gedrag hoog zijn.

Binnen dit rapport ligt de focus rond acceptatie op de vraag in welke mate mensen uiteindelijk gehoor geven aan beschermingsmaatregelen (gedrag). In de literatuur omtrent evacuatie ook wel '*compliance*' (navolging) genoemd. Dit wil niet zeggen dat opvatting en houding onbelangrijk zijn. Als er grote onenigheid bestaat tussen ingevoerd beleid en de opvattingen van mensen die hierdoor worden geraakt, kunnen (maatschappelijke en/of politieke) spanningen ontstaan, waarbij besluitvormers de steun van de bevolking kunnen verliezen (Hoogerwerf et al., 1993).

Uit de wetenschappelijke literatuur komen enkele factoren naar voren die invloed hebben op de mate waarin mensen navolging geven aan een maatregel. In de bespreking daarvan ligt de nadruk op compliance in het licht van evacuatie. De volgende factoren zijn indicatoren voor compliance en worden in paragraaf 6.3.2 verder toegelicht:

- persoons- en demografische kenmerken;
- vertrouwen;
- risicoperceptie.

Paragraaf 6.3.1 gaat eerst nader in op een aantal praktijkvoorbeelden.

### 6.3.1 *Praktijkvoorbeelden*

De mate waarin een oproep tot evacuatie nagevolgd wordt, kan erg verschillen. In 2008 werd aan 500.000 mensen in de Amerikaanse staat Texas een bevel tot verplichte evacuatie opgelegd wegens orkaan Ike. Achteraf bleek dat slechts veertig procent van de mensen in het gebied dit bevel heeft opgevolgd (Kim & Oh, 2013). Een andere soort situatie deed zich voor tijdens het *Three Mile Island*-ongeval in de Verenigde Staten (1979). Onder andere door gebrekkige informatievoorziening hebben ongeveer 150.000 omwonenden in de omgeving van de kerncentrale zichzelf geëvacueerd, zonder dat hiertoe was opgeroepen. Er was alleen een advies tot evacuatie uitgevaardigd voor zwangere vrouwen en jonge kinderen binnen vijf mijl van de centrale, een veel kleinere groep dan de 150.000 mensen die daadwerkelijk zijn vertrokken (Stallings, 1984; Soffer et al., 2008). Bij *Three Mile Island* was er sprake van het zogenoemde 'evacuatieschaduw-effect'. Dit effect houdt in dat bij gebeurtenissen waar evacuatie als interventie wordt gehanteerd, er meer mensen (vrijwillig) tot evacuatie overgaan dan oorspronkelijk bedoeld. Dit komt veelal door een combinatie van angst dat men zich toch in een besmet gebied bevindt en een gebrekkige informatievoorziening (IFV, 2014).

Problemen op het gebied van compliance kunnen in de praktijk worden geadresseerd door een verplichte evacuatie af te kondigen en te handhaven. Deze situatie deed zich voor volgend op de kernramp nabij Fukushima. Alhoewel de Japanse overheid initieel koos voor een niet afgedwongen oproep tot evacuatie, werd dit later omgezet tot een bevel voor het verplicht verlaten van het aangewezen gebied. Dit bevel werd kracht bijgezet met geldboetes van omgerekend rond de 1200 euro voor eenieder die zonder toestemming van de autoriteiten het gebied betrad (Akabayashi & Hayashi, 2012). Naast de mogelijke ethische bezwaren, is een verbod op het aanwezig zijn in een evacuatiezone echter niet altijd voldoende om mensen te weerhouden terug te keren of überhaupt weg te gaan (Soffer et al., 2008; Akabayashi & Hayashi, 2012).

In 1995 werden 250.000 Nederlanders geëvacueerd uit het rivierengebied, toen tijdens een hoogwatergolf dijken dreigden te bezwijken, twee jaar na evacuatie van overstromde gebieden in Limburg. In (Jong, 2008) worden de ervaringen die toen zijn opgedaan in zestien lessen samengevat. Opvallende bevindingen waren dat burgers bereidwilliger waren te evacueren als de bedreiging groter was. Beelden die de dreiging ondersteunden hadden daarbij een grote invloed op het gedrag. Verder waren burgers minder bereid te evacueren als niet elk gezinslid aanwezig was. De auteurs stellen dat een langere voorbereidingstijd het uitvoeren van een evacuatie makkelijker maakt, en dat een gefaseerde evacuatie (vrijwillige evacuatie gevolgd door verplichte evacuatie) daarbij het best werkt. Speciale aandacht is nodig voor mensen die niet zelfredzaam zijn en voor ondernemers.

### 6.3.2 *Mogelijke indicatoren*

#### **Persoons- en demografische kenmerken**

Er bestaan meerdere persoons- en demografische kenmerken die worden gelinkt aan compliance. Zo zijn vrouwen meer geneigd dan mannen om een evacuatieadvies op te volgen. Ook jongeren en gezinnen met kinderen zullen eerder gehoor geven aan een dergelijke oproep. Voor ouderen, mensen met een lichamelijke beperking en mensen met huisdieren is dit echter niet het geval (Thompson, Garfin & Silver, 2017). Uiteraard is ook de beschikbaarheid van transportmiddelen en goede uitvalswegen van belang (Dash & Gladwin, 2007). Er zijn ook kenmerken waarvoor de connectie met compliance sterk verschilt tussen onderzoeken. Hier gaat het bijvoorbeeld om zaken als etniciteit en huisbezit, maar ook opleidingsniveau en inkomen (Lindell, Lu & Prater, 2005; Thompson, Garfin & Silver, 2017). Persoons- en demografische kenmerken zijn geregistreerd in de basisregistraties personen en inkomen (BRP en BRI) en daarom gemakkelijk voorhanden.

#### **Vertrouwen**

Een andere veelgenoemde factor komt voort uit de eigenschappen van de boodschap tot evacuatie of schuilen zelf. Het gaat dan met name om de vraag of de afzender ervan wordt vertrouwd door het ontvangend publiek. Kim & Oh (2015) stellen dat naarmate inwoners meer vertrouwen hebben in de (lokale) overheid of rampenbestrijdingsorganisatie, ze meer geneigd zijn om een evacuatiebevel of advies van deze partijen op te volgen. Ook als inwoners vanuit andere in hun ogen betrouwbare bronnen een dergelijk advies ontvangen, zal de mate van navolging toenemen. Hier gaat het bijvoorbeeld om bronnen als familieleden, leidende figuren uit de gemeenschap of de media (Thompson, Garfin & Silver, 2017; Kim & Oh, 2015).

#### **Risicoperceptie**

Een laatste factor van belang is risicoperceptie. Hier gaat het om het door burgers gepercipieerde gevaar dat uitgaat van de oorspronkelijke gebeurtenis die leidt tot het nemen van maatregelen (Dash & Gladwin, 2007; Thompson, Garfin & Silver, 2017). Hoe meer een individu de gebeurtenis ziet als een gevaar voor zichzelf of zijn of haar gezin, hoe eerder navolging zal worden gegeven aan een advies tot evacuatie of schuilen. Uit onderzoek blijkt bijvoorbeeld dat mensen die wonen in een huis met door verstevigde luiken af te dekken ramen, minder geneigd zijn om te evacueren wegens een overtrekkende orkaan. Dit omdat ze

de gevaren van een orkaan voor zichzelf lager inschatten dan voor mensen waarvan de woning niet beschikt over extra bescherming (Thompson, Garfin & Silver, 2017).

De risicoperceptie van burgers kan (sterk) verschillen van de risicoschatting door deskundigen. Er zijn verschillende theoretische kaders die deze verschillen pogen te verklaren. Hieronder worden kort twee van deze stromingen uiteengezet: de psychometrische benadering en de sociale amplificatie van risico's. Deze hebben als overkoepelend kenmerk dat ervan uitgegaan wordt dat de risicoperceptie van burgers in mindere mate is gebaseerd op een objectieve inschatting van kans en effect. Daarentegen spelen andere, meer subjectieve (omgevings)factoren een belangrijke rol.

De psychometrische benadering stelt dat de mate waarin mensen iets als een risico zien, afhangt van de 'score' die ze eraan toekennen op twee dimensies: bekendheid en angstwekkendheid. Naarmate mensen bekender zijn met het risico en deze als minder angstwekkend beschouwen, is hun risicoperceptie lager, en vice versa. De beide dimensies zijn verder onderverdeeld in een aantal aspecten. Zo wordt er bij het bepalen van de mate van angstwekkendheid bijvoorbeeld gekeken of het een vrijwillig risico is en of het wordt gezien als controleerbaar. Bij het bepalen van bekendheid wordt onder andere gekeken naar de observeerbaarheid van het risico, en of het een direct dan wel uitgesteld effect heeft (Slovic, 1987; 1996).

Het '*Social Amplification of Risk Framework (SARF)*' stelt op zijn beurt dat mensen een mening vormen over een risico op basis van de signalen die zij oppikken uit hun (sociale) omgeving. Informatie over een risico bereikt mensen vaak niet rechtstreeks, maar reist eerst via een aantal tussenstations. Zo zullen veel mensen geen directe ooggetuige zijn van een zich voltrekkend kernongeval, maar wel informatie hierover ontvangen via bijvoorbeeld vrienden, familie, de (sociale) media of de politiek. Al deze tussenstations kunnen op hun beurt het risico als groter (amplificeren) of kleiner (mitigeren) voordoen dan het is en hiermee de perceptie van de ontvanger beïnvloeden (Fellenor et al., 2017; Kasperson et al., 1988).

### 6.3.3 *Uitwerking en operationalisatie van indicatoren*

Er is een breed scala aan factoren die invloed kunnen hebben op de beslissing van mensen om wel of niet een maatregel te accepteren en deze na te volgen. Alhoewel deze factoren invloed hebben op de beslissing, is er geen eenduidig antwoord op de vraag in welke mate ze ieder voor zich de acceptatie beïnvloeden. Dit maakt dat het niet mogelijk is om elk facet in kaart te brengen en vervolgens tegen elkaar af te wegen.

Een alternatieve uitwerking van deze dimensie is om burgers op voorhand verschillende scenario's van een stralingsongeval en daaropvolgende maatregelen voor te leggen. Op basis hiervan kan worden gevraagd naar hun verwachte handelen. Uit onderzoek blijkt dat deze verwachtingen voor een groot deel overeen zullen komen met hoe mensen zich zullen gedragen wanneer ze daadwerkelijk geconfronteerd worden met een oproep tot evacuatie (Kim & Oh, 2015). Zo kan dus in ieder geval op



hoofdlijnen een beeld worden verkregen van wanneer mensen op welke wijze handelen. Ook kunnen met deze onderzoeksmethode de twee andere onderdelen van acceptatie (attitude en houding) worden meegenomen.

#### **6.4 Burgerparticipatie**

Gebrekkige communicatie, zoals bij het ongeval in Fukushima, draagt bij aan een gebrek aan vertrouwen (Murayama, 2012). De Japanse overheid verzweeg informatie over het ongeval en wist de gezondheidseffecten van straling niet duidelijk uit te leggen (Figueroa, 2013). Een gevolg hiervan was dat vrijwilligers de officiële cijfers wantrouwden en zelf metingen gingen uitvoeren, bijvoorbeeld via het project *Safecast* ([www.safecast.org](http://www.safecast.org)), dat in vijf jaar tijd al meer dan veertig miljoen metingen heeft geregistreerd (Brown et al., 2016). Door het gebruik van minder gevoelige of niet gekalibreerde apparatuur en variatie in de manier waarop metingen worden uitgevoerd, kunnen deze burgermetingen een lagere kwaliteit hebben dan officiële metingen, maar door het grote aantal metingen is het meetnet uitgebreider en fijnmaziger. Zo kunnen variaties in dosistempo binnen een gebied in kaart gebracht worden om 'hotspots' op te sporen (Perko, 2016). Burgermeetprogramma's kunnen bijdragen aan een verhoogd vertrouwen, kennis onder burgers en gemakkelijkere communicatie tussen burgers en professionele wetenschappers (Conrad en Hilchey, 2011).

Verskillende onderzoekers benadrukken het belang van het betrekken van de bevolking bij de planning van (sanerings)maatregelen na kernongevallen (Oughton et al., 2004; Bay en Oughton, 2005; IAEA, 2006b; Oughton, 2011; Hardie en McKinley, 2014). Zo kan extra aandacht worden besteed aan het herstellen van voor de bevolking belangrijke gebieden die bijdragen aan de leefbaarheid, bijvoorbeeld recreatiegebieden en objecten van cultuurhistorisch belang, om zo de terugkeer na evacuatie te vergemakkelijken. Maatregelen die van boven worden opgelegd aan de bevolking worden over het algemeen minder geaccepteerd dan vrijwillige maatregelen (Oughton et al., 2004). Relocatie en restricties worden daarom negatiever beoordeeld dan bijvoorbeeld het geven van voedingsadvies of verstrekken van meetapparatuur.

Mensen kunnen verschillende redenen hebben om mee te doen met burgermetingprojecten, zoals technologische nieuwsgierigheid of bezorgdheid om hun gezondheid (Elberse en Den Broeder, 2020). Een Nederlands voorbeeld is het Samen Meten-programma van het RIVM (<https://samenmeten.rivm.nl/dataportaal/>), waarbij burgers worden ondersteund bij het meten van luchtkwaliteit en geluidsoverlast. Het is belangrijk om, voordat een mogelijk stralingsongeval plaatsvindt, al aandacht te besteden aan burgerparticipatie, omdat tijdens de vroege fase van een ongeval er weinig tijd is om een communicatiestrategie uit te werken of een burgermetingplatform op te bouwen (Perko, 2016).

#### **6.5 Samenvatting en uitdagingen**

De verschillende sociaalmaatschappelijke aspecten zijn sterk met elkaar verbonden. Risicoperceptie en vertrouwen spelen een belangrijke rol bij de navolging van maatregelen, wat weer invloed heeft op de leefbaarheid

van een gebied. Zo kan bij een gebied dat als 'onveilig' wordt gezien de leefbaarheid afnemen door grootschalige emigratie.

Leefbaarheid is subjectief. Bij het uitwerken van deze dimensie dient daarom gebruikgemaakt te worden van enquêtes, panels en interviews. Het actief betrekken van burgers, bijvoorbeeld door middel van burgermetingen, kan een positief effect hebben op de acceptatie. Tabel 7 hieronder bevat een overzicht van de voor- en nadelen van de belangrijkste indicatoren.

Tabel 7. Overzicht dimensie sociaal-maatschappelijke effecten.

<b>Sociaal-maatschappelijke effecten</b>			
<i>Criteria</i>	<i>Indicatoren</i>	<i>Voordelen</i>	<i>Nadelen</i>
Leefbaarheid	Subjectieve leefbaarheid	Sluit goed aan bij de beleving van burgers en kan worden uitgevraagd op een hoog detailniveau.	Moet worden uitgevraagd. Dit betekent dat deze indicator ofwel voorafgaand aan een stralingsongeval ofwel in de herstelfase van een ongeval in kaart dient te worden gebracht.
	Objectieve leefbaarheid	Gegevens zijn op voorhand beschikbaar en hoeven niet extra te worden uitgevraagd. Objectieve indicatoren kunnen voor een meer compleet beeld dienen ter ondersteuning van meer subjectieve (en vice versa).	Sluit minder goed aan bij de beleving van het publiek. Voor sommige onderwerpen zijn er geen objectieve indicatoren beschikbaar.
Acceptatie	Persoons- en demografische kenmerken	Makkelijk in kaart te brengen, gegevens zijn veelal beschikbaar.	Geen wetenschappelijke consensus over welke indicatoren hier precies relevant zijn.
	Vertrouwen	Sluit goed aan bij de beleving van burgers en kan worden uitgevraagd op een hoog detailniveau.	Moet worden uitgevraagd. Dit betekent dat deze indicator ofwel voorafgaand aan een stralingsongeval ofwel in de herstelfase van een ongeval in kaart dient te worden gebracht.
	Risicoperceptie		

### 6.5.1 *Uitdagingen*

Het uitwerken van deze dimensie brengt enkele uitdagingen met zich mee. Net als bij de overige dimensies is de attributie van een effect ingewikkeld. In welke mate is een verandering van de leefbaarheid of de acceptatie toe te schrijven aan een crisismaatregel? Daarnaast zal er overlap zijn met andere dimensies. Zo kan een verslechtering van de (mentale) gezondheid invloed hebben op de (sociale) leefbaarheid en vice versa, en kan een verandering in de werkgelegenheid gevolgen hebben

voor zowel de leefbaarheid als de economie (dimensie financieel). Ook kunnen de effecten verschillend zijn voor verschillende bevolkingsgroepen, bijvoorbeeld evacués uit het rampgebied en bewoners van opvanggebieden. Het voorbeeld van Fukushima laat zien dat zowel de fysieke als de sociale leefbaarheid van een gebied kan veranderen door de plotselinge toestroom van evacués. Als laatste moet worden bepaald of indirecte effecten worden meegenomen en op welke tijdschaal.



## 7 De dimensie overige bestuurlijke kaders

De voorgaande hoofdstukken over de dimensies gezondheid, financieel-economische effecten en sociaal-maatschappelijke effecten hebben elk een aspect geïntroduceerd waarlangs de voor- en nadelen van beschermingsmaatregelen in kaart kunnen worden gebracht. Bij het beoordelen van een maatregel is echter ook de bestuurlijke dimensie van belang. Deze dimensie kan worden onderverdeeld in drie criteria:

- juridisch;
- uitvoerbaarheid;
- ethiek.

Elk van de bovenstaande criteria wordt hieronder nader toegelicht. In tegenstelling tot de voorgaande drie dimensies, wordt de dimensie overige bestuurlijke kaders nog niet volledig uitgewerkt in een subset van concrete indicatoren. De dimensie overige bestuurlijke kaders onderscheidt zich van de andere in het rapport beschouwde dimensies, omdat genomen maatregelen geen effect hebben op bestuurlijke afwegingen: maatregelen kunnen bijvoorbeeld een effect hebben op de gezondheid, maar niet op hun eigen rechtmatigheid. Bestuurlijke criteria geven eerder een afbakening van de ruimte waarbinnen maatregelen genomen worden. Een belangrijke overeenkomst tussen alle in dit rapport beschouwde dimensies is, dat het mogelijk is indicatoren te ontwikkelen voor de beoordeling van maatregelen. Dit geldt ook voor bestuurlijke kaders. Daarmee kunnen in een overkoepelend afwegingskader de effecten van maatregelen worden gewogen samen met bestuurlijke aspecten en is het mogelijk tot een geïntegreerde afweging te komen.

### 7.1 Juridisch

Een te nemen maatregel dient in lijn te zijn met de in Nederland geldende wet- en regelgeving, alsmede mogelijke internationale afspraken en verdragen. Zo bestaat er in Nederland een wettelijk kader voor het overgaan tot evacuatie (Ministerie van Veiligheid en Justitie, 2014). Belangrijke vraagstukken zijn bijvoorbeeld wie er bevoegd is om te besluiten tot evacuatie en hoe de financiële lasten hiervan worden verdeeld over verschillende publieke partijen. Specifiek voor kernongevallen zijn sommige zaken vastgelegd in de Kernenergiewet. Hierbij gaat het onder andere over de vraag welke partij bevoegd is om maatregelen te nemen (artikel 46) (Rijksoverheid, 2018).

Ook op internationaal vlak zijn er afspraken gemaakt over bijvoorbeeld de rechten van mensen op het gebied van adequate huisvesting en opvang in het geval van intern ontheemden (Ishimori, 2017).

### 7.2 Uitvoerbaarheid

Een mogelijke maatregel dient hoe dan ook praktisch uitvoerbaar te zijn. Dit betekent dat deze haalbaar dient te zijn op het vlak van bijvoorbeeld (Nisbet et al., 2010a):

- benodigd materieel (voertuigen voor evacuatie);
- fysieke infrastructuur (uitvalswegen in goede staat, ontvangstcentra voor evacués);
- gebruiksgoederen (voedsel, dekens en hygiëneproducten);
- menselijk kapitaal (kennis en beschikbaarheid).

Een van de redenen dat de evacuatie volgend op het kernongeval bij Fukushima niet soepel verliep, was het feit dat veel van de fysieke infrastructuur was beschadigd als gevolg van de eerdere aardbeving en tsunami (IAEA, 2015b).

Ook de vraag in welke mate een maatregel wordt geaccepteerd door de mensen waar deze betrekking op heeft, kan gevolgen hebben voor de uitvoerbaarheid ervan (zie hoofdstuk 6).

### 7.3 Ethiek

Het nemen van maatregelen en de praktische uitvoering ervan dienen in lijn te zijn met geldende moreel-ethische overtuigingen en waarden met betrekking tot wat wel en wat niet als toelaatbaar wordt gezien. Deze waarden zijn onderhevig aan verandering en kunnen dus verschillen over de tijd.

Momenteel stelt de ICRP (2018) dat er vier van dergelijke kernwaarden zijn die het stelsel van stralingsbescherming vormgeven:

- goed(gunstig)heid en niet-schadelijkheid: maatregelen moeten zoveel mogelijk goed doen en zo min mogelijk schade veroorzaken;
- behoedzaamheid/wijsheid: de vaardigheid weloverwogen keuzes te maken, ook op basis van incomplete kennis over reikwijdte en consequenties van je acties. Het *voorzorgsprincipe* hangt hiermee sterk samen.
- rechtvaardigheid: de voor- en nadelen van maatregelen dienen eerlijk verdeeld te zijn over betrokkenen;
- waardigheid: maatregelen dienen het individu te respecteren, ongeacht persoonskenmerken als afkomst of gender.

Wanneer maatregelen in lijn zijn met maatschappelijke kernwaarden, kan dit bovendien de acceptatie ervan bevorderen.

## 8 Overzicht dimensies en additionele overwegingselementen

In de voorgaande hoofdstukken zijn vier verschillende dimensies toegelicht. Tabel 8 vat de belangrijkste dimensies, criteria en indicatoren samen. Dit overzicht is niet uitputtend, maar geeft op hoofdlijnen de verschillende typen dimensies en mogelijke uitwerkingen hiervan weer. Bij het grootste deel van de dimensies dienen er nog keuzen te worden gemaakt over hoe deze precies worden uitgewerkt, met name op het niveau van indicatoren. Een bijkomende uitdaging is dat er voorsnog niet één enkele eenheid is aan de hand waarvan de effecten op de verschillende indicatoren kunnen worden uitgedrukt: de waarde van een indicator voor objectieve leefbaarheid is moeilijk te vergelijken met de waarde van de indicator verloren levensjaren, omdat de twee indicatoren in verschillende eenheden worden uitgedrukt. Dit betekent dat de onderlinge vergelijkbaarheid nog niet is geborgd.

*Tabel 8. Overzicht van de belangrijkste dimensies, criteria en indicatoren.*

<b>Dimensie</b>	<b>Criteria</b>	<b>Mogelijke indicatoren</b>
1. Gezondheid	1.1 Fysieke gezondheid	Absolute aantal doden. <i>Loss of Life Expectancy (LLE).</i> <i>Disability Adjusted Life Years (DALY's).</i> <i>Quality Adjusted Life Years (QALY's).</i>
	1.2 Mentale gezondheid	Absolute aantal mensen met een mentale aandoening. <i>Disability/Quality Adjusted Life Years (DALY's/QALY's).</i> <i>Loss of Happy Life Expectancy (LHpLE).</i>
2. Financieel-economisch	2.1 Directe kosten en opbrengsten	Directe kosten. Directe opbrengsten. Directe herstelkosten.
	2.2 Gevolgen voor de economie	Negatieve gevolgen voor de economie. Positieve gevolgen voor de economie.
3. Sociaal-maatschappelijk	3.1 Leefbaarheid	Subjectief. Objectief.
	3.2 Acceptatie	Persoons- en demografische kenmerken Vertrouwen. Risicoperceptie.
4. Bestuurlijk	4.1 Juridisch	N.v.t.
	4.2 Uitvoerbaarheid	N.v.t.
	4.3 Ethiek	N.v.t.

Wat opvalt is dat bij het merendeel van de dimensies hetzelfde type vraag nog onbeantwoord blijft. Zo speelt de kwestie hoe de dimensies in de praktijk helder van elkaar kunnen worden onderscheiden. In beginsel dienen de beschouwde dimensies immers onafhankelijk van elkaar te

zijn. Verder speelt de vraag hoe effecten op de dimensie kunnen worden geassocieerd aan specifieke maatregelen. Hoofdstuk 9 presenteert een aantal verschillende afwegingskaders en, onder andere, hoe deze de bovenstaande vragen in meer of mindere mate hebben geadresseerd.



## 9 Afwegingskaders en methoden

In aanvulling op de behandeling van het in Nederland toegepaste ICRP-beschermingskader, dat al is toegelicht in hoofdstuk 2, worden in dit hoofdstuk acht (internationale) initiatieven toegelicht die als opzet dan wel als inspiratie kunnen dienen voor het (verder) ontwikkelen van een methode om verschillende dimensies van beschermende maatregelen bij kernongevallen tegen elkaar af te kunnen wegen. Zes van die initiatieven komen voort uit het stralingsdomein. Twee hebben een andere oorsprong. In Paragraaf 9.9 wordt kort beschouwd hoe deze initiatieven kunnen bijdragen aan de verdere ontwikkeling van het hierboven vermelde afwegingskader.

### 9.1 IAEA-beoordelingskader

Het in hoofdstuk 2 omschreven ICRP-beschermingskader is nader uitgewerkt door het *International Atomic Energy Agency* (IAEA), tot een beschermingsstrategie (IAEA, 2013; 2015) voor de fase die in IAEA terminologie *urgente fase* wordt genoemd. Deze is vergelijkbaar met de *vroege fase* in dit rapport (zie Tabel 1). De IAEA-methodiek levert een praktische invulling van de ICRP-concepten, gebaseerd op onder andere *Emergency Action Levels* (EAL) en *Operational Intervention Levels* (OILS). Deze zijn afgeleid van de zogenoemde *Generic Criteria* (GC) voor geprojecteerde en ontvangen dosis, voor de volledige beschermingsstrategie. Deze *Generic Criteria* nemen de plaats in van de vroegere interventieniveaus, die enkel op de vermeden dosis van een interventie waren gebaseerd.

In de vroege fase van de respons op een noodsituatie is uitvoering van het proces van optimalisatie met betrokkenheid van stakeholders minder geschikt. Dit omdat al deze afwegingen in *real-time* niet gerealiseerd kunnen worden. Op basis van specifieke scenario's worden al tijdens de voorbereiding geschikte referentieniveaus vastgesteld en algemene dosiscriteria afgeleid voor de te verwachten potentiële en ontvangen dosis. Een verdere vertaalslag naar operationele en meetbare grootheden levert een verzameling operationele interventie- en actieniveaus; *Operational Intervention Levels* (OILS) en *Emergency Action Levels* (EAL). Deze vormen uiteindelijk de 'triggers' voor uitvoering van specifieke beschermende maatregelen tijdens de noodsituatie.

De IAEA-aanpak in de vroege fase lijkt hiermee vooral bepaald door radiologische factoren; geprojecteerde en ontvangen dosis. Rechtvaardiging en optimalisatie van maatregelen worden hier geacht vooraf, in de voorbereiding op noodsituaties, te zijn uitgevoerd en vertaald naar specifieke waarden van de *Generic Criteria*. Voor kernongevallen heeft de IAEA een volledige verzameling van deze criteria uitgewerkt, met inbegrip van bijpassende OILS (IAEA 2013).

Is een trigger voor een *general* of *off-site emergency* aan de orde, dan verloopt de respons voor een ongeval met een kernreactor in de vroege fase volgens een vooropgezet plan. In de nabijheid van de centrale (tot 2 à 5 km) bestaat er een risico op het optreden van ernstige

deterministische en stochastische effecten. In de ring daarbuiten (tot 15 à 30 km) veroorzaakt inhalatie van radioactief materiaal een verhoogde kans op kanker. Om effectief te zijn, dienen beschermende maatregelen bij voorkeur vóór de aankomst van een radioactieve pluim te worden geïmplementeerd. De IAEA-methodiek gaat bij een *general emergency* uit van evacuatie, in combinatie met inname van jodiumtabletten. Eerst in de '*Precautionary Action Zone*' (PAZ), tot 2-5 km van de centrale, en daarna, na voltooiing van de evacuatie in de PAZ, in de '*Urgent Protection Zone*' (UPZ). Deze zone loopt tot 15-30 km van de centrale. Omdat de timing van de emissie onzeker is, wordt de maatregel direct en enkel op basis van de trigger genomen. Het betreft hier in feite een voorzorgbesluit ter voorkoming van ernstige gezondheidseffecten. Uiteraard wordt alleen geëvacueerd indien dat met voldoende veiligheidswaarborgen kan plaatsvinden. Is daar niet aan voldaan, dan wordt gekozen voor schuilen in plaats van evacuatie. Een emissie van radioactiviteit kan in een groter gebied leiden tot *hot spots*, waar de dosis in dagen tot weken de *generic criteria* bereikt, waarbij beschermende maatregelen gerechtvaardigd zijn. Dit is relevant in een gebied tot 50 à 100 km rondom de centrale. Deze beschermende maatregelen leiden in het algemeen tot een (tijdelijke) relocatie en worden gebaseerd op directe meetbare operationele grootheden (OILS). Ook relocatie is aan een trigger gekoppeld. In dit geval is dat een operationeel interventieniveau afgeleid uit de *generic criteria*, waarbij beschermende maatregelen gerechtvaardigd worden geacht. In alle gevallen is rechtvaardiging van het besluit en optimalisatie al vooraf uitgevoerd en heeft het zodoende in de planvorming zijn plaats gekregen.

## 9.2 EURANOS

Het EURANOS<sup>1</sup>-initiatief heeft als doel om besluitvormers te helpen bij het evalueren en afwegen van verschillende managementopties volgend op een stralingsongeval. Hiertoe is een set van drie handboeken ontwikkeld die zich richten op bewoonde gebieden (Nisbet et al., 2010a), systemen met betrekking tot voedselproductie (Nisbet et al., 2010b) en drinkwater (Brown, Hammond & Kwakman, 2009).

Het zwaartepunt van de handboeken ligt op de radiologische bescherming van de bevolking. Wel wordt gesteld dat een goede respons ook andere, dat wil zeggen economische, sociale, culturele en ethische elementen meeneemt (Nisbet et al., 2010a). Hiertoe geven de handboeken informatie over de wetenschappelijke, technische en maatschappelijke aspecten van verschillende handelingen. Binnen de documenten ligt de nadruk op de herstelfase en in mindere mate op de fase direct volgend op een stralingsongeval. Voor vragen rond de effecten van maatregelen als schuilen en evacuatie, is het handboek dat zich richt op '*inhabited areas*' het meest relevant. Binnen dit document worden 59 mogelijke managementopties besproken. Het merendeel hiervan heeft betrekking op het reinigen of saneren van mogelijk besmette oppervlakten, zoals het schoonspuiten van gebouwen en het afgraven van land. Drie opties gaan over verschillende varianten van schuilen en vijf over het beperken van toegang tot het getroffen gebied (waaronder evacuatie).

<sup>1</sup> *European approach to nuclear and radiological emergency management and rehabilitation strategies* (EURANOS)

Voor alle opties wordt informatie gegeven over onder andere de volgende zaken:

- de bescherming die ze bieden tegen verschillende soorten radionucliden;
- de radiologische effectiviteit van de maatregel;
- de omgevings- en juridische beperkingen;
- de haalbaarheid van de maatregel;
- de hoeveelheid gegenereerd afval;
- de directe kosten van de interventie zelf;
- de bijeffecten. Binnen deze laatste categorie wordt gekeken naar effecten voor milieu en maatschappij.

De diepgang van de informatie die wordt gegeven in de datasheets varieert sterk. Veelal beperkt deze zich voor de verschillende onderdelen tot steekwoorden en kernzinnen zonder verdere duiding. Er wordt dan ook geen expliciete afweging gemaakt tussen de verschillende onderdelen. Wel geven de datasheets een tamelijk compleet overzicht van de (bij)effecten van maatregelen. In deze zin zijn er voldoende handvatten voor de lezer om zelf nadere duiding te zoeken. Ook wordt er op hoofdlijnen een vergelijking gemaakt wat betreft de haalbaarheid van alle opties. Hierbij wordt met name besproken hoeveel beperkingen er zijn en van welke aard. Verder wordt ook de verwachte effectiviteit (in de zin van vermeden blootstelling) van alle opties naast elkaar gelegd.

### 9.3 CODIRPA

Het Franse *Autorité de Sûreté nucléaire* (ASN) heeft het *Steering Committee for the Management of the Post-Accident Phase of a Nuclear Accident* (CODIRPA) gevraagd om een overzicht op te stellen van relevante beleidsinstrumenten in de (onmiddellijke) nafase van een stralingsongeval (CODIRPA, 2012). Het gaat hierbij specifiek om maatregelen die kunnen worden genomen bij een stralingsongeval van een 'gemiddelde' afmeting, waarbij gedurende minder dan 24 uur radioactief materiaal vrijkomt. Het resultaat van deze vraag is een document genaamd *Policy Elements for Post-Accident Management in the Event of Nuclear Accident*.

Het document beschrijft de vorm en inhoud van een aantal maatregelen die in verschillende fasen volgend op het initiële stralingsongeval kunnen worden genomen. Het gaat onder andere over evacuatie, relocatie, maatregelen gericht op de veiligheid van agrarische producten en de vitaliteit van de economie. Hierbij ligt de nadruk niet alleen op het voorkomen van negatieve gezondheidseffecten als gevolg van blootstelling aan straling, maar wordt ook benadrukt dat de sociale en economische dimensies moeten worden meegenomen. Het primaire uitgangspunt van elke maatregel moet zijn dat de hieraan verbonden winst (vooral in termen van voorkomen blootstelling) in verhouding staat tot eventuele nadelen. Er wordt geredeneerd vanuit het principe dat de blootstelling van de bevolking aan ioniserende straling zo laag als redelijkerwijs mogelijk dient te worden gehouden, waarbij economische en sociale factoren mede in beschouwing worden genomen (het optimalisatieprincipe).

Alhoewel het document refereert aan het maken van een afweging tussen verschillende belangen bij het invoeren van maatregelen, worden er geen handvatten geboden met betrekking tot hoe dit het beste kan worden gedaan. Veelal zijn onderwerpen als het adresseren van problemen rond mentaal welzijn van evacués anekdotisch van aard, waarbij het wordt gepresenteerd als een onderwerp dat de aandacht verdient. Er wordt verder geen breed toepasbaar afwegingskader uitgewerkt. Wel wordt vermeld dat de beslissing om sommige acties wel of niet uit te voeren op de eerste plaats zal worden gebaseerd op de hoeveelheid blootstelling die kan worden voorkomen.

#### 9.4 PACE/COCO-2

*Public Health England* gebruikt een combinatie van twee verschillende modellen om tot een inschatting te komen van de economische kosten van een stralingsongeval (Ashley et al., 2017b; Higgins et al. 2008). Om te beginnen wordt het *Probabilistic Accident Consequence Evaluation* (PACE)-model gebruikt om de gevolgen van een mogelijk stralingsongeval in kaart te brengen. Aan de hand van verspreidingsmodellen wordt bepaald welke maatregelen wanneer worden genomen. Hierbij gaat het onder andere om evacuatie, (tijdelijke) relocatie, een advies tot schuilen en jodiumprofylaxe. Het PACE-model berekent voor hoeveel mensen een dergelijk advies van toepassing is. Dit kan worden gedaan voor verschillende dosislimieten. Het aantal mensen dat bijvoorbeeld moet worden geëvacueerd, hangt hierbij af van welke blootstellingsnorm als acceptabel wordt gezien. Hoe lager de norm, hoe meer mensen er waarschijnlijk moeten worden geëvacueerd, en vice versa. Ook maakt het PACE-model een inschatting van het aantal mensen met onmiddellijke of uitgestelde (fysieke) gezondheidseffecten en van de hoeveelheid agrarische producten die niet meer geschikt zijn voor consumptie.

De gegevens uit de berekeningen binnen het PACE-model worden vervolgens ingevoerd in een *integral economic assessment model* (COCO-2). Dit model kent economische kosten toe aan de effecten van het ongeval die zijn gedefinieerd in het PACE-model. Hierbij wordt gekeken naar bijvoorbeeld de verwachte extra medische kosten, de kosten van maatregelen als evacuatie en relocatie, effecten op de binnenlandse productie (BNP) en het verlies van (fysiek) kapitaal. Het kan dan gaan om directe kosten als gevolg van het ongeval en om *tweede-orde-kosten*. Zo kunnen (verwachte) medische uitgaven toenemen als gevolg van de blootstelling aan straling (eerste orde), maar ook als gevolg van maatregelen als evacuatie (tweede orde).

Wanneer deze twee modellen worden gecombineerd, kan een overzicht van gevolgen worden gegenereerd (vertaald naar kosten in ponden). Ook kan worden vergeleken wat de gevolgen zijn als een lagere of hogere blootstellingsnorm wordt aangehouden als grens om over te gaan tot bijvoorbeeld evacuatie. Alhoewel deze benadering een breed spectrum aan mogelijke effecten analyseert en deze vertaalt naar een concrete maatstaf (ponden), zijn er nog steeds diverse zaken die buiten beschouwing blijven. Ondanks het feit dat wel wordt gekeken naar gezondheidseffecten in de zin van morbiditeit en mortaliteit, gebeurt dit niet op het gebied van mentale effecten. Ook effecten op aspecten van de sociaal-maatschappelijke dimensie komen niet expliciet aan bod.

## 9.5 ***J-value*-methode**

In een tweetal artikelen hebben Waddington, Thomas, Taylor & Vaughan (2017a; 2017b) maatregelen beoordeeld die zijn genomen als gevolg van de kernongevallen in Chernobyl (1986) en Fukushima (2011). In het ene artikel (2017a) is specifiek gekeken naar relocatiemaatregelen en in het andere (2017b) naar andere maatregelen, zoals de ontsmetting van stedelijke gebieden en het tegengaan van bodemverontreiniging.

Binnen beide artikelen wordt een methode gehanteerd voor het afwegen van voor- en nadelen: de *Judgement-* of *J-value*-methode. Uitgangspunt van deze methode is dat (extra) uitgaven aan veiligheid in de vorm van bijvoorbeeld relocatiemaatregelen in balans dienen te zijn met de te verwachten opbrengsten van deze maatregel in termen van de toename in kwaliteit van leven van de mensen waarop de interventie is gericht. Binnen de methode wordt gesteld dat de kwaliteit van leven kan worden beoordeeld aan de hand van twee variabelen: levensverwachting en besteedbaar inkomen, uitgedrukt in BNP per capita.

Zowel de positieve als negatieve gevolgen van bijvoorbeeld relocatie op deze twee onderdelen dienen te worden meegenomen. Negatieve gevolgen zijn bijvoorbeeld zelfdoding of verkeersslachtoffers als gevolg van de relocatie, maar ook versturende effecten op de economie. De *J-value* wordt uitgedrukt in een ratio. Zolang de ratio van de uitgaven ten opzichte van de behaalde winst de waarde 1 niet overschrijdt, zijn de uitgaven te verantwoorden. Wanneer de ratio 2 of 3 is, dan wordt er twee respectievelijk drie keer zoveel uitgegeven als de norm aangeeft in het licht van winst in kwaliteit van leven.

De *J-value*-methode stelt dat alle effecten van maatregelen terug zijn te leiden op de kwaliteit van leven en daarmee levensverwachting en besteedbaar inkomen. Dit betekent dat veel andere variabelen zoals ecologische of politiek-bestuurlijke gevolgen niet expliciet worden beschouwd. Een substantiële achteruitgang in de kwaliteit van de natuurlijke omgeving kan uiteraard wel indirect effect hebben op bijvoorbeeld de levensverwachting, maar is niet een afweging die op eigen merites expliciet wordt meegenomen in deze methode.

In die zin mist de *J-value*-methode nog onderdelen die het geschikt zouden maken voor het opstellen van een geïnformeerde beleidsafweging waarbij rekening wordt gehouden met verschillende prioriteiten en waarden, anders dan alleen de kosteneffectiviteit.

## 9.6 **CONFIDENCE**

Het EU-project CONFIDENCE had als doel gaten te dichten in de kennis die nodig is voor de adequate aanpak van kernongevallen en andere zware stralingsongevallen. Nederland (in de vorm van het RIVM en het onderzoeksinstituut *Wageningen Food Safety Research*, voorheen DLO-RIKILT), heeft deelgenomen aan dit initiatief (<https://euneric.net/projects/concert/project-concert-confidence.html>). Het project is eind 2019 afgerond; de projectresultaten zullen in de loop van 2020 gerapporteerd worden.

Binnen CONFIDENCE is onder meer onderzoek gedaan naar verbetering van de voorbereiding en de respons in de intermediaire fase van een stralingsongeval (zie <https://eu-neris.net/projects/concert/project-concert-confidence.html>). Strikt genomen valt deze fase buiten de scope van dit rapport, maar omdat delen van de methodiek ook in de vroege fase toepasbaar zijn, wordt het initiatief hier toch besproken.

Om de bestuurlijke besluitvorming in de herstelfase te ondersteunen, is binnen CONFIDENCE een beoordelings- en afwegingsinstrument ontwikkeld. Vervolgens zijn in diverse landen, waaronder Nederland, nationale stakeholders gevraagd om aan de hand van een oefenscenario de bijdrage van het instrument aan het besluitvormingsproces te toetsen.

Kenmerkend voor complexe situaties als een stralingsongeval, is dat er vanuit meerdere perspectieven naar het probleem gekeken wordt en dat al deze perspectieven hun eigen (set van) beoordelingscriteria hebben. Besluitvorming vindt derhalve plaats op basis van meerdere criteria. Binnen CONFIDENCE is daarom een instrument ontwikkeld waarmee een *Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA) ondersteund wordt: de MCDA-tool van CONFIDENCE kwantificeert voor elk ingevoerd criterium de score van een maatregelenpakket, telt de scores van alle criteria bij elkaar op en genereert op deze manier een ranglijst van de verschillende maatregelenpakketten, in termen van geschiktheid.

Om de MCDA-tool goed te laten werken, dient de invoer te voldoen aan de volgende condities:

- De verzameling criteria is dekkend voor een volledige beoordeling van een maatregelenpakket.
- Voor elk criterium geldt dat een maatregelenpakket hierop kwantitatief gescoord kan worden en dat de range van scores genormaliseerd kan worden tussen 0 (slechtst) en 1 (optimaal).
- De criteria zijn ten opzichte van elkaar onafhankelijk, ze beïnvloeden elkaar dus niet.
- Het belang van de verschillende criteria kan ten opzichte van elkaar gewogen worden.

De in de eerdere hoofdstukken van dit rapport beschreven criteria voldoen nog niet aan deze set eisen: een set criteria die geschikt is om de effecten van maatregelen op alle beschouwde dimensies te beoordelen, is nog niet beschikbaar, en waar wel kwantitatieve indicatoren bestaan, zijn deze niet altijd automatisch onafhankelijk. Zo zal, bij wijze van voorbeeld, gezondheidswinst leiden tot meer arbeidsproductiviteit en minder medische kosten, wat in beide gevallen uitgedrukt kan worden in kosten of baten. Als criteria voor gezondheidswinst en financieel-economische gevolgen allebei worden ingezet, is het dus zaak om de kosten van maatregelen zo te definiëren dat er geen, of in ieder geval zo min mogelijk, dubbeltellingen plaatsvinden.

Tijdens een bijeenkomst met Nederlandse stakeholders is een poging gedaan om acht maatregelenpakketten, passend bij een van tevoren uitgewerkt kernongevalscenario, met behulp van de MCDA-tool te rangschikken, rekening houdend met effecten op gebieden die sterk overeenkomen met de in dit rapport beschouwde dimensies. Daarbij bleek dat verschillende individuen tot sterk verschillende scores

kwamen. Dat is voor een belangrijk deel te verklaren door het feit dat persoonlijke inschattingen gemaakt moesten worden van de scores op de dimensies leefbaarheid en bestuurlijk. Voor deze dimensies zijn nog onvoldoende kwantitatieve indicatoren beschikbaar.

Verder merken we op dat voor sommige criteria geldt dat de score situatieafhankelijk zal zijn. Zo zal de maatschappelijke acceptatie van een maatregelenpakket sterk samenhangen met de kwaliteit waarmee dit pakket (en alternatieven) zijn toegelicht en de burgers als stakeholder serieus genomen zijn. De kwaliteit van het communicatieproces kan de acceptatie van maatregelen immers maken of breken.

De MCDA-tool van CONFIDENCE heeft de potentie een bijdrage te leveren aan het besluitvormingsproces, maar de ontwikkeling van een bruikbare set indicatoren vereist nog een aanzienlijke inspanning.

## 9.7 Methodiek nationale veiligheid

Het Analistennetwerk Nationale Veiligheid (ANV) heeft een methodiek ontwikkeld aan de hand waarvan zowel de waarschijnlijkheid van risico's als de gevolgen ervan op de nationale veiligheid kunnen worden bepaald en onderling vergeleken. De kern van deze benadering zijn de zes nationale veiligheidsbelangen en bijbehorende impactcriteria (zie Tabel 9). Bij het analyseren van een risico wordt voor elk van deze criteria gekeken of ze van toepassing zijn en daarmee ook of het nationale veiligheidsbelang wordt geraakt. Periodiek brengt het ANV een risicobeoordeling uit waarin enkele tientallen risico's worden beoordeeld op gevolgen en waarschijnlijkheid (bijvoorbeeld de Geïntegreerde Risicoanalyse 2019).

Tabel 9. Impactcriteria ANV-methodiek (ANV, 2019a; 2019b).

Nationaal veiligheidsbelang	Impactcriteria
1. Territoriale veiligheid	1.1 Aantasting van de integriteit van het (Nederlands) grondgebied. 1.2 Aantasting van de integriteit van de internationale positie van Nederland. 1.3 Aantasting van de integriteit van de digitale ruimte. 1.4 Aantasting van de integriteit van het bondgenootschappelijk grondgebied.
2. Fysieke veiligheid	2.1 Doden. 2.2 Ernstig gewonden en chronisch zieken. 2.3 Gebrek aan primaire levensbehoeften.
3. Economische veiligheid	3.1 Kosten. 3.2 Aantasting van de vitaliteit van de Nederlandse economie.
4. Ecologische veiligheid	4.1 Langdurige aantasting van het milieu en de natuur
5. Sociale en politieke stabiliteit	5.1 Verstoring van het dagelijkse leven. 5.2 Aantasting van de democratische rechtstaat. 5.3 Sociaal-maatschappelijke impact.
6. Internationale rechtsorde	6.1 Aantasting van de normen van staatssoevereiniteit, vreedzame co-existentie en vreedzame geschillenbeslechting.

<b>Nationaal veiligheidsbelang</b>	<b>Impactcriteria</b>
	<p>6.2 Aantasting van de werking, legitimiteit dan wel naleving van de internationale verdragen en normen inzake de rechten van de mens.</p> <p>6.3 Aantasting van een op regels gebaseerd internationaal financieel-economisch bestel.</p> <p>6.4 Aantasting van de effectiviteit, legitimiteit van multilaterale instituties.</p>

Om een oordeel te geven over de precieze omvang van de gevolgen, wordt aan elk van de criteria een impactscore toegekend: beperkt, aanzienlijk, ernstig, zeer ernstig of catastrofaal. De classificering is gebaseerd op een logaritmische schaal. Wanneer gekeken wordt naar criterium 2.1 (aantal doden), dan betekent dit dat een beperkte score staat voor 0-10 doden, een aanzienlijke score voor 10-100 doden, enzovoort (zie Tabel 10).

*Tabel 10. Schalen met betrekking tot gevolgen uit de Geïntegreerde Risicoanalyse (ANV, 2019a).*

<b>Klasse</b>	<b>Voorbeeld criteria</b>	
	<b>Aantal doden</b>	<b>Aantasting democratische rechtstaat</b>
A. Beperkt	Minder dan 10	Beperkte aantasting functioneren van enkele instituties.
B. Aanzienlijk	10 tot 100	Beperkte aantasting functioneren van meerdere instituties.
C. Ernstig	100 tot 1000	Aantasting functioneren van meerdere instituties en/of aantasting vrijheden, rechten en kernwaarden.
D. Zeer ernstig	1000 tot 10.000	Aanzienlijke aantasting functioneren van meerdere instituties en vrijheden, rechten en kernwaarden.
E. Catastrofaal	Meer dan 10.000	Aanzienlijke aantasting van het functioneren van alle instituties, en vrijheden, rechten en kernwaarden.

Voor elk van de in Tabel 9 genoemde criteria is door experts bepaald wanneer welke score wordt toegekend. Dit betekent dat scores op verschillende criteria onderling vergelijkbaar zijn gemaakt. In theorie komt een score 'beperkt' op het aantal doden (criterium 2.1) qua ernst overeen met een score 'beperkt' op de verstoring van het dagelijks leven (criterium 5.1). Dit wel met de voetnoot dat het hier dus expliciet gaat over de ernst van de gevolgen voor specifiek de nationale veiligheid.

Aangezien de zes nationale veiligheidsbelangen een breed spectrum aan mogelijke impactgebieden bestrijken en de bijbehorende methodiek tegelijkertijd de middelen geeft om deze onderling af te wegen, kan het dienen als basis voor het verder uitwerken van een beoordelingskader rond stralingsbeschermingsmaatregelen. Mogelijk obstakel hierbij is wel dat de methodiek slechts op een beperkt aantal onderdelen is gekwantificeerd. Een voorbeeld van een dergelijke niet gekwantificeerde schaal is te vinden in de meest rechter kolom van Tabel 10.



## 9.8 IRGC

Het *International Risk Governance Centre* (IRGC) heeft een generiek *Risk Governance Framework* opgesteld. Dit raamwerk is voor het eerst gepubliceerd in 2005 en voor het laatst herzien in 2017. In lijn met de term 'generiek', beperkt het raamwerk zich niet tot één specifiek type risico of tot risico's die zich voordoen in een bepaald werkveld. In plaats daarvan poogt het één algemene methode te introduceren voor het adequaat managen van risico's, en het inventariseren, ontwerpen, implementeren en evalueren van interventies gericht op het beperken of wegnemen van het risico.

Het raamwerk bevat vijf op elkaar inhakende aspecten. Hierbij volgen nummers één tot en met vier elkaar chronologisch op in een risicomangementcyclus, terwijl nummer vijf een aspect is dat bij alle voorgaande stappen dient te worden meegenomen. Het gaat om de volgende vijf aspecten:

### ***Pre-assessment***

Hierbij gaat het om het identificeren van de fundamentele eigenschappen van een risico en de afbakening hiervan. Ook bevat dit onderdeel de verschillende wijzen waarop mensen naar het risico kijken en welke groepen stakeholders van belang zijn.

### ***Appraisal***

De tweede stap behelst enerzijds het maken van een klassieke risicoschatting (dat wil zeggen een oordeel over de waarschijnlijkheid en gevolgen van een risico alsmede mogelijk scenario's) en anderzijds het maken van een inschatting van heersende zorgen. Dit laatste betekent een inventarisatie van de percepties van stakeholders met betrekking tot de kans op en gevolgen van een risico.

### ***Characterisation and evaluation***

Aan de hand van kans en gevolgschattingen wordt gekeken naar de omvang van het risico en of dit acceptabel is. Hierbij wordt ook gekeken naar ethische, sociaal-maatschappelijke, economische en politieke factoren.

### ***Management***

Deze stap betreft het inventariseren, ontwerpen, implementeren en evalueren van interventies gericht op het beperken of wegnemen van het risico. Hierbij dient ook te worden gekeken naar de (bij)effecten van mitigerende maatregelen en naar de netwerken van actoren die betrokken zijn bij de uitvoering ervan.

### ***Cross-cutting aspects***

Drie elementen zijn cruciaal bij elk van de hierboven omschreven stappen: transparante en inclusieve communicatie, interactie met stakeholders en het meenemen van de sociale context waarin het risico en eventuele maatregelen zijn gesitueerd.

De focus van het raamwerk is vooral het managen van risico's voordat een ongeval zich voordoet. Dit neemt echter niet weg dat dezelfde stappen ook kunnen worden toegepast op meer acute situaties. Het *IRGC framework* is minder geschikt als een inhoudelijk afwegingskader op zich,

maar kan dienen als een methode voor het proces voor het maken van deze inhoudelijke afweging.

## 9.9 Beschouwing afwegingskaders

In de paragrafen hierboven zijn acht kaders beschouwd met een verschillende oorsprong, diepgang en invulling. Wat opvalt is dat bij het grootste deel van de kaders die voortkomen uit het stralingsveld zaken als economische en (psycho)sociale dimensies wel degelijk aan bod komen. Er is dus al een neiging om verder te kijken dan de puur radiologische effecten van een beschermingsmaatregel. Bij een deel van de kaders (zoals EURANOS en CODIRPA) worden deze factoren niet verder uitgewerkt, maar alleen vermeld als zijnde iets waar rekening mee moet worden gehouden. Een volgende groep (waaronder de *J-value*-methode en PACE/COCO-2) gaat wel over tot het uitwerken van één of meerdere van deze dimensies. Hierbij ligt de nadruk veelal op de gevolgen voor de economie en fysieke gezondheid. De uitwerking beperkt zich echter tot deze twee dimensies en er wordt maar een beperkt aantal indicatoren gebruikt voor het in kaart brengen hiervan. Voor de PACE/COCO2-methode is al een (reken)tool ontwikkeld. Dit geldt ook voor de in CONFIDENCE gehanteerde MCDA-benadering. Tot slot heeft met name het CONFIDENCE-project gepoogd om een meer omvattende uitwerking en afweging van verschillende dimensies tot stand te brengen. Maar ook binnen CONFIDENCE bestaan er nog fundamentele vragen over bijvoorbeeld het kaderen en tegen elkaar afwegen van criteria. Deze en andere uitdagingen komen aan bod in paragraaf 10.2 van deze verkenning. Resumerend is er nog veel ruimte voor het verder uitwerken en concretiseren van uit het stralingsveld afkomstige afwegingskaders.

Een mogelijke inspiratiebron hiervoor kan worden gevonden in de uitwerking van de zes nationale veiligheidsbelangen behorende tot de methodiek nationale veiligheid. Tot slot biedt het *IRGC framework* goede aanknopingspunten voor het inrichten van het proces rond het maken van inhoudelijke afwegingen met betrekking tot beschermingsmaatregelen.

## 10 Conclusie

Een ernstig kernongeval in of nabij Nederland kan onze samenleving behoorlijk ontwrichten, maar maatregelen die in de respons op het ongeval kunnen worden genomen zijn potentieel ook erg ingrijpend. Deze verkenning heeft gekeken naar de huidige wetenschappelijke stand van zaken wat betreft de mogelijke dimensies waarlangs voor- en nadelen van beschermingsmaatregelen kunnen worden uitgedrukt. Ook is gekeken naar methoden om deze dimensies onderling tegen elkaar af te wegen. Paragraaf 10.1 hieronder vat de stand van zaken samen. Daarna wordt verder ingegaan op kennisvragen die nog niet zijn beantwoord (paragraaf 10.2) en op enkele praktische overwegingen voor een verdere uitwerking van een afwegingskader binnen de Nederlandse context (paragraaf 10.3).

### 10.1 Beschouwing

Bij een kernongeval kunnen maatregelen genomen worden die de bevolking beschermen tegen de radiologische effecten van het ongeval. In de vroege fase van een ongeval kan men hierbij denken aan het geven van adviezen om te schuilen, te evacueren of stabiel jodium in te nemen. We merken hierbij op dat het huidige internationale onderzoek naar voor- en nadelen van deze maatregelen zich vooral richt op de meest ingrijpende maatregel, te weten evacuatie. Ook het overgaan tot een meer permanente relocatie van getroffenen is meegenomen als mogelijke maatregel binnen deze verkenning.<sup>2</sup>

In het verleden lag bij de voorbereiding van maatregelen na een kernongeval de nadruk zeer sterk op het reduceren van de door de bevolking opgelopen stralingsdosis. De afgelopen jaren is, onder meer door de ervaringen na het ongeval in Fukushima, meer aandacht gekomen voor de effecten die dergelijke maatregelen hebben náást een reductie van de blootstelling aan straling.

Deze verkenning bevat een overzicht van de kennis die momenteel beschikbaar is over de effecten, zowel positieve als negatieve, via een aantal kijkrichtingen (in dit rapport 'dimensies' genoemd), te weten:

- effecten op de gezondheid;
- financieel-economische effecten;
- sociaal-maatschappelijke effecten;
- overige bestuurlijke kaders.

Tijdens de vroege fase van een ongeval zullen onder grote tijdsdruk de voor- en nadelen van maatregelen op al deze dimensies tegen elkaar moeten worden afgewogen.

In dit rapport hebben we elke dimensie nader geoperationaliseerd door een overzicht te geven van bijbehorende criteria en indicatoren (zie

<sup>2</sup> We merken hierbij op dat een strikte scheiding van vroege en late maatregelen niet mogelijk is. In Hoofdstuk 2 hebben we laten zien dat er scenario's mogelijk zijn waarin een besluit om in de urgente fase niet te evacueren in een latere fase (langdurige) relocatie nodig kan maken. Om alle voor- en nadelen van evacueren tegen elkaar af te wegen, moeten ook zulke uitgestelde effecten worden meegewogen.

hoofdstuk 8 voor een overzicht). Ook hebben we een aantal kaders gepresenteerd die kunnen dienen als input en inspiratie voor het tegen elkaar afwegen van bovenstaande dimensies. In totaal zijn in deze verkenning acht verschillende initiatieven beschouwd:

- IAEA-beoordelingskader (9.1);
- EURANOS (9.2);
- CODIRPA (9.3);
- PACE/COCO-2 (9.4);
- *J-value*-methode (9.5);
- CONFIDENCE (9.6);
- Methodiek nationale veiligheid (9.7);
- *IRGC framework* (9.8).

Onderzoek dat op dit gebied (dimensies en afwegingskaders) is gedaan, komt in sommige gevallen specifiek voort uit het stralingsdomein, terwijl andere initiatieven meer generiek van aard zijn. Een voorbeeld uit de eerste categorie zijn de kaders ontwikkeld binnen het Europese project CONFIDENCE (paragraaf 9.6). Een meer generiek voorbeeld is het hanteren van de DALY- of QALY-methodiek als indicator (paragraaf 4.1.3).

De bestaande kaders en indicatoren verschillen van elkaar wat betreft diepgang en invulling. Binnen de meeste kaders uit het stralingsdomein is wel degelijk ruimte voor dimensies die verder kijken dan het puur radiologische, maar het niveau van uitwerking en concretisering verschilt sterk.

Samenvattend achten we de kans groot dat een robuuste, meerdimensionale afweging van voor- en nadelen van te nemen maatregelen na een kernongeval op termijn haalbaar is. Op dit moment is er echter nog geen overkoepelende systematiek om de veelheid van indicatoren te combineren binnen één afwegingskader en kunnen we nog niet inzichtelijk maken of de optelling van alle voordelen van een maatregel opwegen tegen de nadelen. Om wel te komen tot een geïntegreerde afweging van de voor- en nadelen van maatregelen dienen enkele hiaten in het huidige kennisniveau nog te worden ingevuld.

## 10.2 Kennisvragen

Deze 'kennisvragen' doen zich met name voor rond de volgende zes onderwerpen:

### 1. **Weging**

Hoewel in sommige gevallen een onderlinge afweging van effecten op meerdere dimensies al mogelijk is, is dit nog lang niet altijd het geval. Zo is het afwegen van effecten op het gebied van gezondheid én kosten mogelijk doordat beide kunnen worden vertaald naar eenzelfde kwantificeerbare eenheid. Voor het afzetten van effecten op de leefbaarheid tegen gezondheidseffecten bestaat een dergelijke eenheid of indicator nog niet. Om te komen tot een universeel afwegingskader, zullen dergelijke eenheden van afweging moeten worden ontwikkeld. Een tweede aandachtspunt bij het afwegen van voor- en nadelen is dat de voordelen kunnen liggen bij andere groepen dan de nadelen: de voordelen van een reductie van de blootstelling aan straling door evacuatie zijn vooral voor jonge, gezonde mensen

van belang, terwijl de ervaringen na het ongeval in Fukushima lieten zien dat de nadelen vooral ouderen en zieken troffen (zie hoofdstuk 4). Een overkoepelend afwegingskader moet flexibel genoeg zijn om bestuurders de mogelijkheid te bieden hierin te prioriteren.

## 2. **Kwantificering**

Een deel van de bestaande indicatoren is al kwantitatief van aard, bijvoorbeeld de DALY- of QALY-methodiek (zie hoofdstuk 4). Voor andere dimensies ontbreken dergelijke indicatoren nog en zijn vooral kwalitatieve indicatoren beschikbaar. Dit bemoeilijkt het tegen elkaar afwegen van effecten. De dimensie 'acceptatie' is een duidelijk voorbeeld van een gebied waarvoor kwantitatieve indicatoren nog verder ontwikkeld zouden kunnen worden, gebruikmakend van expertise uit de sociale wetenschappen over het bevragen van burgers.

## 3. **Dubbeltellingen en hoe deze te voorkomen**

Bij het combineren van bestaande indicatoren is een belangrijk aandachtspunt het voorkomen van het dubbel meewegen van effecten. Als bijvoorbeeld burgers na evacuatie psychische klachten ervaren, kan dit gemeten worden middels de indicator *Loss of Happy Life Expectancy* (zie paragraaf 4.2.2), maar tegelijkertijd ook door de indicator medische kosten (zie paragraaf 5.1.2). Tegelijkertijd geven de twee indicatoren ook complementaire informatie en zijn dus niet uitwisselbaar. Bij het combineren van indicatoren moet hiermee rekening gehouden worden.

## 4. **Het vertalen van internationale ervaringen**

Veel van de in dit rapport genoemde praktijkvoorbeelden hebben niet in Nederland plaatsgevonden. De verschillen tussen enerzijds landen als Japan, Wit-Rusland en Oekraïne en anderzijds Nederland kunnen groot zijn. Het gaat dan niet alleen om culturele verschillen, maar ook om bijvoorbeeld de wijze waarop de nationale economie is ingericht en de mate van voorbereiding op een grootschalig ongeval. Dit betekent dat ervaringen met stralingsongevallen en de effecten van beschermingsmaatregelen uit deze landen niet één op één kunnen worden overgenomen naar de Nederlandse context. Een afwegingskader als de *J-value*-methode (paragraaf 9.5), die is gebruikt om gezondheidseffecten en kosten/opbrengsten van evacuatie na het ongeval in Fukushima tegen elkaar af te wegen, zou in principe ook in Nederland toepasbaar zijn, maar die geeft niet automatisch dezelfde uitkomsten.

## 5. **Attributie van effecten**

Om voor- en nadelen van een maatregel tegen elkaar af te wegen, is het van belang effecten te kunnen attribueren aan specifieke handelingen of gebeurtenissen. Ervaringen na het kernongeval in Fukushima illustreren (zie onder andere hoofdstuk 4) dat het niet in alle gevallen mogelijk is om vast te stellen of een effect als chronische stress bij evacués voortkomt uit de evacuatiehandeling zelf of uit bijvoorbeeld bezorgdheid over een mogelijk opgelopen dosis.

## 6. **Afwegingen voor en tijdens een ongeval**

Omdat in de vroege fase van een ongeval beslissingen onder grote tijdsdruk genomen moeten worden, is het wenselijk

afwegingen van de voor- en nadelen van maatregelen reeds vooraf te maken. Voor sommige indicatoren is dit ook goed mogelijk – denk bijvoorbeeld aan het vooraf inschatten van de directe kosten van een evacuatie. Dit geldt echter niet voor alle in dit rapport beschouwde aspecten: de acceptie van het al dan niet nemen van maatregelen zal naar alle waarschijnlijkheid sterk afhangen van het specifieke verloop van een ongeval en de communicatie rond het ongeval. Bij de toepassing van een geïntegreerd afwegingskader in de praktijk zal dit naar verwachting zorgen voor onzekerheden in het resultaat van de afweging. Hoe groot deze onzekerheden zijn, is op grond van de nu beschikbare kennis nog niet te zeggen.

### 10.3 Praktische overwegingen

De opsomming in paragraaf 10.2 geeft aan op welke gebieden nog kennis ontbreekt die nodig is om alle voor- en nadelen van een maatregelenpakket na een kernongeval af te wegen. De voor dit rapport uitgevoerde studie suggereert daarnaast ook een aantal overwegingen die van belang zijn voor degenen die een dergelijke afweging in de praktijk zullen maken:

#### 1. **Het gewenste informatieniveau**

Het in kaart brengen van de voor- en nadelen van maatregelen kan op verschillende niveaus worden uitgevoerd. Gezondheidseffecten van een maatregel kunnen bijvoorbeeld gemeten worden aan het aantal sterfgevallen dat is vermeden of veroorzaakt door de maatregel. Een dergelijke schatting is minder complex dan bijvoorbeeld een schatting voor het aantal DALY's gekoppeld aan de maatregel, maar geeft ook minder informatie. Ook zijn er keuzen mogelijk in de mate van detail waarin effecten worden beoordeeld. Zo kan ervoor worden gekozen om een groot aantal 'subdimensies' op te nemen in de analyse en deze relatief gedetailleerd in kaart te brengen. Een voorbeeld hiervan kan worden gevonden in de methodiek nationale veiligheid (paragraaf 9.7), waar een belang als economische veiligheid wordt uitgesplitst in meerdere criteria die weer afzonderlijk worden beschouwd. Alternatief kan ook 'globaal' worden gekeken naar de effecten van maatregelen op een beperkt aantal dimensies die meer generiek van aard zijn. Bij de ontwikkeling van een geïntegreerd afwegingskader verdient het aanbeveling om vooraf verwachtingen van het gewenste informatieniveau vast te stellen. Het gewenste niveau hoeft hierbij niet voor alle fasen van een ongeval hetzelfde te zijn.

#### 2. **Het vaststellen van een tijdshorizon**

Ervaringen van Tsjernobyl en Fukushima laten zien dat de effecten van een stralingsongeval en de respons hierop zich nog lang kunnen manifesteren. Dit roept de vraag op naar welke tijdspanne wordt gekeken bij het bepalen van de effecten van verschillende maatregelen. Een tijdspanne van nul tot vijf jaar zal namelijk andere uitkomsten opleveren dan een tijdspanne van vele tientallen jaren. Hierbij kan nog worden opgemerkt dat een maatregel ook al effecten kan hebben zonder dat er een ongeval heeft plaatsgevonden. Dit geldt in het bijzonder voor de predistributie van stabiel jodium onder mensen die wonen in de buurt van een kerncentrale.

## 11 Literatuurlijst

- Akabayashi, A. & Hayashi, Y. (2012). Mandatory evacuation of residents during the Fukushima nuclear disaster: an ethical analysis. *Journal of Public Health*, 34(3). Pp. 348-351. DOI: 10.1093/pubmed/fdr114.
- Analistennetwerk Nationale Veiligheid (ANV). (2019a). *Geïntegreerde Risicoanalyse Nationale Veiligheid*. Via: <https://www.rivm.nl/onderwerpen/nationale-veiligheid>.
- Analistennetwerk Nationale Veiligheid (ANV). (2019b). *Geïntegreerde Risicoanalyse Nationale Veiligheid – Leidraad Risicobeoordeling*. Via: <https://www.rivm.nl/onderwerpen/nationale-veiligheid>.
- Ashley, S.F., Vaughan, W.J., Nuttall, W.J. & Thomas, P.J. (2017a). Considerations in relation to off-site emergency procedures and response for nuclear accidents. *Process Safety and Environmental Protection*, 112, pp. 77-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.031>.
- Ashley, S.F., Vaughan, G.J., Nuttall, W.J., Thomas, P.J. & Higgins, N.A. (2017b). Predicting the cost of the consequences of a large nuclear accident in the UK. *Process Safety and Environmental Protection*, 112, 96-113.
- Bay, I. & Oughton, D.H. (2005). Social and economic effects. In: Smith, J.T. & Beresford, N.A. (Eds.), *Chernobyl, Catastrophe and Consequences*. Springer-Verlag, Berlin, ISBN 3 540 23866 2, pp. 239-266.
- Belarus Foreign Ministry. (2009). *CHERNOBYL disaster: Why are the consequences still observed? And Why is the international assistance still critical?* Via: [http://chernobyl.undp.org/russian/docs/belarus\\_23\\_anniversary.pdf](http://chernobyl.undp.org/russian/docs/belarus_23_anniversary.pdf).
- Brown, A., Franken, P., Bonner, S., Dolezal, N. & Moross, J. (2016). Safecast: successful citizen-science for radiation measurement and communication after Fukushima. *Journal of Radiological Protection* 36, S82-S101.
- Brown, J., Hammond, D.J. & Kwakman, P. (2009). *Generic handbook for assisting in the management of contaminated drinking water in Europe following a radiological emergency*. Via: <https://eu-neris.net/library/handbooks.html>.
- Carpender, S.K., Campbell, P.H., Quiram, B.J., Frances, J. & Artzberger, J.J. (2006). Urban Evacuations and Rural America: Lessons Learned from Hurricane Rita. *Public Health Reports*, 121, pp.775-779.
- Claassen, L. & Kerckhoffs, T. (2018). *Publieksperceptie van Stralingsrisico's: Betekenis voor Risicocommunicatie*. RIVM briefrapport 2018-0087. DOI 10.21945/RIVM-2018-0087.
- CODIRPA. (2012). *Policy elements for post-accident management in the event of nuclear accident*. Verkregen via: [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:44093024](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:44093024).
- Compendium voor de Leefomgeving (CLO). (2017). *Wat is de samenhang tussen biodiversiteitsindicatoren?* <https://www.clo.nl/indicatoren/nl1591-inleiding-biodiversiteitsindicatoren>. Geraadpleegd op 22 januari 2020.

- Conrad, C.C., Hilchey, K.G., (2011). A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment* 176, 273–291.
- Coumans, M. (2016). *Sociale isolatie: naar objectieve en subjectieve maatstaf*. CB, Den Haag/Heerlen.
- Dash, N. & Gladwin, H. Evacuation Decision Making and Behavioral Responses: Individual and Household. *Natural Hazards Review*, 8(3), pp. 69-78. DOI: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2007)8:3(69).
- Devlin, C., Leclair, L. & Didier-Bandou, T. (2013). The Fukushima Evacuees' Return. *The State of Environmental Migration 2013*, 117-123. Institute for Sustainable Development and International Relations (IDDRI) / International Organization for Migration (IOM).
- Drury, J. (2012). Collective resilience in mass emergencies and disasters. In: S.A. Haslam, J. Jetten, & C. Haslam (Eds.). *The social cure: Identity, health and well-being* (pp. 195-210). Psychology Press.
- Elberse, J. & den Broeder, L. (2020). *Burgerwetenschap: hoe cijfers en beleving elkaar kunnen aanvullen*. Stadswerk Magazine, Vol. 2020, 10-11.
- European Atomic Energy Community (Euratom). (1996). *Richtlijn 96/29/Euratom van de Raad van 13 mei 1996 tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming van de gezondheid der bevolking en der werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren*.
- European Atomic Energy Community (Euratom). (2013). *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*.
- Evrard, O., Chartin, C., Onda, Y., Lepage, H., Cerdan, O., Lefèvre, I. & Ayrault, S. (2014). Renewed soil erosion and remobilisation of radioactive sediment in Fukushima coastal rivers after the 2013 typhoons. *Scientific Reports* 4, 4574.
- Fackler, M. (6 december 2011). *Japan Split on Hope for Vast Radiation Cleanup*. The New York Times <https://www.nytimes.com/2011/12/07/world/asia/japans-huge-nuclear-cleanup-makes-returning-home-a-goal.html>.
- Fellenor, J., Barnett, J., Potter, C., Urquhart, J., Mumford, J.D. & Quine, C.P. (2017). The social amplification of risk on Twitter: the case of ash dieback disease in the United Kingdom. *Journal of Risk Research*, 1-21.
- Figuroa, P.M., 2013. Risk communication surrounding the Fukushima nuclear disaster: an anthropological approach. *Asia Europe Journal* 11, 53–64.
- Fukushima Prefectural Govt., Japan (januari 2020). *Fukushima Revitalization Station*, via: <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal-english/list385.html>
- Geissen, V., Wang, S., Oostindie, K., Huerta, E., Zwart, K.B., Smit, A., Ritsema, C.J. & Moore, D. (2013). Effects of topsoil removal as a nature management technique on soil functions. *Catena* 101, 50-55.
- Gieling, J., de Vries, I. & Haartsen, T. (2017). Subjectieve leefbaarheid: een nieuwe meetmethode getest. *Rooilijn*, 50(3), 172-179.



- Gils, P.F. van, Schoenmaker, C.G. & Polder, J.J. (2013). Hoeveel mag een gewonnen levensjaar kosten? Onderzoek naar de waardering van de QALY. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde*, 157, A6507. Via: <https://www.ntvg.nl/artikelen/hoeveel-mag-een-gewonnen-levensjaar-kosten/volledig>. Venema, S. (2011, 23 maart). *Run op geigertellers en jodimpillen in Nederland*. *De Volkskrant*.
- Groen, J.A. & Polivka, A.E. (2010). Going home after hurricane Katrina: Determinants of return migration and changes in affected areas. *Demography* 47(4), 821-844.
- Haan, F.L. de & Simon, C. (2016). *Aardbevingen en leefbaarheid: naast misère ook nieuwe kansen voor het versterken van de leefbaarheid*. Groningen: Sociaal Planbureau Groningen.
- Hardie, S.M.L. & McKinley, I.G. (2014). Fukushima remediation: status and overview of future plans. *Journal of Environmental Radioactivity* 133, 75-85.
- Hasegawa, A., Tanigawa, K., Ohtsuru, A., Yabe, H., Maeda, M., Shigemura, J., Ohira, Y., Tominaga, T., Akashi, M., Hirohashi, M., Ishikawa, T., Kamiya, K., Shibuya, K., Yamashita, S. & Chhem, R.K. (2015). Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. *Lancet*, 386, pp. 479-488.
- Hasegawa, A., Ohira, T., Maeda, M., Yasumura, S. & Tanigawa, K. (2016). Emergency Responses and Health Consequences after the Fukushima Accident; Evacuation and Relocation. *Clinical Oncology*, 28, pp.237-244. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clon.2016.01.002>.
- Helsloot, I., Pieterman, R. & Hanekamp, J.C. (2010). Risico's en redelijkheid. *Verkenning naar een rijksbreed beoordelingskader voor de toelaatbaarheid van risico's*. Boom Juridische uitgevers: Den Haag, 2010
- Hoogerwerf, A., Arentsen, M.J. & Klok, P-J. (1993). *Om een aanvaardbaar beleid: Een studie over de maatschappelijke acceptatie van overheidsbeleid*. Enschede: Centrum voor bestuurskundig Onderzoek en Onderwijs.
- Higgins, N.A., Jones, C., Munday, M., Balmforth, H., Holmes, W., Pfuderer, S., Mountford, L., Harvey, M. & Charnock, T. (2008). *COCO-2: A Model to Assess the Economic Impact of an Accident*. Via: <https://www.gov.uk/government/publications/coco-2-modelling-the-economic-impact-of-a-nuclear-accident>
- Hirohara, M., Ozaki, A. & Tsubokura, M. (2019). Determinants and supporting factors for rebuilding nursing workforce in a postdisaster setting. *BMC Health Services Research* 19:917.
- Holt-Lunstad, J., Smith, T.B. & Layton, J.B. (2010). Social relationships and mortality risk: a meta-analytic review. *PLoS Med*, 7 (7), e1000316.
- Hori A., Tsumuraya K., Kanamori R., Maeda M., Yabe H. & Niwa S. (2014). Report from Minamisoma City: diversity and complexity of psychological distress in local residents after a nuclear power plant accident. *Seishin Shinkeigaku Zasshi* 116(3), 212-218.
- Instituut Fysieke Veiligheid (IFV). (2014). *Zelfredzaamheid en CBRN; een Verkennende literatuurstudie*. Verkregen via: <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20140630-ifv-zelfredzaamheid-en-cbrn-verkennende-literatuurstudie.pdf>.

- International Atomic Energy Agency (IAEA). (1996). *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources* (Safety Series No. 115).
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2006). *Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine*. Via: <https://www.iaea.org/sites/default/files/chernobyl.pdf>.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2006b). *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience*, Radiological Assessment Reports Series No. 8.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2013). *Actions to protect the public in an emergency due to severe conditions at a light water reactor. EPR-NPP Public Protective Actions*. Via: <https://www.iaea.org/publications/10362/actions-to-protect-the-public-in-an-emergency-due-to-severe-conditions-at-a-light-water-reactor>.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2015). *IAEA Safety Standards, Preparedness and response for a Nuclear or Radiological Emergency. GSR Part 7*. Via: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P\\_1708\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P_1708_web.pdf).
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2015). *The Fukushima Daiichi Accident: Report by the Director General*. Via: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1710-ReportByTheDG-Web.pdf>.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). (1991). *ICRP Publication 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann. ICRP 21 (1-3), 1991*. Via: <https://journals.sagepub.com/page/ani/collections/complete-issue-pdfs>.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). (1992). *ICRP Publication 63. Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency. Ann. ICRP 22 (4), 1992*. Via: <https://journals.sagepub.com/page/ani/collections/complete-issue-pdfs>.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2006). *ICRP Publication 101b. The Optimisation of Radiological Protection – Broadening the Process. Ann. ICRP 36(3), 2006*. Via: <https://journals.sagepub.com/page/ani/collections/complete-issue-pdfs>.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2007). *ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann. ICRP 37 (2-4), 2007*. Via: <https://journals.sagepub.com/page/ani/collections/complete-issue-pdfs>.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2018). *ICRP Publication 138 – Ethical Foundations of the System of Radiological Protection*. Via: <https://journals.sagepub.com/page/ani/collections/complete-issue-pdfs>.

- International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2009a). *ICRP Publication 109. Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. Ann. ICRP 39 (1), 2009.* Via: <https://journals.sagepub.com/page/ani/collections/complete-issue-pdfs>.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2009b). *ICRP Publication 111. 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. Ann. ICRP 39 (3), 2009.* Via: <https://journals.sagepub.com/page/ani/collections/complete-issue-pdfs>.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). (201X). *ICRP publication 1XX, 201X. Radiological protection of people and the environment in the event of a large nuclear accident: update of ICRP Publications 109 and 111. ICRP Publication 1XX. Ann. ICRP 4X(X).* Via: <https://www.icrp.org/docs/TG93%20Draft%20Report%20for%20Public%20Consultation%20019-06-17.pdf>.
- International Risk Governance council (IRGC). (2017). *Introduction to the IRGC Risk Governance Framework.* Via: <https://irgc.epfl.ch/wp-content/uploads/2018/10/IRGC.-2017.-An-introduction-to-the-IRGC-Risk-Governance-Framework.-Revised-version..pdf>.
- Ishimori, M. (2017). *Right to housing after Fukushima nuclear disaster: through a lens of international human rights perspective.* Via: <https://www.ifrc.org/PageFiles/125745/Right%20to%20housing%20after%20Fukushima%20nuclear%20disaster.pdf>.
- Japan Center for Economic Research. (2019). *Follow up Report of Public Financial Burden of the Fukushima Nuclear Accident.* Via: [https://www.jcer.or.jp/jcer\\_download\\_log.php?post\\_id=49661&file\\_post\\_id=49662](https://www.jcer.or.jp/jcer_download_log.php?post_id=49661&file_post_id=49662).
- Jong, W. en Besselink, A. (2008) *Leidraad Voorlichting bij evacuaties in hoogwatersituaties en bij overstromingen.* Den Haag: Taskforce Management Overstromingen.
- Kasperson, R.E., Renn, O., Slovic, P., Brown, H.S., Emel, J., Goble, R., Kasperson, J.X. & Ratick, S. (1988). The Social Amplification of Risk: A Conceptual Framework. *Risk Analysis*, 8(2), 177-187.
- Kim, J. & Oh S. (2015). Confidence, knowledge, and compliance with emergency evacuation. *Journal of risk Research*, 18(1), pp. 111-126. DOI: 10.1080/13669877.2014.880728.
- Knol, F., de Hart, J., Maas-de Waal, C., Roes, T., & Breedveld, K. (2002). *Zekere banden: sociale cohesie, leefbaarheid en veiligheid.* Rijswijk: Sociaal en cultureel planbureau.
- Kobayashi, T., Yoshida, K., Takebayashi, Y., Goto, A., Kumagai, A. & Murakami, M. (2019). Social identity threats following the Fukushima nuclear accident and its influence on psychological distress. *International Journal of Disaster Risk Reduction* (37), 101171.

- Kunii Y., Suzuki Y., Shiga T., Yabe H., Yasumura S., Maeda M., Niwa, S., Otsuru, A., Mashiko, H. & Abe, M. (2016). Severe Psychological Distress of Evacuees in Evacuation Zone Caused by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: The Fukushima Health Management Survey. *PLoS ONE* 11(7).  
Doi:10.1371/journal.pone.0158821.
- Kumagai, A. & Tanigawa, K. (2018). Current Status of the Fukushima Health Management Survey. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 182, No. 1, pp. 31–39. Doi:10.1093/rpd/ncy138.
- Leidelmeijer, K., Middeldorp, M. & Marlet, G. (2019). Leefbaarheid in Nederland 2018, een analyse op basis van de leefbaarometer 2018.
- Leidelmeijer, K. & van Kamp, I. (2004). *Kwaliteit van de leefomgeving en leefbaarheid; Naar een begrippenkader en conceptuele inkadering*. RIVM: 630950002/2003, RIGO rapport: 80330, RIGO/RIVM, Amsterdam & Bilthoven.
- Leidelmeijer, K., Marlet, G., Ponds, R., Schulenberg, R. & Woerkens, C. (2014). *Leefbaarometer 2.0: instrumentontwikkeling*. Amsterdam/Utrecht: RIGO Research en Advies/Atlas voor Gemeenten.
- Lindell, M.K., Lu, J.C. & Prater, C. (2005). Household Decision Making and Evacuation in Response to Hurricane Lili. *Natural Hazards Review*, November 2005, pp. 171-179. DOI: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2005)6:4(171).
- Maeda, M. & Oe, M. (2017). Mental Health Consequences and Social Issues After the Fukushima Disaster. *Asia Pacific Journal of Public Health*, 29(2S). DOI: 10.1177/1010539516689695.
- Ministerie van Infrastructuur & Milieu. (2017). *Besluit van 23 oktober 2017, houdende vaststelling van regels ter bescherming van personen tegen de gevaren van blootstelling aan ioniserende straling (Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming)*. Staatsblad 2017, 404. 23-10-2017.
- Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. (2001). *Besluit van 16 juli 2001, houdende vaststelling van het Besluit stralingsbescherming*. Staatsblad 2001, 397. Via: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2001-397.html>.
- Ministerie van Veiligheid en Justitie. (2014). *Kader grootschalige evacuatie: Gezamenlijke uitgangspunten en stappenplannen*. Via: <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/2014-VenJ-Kader-grootschalige-evacuatie.pdf>.
- Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn & Sport. (2017). *Factsheet Verspreiding Jodiumtabletten*. Via: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/straling/documenten/brochures/2017/09/29/factsheet-verspreiding-jodiumtabletten>.
- Mousseau, T.A. & Møller, A.P. (2014). Genetic and Ecological Studies of Animals in Chernobyl and Fukushima. *Journal of Heredity* 105(5), 704-709.
- Munro, A., Kovats, R.S., Rubin, J.G., Waite, T.D. & Armstrong, B. (2017). Effect of evacuation and displacement on the association between flooding and mental health outcomes: a cross-sectional analysis of UK survey data. *Lancet Planet Health*, 1, pp.134-141. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30047-5](http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30047-5).

- Murakami, M., Tsubokura, M., Ono, K. & Maeda, M. (2018). New 'loss of happy life expectancy' indicator and its use in risk comparison after Fukushima disaster. *Science of the Total Environment*, 615. pp. 1527-1534. [Http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.132](http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.132).
- Murayama, T. (2012). *Social impacts induced by radiation risk in Fukushima*. IAIA12 Conference Proceedings, Energy Future The Role of Impact Assessment, 32nd Annual Meeting of the International Association for Impact Assessment.
- Netwerk Acute Zorg Noordwest (NAZN). (2017). *Lessen uit de evacuatie van het VUmc na wateroverlast*. Via: <https://www.netwerkacutezorgnoordwest.nl/artikelen/lessen-evacuatie-vumc-wateroverlast>.
- Nisbet, A.F., Brown, J., Cebianca, T., Jones, A.L., Andersson, K.G., Hänninen, R., Ikäheimonen, T., Kirchner, G. Bertsch, V. & Heite, M. (2010). *EURANOS – Generic handbook for assisting in the management of contaminated inhabited areas in Europe following a radiological emergency*. Via: <https://euranos.iket.kit.edu/index.php?action=euranos&title=products>.
- Nisbet, A.F., Jones, A.L., Turcanu, C., Camps, J., Andersson, K.G., Hänninen, R., Rantavaara, A., Solatie, D., Kostianen, E., Jullien, T., Pupin, V., Ollagnon, H., Papachristodoulou, C., Ioaniddes, K. & Oughton, D. (2010b). *EURANOS – Generic Handbook for Assisting in the Management of Contaminated Food Production Systems in Europe Following a Radiological Emergency*. Via: <https://europeaneris.net/all-documents/handbooks/56-handbook-for-food-production-systemsversion-2pdf.html>.
- Nomura, S., Blangiardo, M., Tsubokura, M., Nishikawa, Y., Gilmour, S., Kami, M. & Hodgson, S. (2016). Post-nuclear disaster evacuation and survival amongst elderly people in Fukushima: A comparative analysis between evacuees and non-evacuees. *Preventive Medicine*, 82, pp. 77-82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ypmed.2015.11.014>.
- Norris, F.H., Stevens, S.P., Pfefferbaum, B., Wyche, K.F., & Pfefferbaum, R.L. (2008). Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. *American Journal of Community Psychology*, 41(1-2), 127-150.
- OECD Nuclear Energy Agency (OECD-NEA). (2013). *Radiological protection. Discussion on Implementation of ICRP Recommendations Concerning Reference Levels and Optimisation*.
- Ohira, T., Nakano, H., Nagai, M., Yumiya, Y., Zhang, W., Uemura, M., Sakai, A. & Hashimoto, S. Changes in Cardiovascular Risk Factors After the Great East Japan Earthquake: A Review of the Comprehensive Health Check in the Fukushima Health Management Survey. *Asia Pacific Journal of Public Health*, 29(2s), pp.47s-55s. DOI: 10.1177/1010539517695436.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2000). *Methodologies for Assessing the Economic Consequences of Nuclear Reactor Accidents*. Via: <https://www.oecd-nea.org/rp/pubs/2000/2228-methodologies-assessing.pdf>.

- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2010). *Strategic Aspects of Nuclear and Radiological Emergency Management Planning for Effective Decision Making; Consequence Management and Transition to Recovery*. Via: <http://www.oecd-nea.org/rp/pubs/2010/6387-strategic-aspects-of-nuclear.pdf>.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2011). *Evolution of ICRP Recommendations 1977, 1990 and 2007. OECD NEA No. 6920 (2011)*. Via: <https://www.oecd-nea.org/rp/pubs/2011/6920-icrp-recommendations.pdf>.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2013). *Discussion on Implementation of ICRP recommendations Concerning reference levels and optimization. NEA/CRPPH/R(2013)2*. Via: <https://www.oecd-nea.org/rp/docs/2013/crp-ph-r2013-2.pdf>.
- Orita, M., Hayashida, N., Urata, H., Shinkawa, T., Endo, Y. & Takamura, N. (2013). Determinants of the return to hometowns after the accident at Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: a case study for the village of Kawauchi. *Radiation Protection Dosimetry* 156(3), 383-385.
- Orui, M., Nakajima, S., Takebayashi, Y., Ito, A., Momoi, M., Maeda, M., Yasumura, S. & Ohto, H. (2018). Mental Health Recovery of Evacuees and Residents from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident after Seven Years – Contribution of Social Network and a Desirable Lifestyle. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15, 2381.
- Oughton, D.H., Bay, I., Forsberg, E.-M., Kaiser, M. & Howard, B. (2004). An ethical dimension to sustainable restoration and long-term management of contaminated areas. *Journal of Environmental Radioactivity* 74, 171-183.
- Oughton, D.H. (2013). Social and ethical issues in environmental remediation projects. *Journal of Environmental Radioactivity* 119, 21-25.
- Perko, T. (2016). Risk Communication in the Case of the Fukushima Accident: Impact of Communication and Lessons to Be Learned. *Integrated Environmental Assessment and Management* 12(4), 683-686.
- Postmes, T., Stroebe, K., Richardson, J., LeKander, B., Oldersma, F., Broer, J. & Greven, F. (2018). *Gevolgen van bodembeweging voor Groningers: Ervaren veiligheid, gezondheid en toekomstperspectief 2016-2017*. Verkregen via: <https://www.groningsperspectief.nl/eindrapportgp/>.
- PGS 1, (2003) Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen deel 1, Methoden voor het bepalen van mogelijke schade, Deel 5: Bescherming tegen toxische stoffen door verblijf binnenshuis.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (2019). *Ziektelastberekeningen*. Via: <https://www.volksgezondheidenzorg.info/definitie-en-methode-ziektelastberekening#!node-ziektelast-dalys>.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (2020). Samen Geluid Meten, via: <https://www.samenmetenaanluchtkwaliteit.nl/projecten/samen-geluid-meten> (op 27 januari 2020).

- Rijksoverheid. (1989). *Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding* (Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21015, nr. 1-3, 13 februari 1989).
- Rijksoverheid. (2014). *Harmonisatie van de voorbereiding op, en maatregelen bij, kernongevallen in Nederland en onze buurlanden* (Kamerstuk 32645, nr. 60 van 17-07-2014).
- Rijksoverheid. (2018). *Kernenergiewet*. Via: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0002402/2018-10-16>.
- Rijksoverheid (2020). *WoonOnderzoek Nederland*, via <https://www.woononderzoek.nl/>.
- Rindrash, E., Witte, P., Spit, T. & Zoomers, A. (2019). Tourism and Disasters: Impact of Disaster Events on Tourism Development in Indonesia 1998-2016 and Structural Approach Policy Responses. *Journal of Service Science and Management*, 12, pp. 93-115. DOI: 10.4236/jssm.2019.122006.
- Sassi, F. (2006). Calculating QALYs, comparing QALY and DALY calculations. *Health Policy and Planning*, 21 (5), pp. 402-408. DOI: 10.1093/heapol/czl018.
- Slovic, P. (1987). Perception of Risk. *Science*, 236, 280-285.
- Slovic, P. (1996). Perception of Risk from Radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, 68(3/4), 165-180.
- Smetsers, R.C.G.M. (2006). En als het dan toch gebeurt, wat dan? – Inschatting radiologische gevolgen kernongeval. *Tijdschrift Milieu*, Jaargang 12(4), 40-44.
- Soffer, Y., Schwartz, D., Goldberg, A., Henefeld, M. & Bar-Dayyan, Y. (2008). Population evacuations in Industrial Accidents: A Review of the Literature about Four Major Events. *Prehospital and Disaster Medicine*, 23(3), pp. 276-281.
- Stallings, S.A. (1984). Evacuation Behavior at Three Mile Island. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*. Via: <https://training.fema.gov/hiedu/downloads/ijems/articles/evacuation%20behavior%20at%20three%20mile%20island.%20robert%20stallings.pdf>.
- Steinhauser, G., Brandl, A. & Johnson, T.E. (2014). Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Science of the Total Environment* 470-471, 800-817.
- STUK (2014). *Protective Measures in Early and Intermediate Phases of a Nuclear or Radiological Emergency. Nordic Guidelines and recommendations*. Via: <https://www.dsa.no/filer/56bc06c397.pdf>.
- Tajima, K., Yamamoto, M. & Ichinose, D. (2016). How do agricultural markets respond to radiation risk? Evidence from the 2011 disaster in Japan. *Regional Science and Urban Economics* 60, 20-30.
- Tanigawa, T., Hosoi, Y., Hirohashi, N., Iwasaki, Y. & Kamiya, K. (2017). Loss of life after evacuation: lessons learned from the Fukushima accident. *The Lancet*, 379, pp. 889-891. DOI:10.1016/S0140-6736(12)60364-X.
- The National Diet of Japan (2012). *The official report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission: Executive Summary*. Verkregen via: [https://www.nirs.org/wp-content/uploads/fukushima/naic\\_report.pdf](https://www.nirs.org/wp-content/uploads/fukushima/naic_report.pdf).

- Thompson, R.R., Garfin, D.R. & Silver, R.C. (2017). Evacuation from Natural Disasters: A Systematic Review of the Literature. *Risk Analysis*, 37(4), pp. 812-839. DOI: 10.1111/risa.12654.
- United Nations Scientific Commission on Effects of Atomic Radiation.(UNSCEAR) (2008). *Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR 2008 Report (Scientific Annex D, Health effects due to radiation from the Chernobyl accident)*. 2008.
- Waddington, I., Thomas, P.J., Taylor, R.H. & Vaughan G.J. (2017a). J-value assessment of relocation measures following the nuclear power plant accidents at Chernobyl and Fukushima Daiichi. *Process Safety and Environmental Protection*, 112, 16-49.
- Waddington, I., Thomas, P.J., Taylor, R.H. & Vaughan G.J. (2017b). J-value assessment of remediation measures following the Chernobyl and Fukushima Daiichi nuclear power plant accidents. *Process Safety and Environmental Protection*, 112, 50-62.
- World Bank. (2015). *The Indirect Cost of Natural Disasters and an Economic Definition of Macroeconomic Resilience*. Via: <http://documents.worldbank.org/curated/en/186631467998501319/pdf/WPS7357.pdf>.
- World Health Organization (WHO). (2004a). *Global Burden of Disease 2004 Update: Disability Weights for Diseases and Conditions*. Via: [https://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/GBD2004\\_DisabilityWeights.pdf?ua=1](https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD2004_DisabilityWeights.pdf?ua=1).
- World Health Organization (WHO). (2004b). *Promoting Mental Health – Summary Report*. Via: [https://www.who.int/mental\\_health/evidence/en/promoting\\_mhh.pdf](https://www.who.int/mental_health/evidence/en/promoting_mhh.pdf).
- World Health Organization (WHO). (2013). *Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation*. Via: [https://www.who.int/ionizing\\_radiation/pub\\_meet/fukushima\\_risk\\_assessment\\_2013/en/Yoshioka-Maeda, K., Kuroda, M. & Togari, T. \(2018\). Difficulties of fathers whose families evacuated voluntarily after the Fukushima nuclear disaster. \*Nursing & Health Sciences\* 20, 296-303.](https://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/fukushima_risk_assessment_2013/en/Yoshioka-Maeda, K., Kuroda, M. & Togari, T. (2018). Difficulties of fathers whose families evacuated voluntarily after the Fukushima nuclear disaster. Nursing & Health Sciences 20, 296-303)
- Zachria, A. & Patel, B. (2006). Deaths related to hurricane Rita and mass evacuation. *Chest*, 130 (4). DOI: 10.1378/chest.130.4\_MeetingAbstracts.124S-c.
- Zhang, H., Yan, W., Oba, A. & Zhang, W. (2014). Radiation-Driven Migration: The Case of Minamisoma City, Fukushima, Japan, after the Fukushima Nuclear Accident. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11, 9286-9305.
- Zhang, H., Dolan, C., Jing, S.M., Uyimleshi, J. & Dodd, P. (2019). Bounce forward: economic recovery in post-disaster Fukushima. *Sustainability* (11), 6736.





.....  
T.J. Kerckhoffs | M. van der Linden | C. J.W. Twenhöfel |  
R.C.G.M. Smetsers | S.A.J. Dekkers  
.....

RIVM-rapport 2020-0058

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
Nederland  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

maart 2020