

# Van Vitaal Belang

Naar een kwantitatief probabilistisch risicobeoordelingskader voor vitale infrastructuur

## Abstract

Bij de huidige risicobeoordelingsmethode voor vitale infrastructuur (de NLNRB) kunnen methodologische kanttekeningen worden geplaatst. Deze komen voornamelijk voort uit de kwalitatieve benaderingswijze en het subjectieve risicobegrip. In dit artikel worden vijf ontwerpprincipes opgesteld waaraan een methodologisch verantwoorde risicobeoordelingsmethode zou moeten voldoen. Vervolgens wordt er een voorstel gedaan voor een concrete, alternatieve risicobeoordelingsmethode die aan deze voorwaarden voldoet. Deze kwantitatieve methode maakt gebruik van een geobjectiveerd risicobegrip, een Bayesiaanse benaderingswijze, een vaste risiconormering van een  $10^{-6}$  overlijdenskans per jaar voor verwaarloosbaar risico, maatschappelijke kosten-batenanalyses en democratische besluitvorming voor de totstandkoming van een ethische verdeling van risico's. In een casus wordt de werking van de voorgestelde methode geïllustreerd.

Nas, I. J. W. (Ivo)

s4185749

23 oktober 2019

Master Bestuurskunde: Besturen van Veiligheid

Faculteit der Managementwetenschappen

Radboud Universiteit Nijmegen

Begeleider: prof. dr. I. Helsloot

## Dankwoord

Met dit dankwoord leg ik de laatste hand aan mijn masterartikel. Het was een intensieve periode, maar het resultaat is iets waar ik trots op ben. Uiteraard was dit mij niet gelukt zonder de steun van verschillende mensen. Daarom wil ik graag kort stilstaan bij degenen die mij hebben geholpen bij de totstandkoming van dit masterartikel.

Allereerst wil ik mijn begeleider Ira Helsloot bedanken voor de enthousiaste begeleiding en nieuwe inzichten die hij mij heeft gegeven tijdens onze voortgangsgesprekken. Zijn tips om met alcohol het creatieve proces aan te wakkeren zijn zeker niet in de wind geslagen. Ook wil ik Charles Vlek bedanken voor de – zoals hijzelf treffend verwoordde – ‘begeleidingsmonologen-op-afstand’ en Eric Cator voor zijn hulp bij de wiskundige aspecten van het artikel. Ook wil ik graag andere professoren en professionals bedanken die hebben bijgedragen aan dit stuk door het leveren van constructieve feedback. Hun namen zijn te vinden in Appendix B.

In het bijzonder wil ik mijn vriendin Ilse Strickeling bedanken voor de onschatbare bijdrage die zij heeft geleverd als mijn steun en toeverlaat. Daarnaast wil ik mijn ouders en vrienden bedanken voor de steun die zij hebben geboden, met name bij het uitvoeren van de tips van Ira Helsloot.

Ik wens u veel leesplezier.

Ivo Nas

Nijmegen, 8 oktober 2019.

# 1. Inleiding

In Nederland zijn er producten, diensten en processen die zo belangrijk zijn voor de samenleving dat uitval of verstoring ervan tot ernstige maatschappelijke ontwrichting leidt en een bedreiging voor de nationale veiligheid vormt. Voorbeelden hiervan zijn de elektriciteitsvoorziening en de toegang tot drinkwater. Samengenomen vormen al deze vitale producten, diensten en processen de *vitale infrastructuur* van Nederland (Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid [NCTV], 2009; 2019).

Om risicobeleid voor vitale infrastructuur te maken is een risicobeoordelingskader nodig. De Nationale Risicobeoordeling (NRB) is een internationaal populaire risicobeoordelingsmethode voor vitale infrastructuur en andere nationale risico's, die verschillende nationale variaties kent (Europese Commissie, 2010; Pruyt, & Wijnmalen, 2010; Kerckhoffs, 2017). De Nederlandse variant van de NRB is de afgelopen jaren verschillende malen gewijzigd. De centrale principes van de Nederlandse methode zijn echter door de jaren heen constant gebleven (Luijff, Burger, & Klaver, 2003; Remkes, 2004; Ministerie Binnenlandse Zaken [BZK], 2005; NCTV, 2010; Ministerie Veiligheid en Justitie [VenJ], 2014; Analistennetwerk Nationale Veiligheid [ANV], 2016; 2018; 2019). Daarom is ervoor gekozen om in dit artikel – in navolging van Kerckhoffs (2017) – naar de huidige en voorgaande versies te refereren met de volgende eenduidige term: de Nederlandse Nationale Risicobeoordeling (NLNRB).

In de NLNRB wordt met behulp van verschillende (risico-)experts uit diverse sectoren de risicobeoordeling doorlopen. De methode is primair kwalitatief van aard. Dit heeft in het verleden al geleid tot een discussie over de waarde van de methode (Vlek, 2013a; 2013b; Pruyt, Wijnmalen, & Bökkerink, 2013; Ale, 2013; Cox, & Lowrie, 2013).

## **Stappen van de NLNRB:**

1. *De verzameling van plausibele gevaren of dreigingsscenario's.* Er wordt een fictief maar realistisch scenario gecreëerd waarin een zwaar risico zich heeft gemanifesteerd. Voor dreigingsscenario's met vitale infrastructuur wordt er gekeken of er aantasting, verstoring of uitval van een vitaal proces zal optreden dat voldoet aan de ondergrens van één van de opgestelde impactcriteria (economisch, fysiek of sociaal-maatschappelijk). Voor categorie A (de zwaarste categorie) moet uitval van vitale infrastructuur ook cascade gevolgen met zich meebrengen (NCTV, 2019). Verder

wordt er gekeken of één of meer van de zes nationale veiligheidsbelangen worden aangetast: de territoriale-, fysieke-, economische-, en ecologische veiligheid, de sociale en politieke stabiliteit en/of de internationale rechtsorde (ANV, 2019).

2. *Een evaluatie van de mogelijke impact van een dreigingsscenario.* Diverse (risico-) experts komen samen in bijeenkomsten en kennen een impactscore toe aan het dreigingsscenario op basis van een ordinale vijfpuntsimpactschaal. Voor een voorbeeld van impactscores, zie tabel 1.
3. *Een beoordeling van de waarschijnlijkheid dat het dreigingsscenario daadwerkelijk zou kunnen plaatsvinden.* Net zoals bij de impactscore, wordt voor de waarschijnlijkheidsscore gebruik gemaakt van experts en een ordinale vijfpuntsschaal voor het beoordelen van de waarschijnlijkheid, zie tabel 2.
4. *Plotten van impact en waarschijnlijkheid in een tweedimensionale risicomatrix.* In deze risicomatrix, ofwel risicodiagram, worden de impact- en waarschijnlijkheidsscores tegen elkaar afgezet en daarmee gerangschikt. Zie tabel 3 voor een voorbeeldoverzicht.
5. *Analyse van de capaciteiten op basis van de resultaten.* Op basis van de resultaten wordt er richting gegeven aan de prioritering van veiligheidsmaatregelen. Daarbij wordt een lijst opgesteld met aanbevelingen ter versterking van veiligheidscapaciteiten (Vlek, 2013a, p. 17).

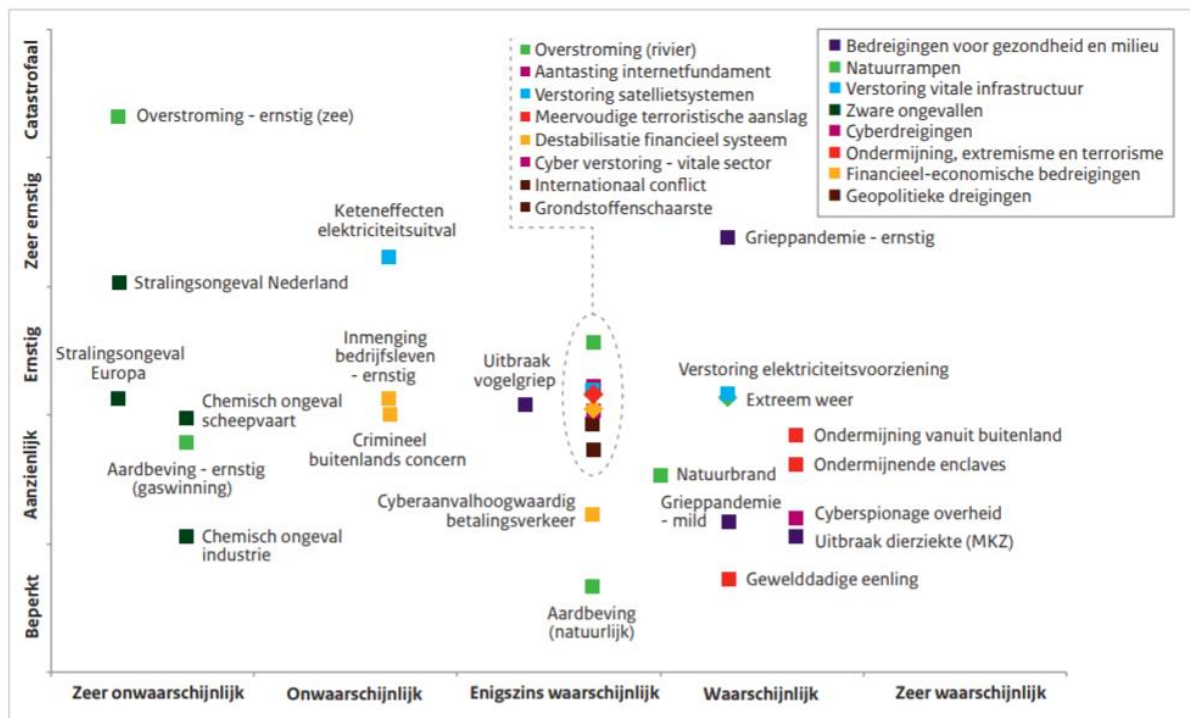
In dit onderzoek wordt een methodologisch verantwoorde alternatief verkend voor de risicobeoordeling van vitale infrastructuur. De opbouw van dit artikel is als volgt: allereerst worden in paragraaf 2 verschillende kanttekeningen geplaatst bij de huidige risicobeoordelingsmethode. In paragraaf 3 worden er ontwerpprincipes opgesteld waaraan een methodologisch verantwoorde risicobeoordelingsmethode zou moeten voldoen. Vervolgens wordt in paragraaf 4 een voorstel gedaan voor een alternatieve risicobeoordelingsmethode met een meer kwantitatief uitgangspunt aan de hand van de voorgestelde ontwerpprincipes. De kwantitatieve methode wordt vervolgens in paragraaf 5 geïllustreerd middels een casus. Paragraaf 6 bevat de discussie en paragraaf 7 de conclusie. Appendix A bevat de wiskundige onderbouwing van de – in dit artikel voorgestelde – risicoberekeningsmethode. In Appendix B worden de personen erkent die inhoudelijke feedback hebben geleverd op dit artikel.

Klasse	Voorbeeld criterium: Aantal doden	Voorbeeld criterium: Aantasting democratische rechtstaat
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

Tabel 1: Impactscore. Overgenomen uit *Geïntegreerde risicoanalyse Nationale Veiligheid* (p. 22) door ANV, 2019, ([https://www.nctv.nl/binaries/TK-bijlage-geintegreerde-risico-analyse-nationale-veiligheid\\_tcm31-393838.pdf](https://www.nctv.nl/binaries/TK-bijlage-geintegreerde-risico-analyse-nationale-veiligheid_tcm31-393838.pdf)). Copyright 2019, RIVM.

Klasse; kwalitatieve benadering algemeen	Kwantitatieve benadering	Kwalitatieve benadering moedwillig
A. Zeer onwaarschijnlijk	Minder dan 0,05%	Geen concrete aanwijzingen; niet voorstelbaar
B. Onwaarschijnlijk	0,05 tot 0,5%	Geen concrete aanwijzingen; enigszins voorstelbaar
C. Enigszins waarschijnlijk	0,5 tot 5%	Geen concrete aanwijzingen; voorstelbaar
D. Waarschijnlijk	5 tot 50%	Aanwijzingen; zeer voorstelbaar
E. Zeer waarschijnlijk	Meer dan 50%	Concrete aanwijzingen dat scenario gaat gebeuren

Tabel 2: Waarschijnlijkheidsscore. Overgenomen uit *Geïntegreerde risicoanalyse Nationale Veiligheid* (p. 33) door ANV, 2019, ([https://www.nctv.nl/binaries/TK-bijlage-geintegreerde-risico-analyse-nationale-veiligheid\\_tcm31-393838.pdf](https://www.nctv.nl/binaries/TK-bijlage-geintegreerde-risico-analyse-nationale-veiligheid_tcm31-393838.pdf)). Copyright 2019, RIVM.



Tabel 3: Voorbeeld NVP risicomatrix. Overgenomen uit *Nationaal Veiligheidsprofiel 2016* (p. 188) door ANV, 2016, (<https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/Nationaal%20Veiligheidsprofiel%202016.pdf>). Copyright 2016, RIVM.

## 2. Kanttekeningen bij de NLNRB

Bij de NLNRB kunnen methodologische kanttekeningen geplaatst worden. Deze kanttekeningen gaan in essentie over het gebruik van een subjectief risicobegrip in combinatie met een kwalitatieve benaderingswijze. De kwalitatieve benaderingswijze wordt gekenmerkt door de afhankelijkheid van subjectieve risico-inschattingen van experts en het gebruik van de risicomatrix, evenals door een gebrek aan beslissingsregels volgend uit de risicobeoordeling.

### 2.1 Subjectief risicobegrip

Een van de methodologische kanttekeningen bij de NLNRB betreft het gebruik van een subjectief risicobegrip, wat zorgt voor ambiguïteit in de gehanteerde definities en volgens bepaalde auteurs leidt tot een (onwenselijke) focus op de veiligheidservaring.

Vanuit een sociaal constructivistische risicobenadering kan worden gesteld dat risico's onderdeel zijn van een sociaal construct, hetgeen risico's inherent relatief maakt. Dit maakt risico's open voor interpretatie – subjectief – waardoor emoties en waardeoordelen een (grote) rol gaan spelen in het risicobeleid (Fischhoff, Lichtenstein, Slovic, Keeney, & Derby, 1980; Slovic, 1992; Dake, 1992; Lupton, 1999). Het ANV (2016) heeft bewust gekozen voor een meer subjectief risicobegrip in de NLNRB. Een strikt kwantitatief en geobjectiveerd risicobegrip houdt volgens het ANV namelijk onvoldoende rekening met de risicobeleving: “perceptie en acceptatie door bestuurders, het publiek en andere belanghebbenden [zijn] van belang bij het beoordelen van de risico's” (ANV, 2016, p. 27). Vergeleken met andere Europese landen die eveneens gebruik maken van de NRB, hanteert Nederland één van de meest sociaal constructivistische risicobegrippen (Kerckhoffs, 2017, p. 88).

Door gebruik te maken van een subjectief risicobegrip wordt de veiligheidservaring – oftewel subjectieve veiligheid – een beleidsdoel *an sich* (Helsloot, Pieterman, & Hanekamp, 2010). Dit is volgens een aantal auteurs (o.a. Borgers, & Van Sliegdregt, 2009; Helsloot, Pieterman, & Hanekamp, 2010; Crains, & Wright, 2011) een onwenselijke verbreding van de zorgtaak van de overheid, onder andere omdat er geen duidelijke relatie bestaat tussen subjectieve- en objectieve veiligheid (Wagenaar, 1992).

Het subjectieve risicobegrip maakt het vergelijken en evalueren van de risico-inschatting zeer moeilijk. Dit komt omdat een subjectief risicobegrip ruimte laat voor een relatieve interpretatie van risico's, waardoor er geen eenduidige definities kunnen worden geformuleerd. Zo is er ambiguïteit aanwezig in de definitie van vitale infrastructuur. Een product, dienst of proces wordt geïdentificeerd als vitaal wanneer verstoring, aantasting of

uitval ervan zorgt voor maatschappelijke ontwrichting. Maatschappelijke ontwrichting wordt vervolgens gedefinieerd als het voldoen aan de ondergrens voor één van de drie impactcriteria. Voor vitale infrastructuur in categorie B (van minder vitaal belang dan infrastructuur in categorie A) is bijvoorbeeld één van die drie impactcategorieën ‘sociaal maatschappelijke gevolgen’. Om te voldoen aan de ondergrens van deze categorie, geldt het criterium dat meer dan 100 000 personen emotionele problemen of ernstige maatschappelijke overlevingsproblemen moeten ondervinden (NCTV, 2019). Dit maakt de definitie dermate subjectief dat met een beetje creatief denken, een bekerfinale tussen Ajax en Feyenoord kan worden gezien als een vitaal proces. Immers zorgt het verlies van één van de twee voetbalclubs waarschijnlijk voor emotionele problemen bij meer dan 100 000 teleurgestelde fans.

## 2.2 Kwalitatieve benadering

Een andere kanttekening bij de NLNRB betreft de kwalitatieve benaderingswijze van de risico-inschatting, die enkel in beperkte mate betrouwbaar en valide is. Deze benaderingswijze kent twee kernonderdelen: inschattingen van risico-experts en de risicomatrix (Pruyt, Wijnmalen, & Böklerink, 2013). Risico-experts kennen scores toe aan de waarschijnlijkheid en de impact van een risico, hetgeen vervolgens geplot wordt in een risicomatrix. Middels deze matrix worden de *high risks* geïdentificeerd die prioriteit verkrijgen in risicoreductiebeleid (ANV, 2016). Hieronder zullen de kanttekeningen bij beide kernonderdelen worden besproken.

### Afhankelijkheid van subjectieve risico-experts

De risico-inschattingen die experts maken zijn vaak onvoldoende betrouwbaar en valide, waardoor er een misplaatste weergave van de risicowaarde kan ontstaan.

Welke risico-inschattingen experts maken is vaak gebaseerd op meer factoren dan enkel hun expertise omtrent een bepaald veiligheidsvraagstuk. Zowel Vlek (2013a) als Helsloot (2012) merken op dat experts zich in hun inschattingen (on)bewust laten beïnvloeden door het beschermen van hun eigen status, belangen of de belangen van hun werkgevers. Helsloot voegt hieraan toe dat experts de neiging hebben het risico waar zij in gespecialiseerd zijn eerder te overschatten. Experts hebben volgens Helsloot een constante neiging om te doen aan steeds verdergaande kwaliteitsborging, -verbetering en -waardering van hun ‘eigen’

risico, met name wanneer zijzelf niet verantwoordelijk zijn voor de kosten die volgen uit de door hen gegeven adviezen.

Risico-experts kunnen ook fouten maken bij het identificeren van relevante risico's. Zo kunnen zij sommige risico's eerder overschatten en andere risico's juist als 'ondenkbaar' ervaren of geheel missen. Deze denkfouten van experts zijn in twee categorieën op te delen: die van 'false positives' en die van 'false negatives' (Vlek, 2013a), ook wel bekend als type I en type II fouten in de statistiek.

*False positives* kunnen ontstaan omdat experts soms te ijverig te werk gaan met hun risico-inschattingen, waardoor de kans en/of het effect van een risico kan worden overschat. Dit kan met name gebeuren als zij weten dat door een (over)schatting extra geld voor veiligheidsinvesteringen voor hun 'eigen' sector kan volgen. *False negatives* kunnen juist ontstaan wanneer een expert geen 'gedoe' wil veroorzaken of niet voor extra kosten voor zijn/haar eigen organisatie wil zorgen (Vlek, 2013a, pp. 951-953). *False negatives* kunnen ook ontstaan omdat ze simpelweg over het hoofd worden gezien. Talebs (2007) Zwarte Zwaan-incidenten zijn hiervan een voorbeeld. Dit zijn onvoorspelbare gebeurtenissen met een enorme impact, die achteraf aannemelijk en voorspelbaar kunnen worden gemaakt. Een complex en gekoppeld systeem zoals vitale infrastructuur leidt echter hoe dan ook tot onvoorspelbare incidenten (Perrow, 1984). Het introduceren van meer complexiteit en gekoppeldheid binnen een dergelijk systeem vergroot juist het risico op Zwarte Zwaan-incidenten. Het heeft dan ook weinig nut om Zwarte Zwaan-incidenten te gaan voorspellen (Taleb, 2007; Scholtens, 2009; Helsloot, Scholtens, & Vlagsma, 2016).

Experts kunnen ook onbewust sturing geven aan hun risico-inschattingen. Zo kan er binnen de expertbijeenkomsten sprake zijn van *groupthink*, waarbij meer volgzame deelnemers eerder conformeren aan de zienswijze van meer dominante deelnemers. Maar er kan ook sprake zijn van vooringenomenheid en paradigma denken (Vlek, 2013a, pp. 965-966). Taleb (2007, p. 144) stelt dat experts een persoonlijk- en/of discipline gerelateerd perspectief bezitten. Hierdoor kunnen elementen die niet direct voorkomen in hun eigen zienswijze overzien worden of ondergesneeuwd raken. Hierbij duidt hij – net als Vlek – op de inherente bias van experts. Een manier om dit effect te beperken is volgens Taleb (2007, pp. 150-157) om een grote en diverse groep aan experts te hebben, zodat er verschillende perspectieven vertegenwoordigd zijn bij het maken van risico-inschattingen. Dit is ook de wijze waarop in Nederland wordt getracht de validiteit van risico-inschattingen te verhogen (Pruyt, Wijnmalen, & Bökkerink, 2013, p. 1386; ANV, 2016, p. 24). Het is echter volgens Vlek (2013a; 2013b) niet aannemelijk dat experts onderling in staat zijn elkaars oordelen te

valideren en dat hiervoor buitenstaanders – contra-experts – zouden moeten worden geraadpleegd.

Door op een kwalitatieve wijze experts risico's in te laten schatten is er een grote kans op het optreden van een effect genaamd de 'analyse placebo'. Dit omschrijft het misplaatste gevoel van nut en verbetering dat experts kunnen krijgen van een analytische methode (Hubbard, & Seiersen, 2016). Experts gaan er automatisch vanuit dat de methode die zij gebruiken helpt bij het inschatten en beoordelen van risico's. Er zijn echter diverse psychologische studies (o.a. Oskamp, 1965; Andreassen, 1990; Tsai, Klayman, & Hastie, 2008) die aantonen dat als de zelfverzekerdheid van experts over hun inschattingen omhooggaat, hun inschattingen vaak niet accurater worden of zelfs achteruitgaan. Onderzoeken van Tversky en Kahneman (1974) en van Kahneman, Slovic en Tversky (1982) tonen aan dat in situaties met grote onzekerheid en beperkte informatie, waarschijnlijkheidsinschattingen van mensen een zekere bias laten zien. Een voorbeeld hiervan is het overschatten van zeer lage waarschijnlijkheden of de illusie van controle.

Risico-inschattingen van experts zijn onderling niet eenvoudig repliceerbaar. Hun inschattingen zijn vatbaar voor inconsistenties en missen aan transparantie richting externe groepen en organisaties (Vlek, 2013a, p. 960). Experts moeten er eigenlijk blind op worden geloofd dat hun inschattingen accuraat zijn, omdat de kwalitatieve methode geen handvatten biedt voor het expliciet maken van de risicoberekeningen die experts voor zichzelf maken.

### **Interpretatieproblemen risicomatrix**

Het product van de NLNRB is een risicomatrix, waarmee zogeheten *high risks* worden geïdentificeerd. Er is echter geen wetenschappelijk bewijs dat het plotten van risicoscores in een matrix helpt met het accuraat beoordelen van risico's (Hubbard, & Evans, 2010; Hubbard, & Seiersen, 2016). Een meta-evaluatie van risicomatrices (Thomas, Bratvold, & Bickel, 2013) laat zien dat de ontwikkeling van de risicomatrix geïsoleerd heeft plaatsgevonden van academisch onderzoek en zorgt voor arbitraire beleidskeuzes. Cox en Popken noemen de kwalitatieve methode zelfs "*worse than useless*" (Cox, & Popken, 2007, p. 440; Cox, 2008, p. 500). Zij stellen dat de methode juist zorgt voor meer ruis en fouten bij het beoordelingsproces en dat het willekeurig toedelen van waarden aan risico's nog voor accuratere data zorgt.

Een van de problemen van het kwalitatief inschatten van risico's is dat de scores die worden toegekend aan de waarschijnlijkheid en impact van risico's, ordinaal van aard zijn en openstaan voor interpretatie. Naast de wiskundig beperkingen die dit brengt, kunnen er ook

interpretatieproblemen ontstaan door ambiguïteit over de precieze inhoud van de ordinale risicocategorieën (Heuer, 1999; Budescu, Broomell, & Por, 2009; Hubbard, & Evans, 2010). Het geven van percentages bij de ordinale categorieën (bijv. onwaarschijnlijk = tussen 10% en 33%) geeft alsnog enorm fluctuerende waarschijnlijkheidsinterpretaties. Dit betekent dat in veel gevallen respondenten (on)bewust een eigen interpretatie blijven geven aan de waarschijnlijkheidstermen (Budescu, Broomell, & Por, 2009).

### **Ontbreken van beslissingsregels**

In de NLNRB worden er geen duidelijke beslissingsregels gebruikt voor het accepteren van risico's of voor het nemen van risicoreducerende maatregelen (Vlek, 2013a, p. 967). In plaats van beslissingsregels verwijst de NLNRB naar de subjectieve interpretaties van risico's en daarmee de verschillende mate van risicoacceptatie bij bestuurders, het publiek en belanghebbenden (ANV, 2016, p. 27). Zonder een objectieve grens tussen acceptabele en onacceptabele risicowaarden, blijft risicoreductie de beleidsnorm.

Een vitaal proces – zoals de elektriciteitsvoorziening – behoort aan de ene kant robuust tegen verstoringen te zijn, terwijl aan de andere kant de maatschappelijke kosten van het organiseren van die robuustheid ook acceptabel moeten blijven (Vaessen, 2015). Als het niet mogelijk was een kosten-batenanalyse van bijvoorbeeld een behandeling in de gezondheidszorg te doen, zou de gehele sector een totaal willekeurige fundering hebben (De Beer, & Jackson, 2006; DeTora, 2017). Het afwegen van de kosten van risicoreducerende maatregelen tegenover de veiligheidsbaten ervan is een voorwaarde voor proportioneel risicobeleid (Helsloot, Pieterman, & Hanekamp, 2010; Helsloot, 2012; Van Wee 2013; Plasterk, 2015), ook op het gebied van vitale infrastructuur. De realiteit blijft dat de middelen voor levensreddende interventies beperkt zijn. Het maken van een pijnlijke afweging over hoe die middelen dan het beste kunnen worden gebruikt, wordt dan onontkoombaar (De Beer, & Jackson, 2006).

Het niet expliciet in beeld brengen van de maatschappelijke kosten en veiligheidsbaten van risicoreducerende maatregelen kan tevens zorgen voor disproportioneel risicobeleid. Mogelijkerwijs kan dezelfde veiligheidsinvestering namelijk elders voor een hoger rendement zorgen (Helsloot, Pieterman, & Hanekamp, 2010). Het achterwege laten van de baten die geassocieerd worden met het risico is volgens Vlek (2013a, p. 948) dan ook een zwaktepunt van de NLNRB.

### 3. Ontwerpprincipes risicobeoordelingskader

Om tot een risicobeoordelingskader voor vitale infrastructuur te komen, zal in deze paragraaf eerst een uiteenzetting plaatsvinden van vijf ontwerpprincipes voor een methodologisch verantwoorde risicobeoordelingsmethode.

Zoals beschreven in paragraaf 2.1, kunnen bij het gebruik van een subjectief risicobegrip verschillende kanttekeningen geplaatst worden. Zo zorgt het voor ambiguïteit over de precieze inhoud van het begrip, omdat deze openstaat voor persoonlijke interpretatie. Bij een geobjectiveerd risicobegrip wordt een risico gezien als een objectief gevaar of bedreiging, die onafhankelijk van sociale en culturele processen bestaan en gemeten kunnen worden (Lupton, 1999). Dit is een noodzakelijke voorwaarde voor *evidence-based* beleid: het selecteren van beleid dat wetenschappelijk wordt ondersteund en daaraan ook zijn legitimiteit ontleent (Former-Boon, & Van Duinen, 2008).

Er bestaat nog vaak ambiguïteit over hoe uitval van vitale infrastructuur dient te worden geïnterpreteerd, doordat uitval vaak benaderd wordt als zowel een dreiging (de oorzaak van het gevaar), als een consequentie (het gevolg van een gevaar) (Giannopoulos, Filippini, & Schimmer, 2012; Theocharidou, & Giannopoulos, 2015). Wat vitale infrastructuur uniek maakt – vergeleken met andere risico's – is de maatschappelijk ontwrichtende impact bij het wegvallen van de continuïteit van vitale producten, diensten of processen. De discontinuïteit van vitale infrastructuur moet dan ook worden beschouwd als een dreiging, niet als een consequentie. Vanuit deze punten volgt dan ook het eerste ontwerpprincipe:

#### *Ontwerpprincipe 1: Geobjectiveerd risicobegrip*

*Een risicobeoordelingsmethode voor vitale infrastructuur maakt gebruik van een geobjectiveerd risicobegrip dat eenduidige definities van de begrippen 'kans' en 'gevolg' hanteert, om een risicowaarde toe te kennen gebaseerd op de waarschijnlijkheid van discontinuïteit van vitale infrastructuur.*

In paragraaf 2.2 is besproken dat bij de huidige risico-inschattingsfase – of risicoanalyse – verschillende kanttekeningen geplaatst kunnen worden. De methode van experts risicoscores toe laten kennen op een ordinale vijfpuntsschaal en dit te plotten in een risicomatrix, voldoet niet aan de wetenschappelijk standaard voor betrouwbaarheid en validiteit en helpt onvoldoende met het reduceren van onzekerheid. Zonder een wetenschappelijke fundering

voor de risicoanalyse is het lastig om op basis daarvan transparante en *evidence-based* beleidskeuzes te maken. Hieruit ontstaat het tweede ontwerpprincipe:

*Ontwerpprincipe 2: Wetenschappelijke risicoberekeningsmethode*

*Een risicoberekeningsmethode behoort te voldoen aan de wetenschappelijke standaard voor (inhoudelijke) validiteit en betrouwbaarheid, waarbij onzekerheidsreductie centraal staat.*

Bij risico's die voor individuele burgers niet beheersbaar zijn, heeft de overheid de taak om bescherming te bieden. Het onvrijwillige karakter van deze risico's maakt dat de overheid een basisniveau van veiligheidsregels moet overwegen (Helsloot, Pieterman, & Hanekamp, 2010; Muller, Helsloot, & Van Wegberg, 2012). Tegelijkertijd moet er worden geaccepteerd dat veiligheid inherent relatief is en dat absolute veiligheid – *zero risks* – onhaalbaar is (Douglas, & Wildasvsky, 1982). Een vaste risiconormering biedt hiervoor handvatten. Als er aan deze nader vast te stellen normering is voldaan, wordt het risico als *verwaarloosbaar* beschouwd. De overheid dient dan vanuit een juridisch perspectief niet meer dan de reguliere sociale zekerheid ter beschikking te stellen aan slachtoffers. Voor vrijwillige risico's ligt de verantwoordelijkheid voor bescherming of vergoeding bij de burger zelf (Helsloot, 2012), wat tevens wordt erkend door de Rijksoverheid (Van Tol, Helsloot, & In 't Veld, 2014; Plasterk, 2015). Voor vrijwillige risico's bestaat onder andere een uitgebreid systeem van particuliere verzekeringen (Helsloot, Pieterman, & Hanekamp, 2010). Een risiconormering biedt een praktische grens voor de aanvaardbare hoogte van een risicowaarde. Vanuit deze redenering wordt het derde ontwerpprincipe geformuleerd:

*Ontwerpprincipe 3: Vaste risiconormering*

*Bij risicobeoordeling wordt een vaste risiconormering in acht genomen als grens voor de verwaarloosbaarheid van onvrijwillige risico's.*

Voor risico's die niet als verwaarloosbaar worden beschouwd, is het nodig risicoreducerende maatregelen te overwegen. Hiervoor dient een beargumenteerde keuze te worden gemaakt tussen de verschillende maatregelen. Allereerst moet worden geconcludeerd dat risico's niet gelijk zijn verdeeld en onze middelen om hier iets aan te doen eindig zijn (Helsloot, Pieterman, & Hanekamp, 2010). Daarom is het nodig om tot een ethische verdeling van de beperkte middelen voor risicoreducerende maatregelen te komen. Een ethisch perspectief zoals het Kantiaans perspectief concludeert echter dat het monetariseren van menslevens of

risico's onjuist is (Van Wee, & Rietveld, 2012). Dit geeft helaas weinig aanknopingspunten voor het komen tot een ethische risicoverdeling. Het Utilistisch perspectief geeft wel handvatten: het zou juist onethisch zijn om financiële middelen niet zodanig in te zetten dat zij het maximale veiligheidsrendement kunnen behalen (Elvik, 1999; Fahlquist, 2006). Er is echter geen eenduidig antwoord te geven op de vraag of het moreel gerechtvaardigd is om mensenlevens of risico's te monetariseren (Van Wee, & Rietveld, 2012). In dit artikel wordt daarom vanuit pragmatische overwegingen het Utilistisch perspectief aangehouden, waarbij de beste risicoreducerende maatregelen, maatregelen zijn die de meeste veiligheidsbaten opleveren tegen de minste maatschappelijke kosten (Helsloot, Pieterman, & Hanekamp, 2010). Dit is tevens in lijn met het rijksbeleid, dat stelt dat het maken van kosten-batenanalyses voor risicobeleid een uitgangspunt is voor goede bestuurlijke omgang met risico's (Plasterk, 2015). Dit levert het vierde ontwerpprincipes op:

*Ontwerpprincipes 4: Kosten-batenanalyse*

*Voor het kiezen van risicoreducerende maatregelen dient er een kosten-batenanalyse te worden gemaakt.*

Het maken van kosten-batenanalyses helpt bij het creëren van redelijk – ofwel rationeel (Hoogerwerf, 2008) – risicobeleid. Gedegen overheidsbeleid vereist vanuit democratisch oogpunt echter ook dat het beleid aanvaardbaar is voor de bevolking als geheel, of op zijn minst voor een meerderheid van de volksvertegenwoordigers. Zowel rationaliteit als legitimiteit zijn belangrijke maatstaven voor goed beleid (Hoogerwerf, 2008). Om gedegen democratische afwegingen te kunnen maken is het volgens Sunstein (2002) noodzakelijk dat de (maatschappelijke) kosten van risicobeleid worden erkend en geaccepteerd en mag er niet enkel naar potentiële baten worden gekeken.

“Deliberative democrats know that ‘costs’ are no mere abstraction. When the costs of regulation are high, real people will be hurt, through increased prices, decreased wages, and ever greater unemployment. The key point is that the costs [of regulation] should be placed ‘on-screen’, so that if they are incurred, it is with knowledge and approval, rather than ignorance and wishful thinking” (Sunstein, 2002, p. 106).

Veiligheid is overigens niet het enige welvaartsaspect dat mensen waarderen, vooral niet in hun publieke leven (Geerts, 2012). Er kan dan ook voor worden gekozen om een risico dat boven de normering komt, te accepteren. Bijvoorbeeld als het vermijden of verminderen van het risico enkel kan tegen onaanvaardbaar hoge kosten (Dillen, 2012). In dat geval kan er worden gekozen om op zoek te gaan naar minder kostbare vormen van risicoreductie of een groter risico te accepteren (De Hollander, & Hanemaaijer, 2003). Dit leidt tot het vijfde ontwerpprincipe:

*Ontwerpprincipe 5: Democratische besluitvorming*

*De uiteindelijke besluitvorming voor de totstandkoming van een (ethisch) redelijke verdeling van risico's hoort democratisch plaats te vinden. Wel hoort dit besluitvormingsproces gebaseerd te zijn op gedegen en transparante overwegingen, waarbij naast risicoreducerende maatregelen, ook risicoacceptatie een optie vormt.*

In de volgende paragraaf zullen deze vijf ontwerpprincipes verder worden uitgewerkt om de mogelijkheden voor een alternatieve risicobeoordelingsmethode met een meer kwantitatief uitgangspunt te verkennen.

## 4. Contouren nieuwe methode

In deze paragraaf wordt een voorstel gedaan voor een meer kwantitatieve risicobeoordelingsmethode aan de hand van de ontwerpprincipes zoals vastgesteld in paragraaf 3.

### *Ontwerpprincipe 1: Geobjectiveerd risicobegrip*

Dit artikel volgt voor het risicobegrip de richting van Spada, Burgherr en Hohl (2018), in de zin dat het onderzoek zich richt op de waarschijnlijkheid van potentiële schade. Risico wordt gezien als een functie van zowel de impact en de waarschijnlijkheid van een voorval (Lowrance, 1976; Haimes, 2009; Burgherr, & Hirschberg, 2014). Ook meer subjectieve ervaringen kunnen middels deze risicodefinitie worden opgevangen, zolang de *Clarification Chain* van Hubbard en Seiersen (2016, pp. 26-30) kan worden toegepast: (1) Als het ertoe doet, dan is het detecteerbaar/observeerbaar; (2) als het detecteerbaar is, dan kan het worden uitgedrukt in een hoeveelheid; (3) als het detecteerbaar is als een omvang of mogelijke hoeveelheid, dan kan het worden gemeten. Stress zou bijvoorbeeld een meetbaar effect kunnen hebben op de gezondheid en reputatieverlies zou kunnen worden uitgedrukt in financiële schade.

In dit artikel wordt de definitie van risico geconcretiseerd tot  $\text{risico} = \text{impact} * \text{waarschijnlijkheid}$ , waarbij impact bestaat uit gezondheids- en financiële schade. Enkel de schade als gevolg van de discontinuïteit van een vitaal product, dienst of proces wordt hierbij meegenomen en niet de schade bij het initiërende incident. Om een voorbeeld te geven: impact betreft dus niet de slachtoffers die vallen bij de ontploffing van een elektriciteitscentrale, maar de slachtoffers die vallen door het wegvallen van elektriciteit.

De impactsindicator gezondheidsschade wordt uitgedrukt in gezonde levensjaren per jaar en wordt gekwantificeerd naar een werkbare ratioschaal met behulp van *Disability Adjusted Live Years* (daly's). Daly's kunnen goed worden gebruikt voor het weergeven van de impact van ziekte, letsel of sterfte. Hierbij gaat het om een optelling van het aantal verloren levensjaren (vroegtijdige sterfte) en het aantal verloren 'gezonde' levensjaren (impact van ziekte op de gezondheid). Als een ziekte een wegingsfactor van één daly heeft, wordt dit gelijkgesteld aan een jaar vroegtijdige sterfte (Van Dongen, Bouter, & Zielhuis, 2005; Van Dijk, & Van Tol, 2014). Bij de huidige gemiddelde levensverwachting houdt dat in, dat de gemiddelde Nederlandse burger in totaal 80 daly's bezit (Helsloot, Pieterman, & Hanekamp,

2010, p. 107). De impactsindicator financiële schade wordt uitgedrukt in verloren euro's per jaar.

### *Ontwerpprincipe 2: Wetenschappelijke risicoberekeningsmethode*

Voor de analyse van risico's wordt gebruik gemaakt van Bayesiaanse statistiek. Spada, Burgherr en Hohl (2018) hebben met hun onderzoek naar de validatie van de Zwitserse NRB, aangetoond dat de Bayesiaanse benadering gebruikt kan worden als alternatief voor de NRB-methode.

De Bayesiaanse benadering is een tak van statistiek met een specifieke interpretatie van waarschijnlijkheid, waarbij de waarschijnlijkheid continu wordt herzien op basis van nieuw verkregen informatie. Het is een probabilistische methode waarbij voorafgaand aan de dataverzameling eerst een persoonlijke inschatting wordt geformuleerd over het al dan niet optreden van een gebeurtenis, die vervolgens wordt geïntegreerd met bewijs uit de dataverzameling. Deze benaderingswijze leent zich voor het onderzoeken van vitale infrastructuur, omdat het de mogelijkheid biedt om kansen te berekenen voor situaties, waarin het idee van herhaalde steekproeftrekking niet of nauwelijks van toepassing is (Flohr, 2012). Discontinuïteit van vitale infrastructuur kan immers niet op dezelfde wijze herhaaldelijk worden onderzocht als het opgooien van een munt.

Voor het berekenen van frequenties met weinig data wordt er gebruik gemaakt van een bètaverdeling. De bètaverdeling heeft bepaalde wiskundige eigenschappen die het mogelijk maken zelfs vanuit zeer kleine steekproeven relevante resultaten te geven. Middels deze benadering kunnen er met weinig data toch representatieve inschattingen worden gemaakt over de waarschijnlijkheid en impact van risico's (Hubbard, & Seiersen, 2016). In Appendix A is een gedetailleerde en wiskundige toelichting over de risicoberekeningsmethode te vinden.

De primaire databron voor probabilistische risico-inschattingen dient te bestaan uit objectieve data. Denk aan historische data, maar ook aan ex ante data zoals faalkansenconstructies. Bij vitale infrastructuur is er echter veelal gebrek aan frequentistische informatie (Vlek, 2013a). De beschikbare objectieve data is daarom vaak niet voldoende. Subjectieve risico-inschattingen van experts kunnen dan een waardevolle toevoeging zijn voor het vaststellen van de (subjectieve) waarschijnlijkheid en/of impact (Hubbard, & Seiersen, 2016).

Zoals vastgesteld in paragraaf 2 van dit artikel, brengt het gebruik van expertinschattingen beperkingen met zich mee. Het is daarom belangrijk om te kijken naar

mogelijkheden, waarmee de validiteit en betrouwbaarheid van de expertinschattingen kunnen worden verhoogd. Een manier om de betrouwbaarheid van risico-inschattingen te doen verhogen, is door experts hun onzekerheid over hun eigen inschattingen te laten uitdrukken. Bijvoorbeeld door hen een bereik te laten vaststellen, waarvan zij met 90% zekerheid kunnen inschatten dat het werkelijke getal zich daartussen begeeft. Hoewel de meeste mensen – inclusief de meeste risico-experts – dit van nature niet consistent of accuraat kunnen (Kahneman, & Tversky, 1972; 1973), is dit echter wel een te trainen vaardigheid. Zo heeft onderzoek aangetoond (o.a. Fischhoff, Phillips, & Lichtenstein, 1982; Hubbard, 2007; McBride, Fidler, & Burgman, 2012; Hubbard, & Seiersen, 2016) dat mensen betere inschattingen maken als zij getraind worden om hun persoonlijke bias los te koppelen van hun inschattingen. Experts die accuraat hun onzekerheid kunnen uitdrukken bij risico-inschattingen worden beschouwd als *gekalibreerd*.

Er zijn verder nog andere manieren om de validiteit en betrouwbaarheid van expertinschattingen te doen verhogen. Zo laat onderzoek zien dat de stabiliteit in risico-inschattingen (dat experts op een later moment, met dezelfde data, tot dezelfde inschatting komen) kan worden verhoogd door simpelweg een gemiddelde te nemen van de inschattingen van verschillende experts. Hierbij is het wel van belang dat experts gescheiden van elkaar tot een oordeel kunnen komen (Clemen, & Winkler, 1999). Dit voorkomt onder andere de nadelige effecten van *groupthink* (Vlek, 2013a). Ook het opdelen van inschattingen in subonderdelen – zeker in het geval van risico's met veel onzekerheid – kan helpen de inschattingen te doen verbeteren (MacGregor, & Armstrong, 1994). Modellen die forceren dat risicocalculaties expliciet worden gemaakt door experts, voorkomen ook dat fouten worden gemaakt in inschattingen en gevolgstrekkingsen (Hubbard, & Seiersen, 2016).

### *Ontwerpprincipe 3: Vaste risiconormering*

Om te bepalen of het nodig is veiligheidsinvesteringen te doen, wordt er eerst onderzocht of het risico voldoet aan de risiconormering. Een risiconormering stelt de grens vast voor verwaarloosbare risico's. Het hanteren en modelleren van een risiconormering is al in verschillende sectoren in gebruik. In de chemische industrie wordt bijvoorbeeld de risiconormering gebruikt zoals is vastgelegd in het Bevi<sup>1</sup>. Dit betreft een plaatsgebonden risico met een normering van een  $10^{-6}$  overlijdenskans en een groepsrisico met een logaritmische normering. In dit onderzoek wordt het voorstel van Helsloot, Pieterman en

---

<sup>1</sup> Besluit externe veiligheid inrichtingen, 2004

Hanekamp (2010) gevolgd voor een vaste normering van een  $10^{-6}$  overlijdenskans. Dit betreft een risiconormering die internationaal terug is te vinden (Althaus, 2005) en in verband wordt gebracht met het risico op natuurlijke sterfte (Starr, 1979). Met deze normering wordt vastgesteld dat als de kans op het overlijden van een statistisch mensenleven lager is dan één op de miljoen per jaar, het risico als verwaarloosbaar kan worden beschouwd. Dit maakt de formule als volgt:

$$\frac{\textit{Verloren gezonde levensjaren / levensverwachting}}{\textit{Blootgestelde populatie}} = x < 10^{-6}$$

### Voorbeeld toepassing risiconormering

Om te illustreren hoe de risiconormering wordt toegepast, wordt hier een (versimpelde) voorbeeldcasus genomen met een extern risico: spoorwegovergangen. Jaarlijks sterven er gemiddeld 11 mensen bij een overwegongeval op het spoor (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2018). Aangenomen wordt dat dit risico niet op leeftijd discrimineert, waardoor de gemiddelde leeftijd van de gevallen slachtoffers gelijk wordt gesteld aan 40 jaar. Ook wordt aangenomen dat de gemiddelde levensverwachting van 80 jaar is. Daarnaast wordt aangenomen dat alle Nederlanders aan dit risico worden blootgesteld. Dit maakt de volgende formule:

$$\frac{(40 \textit{ verloren daly's} * 11 \textit{ slachtoffers}) / 80}{17 \textit{ miljoen Nederlanders}} = 3.24 * 10^{-7}$$

Aangezien  $3.24 * 10^{-7} < 10^{-6}$  kan er op basis van deze gegevens worden geconcludeerd dat spoorwegovergangen voldoen aan de voorgestelde risiconormering.

### Ontwerpprincipe 4: Kosten-batenanalyse

De Raad voor Volksgezondheid & Zorg (RVZ) berekende in 2006 dat een geheel statistisch mensenleven gelijk kan worden gesteld aan 6 miljoen euro. Met een levensverwachting van 80 jaar, betekent dit dat één daly gelijk staat aan € 75 000. Een maatregel die € 75 000 of minder per jaar kost en iemand één gezond levensjaar (daly) extra oplevert, wordt daarmee als rendabel beschouwd. De kosten van het redden van één statistisch mensenleven (80 daly's) wordt daarmee gelijkgesteld aan het redden van één daly bij 80 verschillende mensen.

*Ontwerpprincipe 5: Democratische besluitvorming*

Om risicobeleid democratisch te kunnen legitimeren, is het nodig dat de voorgestelde methode door beleidsbepalers wordt erkend als een redelijke methode voor het beoordelen van risico's. Dit zou kunnen door de risicobeoordelingsmethode voor te leggen aan het parlement en deze democratisch te laten aannemen. Met de methode zowel rationeel als democratisch gelegitimeerd door het parlement, kunnen beleidsbepalers zich richten op het beslissen over het te voeren risicobeleid.

De democratische besluitvorming dient te berusten op gedegen en transparante overwegingen. Hiervoor wordt verwezen naar het fasenmodel. Dit is een eenvoudig maar veelgebruikt model (Simon, 1976) voor het rationale beslissingsproces van beleidsbepaler(s) (Herweijer, 2008). Dit model bestaat uit zes stappen: (1) nadat de beleidsbepaler voor een keuzesituatie bij risicobeleid komt te staan en (2) alternatieve maatregelen heeft ingewonnen, (3) dienen middels de risicobeoordelingsmethode de gevolgen te worden verkend en (4) beoordeeld. Vervolgens kunnen (5) de verschillende handelingsalternatieven worden gerangschikt middels kosten-batenanalyses. De laatste stap (6) is het handelen naar het handelingsalternatief dat zich bovenaan de gemaakte rangschikking bevindt. Als deze zes stappen zijn doorlopen kan worden gesteld dat er een redelijke en daarmee gedegen afweging over de verschillende handelingsalternatieven is gemaakt.

In stap zes kan ervoor worden gekozen democratisch af te wijken van de in stap vijf beschreven beste handelingsalternatieven. Bijvoorbeeld als bij een nationaal risico wordt gekozen voor een handelingsalternatief dat meer dan € 75 000 per daly kost. Dit betreft dan eigenlijk een bovenrationele maatregel, omdat de acceptatie van deze hogere kosten betekent dat er investeringen worden gedaan die elders een groter veiligheidsrendement zouden hebben. De beleidsbepaler kan echter een democratische meerderheid – bijvoorbeeld in het parlement – proberen te vinden om een dergelijke bovenrationele maatregel te legitimeren. Een voorwaarde voor deze democratische besluitvorming is dan dat het proces volledig transparant geschiedt. Dit betekent dat de informatie verkregen tijdens het doorlopen van het fasenmodel toegankelijk en openbaar is. Zolang de voor- en nadelen openbaar zijn, worden erkend en geaccepteerd, moet het mogelijk zijn bewust en democratisch af te wijken van het Utilistisch ethisch perspectief met betrekking tot risicobeleid.

## 5. Casus: langdurige verstoring elektriciteitsvoorziening

In deze paragraaf wordt een casus geanalyseerd met behulp van de methode zoals uiteengezet in paragraaf 4. De wiskundige berekeningen gebruikt voor deze analyse zijn terug te vinden in Appendix A.

De casus die hieronder wordt uitgewerkt is gebaseerd op het dreigingsscenario ‘Verstoring elektriciteitsvoorziening’ uit het NVP (ANV, 2016, pp. 100-101). Dit scenario gaat uit van langdurige, nationale stroomuitval van minimaal 8 tot 24 uur. Zie tabel 4 voor de – door het ANV – uitgewerkte risicomatrix voor dit scenario. Voor de data wordt er voornamelijk gebruik gemaakt van gegevens gepresenteerd in het NVP. Er moeten echter door het gebrek aan meer gedetailleerde informatie verschillende aannames worden gedaan.

### Casus aannames

- De waarschijnlijkheids- en impact inschattingen in het NVP zijn gemaakt door gekalibreerde experts.
- Inschattingen gemaakt in de vorm van een bereik (bijv. 10-100 doden) zijn gemaakt met 90% zekerheid.
- Gezondheidsschade bestaat uit ‘doden’ en ‘ernstige gewonden en chronisch zieken’.
  - Aangezien doden voornamelijk uit oude of ernstig zieke mensen bestaan, wordt aangenomen dat deze groep per persoon gemiddeld nog 10 jaar in goede gezondheid had kunnen leven, indien er geen stroomuitval had plaatsgevonden. Oftewel, een gemiddeld verlies wordt aangenomen van 10 daly’s per dodelijk slachtoffer.
  - Door stroomuitval zullen vrijwel geen chronisch zieke slachtoffers ontstaan. De experts schatten dat de meeste gewonden vallen door extra verkeers-, bedrijfs- of ongevallen in huis. Gezien de gemiddelde aard van deze verwondingen wordt het aantal verloren daly’s geschat op 2 per gewond slachtoffer.
- Voor financiële schade wordt de inschatting van de economische kosten uit het NVP gebruikt.
- De aanname van het ANV wordt overgenomen, hetgeen zegt dat bij een elektriciteitsverstoring de meeste onderdelen van de vitale infrastructuur (op noodstroom) blijven functioneren, waardoor de cascade effecten enigszins beperkt blijven.

Waarschijnlijkheidsbeoordeling							
		Zeer onwaarschijnlijk	Onwaarschijnlijk	Enigszins waarschijnlijk	Waarschijnlijk	Zeer waarschijnlijk	Toelichting
Waarschijnlijkheid dat het scenario gebeurt tussen nu en 5 jaar.					●		
Beoordeling gevolgen (impact)							
Veiligheidsbelang	Criterium	Beperkt	Aanzienlijk	Ernstig	Zeer ernstig	Catastrofaal	Toelichting
Territoriaal	Grondgebied						Niet van toepassing.
	Internationale positie						Niet van toepassing.
Fysiek	Doden		●				Circa 20 doden als gevolg van de elektriciteitsuitval, met name in verzorgingshuizen of mensen die afhankelijk zijn van medische apparatuur. Ook mogelijk enkele verkeersslachtoffers door uitval verkeersleidingsystemen.
	Ernstige gewonden en chronisch zieken		●				Tussen de 30-300 gewonden door extra verkeers-, bedrijfs- of ongevallen in huis.
	Gebrek primaire levensbehoeften				●		Alle inwoners van NL hebben gedurende 24 uur geen elektriciteit. Huishoudens hoger dan twee verdiepingen hebben ook geen drinkwater.
Economisch	Kosten			●			Circa €2,6 miljard.
	Aantasting vitaliteit						Niet van toepassing.
Ecologisch	Aantasting natuur en milieu						Niet van toepassing.
Sociaal-politiek	Verstoring dagelijks leven				●		Alle inwoners van NL, gedurende 24 uur (5 indicatoren werk, onderwijs, maatschappelijke voorzieningen, winkels, OV, virtuele netwerken).
	Aantasting democratische rechtsstaat						Niet van toepassing.
	Sociaal-maatschappelijke impact	●					Beperkte impact, er zal wel onrust ontstaan en een beperkte groep mensen zal (tijdelijk) vertrouwen in overheid en sector verliezen.

● gemiddeld tot grote onzekerheid; ● kleine onzekerheid

Tabel 4: Risicobeoordeling scenario Verstoring elektriciteitsvoorziening. Overgenomen uit *Nationaal Veiligheidsprofiel 2016* (p. 101) door ANV, 2016, (<https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/Nationaal%20Veiligheidsprofiel%202016.pdf>). Copyright 2016, RIVM.

## 5.1 Waarschijnlijkheid

Voor de data worden de risico-inschattingen van gekalibreerde experts geraadpleegd en de historische data van mogelijk eerdere grootschalige stroomuitval in Nederland.

Uit het NVP kan worden opgemaakt dat experts de waarschijnlijkheid van langdurige verstoring van de elektriciteitsvoorziening schatten tussen de 5-50% voor de komende vijf jaar. Voor de historische data wordt er gekeken of in de afgelopen 30 jaar een eerdere langdurige verstoring van de elektriciteitsvoorziening heeft plaatsgevonden. Er is gekozen voor 30 jaar omdat dit een representatieve weergave is van de huidige techniek.

Geconcludeerd kan worden dat de afgelopen 30 jaar er *geen* nationale, langdurige verstoringen hebben plaatsgevonden.

De a-priori inschatting van de experts wordt bijgewerkt met de gegevens vanuit de historische data, om middels een bètaverdeling de voorwaardelijke waarschijnlijkheid te berekenen van nationale stroomuitval. Hieruit kan worden opgemaakt dat de gemiddelde kans op nationale stroomuitval 2.87% is in een gegeven jaar.

## 5.2 Impact

Aangezien er geen incidenten zijn geweest met een langdurige verstoring van de elektriciteitsvoorziening, is er geen historische data beschikbaar betreffende de impact van een dergelijke verstoring. Data over de impact komt daarom enkel vanuit expertinschattingen.

Voor gezondheidsschade wordt er gekeken naar het aantal slachtoffers. Het NVP schat deze op 'aanzienlijk' voor zowel doden als ernstig gewonden. In de toelichting staat dat het aantal ernstig gewonden tussen de 30 tot 300 wordt geschat en het aantal doden op circa 20. In het NVP staat tevens dat de impactscategorie 'aanzienlijk' voor doden gelijk staat aan tussen de 10 tot 100 doden, zie tabel 1<sup>2</sup> op pagina 4. De inschatting van 10 tot 100 doden is vergeleken met de inschatting van circa 20 doden een stuk breder, hetgeen de betrouwbaarheid van de inschatting verhoogd. Tevens volgt een inschatting in de vorm van een bereik de methode voor het doen van *gekalibreerde* risico-inschatting. Er wordt daarom gekozen om 10 tot 100 doden als inschatting te gebruiken. Voor ernstig gewonden wordt 30 tot 300 slachtoffers aangehouden.

Vanuit deze data kan een verwachtingswaarde van 35.6 voor het aantal doden en 106.95 voor het aantal gewonden worden berekend, oftewel een gemiddeld

---

<sup>2</sup> Hoewel deze tabel komt uit *Geïntegreerde risicoanalyse Nationale Veiligheid* (ANV, 2019) is deze tabel identiek aan de tabel voor impactscore uit het NVP (ANV, 2016).

gezondheidsverlies van 569.9 daly's per verstoring. Financiële schade wordt door de experts geschat op circa 2.6 miljard euro per verstoring.

### 5.3 Het risico

Gegeven de voorwaardelijke waarschijnlijkheid van 2.87% en een verwachte impact van 569.9 daly's en 2.6 miljard euro, kan de gemiddelde schade van het risico worden berekend. Dit komt neer op een jaarlijks verlies van 16.4 daly's en 74.62 miljoen. Indien de gezondheidsschade wordt uitgedrukt in euro's kan het risico van langdurige verstoring van de elektriciteitsvoorziening gelijk worden gesteld aan 75.85 miljoen euro per jaar.

Aangezien de gemiddelde gezondheidsschade per jaar bekend is kan er worden berekend wat het gezondheidsrisico is. Uit de berekeningen kan worden geconcludeerd dat het gezondheidsrisico gelijk kan worden gesteld aan één (statistische) dode op de 1.21 miljard per jaar. Hiermee wordt ruim voldaan aan de risiconormering van  $10^{-6}$ , wat betekent dat het risico als verwaarloosbaar kan worden beschouwd. Vanwege de verwaarloosbaarheid van het risico zijn er in principe geen extra veiligheidsinvesteringen nodig. Eventuele risicoreducerende maatregelen die toch worden genomen, zouden per gewonnen daly maximaal € 75 000 mogen kosten.

Om een optimale kosten-batenverhouding te bereiken dient er jaarlijks niet meer in risicoreducerende maatregelen te worden geïnvesteerd, dan het gemiddeld jaarlijkse totaal verlies vanuit het risico. Gezien dit gemiddeld totaal verlies (gezondheidsschade en financiële schade samengenomen en uitgedrukt in euro's) 75.85 miljoen euro per jaar bedraagt, is dit bedrag tevens het maximale jaarlijkse investeringsbudget voor het voorkomen van langdurige, nationale verstoringen van de elektriciteitsvoorziening. Alle investeringen boven dit bedrag hebben per definitie een negatief kosten-batenratio.

Interessant is om de resultaten vanuit de kwantitatieve methode te vergelijken met de resultaten uit het NVP. Het risico op verstoring van de elektriciteitsvoorziening wordt door de kwantitatieve methode als verwaarloosbaar beschouwd. In de risicomatrix (tabel 3 op pagina 4) van het NVP bestaat het risico uit een waarschijnlijkheid van 'waarschijnlijk' en een impact van 'ernstig', wat eerder lijkt te duiden op een *niet* verwaarloosbaar risico. Hoewel het lastig is het eindproduct van beide methodes één op één te vergelijken, trekken de twee methodes duidelijk andere conclusies. Dit is ondanks dat dezelfde risico-inschattingen van experts zijn gebruikt en er naast historische data, geen gebruik is gemaakt van aanvullende informatie.

## 6. Discussie

In dit artikel is een voorstel gedaan voor een kwantitatieve risicobeoordelingsmethode. In deze discussieparagraaf worden de mogelijke kanttekeningen bij de kwantitatieve methode besproken.

Een van de kanttekeningen die kan worden geplaatst, is of de kwantitatieve methode in zodanige mate afwijkt van de NLNRB dat het als een aparte methode kan worden beschouwd. Immers is de kwantitatieve methode – net zoals de NLNRB – primair afhankelijk van de risico-inschattingen van experts. Er kan echter worden gesteld dat de verdere vergelijkingen beperkt blijven. Zo zijn er bijvoorbeeld fundamentele verschillen in verschillende risicobeoordelingsfasen zoals de risicoanalyse en -evaluatie. Dit wordt onder andere duidelijk in de uitwerking van de casus, waarbij de kwantitatieve methode tot een andere conclusie komt dan het NVP.

Een andere kanttekening is dat de kwantitatieve methode weinig handvatten biedt voor het verlagen van de kans op *false-negatives*, oftewel Zwarte Zwaan-incidenten. Wel wordt in dit artikel beargumenteerd waarom het proberen voorspellen van dergelijke incidenten niet zinvol is en is er een Paretoverdeling aangenomen om een niet te verwaarlozen waarde toe te kennen aan zeer zeldzame mogelijkheden.<sup>3</sup> Desondanks blijft de kans op *false-negatives* een kanttekening die zowel bij de kwantitatieve methode als bij de NLNRB geplaatst kan worden.

Bij de invulling van de ontwerpprincipes met de voorgestelde kwantitatieve methode moesten ook enkele subjectieve keuzes worden gemaakt. Voorbeelden hiervan zijn de gekozen financiële waarde van een statistisch mensenleven en de hoogte van de risiconormering. Dit zijn in de kern subjectieve afwegingen die geen objectieve fundering hebben. Doch is het noodzakelijk dat er een waarde voor de risiconormering en een statistisch mensenleven wordt gekozen om gedegen en transparante beleidsoverwegingen mogelijk te kunnen maken. Het staat beleidsmakers dan ook vrij (beargumenteerd) af te wijken van de precieze invulling van deze deelaspecten.

Om de kwantitatieve methode te illustreren is in dit artikel een zeer eenvoudige voorbeeldcasus gegeven, namelijk die van een langdurige verstoring van de elektriciteitsvoorziening. Deze casus is gekozen vanuit een bekend dreigingsscenario van het NVP. Het laat zien hoe dezelfde data als gebruikt in de NLNRB op kwantitatieve wijze beoordeeld kan worden. Helaas was het noodzakelijk – door het gebrek aan meer

---

<sup>3</sup> Zie Appendix A.

gedetailleerde informatie – verschillende aannames te maken. Dit zorgt ervoor dat de casus een simplistisch beeld van de werkelijkheid weergeeft. De casus dient dan ook niet als een definitieve risicobeoordeling maar als een illustratie van de methode te worden beschouwd.

Bij het op waarde schatten van de in dit artikel voorgestelde kwantitatieve methode, moet ervoor worden gewaakt dat er geen *Exsupero Ursus* dwaling wordt gemaakt. Deze dwaling heeft betrekking op het vergelijken van een nieuwe methode met een hypothetisch ideaal en het niet accepteren van de methode als daar niet aan wordt voldaan. Dit terwijl de huidige methode precies dezelfde fouten heeft of zelfs ergere (Hubbard, & Seiersen, 2016, p. 96-97). De *Exsupero Ursus* dwaling is zichtbaar in bijvoorbeeld het onderzoek van Stirling en Gee (2002). Zij stellen dat een kwantitatieve risicobeoordelingsmethode gedoemd is om te falen omdat het niet alle variabelen van een risico kan meenemen in een berekening. Echter, zoals *Exsupero Ursus* stelt, hoeft een kwantitatieve methode niet perfect te zijn en alle variabelen mee te nemen: “*Remember, if the primary concern about using probabilistic methods is the lack of data, then you also lack the data to use nonquantitative methods*” (Hubbard, & Seiersen, 2016, p. 38).

## 7. Conclusie

In dit artikel zijn verschillende methodologische kanttekeningen geplaatst bij het huidige risicobeoordelingskader voor vitale infrastructuur met betrekking tot het gebruik van een subjectief risicobegrip en een kwalitatieve benaderingswijze. Vervolgens zijn vijf ontwerpprincipes opgesteld waaraan een methodologisch verantwoorde risicobeoordelingsmethode behoort te voldoen. Zo moet het (1) een geobjectiveerd risicobegrip hebben, (2) een wetenschappelijke risicoberekeningsmethode, (3) een vaste risiconormering, (4) gebruik maken van kosten-batenanalyses en (5) dient de uiteindelijke besluitvorming over risicobeleid democratisch plaats te vinden. Aan de hand van deze ontwerpprincipes is vervolgens een voorstel gedaan voor een concrete, alternatieve risicobeoordelingsmethode. De voorgestelde kwantitatieve methode maakt gebruik van een Bayesiaanse benaderingswijze en is volledig probabilistisch. *Disability Adjusted Life Years* (daly's) worden gebruikt voor de kwantificering van mensenlevens, waarbij één daly gelijk wordt gesteld aan € 75 000. Een vaste risiconormering van een  $10^{-6}$  overlijdenskans wordt gebruikt voor de grens van verwaarloosbare risico's. Een voorbeeld van de uitwerking van deze kwantitatieve methode is gegeven aan de hand van een casus over langdurige nationale verstoring van de elektriciteitsvoorziening. Hiermee is geïllustreerd hoe een meer kwantitatief risicobeoordelingskader voor vitale infrastructuur, een methodologisch verantwoorde alternatief kan bieden voor de huidige, primair kwalitatieve benaderingswijze van de NLNRB.

## Literatuurlijst:

Ale, B. J. M. (2013). Onzekere en beperkte risicobeoordeling sluit verstandige besluiten niet uit. *Ruimtelijke veiligheid en risicobeleid*, 13(4), 33-34.

Althaus, C. E. (2005). A Disciplinary Perspective on the Epistemological Status of Risk. *Risk Analysis*, 25(3), 567-588.

Analistennetwerk Nationale veiligheid. (2016). *Nationaal Veiligheidsprofiel 2016: Een All Hazard overzicht van potentiële rampen en dreigingen die onze samenleving kunnen ontwrichten*. Geraadpleegd van <https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/Nationaal%20Veiligheidsprofiel%202016.pdf>

Analistennetwerk Nationale Veiligheid. (2018). *Horizonscan Nationale Veiligheid 2018*. Geraadpleegd van [https://www.thehaguesecuritydelta.com/media/com\\_hsd/report/216/document/ANV-Horizonscan-Nationale-Veiligheid-2018.pdf](https://www.thehaguesecuritydelta.com/media/com_hsd/report/216/document/ANV-Horizonscan-Nationale-Veiligheid-2018.pdf)

Analistennetwerk Nationale Veiligheid. (2019). *Geïntegreerde risicoanalyse Nationale Veiligheid*. Geraadpleegd van <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2019/06/07/tk-bijlage-geintegreerde-risicoanalyse-nationale-veiligheid/tk-bijlage-geintegreerde-risicoanalyse-nationale-veiligheid.pdf>

Andreassen, P. (1990). Judgement Extrapolation and Market Overreaction On the Use and Disuse of News. *Journal of Behavioral Decision Making*, 3(3).

Arnold, B. C. (2014). Univariate and multivariate Pareto model. *Journal of Statistical Distributions and Applications*, 1(11), 1-16.

Borgers, M., & Van Sliedregt, E. (2009). The meaning of the precautionary principle for the assessment of criminal measures in the fight against terrorism. *Erasmus Law Review*, 2(2), pp. 171– 195.

Brazauskas, V., & Serfling, R. (2003). Favorable estimators for fitting Pareto models: A study using goodness-of-fit measures with actual data. *ASTIN Bulletin: The Journal of the IAA*, 33(2), 365–381.

Budescu, D. V., Broomell S., & Por, H. (2009). Improving Communication of Uncertainty in the Reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Psychological Science*, 20(3), 299-308. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02284.x>

Burgherr, P., & Hirschberg, S. (2014). Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector. *Energy Policy*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.035>

Cairns, G., & Wright, G. (2011). *Scenario Thinking: Practical Approaches to the Future*. London: Palgrave Macmillan.

Clemen, R. T., & Winkler, R. L. (1999). Combining Probability Distributions From Experts in Risk Analysis. *Risk Analysis*, 19(2), 187-203.

Cox, K. A., & Popken, D. A. (2007). Some Limitations of Aggregate Exposure Metrics. *Risk Analysis*, 27(2), 439-445. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00896.x>

Cox, K. A. (2008). What's Wrong with Risk Matrices? *Risk Analysis*, 28(2), 497-512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x>

Cox, T., & Lowrie, K. (2013). From the Editors. *Risk Analysis*, 33(2), 945-947.

Dake, K. (1992). Myths of nature: Culture and the social construction of risk. *Journal of Social Issues*, 48(4), 21-37. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-4560.1992.tb01943.x>

De Beer, P., & Jackson, J. (2006, juli 12). *Zonder QALY'S heerst willekeur in de zorg*. Geraadpleegd van <https://www.nrc.nl/nieuws/2006/07/12/zonder-qalys-heerst-willekeur-in-de-zorg-11160800-a634595>

De Hollander, G., & Hanemaaijer, A. (2003). *Nuchter Omgaan met Risico's* (Rapportnummer 251701047). Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

De Raad voor Volksgezondheid & Zorg. (2006). *Zinnige en duurzame zorg*. Zoetermeer: Auteur.

DeTora, L. M. (2017). What is safety?: Miracles, benefit-risk assessments, and the “right to try”. *International Journal of Clinical Practice*, 71(7). <https://doi.org/10.1111/ijcp.12966>

Dillen, J. (2012) *Risicobeoordeling*. Mechelen: Kluwer.

Douglas, M., & Wildasvsky, A. (1982). *Risk and Culture*. Berkeley: University of California Press.

Elvik, R. (1999). Can injury prevention efforts go too far? Reflections on some possible implications of Vision Zero for road accident fatalities. *Accident Analysis and Prevention*, 31(3), 265- 286

Europese Commissie. (2010). *Commission Staff Working Paper: Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management* (SEC(2010) 1626 final). Geraadpleegd van [https://ec.europa.eu/echo/files/about/COMM\\_PDF\\_SEC\\_2010\\_1626\\_F\\_staff\\_working\\_document\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/echo/files/about/COMM_PDF_SEC_2010_1626_F_staff_working_document_en.pdf)

Fahlquist, J. N. (2006). Responsibility ascriptions and Vision Zero. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 1113-1118.

Fischhoff, B., Lichtenstein, S., Slovic, P., Keeney, R., & Derby, S. (1980). *Approaches to Acceptable Risk: A Critical Guide*. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory.

Fischhoff, B., Phillips, L. D., & Lichtenstein, S. (1982). Calibration of Probabilities: the state of the art to 1980. In D. Kahneman & A. Tvesky (Eds), *Judgement under Uncertainty: Heuristics and Biases*. New York: Cambridge University Press.

Flohr, R. (2012). *De Bayesiaanse benadering: basisprincipes en –technieken van de Bayesiaanse statistiek*. Den Haag: Sdu.

Former-Boon, M., & Van Duinen, J. J. (2008). *Evidence-based diëtetiek*. Houten: Springer Media.

Geerts, R. (2012). Hoe veiligheid ontspoord kan raken: Public safety and Risk Assessment Improving Decision Making [boekbespreking]. *Ruimtelijke veiligheid en risicobeleid*, 8(3), 11-17.

Gelman, A., & Hill, J. (2007) *Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models*. Cambridge: Cambridge University Press

Gelman, A., Carlin, J. B., Sterb, H. S., Dunson, D. B., Vehtari, A., & Rubin, D. B. (2013). *Bayesian Data Analysis* (3de druk). Boca Raton: Chapman & Hall CRC.

Giannopoulos, G., Filippini, R., & Schimmer, M. (2012). *Risk assessment methodologies for Critical Infrastructure Protection. Part I: A state of the art*. Geraadpleegd van

<https://core.ac.uk/download/pdf/38624408.pdf>

Haimes, Y. Y. (2009). On the Complex Definition of Risk: A Systems-based Approach. *Risk Analysis*, 29(12), 1647-1654. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2009.01310.x>

Helsloot, I. (2012). *Veiligheid als (bij)product Over beleidsontwikkeling in interactie tussen bestuurders, adviseurs en narrige burgers* [Oratie]. Den Haag: Boom Lemma.

Helsloot, I., Pieterman, R., & Hanekamp, J. C. (2010). *Risico's en redelijkheid: Verkenning naar een rijksbreed beoordelingskader voor de toelaatbaarheid van risico's*. Den Haag: Boom Juridische uitgevers.

Helsloot, I., Scholtens, A., & Vlagsma, J. (2016). *Incidenten bij Chemelot: toeval of structureel? Negen incidenten uit 2015 bij Chemelot nader beschouwd*. Renswoude: Crisislab.

Herweijer, M. (2008). Beleidsbepaling. In A. Hoogerwerf & M. Herweijer (Red.), *Overheidsbeleid: een inleiding in de beleidswetenschap* (8<sup>ste</sup> geheel herziene druk, pp. 83-100). Alphen aan den Rijn: Kluwer.

Heuer, R. J., Jr. (1999). *Psychology of Intelligence Analysis*. Geraadpleegd van <https://www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/csi-publications/books-and-monographs/psychology-of-intelligence-analysis/PsychofIntelNew.pdf>

Hoogerwerf, A. (2008). Beleidsvoorbereiding: het ontwerpen van beleid. In A. Hoogerwerf & M. Herweijer (Red.), *Overheidsbeleid: een inleiding in de beleidswetenschap* (8<sup>ste</sup> geheel herziene druk, pp. 83-100). Alphen aan den Rijn: Kluwer.

Hubbard, D. (2007). *How to Measure Anything: Finding the Value of Intangibles in Business*. New Jersey: John Wiley & Sons.

Hubbard, D. W., & Evans, D. (2010). Problems with scoring methods and ordinal scales in risk assessment. *Journal of Research and Development*, 54(3), 1-10.

Hubbard, D. W., & Seiersen, R. (2016) *How to Measure Anything in Cybersecurity Risk*. Hoboken: John Wiley & Sons.

Janssen, P. H. M., Slob, W., & Rotmans, J. (1990). *Gevoeligheidsanalyse en Onzekerheidsanalyse: een Inventarisatie van Ideeën Methoden en Technieken* (Rapport nr. 958805001). Bilthoven: RIVM.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1972). Subjective Probability: A Judgement of Representativeness. *Cognitive Psychology* 4, 430-454.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1973). On the Psychology of Prediction. *Psychological Review* 80, 237-251.

Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (1982). *Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge: Cambridge University Press.

Kerckhoffs, T. J. (2017). *Evaluating the Dutch National Risk Assessment: Drawing Lessons from a Comparison with European Counterparts* (Masterthesis). Geraadpleegd van [https://theses.ubn.ru.nl/bitstream/handle/123456789/4564/Kerckhoffs%2C Theo 1.pdf?sequence=1](https://theses.ubn.ru.nl/bitstream/handle/123456789/4564/Kerckhoffs%2C%20Theo%201.pdf?sequence=1)

Know, R. (2001, december 10). The Probability Problem. *Baseline Magazine*. Geraadpleegd van <http://www.baselinemag.com/c/a/Projects-Management/The-Probability-Problem>

Korkmaz, M., Altun, E., Yousof, H., Afify, A., & Nadarajah, S. (2018). The Burr X Pareto Distribution: Properties, Applications and VaR Estimation. *Journal of Risk and Financial Management*. 2018; 11(1), 1.

Lowrance, W. W. (1976). *Of Acceptable Risk: science and the Determination of Safety*. Los Altos: Kaufmann William Incorporated.

Luijff, H. A. M., Burger, H. H., & Klaver, M. H. A. (2003). *Bescherming Vitale Infrastructuur: Quick-scan naar vitale producten en diensten (Managementdeel)*. Geraadpleegd van [https://cyberwar.nl/d/200301-tno-fel\\_03c001\\_bescherming\\_vitale\\_infra\\_-\\_quick\\_scan\\_man1%255B1%255D.pdf](https://cyberwar.nl/d/200301-tno-fel_03c001_bescherming_vitale_infra_-_quick_scan_man1%255B1%255D.pdf)

Lupton, D. (1999). *Risk (Key Ideas)* (1<sup>ste</sup> editie). Londen: Routledge.

MacGregor, D. G., & Armstrong, J. S. (1994). Judgmental decomposition: when does it work? *International Journal of Forecasting*, 10(4), 495-506. [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0169-2070(94)90018-3)

McBride, M. F., Fidler, F., & Burgman, M. (2012). Evaluating the accuracy and calibration of expert predictions under uncertainty: predicting the outcomes of ecological research. *Diversity and Distributions*, 18(8), 282-294.

Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2005). *Rapport Bescherming Vitale Infrastructuur*. Geraadpleegd van <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-26643-75-b1.pdf>

Ministerie van Veiligheid en Justitie. (2014). *Working with scenarios, risk assessment and capabilities in the National Safety and Security Strategy of the Netherlands*. Geraadpleegd van <https://www.preventionweb.net/english/policies/v.php?id=62223&cid=122>

Muller, E. R., Helsloot, I., & Van Wegberg, R. J. (2012) Vormen van veiligheid. In E. R. Muller (Red.), *Veiligheid: Veiligheid en veiligheidszorg in Nederland* (pp. 61-94). Deventer: Kluwer.

Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid. (2009). *Nationale Veiligheid: Scenario's Nationale Risicobeoordeling 2008/2009*. Geraadpleegd van [https://www.nctv.nl/binaries/scenarios-nrb-2008-2009\\_tcm31-32515.pdf](https://www.nctv.nl/binaries/scenarios-nrb-2008-2009_tcm31-32515.pdf)

Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid. (2010). *2<sup>de</sup> Inhoudelijke analyse bescherming vitale infrastructuur*. Geraadpleegd van <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-55377.pdf>

Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid. (2019). *Vitale infrastructuur*. Geraadpleegd van <https://www.nctv.nl/onderwerpen/vitale-infrastructuur/overzicht-vitale-processen>

O'Hagan, A. (2003). Bayesian Statistics: Principles and Benefits. In M. van Boekel, A. Stein & A. van Bruggen (Eds), *Bayesian Statistics and Quality Modelling in Agro-food Production Chain* (pp. 31-45). Dordrecht: Kluwer.

Onderzoeksraad voor Veiligheid. (2018). *Aantal doden op overwegen moet omlaag*. Geraadpleegd van [https://www.onderzoeksraad.nl/nl/media/attachment/2018/8/27/persbericht\\_spoorwegovergangen\\_def.pdf](https://www.onderzoeksraad.nl/nl/media/attachment/2018/8/27/persbericht_spoorwegovergangen_def.pdf)

- Oskamp, S. (1965). Overconfidence in Case-Study Judgments. *Journal of Consulting Psychology*, 29(3), 261-265.
- Perrow, C. (1984). *Normal accidents. Living with High-Risk Technologies*. Princeton: Princeton University Press.
- Plasterk, R. H. A. (2015). *Vaststelling van de begrotingsstaten van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (VII) voor het jaar 2016* [Kamerbrief]. Geraadpleegd van <https://kennisopenbaarbestuur.nl/media/254141/11-kabinetsbrief-2015-bestuurlijk-balanceren-met-risicos-en-verantwoordelijkheden.pdf>
- Pruyt, E., & Wijnmalen, D. (2010). National Risk Assessment in the Netherlands. In N. Ehrgrött, B. Naujoks, T. Stewart & J. Wallenius (Red.), *Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Energy and Transportations Systems* (pp. 133-143). Berlijn: Heidelberg: Springer.
- Pruyt, E., Wijnmalen, D. J. D., & Bökkerink, M. (2013). What Can We Learn from the Evaluation of the Dutch National Risk Assessment [Letter to the Editor]? *Risk Analysis*, 33(8), pp. 1385-1388. <https://doi.org/10.1111/risa.12096>
- Remkes, J. W. (2004). *Brief van de minister van binnenlandse zaken en koninkrijksrelaties* [Kamerbrief]. Geraadpleegd van <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-26643-56.html>
- Savage, L. J. (1954). *The foundations of statistics*. Oxford, England: John Wiley & Sons.
- Scholtens, A. (2009). Zwarte Zwanen. *GRIP* 4, 9, 237.
- Scholtens, A., Jorritsma, J., & Helsloot, I. (2014). On the Need for a Paradigm Shift in the Dutch Command and Information System for the Acute Phase of Disasters. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 22(1), 39-51.
- Shader-Frechette, K. S. (1986). The Conceptual Risks of Risk Assessment. *IEEE Technology and Society Magazine*, 4-11.
- Simon, H. A. (1976). *Administrative Behavior: A Study of Decisionmaking Processes in Administrative Organization*. New York: Free Press.

Slovic, P. (1992). Perception of risk: Reflections on the psychometric paradigm. In S. Krimsky & D. Golding (Eds), *Social Theories of Risk* (pp. 117-152). Santa Barbara: Praeger.

Spada, M., Burgherr, P., & Holh, M. (2018). Toward the validation of a National Risk Assessment against historical observations using a Bayesian approach: application to the Swiss case. *Journal of Risk Research*. <https://doi.org/10.1080/13669877.2018.1459794>.

Starr, C. (1979). *Current Issues in Energy*. New York: Pergamon.

Stirling, M.A., & Gee, D. (2002). Science, Precaution, and Practice. *Public Health Reports*, 117, 521-533.

Sunstein, C. R. (2002). *Risk and reason: safety, law, and the environment*. Cambridge: Cambridge University Press.

Taleb, N. M. (2007). *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*. New York: Random House.

Theocharidou, M., & Giannopoulos, T. (2015). *Risk assessment methodologies for Critical Infrastructure Protection. Part II: A new approach*. Geraadpleegd van <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC96623/lbna27332enn.pdf>

Thomas, P., Bratvold, R. B. & Bickel, J. E. (2013). The Risk of Using Risk Matrices. *SPE Economics and Management*, 6(2). <https://doi.org/10.2118/166269-MS>

Tsai, C. I., Klayman, J., & Hastie, R. (2008). Effects of amount of information on judgment accuracy and confidence. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 107(2), 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2008.01.005>

Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science*, 185(4157), 1124-1131. <https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>

Vaessen, P. (2015). De betrouwbaarheid van het toekomstige elektriciteitsnet. *Magazine nationale veiligheid en crisisbeheersing*, 3, 7-9.

Van Dijk, S., & Van Tol, K. (2014). *Risico's in perspectief* (Dossier BC7978-100-100).

Geraadpleegd van

<https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2015/01/21/risico-s-in-perspectief-risicovergelijking/risico-s-in-perspectief-risicovergelijking.pdf>

Van Dongen, M. C. J. M., Bouter, L. M., & Zielhuis, G. A. (2005). *Epidemiologisch onderzoek: opzet en interpretatie*. Utrecht: Bohn Stafleu van Loghum.

Van Tol, J., Helsloot, I., & In 't Veld, M. (2014). *Bestuurlijk balanceren met risico's en verantwoordelijkheden*. Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.

Van Wee, B., & Rietveld, P. (2012). Risicowaardering: een discussie vanuit ethische theorie. *Tijdschrift Vervoerswetenschap*, 48(3), 130-144.

Van Wee, B. (2013). Afwegen is onvermijdelijk: Het gebruik van QALYs. *Ruimtelijke veiligheid en risicobeleid*, 33(4) 12-18.

Vlek, C. A. J. (2013a). How Solid Is the Dutch (and the British) National Risk Assessment? Overview and Decision-Theoretic Evaluation. *Risk Analysis*, 33(6), pp. 948-971.

<https://doi.org/10.1111/risa.12052>

Vlek, C. A. J. (2013b). What Can National Risk Assessors Learn from Decision Theorists and Psychologists [Response]? *Risk Analysis*, 33(8), pp. 1389-1393.

<https://doi.org/10.1111/risa.12097>

Wagenaar, W. A. (1992). Risk taking and accident causation. In J. F. Yates (Ed.), *Wiley series in human performance and cognition. Risk-taking behavior* (pp. 257-281). Oxford, England: John Wiley & Sons.

# Appendix A: Wiskundige toelichting

## 1. Bayesiaanse statistiek

Voor de risicoanalyse wordt gebruik gemaakt van een Bayesiaanse benaderingswijze, omdat deze volledig probabilistisch is. Dit heeft als voordeel dat de onzekerheid betreffende willekeur en gebrek aan data – ook wel aleatoric-/statische- en epistemische onzekerheid genoemd – specifiek gemodelleerd kan worden (O'Hagan, 2003). Het meten van waarschijnlijkheid wordt beschouwd als het reduceren van onzekerheid, middels een combinatie van een subjectieve graad van geloof en bewijs zoals bijvoorbeeld historische data (Savage, 1954). Bij de Bayesiaanse wijze van statistisch redeneren worden persoonlijke inschattingen gedaan over de kans. Deze a-priori kennis over de kans geeft de a-priori verdeling van de parameters. De a-priori verdeling kan middels het theorema van Bayes geüpdatet worden met (nieuwe) data. Deze combinatie geeft vervolgens de a-posteriori verdeling van de parameters (Flohr, 2012, p. 10). Bayes theorema kan als volgt worden genoteerd (Spada, & Burgherr, 2015; Spada, Burgherr, & Hohl, 2018):

$$\pi(\theta|y) = \frac{p(y; \theta)\pi(\theta)}{\int p(y; \theta)\pi(\theta)d(\theta)} \propto p(y; \theta)\pi(\theta)$$

De a-posteriori verdeling  $\pi(\theta|y)$  van parameter  $\theta$  gegeven de geobserveerde data  $y$ , is proportioneel tot de a-priori verdeling  $\pi(\theta)$  voor de parameter  $\theta$  maal de aannemelijkheidsfunctie  $p(y; \theta)$ .

## 2. Waarschijnlijkheid

Voor het bepalen van de waarschijnlijkheid wordt een bètaverdeling gebruikt. Dit is een continue waarschijnlijkheidsverdeling gedefinieerd op het interval  $[0,1]$  die wordt geparаметriseerd door  $\alpha$  en  $\beta$ , beide positieve reële getallen. De kansdichtheid van de bètaverdeling is gedefinieerd als:

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}$$

de bètafunctie als:

$$B(\alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha + \beta)}$$

en de verwachtingswaarde als:

$$\mu = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$

De bètaverdeling kan in Bayesiaanse statistiek worden gebruikt voor het vervoegen van de a-priori verdeling voor binominale waarschijnlijkheden (Gelman et al., 2013). In dit artikel wordt de a-priori verdeling bepaald door de parameters te ijken met de inschattingen van risico-experts voor de (voorwaardelijke) waarschijnlijkheid. De risico-experts schatten in het NVP de waarschijnlijkheid van verstoring van de elektriciteitsvoorziening op 5% - 50% voor de komende vijf jaar. In dit model wordt daarom de kans op een verstoring gelijkgesteld aan 1% - 10% voor elk jaar, onafhankelijk van andere jaren. Aangenomen dat dit is gedaan met 90% zekerheid (het geloofwaardigheidsinterval), kan er iteratief een  $\alpha$  en  $\beta$  voor een passende bètaverdeling worden gezocht. Dit komt neer op een bètaverdeling met  $\alpha = 2.36$  en een  $\beta = 49.86$ .

Om de a-posteriori verdeling te krijgen moet er een nieuwe bètaverdeling van de waarschijnlijkheid op verstoring van de elektriciteitsvoorziening worden gemaakt. Hiervoor moet de a-priori verdeling geüpdatet worden met geobserveerde data, in dit geval historische waarnemingen. Hierbij kan  $\alpha$  worden beschouwd als het aantal successen of *hits*, en  $\beta$  als het aantal keer falen, oftewel *misses*. In dit geval staat een *hit* gelijk aan een jaar waarin er wel langdurige nationale stroomuitval heeft plaatsgevonden en een *miss* voor een jaar waarin er geen dergelijke stroomuitval heeft plaatsgevonden. De nieuwe bètaverdeling krijgt dan de volgende vorm:

$$Beta((\alpha_0 + hits), (\beta_0 + misses))$$

Kijkend naar de afgelopen 30 jaar in Nederland, kan er worden geconcludeerd dat er geen landurige nationale stroomuitval heeft plaatsgevonden. Dat betekent dat er 0 *hits* zijn geweest en 30 *misses*. Dit maakt de volgende a-posteriori verdeling:

$$Beta((2.36 + 0), (49.86 + 30)) = Beta(2.36, 79.86)$$

Met de a-posteriori verdeling bekend kan ook de verwachtingswaarde en daarmee de voorwaardelijke waarschijnlijkheid voor de casus ‘verstoring elektriciteitsvoorziening’ worden berekend, namelijk:

$$\mu = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = \frac{2.36}{2.36 + 79.86} = 2.87\%$$

Met de verwachtingswaarde voor de a-posteriori verdeling berekend, wordt de voorwaardelijke waarschijnlijkheid gelijkgesteld aan 2.87% voor elk jaar, onafhankelijk van andere jaren.

### 3. Impact

De financiële schade wordt in het NVP op 2.6 miljard euro geschat en wordt daarom aangenomen als de verwachte financiële impact. Voor de gezondheidsschade is dit complexer, omdat de schatting is gegeven in de vorm van een bereik waarover de verwachtingswaarde moet worden berekend.

Voor gezondheidsschade wordt voor zowel het aantal doden als gewonden, een Paretoverdeling aangenomen. Deze verdeling wordt onder andere succesvol gebruikt in de economie en voor overlevingsanalyses (Brazauskas, & Serfling, 2003; Korkmaz, Altun, Yousof, Afify, & Nadarajah, 2018). Hubbard en Seiersen (2016, p. 245) stellen dat de Paretoverdeling ook representatief is voor de impact bij stroomuitval. Dit komt door de lange staart van de verdeling, waarmee een niet verwaarloosbare waarde aan extreme uitkomsten wordt toegekend. In dit model wordt gebruik gemaakt van een type 2 Paretoverdeling, omdat het gemiddelde van deze verdeling eindig is (Arnold, 2014). De Pareto (II) verdeling is een continue waarschijnlijkheidsverdeling met de volgende overlevingsfunctie:

$$P(x) = \left[1 + \left(\frac{x - b}{\lambda}\right)\right]^{-\alpha}, \quad x > b$$

en verwachtingswaarde:

$$\mu = b + \frac{\lambda}{\alpha - 1}$$

Hierbij is  $b$ , de locatieparameter en een reëel getal, schaalparameter  $\lambda$  een positief getal, en vormparameter  $\alpha$  een positief getal. In dit artikel wordt ervoor gekozen een vaste  $\alpha = 3$  te hanteren. Het betreft een tamelijke lage  $\alpha$ , waarmee de kans op een enorm aantal doden of

gewonden niet astronomisch klein is. Deze keuze wordt later in deze appendix verantwoord. Voor de data wordt wederom gebruik gemaakt van expertinschattingen en worden twee categorieën van gezondheidsschade apart van elkaar gecalculleerd: het aantal doden en het aantal gewonden.

Het aantal doden wordt door experts geschat tussen de 10-100, waarbij een geloofwaardigheidsinterval van 90% wordt aangenomen. Dit geeft:

$$P(x \geq 10) = 0.95 = \left[1 + \left(\frac{10 - b}{\lambda}\right)\right]^{-\alpha}$$

$$P(x \geq 100) = 0.05 = \left[1 + \left(\frac{100 - b}{\lambda}\right)\right]^{-\alpha}$$

$$90 = \left(0.05^{-\frac{1}{\alpha}} - 0.95^{-\frac{1}{\alpha}}\right) * \lambda$$

Met  $\alpha = 3$ , geeft dit  $\lambda = 53$  en  $b = 9.1$ . Omdat  $x > b$ , betekent dat er minimaal 9.1 doden worden verwacht per verstoring van de elektriciteitsvoorziening. Nu de parameters bekend zijn, kan de verwachtingswaarde voor het aantal doden worden berekend:

$$\mu = b + \frac{\lambda}{\alpha - 1} = 9.1 + \frac{53}{3 - 1} = 35.6 \text{ doden}$$

Deze toepassing is hetzelfde voor het aantal ernstig gewonden. Het aantal gewonden wordt door de risico-experts geschat tussen de 30 en 300 gewonden, waarbij wederom een geloofwaardigheidsinterval van 90% wordt aangenomen. Dit geeft:

$$P(x \geq 30) = 0.95 = \left[1 + \left(\frac{10 - b}{\lambda}\right)\right]^{-\alpha}$$

$$P(x \geq 300) = 0.05 = \left[1 + \left(\frac{100 - b}{\lambda}\right)\right]^{-\alpha}$$

$$270 = \left(0.05^{-\frac{1}{\alpha}} - 0.95^{-\frac{1}{\alpha}}\right) * \lambda$$

Met  $\alpha = 3$ , geeft dit  $\lambda = 159.1$  en  $b = 27.3$ . Omdat  $x > b$ , betekent dit dat er minimaal 27.3 gewonden worden verwacht per verstoring van de elektriciteitsvoorziening.

De verwachtingswaarde voor het aantal gewonden is:

$$\mu = b + \frac{\lambda}{\alpha - 1} = 27.3 + \frac{159.1}{3 - 1} = 106.95 \text{ gewonden}$$

Om de robuustheid van  $\alpha = 3$  met andere waarden te testen, wordt er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij wordt er met het model geëxperimenteerd door de instelwaarden van de modelparameters te variëren en zo de invloed hiervan op de modeluitkomsten na te gaan. Specifiek wordt hier een Individuele Parameter Variatie studie gedaan, waarbij er verschillende waarden voor vormparameter  $\alpha$  worden getest. De modelresultaten voor de verschillende instelwaarden worden weergegeven in een tabel, om zo een kwalitatief beeld van de invloed van de variaties te verschaffen (Janssen, Slib, & Rotmans, 1990). Voor de gevoeligheidsanalyse zijn de volgende waarden getest:  $\alpha = 2.5$ ,  $\alpha = 3$ , en  $\alpha = 5$ .

**Tabel 5: Gevoeligheidsanalyse**

Aantal doden	$\alpha = 2.5$	$\alpha = 3$	$\alpha = 5$	Aantal gewonden	$\alpha = 2.5$	$\alpha = 3$	$\alpha = 5$
$\lambda$	39.2	53	111.1	$\lambda$	117.7	159.1	333.2
$b$	9.3	9.1	8.8	$b$	27.6	27.2	26.5
$\mu$	35.3	35.6	36.6	$\mu$	106.1	106.8	109.8

Vanuit de gevoeligheidsanalyse in tabel 5 blijkt dat het model vrij robuust is bij verschillende waarden voor parameter  $\alpha$ . Voor dit model wordt daarom een vaste  $\alpha = 3$  geschikt geacht.

Nu de verwachtingswaarde van het aantal doden en ernstig gewonden bekend is, kan de totale gezondheidsschade in vorm van verloren daly's worden berekend. Aangenomen dat één dode gelijk staat aan een verlies van 10 daly's en een ernstig gewonde aan een verlies van 2 daly's, kan de volgende berekening worden gemaakt voor de verwachtingswaarde voor de gezondheidsschade:

$$(35.6 * 10 \text{ daly}) + (106 * 2 \text{ daly}) = 569.9 \text{ verloren daly's}$$

Hierbij moet worden opgemerkt dat er door  $x > b$ , ook een minimum verlies van daly's per verstoring wordt verondersteld. Dit komt neer op een minimum verlies van:

$$(9.1 * 10 \text{ daly}) + (27.3 * 2 \text{ daly}) = 145.6 \text{ verloren daly's}$$

#### 4. Het risico

Met de waarschijnlijkheid en impact in zowel financiële- als gezondheidsschade bekend, kan de volgende berekening voor het jaarlijks risico worden gemaakt:

$$\text{Gezondheidsschade} = 2.87\% * 569.9 \text{ daly} = 16.4 \text{ daly's per jaar}$$

$$\text{Financiële schade} = 2.87\% * 2.6 \text{ miljard euro} = 74.62 \text{ miljoen euro per jaar}$$

Om het totale jaarlijkse verlies uit te drukken wordt de gezondheidsschade uitgedrukt in euro's. Aangenomen dat 1 daly gelijk staat aan € 75 000, kan de volgende berekening worden gemaakt:

$$74.62 \text{ miljoen euro} + (16.4 \text{ daly's} * € 75\ 000) = 75.85 \text{ miljoen euro verlies per jaar}$$

Om te bepalen of het risico voldoet aan de risiconormering, moet worden berekend of de jaarlijkse overlijdenskans van een statistisch leven van de blootgestelde populatie, groter is dan  $10^{-6}$ . Dit wordt gedaan met de volgende formule:

$$\frac{16.4 \text{ verloren daly per jaar} / 80 \text{ jaar levensverwachting}}{17 \text{ miljoen blootgestelde Nederlanders}} = 1.21 * 10^{-8} \text{ perjaar}$$

De overlijdenskans van een statistisch leven is daarmee 0.0000000121% per jaar. Omdat  $1.21 * 10^{-8} < 10^{-6}$ , kan worden gesteld dat er (ruim) aan de risiconormering wordt voldaan.

## Appendix B: Erkentelijkheid

Dit artikel is mede tot stand gekomen dankzij de constructieve input van de volgende mensen:

- Peter L. J. Bos – Bijzonder hoogleraar Crisisbeheersing en Nationale Veiligheid (NLDA)
- Ernst T. Brainich von Brainich Felth – Zelfstandig adviseur crisisbeheersing
- Eric A. Cator – Hoogleraar Wiskunde, toegepaste stochastiek (Radboud Universiteit)
- Robert Geerts – Consultant risicoanalyse en externe veiligheid (AVIV)
- Leendert Gooijer – Programmacoördinator Nationale Veiligheid (RIVM)
- Theo J. Kerckhoffs – Wetenschappelijk medewerker Fysieke Veiligheid (RIVM)
- Jan van Tol – Coördinator risicobeleid (Ministerie EZK)
- Charles A. J. Vlek – Emeritus-hoogleraar Omgevingspsychologie en Besliskunde (RUG)