

RUIMTELIJKE VEILIGHEID

EN RISICOBELEID

Inhoud:

Column

Ben Ale

In reactie op . . .

Rubriek:

Hoe belangrijk mag de calculeerbare veiligheid zijn?

Frauke Hoss

Juridisch actueel

Rubriek:

Esther Broeren en Christiaan Soer

Blijf Kritisch!

Simone van Dijk en Ester van Aalst

Externe Veiligheid, de risico's juridisch bezien

Esther Broeren

Opstellen van korte alarmberichten is een kwestie van opleiden, trainen en oefenen

Ellen Jagtman

Over de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen (I)

Shahid Suddle, Inge Trijssenaar-Buhre en Robert Geerts



Jrg. 4 – nr. 11 – mei 2013

Inhoud:

Kundig en rationeel? Column	p. 3
Ben Ale	
Hoe belangrijk mag de calculeerbare veiligheid zijn?	p. 5
Frauke Hoss	
Juridisch actueel	p. 8
Esther Broeren en Christiaan Soer	
Blijf Kritisch!	p. 12
Simone van Dijk en Ester van Aalst	
Externe Veiligheid, de risico's juridisch bezien Wordt veiligheid het recht van de juridisch sterkste?	p. 14
Esther Broeren	
Opstellen van korte alarmberichten is een kwestie van opleiden, trainen en oefenen Welke expertise is echt nodig voor korte alarmberichten	p. 21
Ellen Jagtman	
Over de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen (I)	p. 33
Shahid Suddle, Inge Trijssenaar-Buhre en Robert Geerts	
Colofon	p. 47

Over de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen (I)

S. (Shahid) I. Suddle
SSCM BV

I. (Inge) Trijssenaar-Buhre
TNO, dept. Urban Environment and Safety

R. (Robert) Geerts
AVIV b.v.

kennis / discussie

Veiligheidsmaatregelen verlagen de kansen op een ongeval, maar kunnen ook bedoeld zijn om de gevolgen van een ongeval te beperken; een combinatie van beide is ook mogelijk. Dit artikel is een inleiding over het bepalen van de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen. Maatschappelijke risico's en de maatschappelijke veiligheid zijn regelmatig onderwerp van discussie. De discussies laten zich thematiseren door vragen als: "is meer veiligheid nodig?"; "hoeveel extra veiligheid levert een bepaalde maatregel op?"; "hoe moet de verantwoordelijkheid zijn verdeeld rond de veiligheid?"; "hoeveel kost meer veiligheid ons?". Het inzichtelijk maken hoe effectief extra veiligheidsmaatregelen zullen zijn is informatie die bijdraagt aan beter gefundeerde besluiten en dus bewustere keuzes. Daarin ligt het belang om helder en eenduidig de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen aan te geven. Begripsbepaling en een kenbare typering van de context zijn hiervoor noodzakelijk, want is het allerminst eenduidig wat onder de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen wordt verstaan en hoe die tot uitdrukking is te brengen.

1. Inleiding

Maatregelen die risico's verlagen vereisen implementatiekosten. Vandaar het belang te weten hoe effectief die maatregelen zijn. Ondernemingen willen immers hun investeringen in veiligheid (risicobeheersing) kunnen verantwoorden. Grote ondernemingen dragen met hun governance code uit dat veiligheid voor hen voorop staat. Dit moet worden opgevat als: het op een hoog peil houden van de veiligheid ten einde hun business (kernactiviteit) maatschappelijk verantwoord te kunnen uitvoeren. Wanneer het om vraagstukken van maatschappelijke veiligheid gaat is het in de discussies hierover van belang inzicht te hebben in het te verwachten resultaat. Het gaat immers om de veiligheidsuitgaven uit collectieve middelen en als veiligheid bij de politieke bestuurders net zo voorop staat als bij het bedrijfsleven is het zeker van belang om dat inzicht te hebben. Kwantitatieve analyses zijn ten minste gewenst om een goed inzicht te krijgen. Daarom is een kwantitatieve grootheid vereist waarin het resultaat in termen van veiligheidsverbetering is uitgedrukt. Er zijn allerlei grootheden die uitdrukking geven aan de veiligheid van een activiteit of situatie. Welke grootheid relevant is hangt af van de politiek-bestuurlijke definiëring van het veiligheidsprobleem.

Waar wij ons in deze bijdrage op richten zijn de situaties waarin het gaat om *extra* veiligheid door *extra maatregelen* boven de al aanwezige maatregelen en dus de al bestaande risico's. Veiligheid door risicobeheersing is namelijk in hoge mate al ingekaderd door een veelheid aan internationale en nationale normen en standaards voor het ontwerp van systemen waarvan het gebruik een risico met zich meebrengt. Er bestaat daarom al consensus over wat *ten minste* vereist is om activiteiten te mogen ontplooiën, die maatschappelijke risico's in houden. De maatschappelijke discussies over concrete veiligheidskwesties gaan om de vraag of wat mag, volgens de bedoelde consensus, ook op verantwoorde wijze wordt gedaan en wanneer het veiliger kan, of dit dan ook moet omdat het misschien niet zo verstandig is daar onze collectieve middelen voor te gebruiken.

Doen zich alternatieven voor van veiligheidsmaatregelen dan zullen we die met elkaar willen vergelijken. Verbeteren van de veiligheid kan meestal op verschillende manieren worden gerealiseerd. Die kunnen bijkomende gevolgen hebben die niet altijd in de gebruikte risicogrootheid tot uitdrukking komen. Een voorbeeld ter verduidelijking. Stel dat de snelheidsli-

miet op autowegen zou worden verlaagd; een maatregel die leidt tot jaarlijks minder doden en minder zwaar gewonden. Met een risicoanalysemodel is een kwantitatieve schatting te maken hoeveel dat er zullen zijn. Je kunt de verhoogde veiligheid door de snelheidsbeperking ook anders tot uitdrukking brengen. Niet het absolute aantal minder doden en gewonden, maar bijvoorbeeld het aantal extra levensjaren of de toegenomen gemiddelde levensverwachting; om twee voorbeelden te noemen. Hier kunnen dan weer economische rekengrootheden op gebaseerd worden zodat langs deze weg veiligheid of risicobeheersing kan worden gemonetariseerd en in een economische context worden afgewogen.

Waar de risico's zijn te kwantificeren is ook de effectiviteit te kwantificeren. Waar de risico's beperkt kwantificeerbaar zijn geldt dat ook voor de effectiviteit. Kwalitatieve elementen zullen dan eveneens moeten worden beschouwd en gewaardeerd. In de praktijk hebben we vaak te maken met deze kwalitatieve elementen omdat niet te kwantificeren onzekerheden een rol spelen en zodoende spelen die ook een rol bij de beoordeling van de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen. Wat veelal ook niet tot uitdrukking wordt gebracht is dat extra veiligheidsmaatregelen meestal niet intrinsiek veiligheidsverhogend zijn maar alleen onder de voorwaarde dat de maatregel succesvol werkt. Dit laatste houdt in dat in principe rekening moet worden gehouden met de kans dat de maatregel faalt op het moment dat hij zou moeten werken. Deze faalkans van een veiligheidsmaatregel is van invloed op zijn effectiviteit. Een kleine faalkans betekent dat we in veel vertrouwen kunnen stellen in de beoogde werking van de maatregel.

Fysieke veiligheidsrisico's worden uitgedrukt in de kans op slachtoffers (doden, gewonden). Dit type gezondheidsrisico is aanwezig waar mensen de kans lopen om te worden blootgesteld aan de uitwerking van een falend technisch systeem op hun gezondheid. Bij de externe veiligheid bijvoorbeeld, een categorie binnen de fysieke veiligheid, vormen ongevallen met gevaarlijke stoffen, het gezondheidsrisico. Het gaat dan om mensen die in de bebouwde omgeving van het systeem verblijven op het moment dat dit zou falen. Spoorveiligheid en tunnelveiligheid zijn andere voorbeelden van systemen met een fysiek veiligheidsrisico. Het beheersen van fysieke veiligheidsrisico's kan door maatregelen te treffen aan het technische systeem zelf -de bron genoemd- of in de omgeving van het systeem; de effectkant genoemd. We spreken dan ook van maatregelen aan de bron (of brongericht) en van effectbeperkende maatregelen. Een brongerichte maatregel zorgt er voor dat de kans klein blijft dat het technische systeem faalt, waarbij zich een schadelijk effect manifesteert. Een effectbeperkende maatregel is gericht op het beperken van de omvang van het fysische verschijnsel (het optredend effect) dat na het falen van de techniek optreedt. Een voorbeeld is wanneer een giftig gas uit een gefaalde leiding stroomt en een specifiek voor die situatie geïnstalleerd nevelscherm (de effectbeperkende maatregel) het gas voor een belangrijk deel kan neutraliseren, waardoor de concentraties van het gas in de omgeving lager zullen zijn. Naast brongerichten en effectbeperkende maatregelen zijn er nog maatregelen die de ontvangers van de optredende effecten beogen te beschermen. Dat noemen we gevolgenbeperkende maatregelen. Dit kan onder andere door de ontvangers extra bescherming te bieden door schuifaciliteiten of door bijvoorbeeld gebouwen sterker te maken of door de fysieke afstand tussen de bron en de ontvanger groter te maken. Ten slotte zijn er maatregelen die, als de gevolgen hun uitwerking hebben gehad, beogen om de getroffen en zo snel mogelijk hulp bieden. Je kunt hier spreken van secundaire gevolgenbeperking, maar duidelijker is het om te spreken van slachtofferhulp.

Er zijn geen principiële redenen waarom, vanuit de optiek van veiligheidseffectiviteit, er voorkeur zou moeten bestaan tussen de hier onderscheiden typen van maatregelen; mogelijk met uitzondering van slachtofferhulp. Vanuit een praktisch oogpunt is er wel een voorkeur. In het ontwerpstadium is het veelal minder ingrijpend om maatregelen te treffen en het blijkt in de praktijk ook veelal minder te kosten; hoewel dat niet altijd hoeft op te gaan. De regel gaat (meestal) op dat het herstellen van een tekortkoming of fout meer kost dan het voorkomen er van. Dat is de reden waarom men de voorkeur heeft voor het nemen van veiligheidsmaatregelen aan de bron.

Het is opmerkelijk hoe relatief weinig studies er zijn te vinden, op het vlak van de fysieke veiligheidsrisico's, waarin de effectiviteit van alternatieve maatregelen onderling worden vergeleken. Veelal gaat het om één nieuw type maatregel: soms mogelijk gemaakt door implementatie van een nieuwe technologie, zoals bijvoorbeeld bij spoorveiligheid het ERTMS¹; soms al een tijd "op de markt" zoals bij de speciale coating voor LPG-tankwagens, die het staal van de tank langer beschermt tegen verzwakking door blootstelling aan een brand. De maatregel wordt dan in absolute zin beschreven als een kansreductie op een ongewenst ongevalsscenario. Daarmee is dan nog niet de effectiviteit van de maatregel aangegeven voor de veiligheid in zijn totaliteit gezien.

Het voorgaande maakt duidelijk dat het belangrijk is te expliciteren waar de effectiviteit betrekking op heeft. Is dat het over all risico of de over all veiligheid of is dat een partieel risico of een partieel deel van de over all veiligheid? Verder hangt het af van de afbakening wat als het risico wordt gezien en dat hangt tevens af van de definitie die aan het risico wordt gegeven. In dit artikel wordt de kwantificering van de effectiviteit van extra veiligheidsmaatregelen vanuit een algemene benadering belicht. Het uitgewerkte voorbeeld heeft betrekking op de externe veiligheid maar de besproken aanpak is, naar de opvatting van de auteurs, toepasbaar op het genoemde bredere spectrum van fysieke veiligheidsrisico's. De effectiviteit van de veiligheid als economische rekeningsoort komt in dit artikel niet aan de orde. We beperken ons tot het stadium van de analyse, die hier noodzakelijk aan vooraf gaat.

2. Het begrip risico

2.1 Veiligheid en risico

Veiligheid en risico zijn nauw aan elkaar gerelateerd. Onder veiligheid kunnen uiteenlopende zaken worden verstaan. Taalkundig moeten we veiligheid opvatten –als we het van Dale woordenboek volgen– als de omstandigheid waarin men beschermd is tegen gevaar. Daarom kunnen we zinvol spreken over de veiligheid 'die het heeft laten afweten'. "Beschermd tegen gevaar" impliceert –in de context van de fysieke veiligheid– de aanwezigheid van maatregelen en voorzieningen, die dat moeten doen. Het achtervoegsel –heid heeft in onze taal de functie om aan te geven dat het "de mate waarin" of "de mate van iets" betreft. –heid geeft dus aan dat het om iets relatiefs gaat. Zo opgevat is veiligheid dus de mate waarin een situatie veilig is door maatregelen e.d. die er moeten zorgen dat onder bepaalde omstandigheden (het relativerende element) bescherming aanwezig is tegen gevaar.

Veilig is dan de situatie van afwezigheid van gevaar of situatie zonder risico (zoals de van Dale het omschrijft). Absoluut veilig is volgens onze begripsbepaling dan ook dubbelop, wat niet weg neemt dat in het taalgebruik dubbelop woordgebruik de nuttige functie van het benadrukken kan hebben. Blijft nog over de duiding van het woord gevaar. De uitdrukking <het gevaar ligt op de loer> maakt duidelijk dat gevaar een situatie kan zijn van dreiging zonder de onwenselijke uitwerking die het kan hebben. Het loert immers maar heeft nog niet toegeslagen. Gevaar ligt daarom als begrip dicht bij het begrip risico, zoals uit in het dagelijkse taalgebruik blijkt waar deze woorden vaak als synoniem door elkaar heen worden gebruikt. Wij gebruiken het begrip gevaar om de verbinding te leggen tussen de begrippen veiligheid en risico. We vatten in dit artikel veiligheid op als begrip dat betrekking heeft op maatregelen, bedoeld om te voorkomen dat het gevaar ontstaat dan wel dat het gevaar zijn uitwerking zal hebben.

De effectiviteit van veiligheid heeft in dit artikel daarom de betekenis van de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen. Omdat veiligheid als begrip vaak ook betrekking blijkt te hebben op "het gevoel van veilig zijn" (ondanks de aanwezigheid van het risico) of de perceptie die dat gevoel oproept, is het van belang vast te stellen wat men in een bepaalde context verstaat onder de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen.

¹ ERTMS: European Rail Transport Management System. Een computergestuurd systeem dat het mogelijk maakt meer treinen te laten rijden op een spoor, met hogere snelheid en waarbij gelijk de veiligheid van het rijden door rood sein verbeterd wordt. Dit systeem is nog beperkt operationeel in het buitenland; in Nederland zal het in de toekomst –wanneer is nog niet duidelijk– worden ingevoerd.

Als we ons op het standpunt stellen dat het betekenis heeft de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen waar mogelijk kwantitatief aan te geven, worden veiligheid en risico in hoge mate uitwisselbare begrippen. Immers de verkleining van het risico –wat kwantitatief zichtbaar is te maken door het uitvoeren van een risicoanalyse- is de uitdrukking van de verwachte veiligheid die de maatregelen opleveren. Op deze wijze is de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen direct verbonden aan de definitie van het risicobegrip. En daar zijn er vele van in omloop.²

Intermezzo Risicodefinities volgens Vlek (1990)

Algemene, informele definities:

1. Mogelijkheid van een ongewenst gevolg.
2. Verzameling van mogelijke ongewenste gevolgen.
3. Gebrek aan veronderstelde beheersbaarheid.

Personalistische varianten van respectievelijk definities 8-11:

4. Waarschijnlijkheid van een ongewenst gevolg.
5. Ernst van een (maximaal) mogelijk ongewenst gevolg.
6. Waarschijnlijkheid maal ernst van een ongewenst gevolg.
7. Functie van de waarschijnlijkheid en de ernst van een ongewenst gevolg.

Objectivistische varianten van respectievelijk definities 4-7:

8. Waargenomen relatieve frequentie van een ongewenst gevolg.
9. Omvang van een (maximaal) mogelijk ongewenst gevolg.
10. Waargenomen relatieve frequentie maal de omvang van een ongewenst gevolg.
11. Functie van de waargenomen relatieve frequentie en de omvang van een ongewenst gevolg.

Distributieve definities:

12. Variantie van alle mogelijke gevolgen rondom het gemiddeld verwachte gevolg.
13. Semivariantie van mogelijke ongewenste gevolgen rondom het gemiddeld verwachte ongewenste gevolg.
14. Waarschijnlijkheidsverdeling van mogelijke, eventuele meerdimensionale ongewenste gevolgen.
15. Verzameling punten in een grafiek van de kansen op een variërende omvang van gevolgen.
16. Kansgewogen som van mogelijke ongewenste gevolgen.
17. Vorm van de distributie van uitkomsten.

Gewogen-combinatiefuncties:

18. Gewicht van mogelijke ongewenste gevolgen ten opzichte van vergelijkbare mogelijke gewenste gevolgen ('verlies/winst').
19. Multi-attributief gewogen som van componenten of aspecten van mogelijke ongewenste gevolgen (schadedimensies).
20. Gewogen som van de verwachtingswaarde en de variantie van alle mogelijk gevolgen.

Een algemene definitie en een veel gebruikt specifiek geval van de algemene definitie worden hieronder gegeven. We gebruiken deze definities om te concretiseren hoe de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen tot uitdrukking is te brengen.

Algemene definitie

Het risico R is een functie van de kans P op een bepaalde gebeurtenis en het (negatieve) gevolg C die de gebeurtenis kan hebben. Als notatie weergegeven:

$$R = f(P, C) \quad (1)$$

Het gevolg C kan op verschillende zaken betrekking hebben: materiële schade, gewonden of doden. Bij fysieke veiligheid gaat het om technische systemen die worden gebruikt gedurende een bepaalde tijd. De kans heeft daarom betrekking op de tijd die in beschouwing wordt genomen, waarin C kan ontstaan. Het is gebruikelijk als tijdseenheid een jaar te nemen.

Een fysiek veiligheidsrisico wordt beschreven door het aantal mogelijkheden die kunnen leiden tot een gebeurtenis met een gevolg C . Elke gebeurtenis heeft in principe zijn eigen unieke kans en zijn eigen gevolg C .

² Zie o.a. [Vlek, 1990 en uit v.d. Vlies, 2011; Laheij (2003), Kaplan & Garrick (1981), Vrijling (1998), Jeager et al. (2001), Klinke and Renn (2002), Krimsky & Golding 1992, Lewens 2007, WRR 2008, Suddle & Waarts 2003]

$R=f(P,C)$ kan worden uitgewerkt in een matrix zoals het voorbeeld dat figuur 1 weergeeft. De combinatie van een bepaalde gebeurtenis die leidt tot een bepaald gevolg noemen we binnen de fysieke veiligheid een ongevalsscenario. Het ongevalsscenario is dus een wezenlijk aspect van het risico. Kennen we aan het ongevalsscenario een kans toe dan is daarmee het risico geconcretiseerd. In figuur 1 zijn de kansen en gevolgen in enkele categorieën onderverdeeld om de weergave praktisch werkbaar en overzichtelijk te houden. De indeling in het aantal categorieën en de grenzen van de categorieën is een arbitraire keuze. Het hangt af van het beoogde gebruik welke matrixindeling men zinvol vindt. Uiteraard moet daar duidelijkheid over bestaan in de praktijk waar men het risico in een matrix tot uitdrukking brengt.

Kennen we aan het ongevalsscenario een kans toe is van elk ongevalsscenario zijn plaats (P,C-combinatie) in de matrix aan te geven. De matrix wordt aangeduid als de risicomatrix van de beschouwde activiteit of het systeem. Langs deze weg wordt het risico R van de activiteit of het systeem gevisualiseerd en tevens –niet onbelangrijk voor de besluitvorming- gerangordend in acceptatieniveaus.³

Figuur1: Weergave van risico in een matrix. De kans (linker kolom) is hier in 3 categorieën ingedeeld; Het gevolg (bovenste rij) eveneens. Het risico is een bepaalde combinatie van beide. De categorieën kunnen desgewenst worden gedefinieerd op grond van kwantitatieve criteria. Dus wanneer de kans is bepaald op een gebeurtenis dan is bekend in elke categorie deze valt. Analoog voor de gevolgen.

Gevolg van gebeurtenis			
	klein gevolg (1)	aanzienlijk gevolg (2)	Groot gevolg (3)
Kans op gebeurtenis			
Hoogst onwaarschijnlijk (1)	Verwaarloosbaar risico (1)	Aanvaardbaar risico (2)	Matig risico (3)
Onwaarschijnlijk (2)	Aanvaardbaar risico (2)	bovenmatig risico (4)	zo mogelijk te vermijden risico (6)
Niet onwaarschijnlijk (3)	Matig risico (3)	zo mogelijk te vermijden risico (6)	Onaanvaardbaar risico (9)

De matrix maakt een normatieve waardering mogelijk van het risico en wordt in de praktijk op deze wijze veelal toegepast. De behoefte om maatregelen te treffen hangt dan af van de waardering die aan de matrixcel wordt toegekend in termen van acceptatieniveaus. De tabel kan uiteraard worden verfijnd naar gelang de behoefte van de gebruiker(s): bijv. meer of minder rijen en/of kolommen en daarmee een grotere nuanciering van het risico. Dat leidt in principe ook tot een verfijning om de effectiviteit te kunnen aangeven. Hier komen we nog op terug in het rekenvoorbeeld.

Wanneer meerdere ongevalsscenario's het risico bepalen, zullen in beginsel meerdere cellen in de matrix het risico (en daarmee het veiligheidsniveau) aangeven van de beschouwde activiteit. Dit kan voordelen hebben bij de beoordeling van de effectiviteit van maatregelen. Maatregelen bijvoorbeeld die bedoeld zijn om de kans van optreden van een specifiek ongevalsscenario kleiner te maken kunnen als zodanig rechtstreeks zichtbaar worden gemaakt.

Specifieke definitie

Het risico, R, als de vermenigvuldiging van de kans P op een gevolg C, met dat gevolg C.

In notatie:

$$R = P \times C \quad (2)$$

³ De risicomatrix is tevens op te vatten als een uitwerking van de risicodefinitie van Kaplan & Garrick (1981): zij stellen dat $R = f(S, P, C)$, ofwel het risico bestaat uit het scenario S, de kans P en het gevolg C. De beschrijving van het scenario S wordt dus expliciet gerelateerd aan P en C. Als er meerdere scenario's S_i bestaan: $R = \{<(S_i, P_i, C_i)>, i=1,2,\dots,n\}$ of wel de verzameling van scenario's i elk met zijn eigen kans en gevolg.

Deze definitie wordt in de beslissingstheorie veel gebruikt en is uiteraard een bijzonder geval van de generieke definitie (1). Deze definitie houdt het middelen of wegen in van de gevolgen op basis van de kans.⁴ Of wel wiskundig: de verwachtingswaarde E (Expectation) van het gevolg genoemd; notatie: $R = E(C)$.

We gaven al aan dat een risico gebaseerd kan worden op verschillende ongevalsscenario's. Elk ongevalsscenario heeft een bepaalde kans P_i die leidt tot een gevolg C_i . Wanneer het risico wordt gebaseerd op een verzameling van ongevalsscenario's dan is het risico de som van alle afzonderlijke producttermen ($P \times C$).

$$R = \sum_i P_i \cdot C_i = E(C) \quad (3)$$

Hierbij is:

- i 1,2,3, ..., n het aantal beschouwde ongevalsscenario's
- P_i de kans op de gebeurtenis van ongevalsscenario i
- C_i het gevolg van de gebeurtenis van ongevalsscenario i

Risico uitgedrukt als verwachtingswaarde van de gevolgen, vooronderstelt het kwantificeren van de kansen en de gevolgen. Het voordeel van de generieke definitie (1) is dat deze tevens de mogelijkheid biedt om op grond van het oordeel van experts kwalitatieve kansschattingen en gevolgschattingen te gebruiken. Het zal duidelijk zijn dat risico als verwachtingswaarde van de gevolgen niet in de risicomatrix van figuur 1 kan worden weergegeven. In dit geval zou het risico in categorieën van verwachtingswaarden kunnen worden weergegeven. De matrix reduceert dan tot één kolom. Bij fysieke veiligheidsrisico's komt deze normatieve weergave van het risico, voor zover ons bekend, niet voor.

2.2 Risicoaanvaardbaarheid

Maatschappelijke risico's ontstaan door activiteiten die in een maatschappelijk context worden ondernomen. De voordelen verbonden aan zo'n activiteit en de risico's zijn veelal onevenwichtig verdeeld over de samenleving. Het nemen van beslissingen op basis van veiligheidsrisico's is een onderdeel van en veel breder besluitvormingsproces. Politieke en economische afwegingen spelen daarbij een belangrijke rol. Sommige risico's gaan een groot deel van de bevolking direct aan, zoals de veiligheid tegen overstromingsrisico's. Maatregelen om deze veiligheid te verhogen berusten op parlementaire besluitvorming over de aanvaardbaarheid van het veiligheidsniveau. Het is boeiend te zien dat bij de veiligheid tegen overstromingsrisico's de opvattingen over hoe de effectiviteit van een veiligheidsmaatregel, als de hoogte van de dijk, moet worden beoordeeld de laatste jaren is veranderd [B. Kolen, 2011]. Waar expliciet normen zijn vastgesteld over de aanvaardbaarheid van een risico is inzicht in de effectiviteit van maatregelen van belang zijn om te beoordelen hoe aan de norm is te voldoen. Doen zich alternatieven voor van maatregelen dan zal de kosteneffectiviteit bepalend zijn voor de keuze. Is er sprake van een norm voor de veiligheid, zoals bij de externe veiligheid voor het basisbeschermingsniveau van de individuele burger, dat leidt dat in praktijk er vaak toe dat de effectiviteit van extra veiligheidsmaatregelen alleen wordt beschouwd voor zover niet aan de norm wordt voldaan.

Waar normen niet expliciet zijn vastgesteld, zoals de situatie waarin gewerkt wordt met het ALARA⁵ - of ALARP-principe⁶, kan inzicht in de effectiviteit van maatregelen worden gebruikt

⁴ Het kansbegrip kent diverse interpretaties. De kans opgevat als frequentiebegrip is er daar één van. De verwachtingswaarde krijgt in dat geval de betekenis van het gevolg C per tijdseenheid; bijvoorbeeld een jaar. Dat is een denkbeeldige grootte, die alleen bestaat in een virtuele wereld. Wij wijzen er op dat de verwachtingswaarde niet een vanzelfsprekende grootte is. Zowel conceptueel als wat betreft het gebruik in de praktische betekenis. Veiligheidsregio's bijvoorbeeld zeggen risico op te vatten als verwachtingswaarde ($P \times C$), terwijl het jaargemiddelde gevolg voor hen geen grootte is waarop zij zinvolle beslissingen kunnen nemen over de gewenste inzetbare hulpverleningscapaciteit als een ongevalsscenario verandert van fictie in realiteit.

⁵ As Low As Reasonably Achievable;

⁶ As Low As Reasonably Practicable

voor het selecteren van maatregelen die binnen het als ‘reasonable’ beschouwde budget de grootste risicoreductie teweeg kan worden gebracht.

Bij veiligheid gaat het in de regel om het beheersen van de risico's die het uiteindelijke resultaat zijn van allerlei soorten bezigheden, die met elkaar samenhangen, vanaf het ontwerp van het systeem tot en met het toezicht op het in stand houden van de veiligheidsmaatregelen. Duidelijke afstemming tussen de belanghebbende partijen is hierbij aan de orde en dat vraagt om duidelijkheid over de effectiviteit van maatregelen die getroffen kunnen worden. Het geven van inzicht in de effectiviteit van extra veiligheidsmaatregelen ondersteunt de beoordeling van de risicoaanvaardbaarheid, maar zegt daar uiteraard zelf niets over. Pas als de wens om het risico te verkleinen wordt uitgesproken, is de bepaling van de effectiviteit van maatregelen zinvol.

3. Veiligheidsmaatregelen en het uitdrukken van hun effectiviteit

3.1 Inleiding

In het denken over de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen wordt het cognitieve model van de zogeheten veiligheidsketen veel gebruikt. Het is daarom nuttig kort stil te staan bij dit concept. De veiligheidsketen berust op een procesmodel dat weergeeft wat ten grondslag ligt aan een te bereiken veiligheidssituatie. Het proces wordt getypeerd door opeenvolgende stadia die er op gericht zijn de uiteindelijke gevolgen zoveel mogelijk te beperken. De door het model onderscheiden stadia zijn de volgende:

1. Pro-actie: Het wegnemen van structurele oorzaken van onveiligheid (voorkomen van een risicovolle situatie). Structurele oorzaken schuilen in het ontwerp van een activiteit dat is of zal worden gerealiseerd. Zo gaat de parlementaire discussie over het huidige veiligheidssysteem van het spoor over de structurele tekortkoming van het bestaande veiligheidsniveau. Het ontwerp van het eerder genoemde ERTMS voor het spoor kan hier als een pro-actieve maatregel bestempeld kunnen worden.
2. Preventie: De zorg voor het voorkomen van directe oorzaken van onveiligheid en het zoveel mogelijk beperken van de gevolgen van inbreuken op de veiligheid, indien die zouden optreden (voorkomen van een incident en het beheersen van de ontwikkeling van een incident). Het onderhouden van het ERTMS, nadat het is gerealiseerd, kan men als preventieve maatregel bestempelen.
3. Preparatie: De daadwerkelijke voorbereiding op de te nemen acties voor het geval een ongeval optreedt (bijv. het zo snel mogelijk beschermen van een bevolkingsgroep tegen blootstelling).
4. Repressie: De daadwerkelijke bestrijding en de verlening van hulp in ongewenste situaties.
5. Nazorg: Hetgeen dat nodig is om zo snel mogelijk weer terug te keren tot de "normale" omstandigheden.

Het concept van de veiligheidsketen komt, overigens niet verwonderlijk, uit de koker van de rampbestrijding. Terzijde: het in de inleiding genoemde onderscheid in typen maatregelen kan worden geplaatst bij de verschillende stadia. Het concept heeft zijn waarde doordat het bewust maakt van het algemene principe dat het bij veiligheid verstandig is om voorafgaande aan het realiseren van een situatie, die risico's met zich meebrengt, de maatregelen of voorzieningen goed af te wegen zodat de gevolgen van het risico voldoende beperkt blijven. De veiligheidsketen maakt duidelijk dat hoe minder pro-actief gedacht wordt des te kostbaarder en omvangrijker het wordt om de rampbestrijding effectief te maken. Een voorbeeld is de Betuwe route voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor naar Duitsland. Rampbestrijdingsorganisaties hebben gewezen op de problemen die de Betuwe route voor hen oplevert om een ongeval op diverse plaatsen goed te kunnen bestrijden. Het concept leent zich overigens niet voor een kwantitatieve benadering van de veiligheid. Het is namelijk niet mogelijk (betrouwbare) kansen toe te kennen aan de effectiviteit van de maatregelen die bij de preparatie en repressie worden genomen. De nazorg neemt een aparte plek in en laat zich alleen in termen van te ondernemen activiteiten beschrijven.

Dit uitstapje over de veiligheidsketen illustreert dat vanuit verschillende invalshoeken over de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen kan worden gediscussieerd. Het maakt verder duidelijk dat wat onder de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen wordt verstaan duidelijke afspraken behoeft over de afbakening waarop de effectiviteit betrekking heeft. In het verdere vervolg beperken we ons tot de kwantitatieve uitdrukkingmogelijkheden van veiligheid, gebaseerd op de algemene - en de specifieke definitie van risico.

Een ander aspect is de keuze om de effectiviteit niet alleen te baseren op de afname van het risico, maar tevens te baseren op de kosten die er mee gemoeid zijn. De economische uitdrukking die aan de effectiviteit gegeven kan worden laten we in dit artikel rusten.

Ten slotte merken we op dat het belangrijk is om rekening te houden met de faalkans van veiligheidsmaatregelen, waardoor de beoogde werking achterwege blijft. We noemden in de inleiding al de effectmaatregel van een nevelscherm om vrijkomend giftig gas af te vangen. Deze voorziening kan falen als hij wordt aangesproken om in werking te treden. Er is dus een kans dat het optredende effect ongewijzigd blijft. Veiligheidsmaatregelen die bedoeld zijn om een effect te verkleinen, maar die kunnen falen zijn maatregelen die de kans van het risico beïnvloeden en niet de gevolgen. De gevolgen worden immers kansvoorwaardelijk verkleind! Het komt veelvuldig voor dat veiligheidsmaatregelen worden aangemerkt als gevolgenbeperkend omdat ze daarvoor zijn ontworpen terwijl zij van het risico alleen de kansen verkleinen of de kans-gevolg combinatie van een specifiek ongevalsscenario (zie onderstaand tekstkader).

Het onderscheid tussen kans- of gevolgenreducerend

Stel er zijn twee gebeurtenissen die onafhankelijk van elkaar kunnen optreden. Gebeurtenis 1 heeft een kans P_1 ; gebeurtenis 2 heeft een kans P_2 . Gebeurtenis 1 leidt tot gevolg C_1 en gebeurtenis 2 tot gevolg C_2 . Stel nu dat een maatregel met zekerheid de gevolgen beperkt als gebeurtenis 2 optreedt van C_2 naar C_3 maar *niet* werkt als gebeurtenis 1 optreedt. Wanneer nu C_1 groter is dan C_2 is het niet zuiver om te zeggen dat de maatregel *de gevolgen van het risico verkleint*. Immers het risico bestaat uit de combinatie van (P_1, C_1) en (P_2, C_2) . De maatregel *verkleint het risico* van $(P_1, C_1); (P_2, C_2)$ naar $(P_1, C_1); (P_2, C_3)$. Dat is wat anders dan *de gevolgen* van het risico beperken. De gevolgen van een specifiek scenario worden verkleind. Deze slordigheid wordt snel gemaakt en hij ontstaat als men bepaalde gebeurtenissen (ongevalscenario's) buiten beschouwing laat bij de beschrijving van het risico.

Het ERTMS kan als voorbeeld dienen hoe het onderscheid tussen kans- en gevolgenreducerend er toe kan doen. Deze nieuwe technologie is bedoeld om treinen sneller te kunnen laten rijden dan bij het oude systeem (en tevens frequenter). Het zal duidelijk zijn dat een hogere snelheid bij een botsing of ontsporing tot grotere gevolgen kan leiden. Tegelijk leidt het ERTMS tot een kleinere kans op een botsing van twee treinen op elkaar. Neemt de veiligheid van het spoor nu toe door het ERTMS, zoals onze parlementariërs beweren? Hoe effectief is de maatregel *per saldo*?; zou men zich moeten afvragen.

3.2 Kwantificering van de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen

Hoe kan de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen worden uitgedrukt zodat het nut ervan is te beoordelen en in discussie te brengen?

Effectiviteit op basis van de generieke definitie van het risico $R = f(P, C)$

Afhankelijk van het type veiligheidsmaatregel gaat het om kansverkleining of gevolgenbeperking (of soms beide). We moeten dus aangeven welke verandering de maatregel te weeg brengt. De verandering van het gevolg C noteren we als:

$$\Delta C = C_0 - C_1$$

Waarbij C_0 het gevolg is zonder maatregelen en C_1 het gevolg is met de getroffen maatregelen.

Evenzo kunnen we de verandering van de kans door de maatregel aangeven. De verandering van de kans P op een ongeval noteren we als volgt⁷:

$$\Delta P = P_0 - P_1$$

Waarbij P_0 de kans is zonder veiligheidsmaatregel en P_1 de kans is met de maatregel. We gebruiken voor de verandering van het risico ΔR de volgende notatie:

$$\Delta R = R_0 - R_1 = f(P_0, C_0) - f(P_1, C_1) = \Delta f \quad (4)$$

Bij verandering van alleen de kans van het risico door een maatregel geldt dat $\Delta f = f(\Delta P, C_0)$. Bij verandering van alleen het gevolg van het risico geldt dat $\Delta f = f(P_0, \Delta C)$.

De risicomatrix is een presentatie van het risico waarmee de effectiviteit eenvoudig en duidelijk is weer te geven door te visualiseren welke verandering optreedt in de kans-gevolg combinatie van R_0 naar R_1 .

Omdat gewerkt wordt met kanscategorieën en gevolgcategorieën is de effectiviteit uiteraard alleen zichtbaar als C_0 en C_1 , respectievelijk P_0 en P_1 in verschillende categorieën vallen.

Dit is de beperking maar tegelijk ook de kracht van de risicoweergave. De kracht is dat de matrix berust op wat men een zinvol onderscheid in risicocategorieën acht voor de besluitvorming of oordeelsvorming. Een maatregel wordt dus pas voldoende effectief geoordeeld als die in een gunstiger gedefinieerde risicocategorie van de matrix valt.

In figuur 2 is een voorbeeld gegeven hoe de effectiviteit tot uitdrukking is te brengen. In de praktijk worden de waarden van de (P,C) combinaties niet in de matrixcel vermeldt. Dat is hier gedaan om het voorbeeld eenvoudiger navolgbaar te maken.

Figuur2: Weergave van de verandering van het risico ΔR door twee maatregelen, weergegeven in de matrix met de pijlen. Maatregel 1 grijpt alleen in op de gevolgen; $R_0=(P_0, C_0)$ wijzigt naar $R_1=(P_0, C_1)$ of wel $\Delta R=(P_0, \{C_0-C_1\})$. Maatregel 2 verkleint alleen de kans van een ongevalscenario met gevolgen C_2 die kleiner zijn dan a ; $R_0=(P_1, C_2)$ wijzigt naar $R_1=(P_0, C_2)$. Ofwel $\Delta R=(\{P_1-P_0\}, C_2)$. Merk op dat het risico hier wordt gevormd door twee scenario's ofwel (P,C) combinaties. Hierbij is $R_0=(P_0, C_0); (P_1, C_2)$ en $R_1=(P_0, C_1); (P_0, C_2)$

Kans op gebeurtenis ↓	Gevolg van gebeurtenis		
	klein gevolg (1) $C \leq a$	Merkbaar gevolg (2) $a < C \leq b$	Groot gevolg (3) $C > b$
Hoogst onwaarschijnlijk (1) $P \leq x$	○ (P_0, C_2) Verwaarloosbaar risico (1)	○ (P_0, C_1) Aanvaardbaar risico (2)	○ (P_0, C_0) Matig risico (3)
Onwaarschijnlijk (2) $x < P \leq y$	○ (P_1, C_2) Aanvaardbaar risico (2)	bovenmatig risico (4)	aanmerkelijk risico (6)
Zeer waarschijnlijk (3) $P > y$	Matig risico (3)	aanmerkelijk risico (6)	Onaanvaardbaar risico (9)

Effectiviteit op basis van de specifieke risicodefinitie $R= P \times C$ (risico als verwachtingswaarde van de gevolgen)

Wordt het risico bepaald door één ongevalscenario dan is de risicoreductie ΔR door een veiligheidsmaatregel bepaald door de verandering in het gevolg dan wel de kans. Verandert alleen het gevolg dan is de risicoreductie ΔR op basis van (3):

$$\begin{aligned} \Delta R &= R_0 - R_1 = P_0.C_0 - P_0.C_1 \\ &= E_0(C) - E_1(C) \end{aligned} \quad (5)$$

⁷ In principe kan een maatregel de kans ook vergroten terwijl het risico toch omlaag gaat, omdat het gevolg sterk gereduceerd wordt.

Verandert alleen de kans dan is de effectiviteit van de maatregel uitgedrukt in de risicoreductie ΔR :

$$\begin{aligned}\Delta R &= R_0 - R_1 = P_0 \cdot C_0 - P_1 \cdot C_0 \\ &= E_0(C) - E_1(C)\end{aligned}\quad (6)$$

Houden we rekening met de kans dat de maatregel niet werkt, zoals eerder is opgemerkt, dan wordt de risicoreductie ΔR :

$$\begin{aligned}\Delta R &= R_0 - R_1 = P_0 \cdot C_0 - [P_0 P_1 \cdot C_1 + P_0 C_0 - P_0 P_1 C_0] \\ &= E_0(C) - E_1(C)\end{aligned}\quad (7)^8$$

Uitwerken van (7) resulteert in:

$$= P_0 \cdot P_1 \cdot (C_0 - C_1)$$

Hierbij is:

P_0 de kans op ontstaan van de gebeurtenis met gevolg C_0 ;

P_1 de kans dat de maatregel werkt wanneer hij wordt aangesproken wanneer de gebeurtenis ontstaat; $(1-P_1)$ is de kans dat de maatregel niet werkt

Wordt het risico bepaald door meerdere ongevalsscenario's i dan is de algemene uitdrukking voor het risico R :

$$R = \sum_i P_i \cdot C_i = \sum_i E_i(C) = E(C) \quad (8)$$

Voor elke maatregel die ingrijpt op de kans en/of de gevolgen van de gebeurtenis van scenario i wordt dan analoog aan vergelijkingen (5), (6) of (7) uitdrukking (8) uitgewerkt.

De risicoreductie ΔR volgt eenvoudig uit het verschil $R_0 - R_1$ volgens (8):

$$\Delta R = \sum_{0,i} E_{0,i}(C) - \sum_{1,i} E_{1,i}(C) = \Delta E(C) \quad (9)$$

waarbij $E_{0,i}$ staat voor de situatie zonder maatregel '0' bij scenario i en $E_{1,i}$ voor de situatie met maatregel '1' bij scenario i .

4. Rekenvoorbeeld effectiviteit van maatregelen

We zullen nu aan de hand van een rekenvoorbeeld laten zien hoe voor een risico R , waarbij twee maatregelen het risico verkleinen, de effectiviteit van deze maatregelen verschillend tot uitdrukking komt afhankelijk van de risicodefinitie die we gebruiken. We beginnen met de risicodefinitie $R = P \times C = E(C)$; daarna werken we de definitie $R = f(P, C)$ uit.

4.1 De effectiviteit volgens $R = P \times C$

Basisgegevens: In situatie '0' zonder extra veiligheidsmaatregelen zijn de kansen (gebaseerd op een periode van een jaar) en hun gevolgen C , uitgedrukt in doden, als volgt:

Scenario 1 (bijv. plasbrand), $P_{0,1} = 10^{-6}$; $C_{0,1} = 10$ doden

Scenario 2 (bijv. BLEVE⁹), $P_{0,2} = 10^{-7}$; $C_{0,2} = 100$ doden

Scenario 3 (bijv. tox. gas), $P_{0,3} = 10^{-8}$; $C_{0,3} = 1000$ doden

Het risico R_0 conform de eerste term van vergelijking (9):

$$R_0 = \sum_i P_{0,i} \cdot C_{0,i} = E_{0,1}(C) + E_{0,2}(C) + E_{0,3}(C) = 3 \cdot 10^{-5} \text{ doden als jaargemiddelde}$$

⁸ De afleiding is als volgt: Na de maatregel zijn twee situaties mogelijk voor de gevolgen: C_0 of C_1 . De kans dat gevolgen C_1 optreden is $P_0 \cdot P_1$. De kans dat gevolgen C_0 optreden is uiteraard $P_0(1-P_1)$. De verwachtingswaarde van de gevolgen met de maatregel is dan $P_0 \cdot P_1 \cdot C_1 + P_0 \cdot (1-P_1) \cdot C_0$. Uitschrijven van deze term levert de term op tussen rechte haken in vergelijking (7).

⁹ De BLEVE is een acroniem voor Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion. Dit is de naam voor het fysische verschijnsel dat optreedt wanneer een drukhouder openbarst waarbij het tot vloeistof samengeperste gas in de drukhouder (of de tot boven het kookpunt gebrachte vloeistof in de drukhouder) vrijkomt. Bij LPG-tankwagens is dit een van de gebeurtenissen die in een risicoanalyse worden beschouwd.

Treffen van maatregel A

Stel een bronmaatregel A reduceert de kans op het optreden van de gebeurtenis van scenario 2 (in ons geval de BLEVE) met een factor 10. De kans na maatregel A, $P_{1,2|A} = 10^{-8}$. $C_{0,2}$ blijft ongewijzigd: 100 doden.

De nieuwe verwachtingswaarde van scenario 2, $E_{1,2}(C)$, door maatregel A is dan:

$$10^{-8} \times 100 = 1 \times 10^{-6} \text{ doden (jaargemiddelde)}$$

R_1 (de tweede term van vgl. (9)) wordt:

$$R_1 = \sum_i P_{1,i} \cdot C_{1,i} = E_{1,1}(C) + E_{1,2}(C) + E_{1,3}(C) = 2,1 \cdot 10^{-5}$$

De risicoafname ΔR na maatregel A volgt uit (9):

$$3 \times 10^{-5} - 2,1 \times 10^{-5} = \mathbf{9 \cdot 10^{-6}} \text{ doden (jaargemiddelde).}$$

Treffen van maatregel B

Stel maatregel B reduceert de kans op de gebeurtenis van scenario 2 en 3 met een factor 5:

$$E_{1,2} = E_{1,3} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ doden per jaar.}$$

R_1 wordt: $1,4 \times 10^{-5} (= 10^{-5} + 2 \times 10^{-6} + 2 \times 10^{-6})$

De risicoafname ΔR na maatregel A:

$$3 \times 10^{-5} - 1,4 \times 10^{-5} = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ doden (jaargemiddelde).}$$

Onderlinge vergelijking van de effectiviteit van A en B

Op basis van de reductie van de verwachtingswaarde is maatregel B ($\Delta R = 1,6 \times 10^{-5}$) effectiever dan maatregel A ($\Delta R = 9 \times 10^{-6}$). Het voorbeeld is samengevat in tabellen 1 en 2.

Tabel 1: kansen en gevolgen van de scenario's 1, 2 en 3 zonder maatregelen en na maatregel A of B

	scenario 1	scenario 2	scenario 3
	C=10	C=100	C=1000
$P_{0,i}$	1×10^{-6}	1×10^{-7}	1×10^{-8}
$P_{1,i} A$	1×10^{-6}	1×10^{-8}	1×10^{-8}
$P_{1,i} B$	1×10^{-6}	2×10^{-8}	2×10^{-9}

Tabel 2: risico's van de scenario's 1, 2 en 3 zonder maatregelen en na maatregel A of B

	scenario 1	scenario 2	scenario 3	R	ΔR
R_0	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	$\mathbf{3,0 \cdot 10^{-5}}$	-
$R_1 A$	1×10^{-5}	1×10^{-6}	1×10^{-5}	$\mathbf{2,1 \cdot 10^{-5}}$	$9,0 \cdot 10^{-6}$
$R_1 B$	1×10^{-5}	2×10^{-6}	2×10^{-6}	$\mathbf{1,4 \cdot 10^{-5}}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$

4.2 De effectiviteit volgens $R = f(P, C)$

We gaan weer uit van dezelfde basisgegevens als hiervoor.

Scenario 1 (bijv. plasbrand), $P_{0,1} = 10^{-6}$; $C_{0,1} = 10$ doden

Scenario 2 (bijv. BLEVE), $P_{0,2} = 10^{-7}$; $C_{0,2} = 100$ doden

Scenario 3 (bijv. tox. gas), $P_{0,3} = 10^{-8}$; $C_{0,3} = 1000$ doden

Kiezen we er voor $R = f(P,C)$ te visualiseren met de risicomatrix dan zullen de kanscategorieën en gevolgcategorieën moeten worden vastgelegd. De categorieën worden zo gekozen dat ze relevantie hebben voor de besluitvorming. Immers de risicomatrix brengt het risico tot uitdrukking in gradaties van aanvaardbaarheid, zoals figuur 1 heeft laten zien. Het onderscheidend vermogen van de risicomatrix –vastgelegd door de gekozen categorie-indeling– houdt eveneens een criterium in of de veiligheidsmaatregelen voldoende relevant zijn in termen van risicoaanvaardbaarheid. Daarmee wordt tevens de mate waarin extra maatregelen nodig of wenselijk zijn op een praktische wijze genormeerd. De definiëring van de categorieën

gebeurt in principe voordat de effectiviteit van de maatregelen wordt beoordeeld. Bij het gebruik van de risicomatrix zijn maatregelen pas effectief als ze het risico verlagen van een hogere naar een lagere risicocategorie, ofwel (P,C) combinatie. Zoals we al opmerkten ligt hierin de kracht van de matrix voor de besluitvorming. Het spreekt voor zich dat het definiëren van de matrix moet berusten op consensus van de gebruikers.

Als voorbeeld gebruiken we de risicomatrix die is weergegeven in figuur 3. Het risico R_0 wordt weergegeven door de omkaderde (P,C) matrixcellen. Er zijn immers drie scenario's. Maatregel A verlaagde de kans van de gebeurtenis van scenario 2 van 10^{-7} naar 10^{-8} ; het gevolg 100 doden blijft bij de maatregel ongewijzigd. Maatregel B verlaagde de kans van de scenarioegebeurtenissen 2 en 3 met een factor 5. De effectiviteit van de maatregelen A en B op basis van de risicomatrix van figuur 3 is weergegeven in figuur 4.

Figuur3: Risicomatrix gebaseerd op gekwantificeerde categorieën voor de kans P en gevolgen C van het risico. Het risico is weergegeven door drie matrixcellen die rood omkaderd zijn aangegeven.

Kans op gebeurtenis ⇓	Gevolg van gebeurtenis ⇨		
	<i>klein gevolg (1)</i> $C^1 \leq 10$	<i>Merkbaar gevolg (2)</i> $10 < C^2 \leq 100$	<i>Groot gevolg (3)</i> $C^3 > 100$
<i>Hoogst onwaarschijnlijk (1)</i> $P^1 \leq 10^{-8}$	P^1, C^1	P^1, C^2	P^1, C^3
<i>Onwaarschijnlijk (2)</i> $10^{-8} < P^2 \leq 10^{-6}$	P^2, C^1	P^2, C^2	P^2, C^3
<i>Niet onwaarschijnlijk (3)</i> $10^{-6} < P^3 \leq 10^{-4}$	P^3, C^1	P^3, C^2	P^3, C^3
<i>Niet acceptabel (4)</i> $P^4 > 10^{-4}$	P^4, C^1	P^4, C^2	P^4, C^3

Figuur4: Risicomatrix waarin de effectiviteit van de maatregelen A en B is weergegeven.

Kans op gebeurtenis ⇓	Gevolg van gebeurtenis ⇨		
	<i>klein gevolg (1)</i> $C^1 \leq 10$	<i>Merkbaar gevolg (2)</i> $10 < C^2 \leq 100$	<i>Groot gevolg (3)</i> $C^3 > 100$
<i>Hoogst onwaarschijnlijk (1)</i> $P^1 \leq 10^{-8}$	P^1, C^1	P^1, C^2	P^1, C^3
<i>Onwaarschijnlijk (2)</i> $10^{-8} < P^2 \leq 10^{-6}$	P^2, C^1	P^2, C^2	P^2, C^3
<i>Niet onwaarschijnlijk (3)</i> $10^{-6} < P^3 \leq 10^{-4}$	P^3, C^1	P^3, C^2	P^3, C^3
<i>Niet acceptabel (4)</i> $P^4 > 10^{-4}$	P^4, C^1	P^4, C^2	P^4, C^3

Maatregel A: arrow from P^2, C^2 to P^2, C^1

Maatregel B: arrow from P^1, C^2 to P^1, C^3

Het resultaat laat zien dat maatregel A als relevant bestempeld kan worden en maatregel B niet; of althans als onvoldoende effectief.

5. Conclusies

De effectiviteit van een veiligheidsmaatregel is zichtbaar te maken door zijn risicoreductie te bepalen. Dat kan op verschillende wijzen gebeuren. Uitgangspunt is dat de risico's zijn te kwantificeren. De gekwantificeerde risicoreductie is tevens informatie voor de beoordeling of de maatregelen voldoende opleveren met het oog op discussies over de gewenste veiligheid.

We hebben laten zien dat de keuze van de risicodefinitie er toe kan leiden dat de effectiviteit van maatregelen verschillend wordt beoordeeld.

Bij de definitie $R=(P \times C)=E(C)$ wordt de effectiviteit uitgedrukt als de middeling van de gevolgen per tijdseenheid. Bij deze definitie wordt aan de kansen en gevolgen een zelfde gewicht toegekend.¹⁰ Dit kan er toe leiden dat bij de vergelijking onderling van alternatieve maatregelen numeriek er geen verschil optreedt. Terwijl bij de risicomatrix -als een andere expressie van de generieke (en onbepaalde) definitie $R=f(P,C)$ - de zelfde maatregelen wel een onderscheid kunnen opleveren. Eenvoudigweg omdat de kansen en gevolgen als combinaties worden gewogen volgens een bepaalde indeling in categorieën. Het omgekeerde is eveneens mogelijk, zoals we met de risicomatrix hebben laten zien.

Het voordeel van de risicomatrix is dat de relevantie van maatregelen zichtbaar wordt gemaakt op basis van voor de besluitvorming vooraf gedefinieerde acceptatieniveaus van de kans-gevolg combinaties. Daar ligt ook gelijk een probleem. In de praktijk wordt de fysieke veiligheid niet in categorieën van maatschappelijke acceptatieniveaus beschreven zoals bij de risicomatrix. Als een acceptatieniveau kwantitatief is geëxpliciteerd dan is dat op basis van een norm die in de praktijk als scherprechter fungeert. Eventueel kan die norm selectief op bepaalde situaties of activiteiten van toepassing worden verklaard en langs deze weg impliciet verschillende acceptatieniveaus hanteren.

Het expliciteren van de effectiviteit van extra veiligheidsmaatregelen vereist een nauwkeurige omschrijving van de ongevalsscenario's waarop die betrekking hebben om het over all resultaat ervan op een juiste wijze zichtbaar te maken. Het zichtbaar maken van de effectiviteit van extra veiligheidsmaatregelen geeft niet het antwoord op de vraag hoeveel veiligheid volstaat om het risico te accepteren. Het maakt alleen zichtbaar wat de veiligheidswinst is, uitgedrukt door de risicodefinitie waar we vanuit wensen te gaan. Of de toegenomen veiligheid voldoende is, is en blijft een politieke afweging waarbij het gevoel van veiligheid, als subjectieve belevingsdimensie, onvermijdelijk een rol speelt. Een oordeel over de veiligheid op grond van kwantitatieve gegevens, is een oordeel dat een gevoel weerspiegelt en dat zondermeer kan worden beïnvloed door diezelfde cijfers. Het is niet anders.

Verwijzingen

Kaplan, S. & Garrick, B.J. (1981), On the quantitative definition of risk, *Risk Analysis Journal*, 1 (1), pp. 11-27.

Klinke, A. & O. Renn (2002): 'A new approach to risk evaluation and management: Riskbased, precaution-based and discourse-based strategies. In: Risk analysis. Vol. 22, no. 6, pp.1071-1094.

Kolen, B. Maaskant, B. Hoss, F. (2010) Meerlaagsveiligheid: zonder normen geen kans, *Ruimtelijke Veiligheid en Risicobeleid*, jrg 1 nr 2 pp. 18-26.

Jaeger, C.C, Renn, O, Rosa, E.A, Webler, T. (2001) 'Risk, Uncertainty and Rational Action'. Earthscan Publications Ltd.

¹⁰ Bij externe veiligheid bijvoorbeeld is dat niet het geval. Bij het risico van een ramp (groepsrisico genoemd) worden hier de gevolgen zwaarder gewogen dan de kans daarop. Ook wordt bij de externe veiligheid de veiligheid van het individu anders gewogen dan het veiligheidsrisico van een ramp.

Krimsky, S. & Golding, D. (1992): 'Social theories of risk'. Prager Publishers, Westport.

Lewens, T. (2007): 'Risk: Philosophical perspectives'. Routledge, London.

Laheij, G.M.H., B.J.M. Ale, J.G. Post (2003): Benchmark risk analysis models used in the Netherlands, Safety and Reliability 2003, Proceedings of ESREL 2003, European Safety and Reliability Conference 2003, 15 - 18 June 2003, Maastricht, The Netherlands

Vlek, C.A.J. (1990), *Beslissen over risico-acceptatie; een psychologisch-besliskundige beschouwing over risicodefinities, risicovergelijking en beslissingsregels voor het beoordelen van de aanvaardbaarheid van riskante activiteiten*, Rijksuniversiteit Groningen, 's-Gravenhage: Gezondheidsraad, 236 pp.

Suddle, S.I. & P.H. Waarts (2003), The Safety of Risk or the Risk of Safety? Safety and Reliability 2003, Proceedings of ESREL 2003, European Safety and Reliability Conference 2003, 15 - 18 June 2003, Maastricht, The Netherlands



Colofon

Contact en informatie over aanbieden van artikelen: abacus.nl@gmail.com

Reacties op artikelen: LinkedIn Ruimtelijke Veiligheid en Risicobeleid of <http://abacus.gvbmedia.nl>

Het vakblad Ruimtelijke Veiligheid en risicobeleid wordt uitgegeven door ABACUS.

Verschijning minimaal vier nummers per jaar, elektronisch en als hardcopy.

Regelmatig terugkerende rubrieken:

- Column – *Ben Ale*
- Juridisch actueel – *Esther Broeren & Christiaan Soer*
- Veiligheid en risico's anders bekeken – *Robert Geerts*
- In reactie op . . . – *Thema discussies - diverse auteurs*
- Bespreking vakliteratuur en publicaties – *diverse auteurs*

Redactieleden:

J.M.B. (Ben) Ale	<i>BenAle Risk Management Advice</i>
E.M. (Esther) Broeren	<i>ELEMENT Advocaten</i>
R. (Robert) Geerts (eindredactie)	<i>AVIV</i>
G. (Geert) Geujen	<i>COMsigne Risicocommunicatie</i>
J (Jan) Gutteling	<i>Universiteit Twente</i>
P. (Peter) Hermens	<i>MMG Advies</i>
R.B. (Ruben) Jongejan	<i>Jongejan Risk Management Consulting</i>
J.C. (Johan) de Knijff	<i>Zelfstandig risicoanalist</i>
E.S. (Eelke) Kooi	<i>Centrum Externe Veiligheid RIVM</i>
A. (Anne) Michiels van Kessenich	<i>Gem. Haarlem</i>
J.M.M. (Jeroen) Neuvel	<i>Saxion, Academie Bestuur & Recht</i>
R.J.M. (Reinoud) Scheres	<i>Witteveen + Bos</i>
J.K.H.C. (Christiaan) Soer	<i>Royal HaskoningDHV</i>
S.I. (Shahid) Suddle	<i>SSCM</i>
T. (Teun) Terpstra	<i>HKV Lijn in Water</i>

Secretaris:

P.W.M.J. (Paul) Harings *ABACUS*

Abonnementen:

Digitale versie € 75,00

Hard Copy € 132,50

W: <http://abacus.gvbmedia.nl> **E:** abacus.nl@gmail.com

ABACUS – Auf den Heggen 8 - 52134 Herzogenrath-Duitsland

© ABACUS – ISBN 2210-6979 – ISSN 2210-6960

