

# DRIE DIMENSIONALE VEILIGHEIDSBENADERING BIJ DRIE DIMENSIONAAL RUIMTEGEBRUIK

(PAO CURSUS BOUWEN BOVEN SPOREN EN WEGEN 2002)

*ir. S.I. Suddle*

*promovendus TU Delft / constructeur Corsmit Raadgevend Ingenieursbureau*

## 1 Inleiding

Voor alle grootschalige en gecompliceerde projecten, waaronder projecten m.b.t. meervoudig ruimtegebruik, is veiligheid een belangrijk aspect, dat van te voren goed onderzocht dient te worden [Suddle, 2002<sup>C</sup>]. Wat is veiligheid? In de veiligheidsfilosofie wordt onderscheid gemaakt tussen *fysieke* en *sociale* veiligheid [Durmisevic, 2002; Suddle, 2002<sup>A</sup>]. Fysieke veiligheid heeft te maken met kansen op verwonding of overlijden door oorzaken als calamiteiten met gevaarlijke stoffen en andere rampscenario's zoals brand en overstroming. Fysieke veiligheid omvat zowel aspecten van interne als externe veiligheid. Het onderdeel sociale veiligheid gaat in op aspecten van mensen onderling, zoals criminaliteit en overlast.

Veiligheid		
Sociale veiligheid	Fysieke veiligheid	
Ruimtelijke factoren Institutionele factoren Sociale factoren Criminologische factoren	<i>Natural &amp; Man-made hazards</i>	
	<b>Intern</b> Gebruikers Passagiers Personeel	<b>Extern</b> Derden (Omwonenden)

*Figuur1: Indeling veiligheid.*

Veiligheid omvat zowel aspecten van subjectiviteit als objectiviteit. De relatie tussen subjectieve als objectieve aspecten wordt gegeven door de irrationele gedragsaspecten (figuur 2). Opgemerkt dient te worden dat de objectiviteit bepaald kan worden aan de hand van risico(analysen), terwijl subjectiviteit te maken heeft met (sociaal-)psychologische aspecten. In artikel wordt nader ingegaan op de fysieke veiligheid - in het vervolg aangeduid als veiligheid - enerzijds en de omgang met risico-analysen in de derde (ruimtelijke) dimensie anderzijds.

	Subjectief veilig	Subjectief onveilig
Objectief veilig	<i>Gezonde onbezorgdheid</i>	<i>Paranoia</i>
Objectief onveilig	<i>Nai viteit</i>	<i>Gezonde angst</i>

*Figuur 2: Irrationele gedragsaspecten.*

Om veiligheid objectief te beoordelen is het essentieel om het begrip *risico* te introduceren. Veiligheid is complementair met risico en wordt derhalve geassocieerd met de mate van het lopen van risico. De gangbare definitie van risico is de (faal)kans maal het (negatieve) gevolg. Het gevolg kan uitgedrukt worden in materiële schade of in slachtoffers. Dit risico mag de maatschappelijke risico-acceptatienorm niet overschrijden [Vrijling & Vrouwenfelder, 1997]. Naast de gangbare definitie van risico bestaan ook de controversiële definitie(s) hiervan, namelijk de psychologische benadering van risico: "een gebrek aan veronderstelde beheersbaarheid" "of angst voor verlies" [Vlek, 1990]. Het is van belang om ook de psychologische kant van een risicobenadering mee te nemen in risico acceptatie (zie [Suddle, 2002<sup>A</sup>]).

## 2 Risico-countouren

De risico-kaart van Nederland, die is opgesteld door het RIVM, toont dat op de veel plaatsen in de huidige situatie de veiligheidsnormen worden overschreden. Het blijkt tevens dat dit precies die plaatsen zijn, die in de Vijfde Nota binnen de rode contour worden aangeduid om functies te combineren, te intensiveren en te transformeren [Suddle, 2002<sup>D</sup>].



*Figuur 3: Risico contouren in Nederland (bron: RIVM).*

## 2 Maatschappelijke risico-acceptatienormen

### 2.1 Nederland

In Nederland is het huidige beleid ten aanzien van de externe veiligheid van productie, opslag en transport van gevaarlijke stoffen vastgelegd in een aantal nota's aan de Tweede Kamer en is niet wettelijk verankerd. Twee begrippen staan hierbij centraal: het Plaatsgebonden Risico (vroeger Individueel Risico) en het Groepsrisico.

Plaatsgebonden risico	Huidige "norm"	Beleidsvernieuwing Externe Veiligheid
<i>Bestaande bebouwing:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Woningen, scholen, ziekenhuizen</li> <li>▪ Kantoren en bedrijven</li> </ul>	$10^{-5}$ [jaar <sup>-1</sup> ] $10^{-4}$ [jaar <sup>-1</sup> ]	$10^{-6}$ [jaar <sup>-1</sup> ] $10^{-5}$ [jaar <sup>-1</sup> ]
<i>Nieuwe bebouwing:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Woningen, scholen, ziekenhuizen</li> <li>▪ Kantoren en bedrijven</li> </ul>	$10^{-6}$ [jaar <sup>-1</sup> ] $10^{-5}$ [jaar <sup>-1</sup> ]	
Groepsrisico stationaire installaties		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Woningen, scholen, ziekenhuizen</li> <li>▪ Kantoren en bedrijven</li> </ul>	$\frac{10^{-3}}{n^2}$ [jaar <sup>-1</sup> ]	
Groepsrisico transport gevaarlijke stoffen		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Woningen, scholen, ziekenhuizen</li> <li>▪ Kantoren en bedrijven</li> </ul>	$\frac{10^{-2}}{n^2}$ [jaar <sup>-1</sup> ]	

Tabel 1: Huidige en voorgestelde risiconormering.

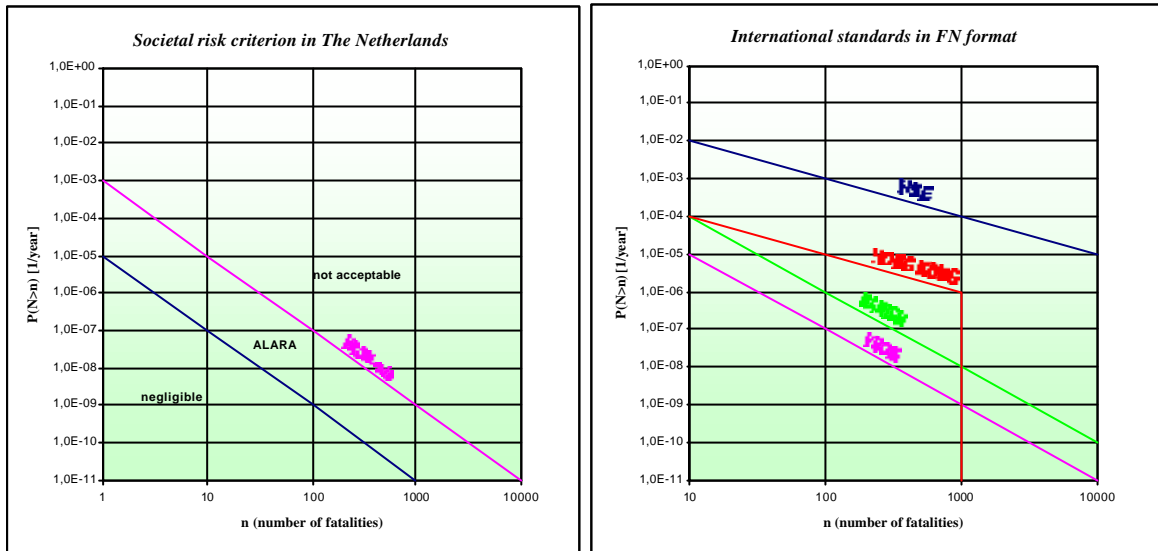
Plaatsgebonden risico is de kans dat iemand, die permanent op die plaats aanwezig is, overlijdt als gevolg van een calamiteit. Plaatsgebonden risico is bindend. De norm in Nederland is dat het individueel risico ten gevolge van een installatie in woongebieden niet groter mag zijn dan  $1 \cdot 10^{-6}$  per jaar. Voor het groepsrisico geldt in Nederland geen harde grens. Het groepsrisico wordt bepaald aan de hand van de kans op een ongeluk en het aantal slachtoffers dat daarbij te overlijden komt. Hoe groter de groep van mogelijke slachtoffers bij een calamiteit, hoe kleiner de kans moet zijn dat deze calamiteit optreedt. Voor de oriënterende waarde wordt er onderscheid gemaakt in stationaire installaties en in transport gevaarlijke stoffen. Als *oriënterende waarde*: voor  $10^n$  slachtoffers geldt een risico van  $1 \cdot 10^{-(3+2n)}$ /jaar, oftewel  $10^{-5}$ /jaar voor 10 slachtoffers,  $10^{-7}$ /jaar voor 100 slachtoffers, etc. Deze oriënterende waarde is door het ministerie van VROM opgesteld. De genoemde norm geldt voor risico rondom vaste installaties; voor risico door leidingen, weg- rail- of slooptransport mag het risico (per kilometer transportroute) een factor 10 hoger zijn.

De oriënterende waarde is opgesteld om van de (zeer strenge) acceptabele waarde te mogen overschrijden. Het eigenlijk de bedoeling dat het risico's van nieuwbouwplannen onder *de acceptabele grens* blijft (zie figuur 4), dan zijn de risico's te verwaarlozen. Echter, in de meeste gevallen is dat niet het geval, omdat deze grens te stringent is. Vandaar dat er een gebied tussen de acceptabele grens en de oriënterende waarde is ingesteld.

In dit gebied moet een pakket van maatregelen worden opgesteld, zodanig dat aan de maatschappelijke risico-acceptatienormen wordt voldaan. Daarbovenop is het mogelijk om de veiligheid verder te vergroten, daar waar dat economisch nog logisch is. Dit wordt het ALARA-principe genoemd. Het risico is dan As Low As Reasonably Achievable, met andere woorden: de extra maatregelen, die je logischerwijs mag verwachten zijn ook genomen. Echter, in Nederland wordt op een aantal plaatsen, zelfs de oriënterende waarde overschreden [Railned, 1998].

## 2.2 Internationaal

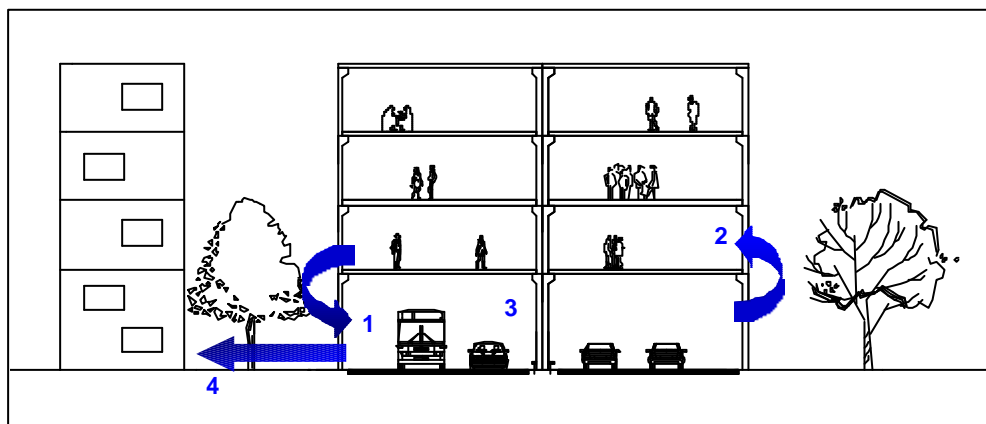
In tegenstelling tot Nederland gelden in andere landen minder stringente normen ten aanzien van externe veiligheid. De onderstaande grafiek geeft een vergelijking voor de oriënterende waarde weer voor het groepsrisico in andere landen.



Figuur 4: Maatschappelijke risicoacceptatie normen voor het groepsrisico in Nederland (links) en in andere landen (rechts.)

## 3 Mogelijke scenario's bij meervoudig ruimtegebruik

De benadering van de veiligheid bij bouwen boven infrastructuur kan verdeeld worden in een viertal situaties: de effecten van een calamiteit in het vastgoed op de onderliggende infrastructuur (1), de effecten van een calamiteit bij de infrastructuur op het bovenliggende vastgoed (2), de veiligheid bij een calamiteit binnen de infrastructuur (3) en de effecten van een calamiteit bij de infrastructuur op de omgeving (4) (figuur 5) [Suddle, 2002<sup>F</sup>].



Figuur 5: Gestileerde benadering van scenario's bij overbouwen van een weg.

Bij benadering van de veiligheid dient onderscheid te worden gemaakt tussen verschillende fasen van een project: de bouwfase, de exploitatiefase en de sloopfase. In de *bouwfase* wordt een gebouw gebouwd boven bestaande infrastructuur. Er moet onder andere rekening worden gehouden met vallende elementen. Eventueel moet de infrastructuur bij het inhijzen van bepaalde elementen tijdelijk buiten gebruik worden gesteld. De bouwfase is relatief van korte duur [Suddle & Wilde, 2002]. Voor de modellering van risico's van derden in de derde dimensie tijdens de bouwfase wordt verwezen naar het afstudeerrapport [Suddle, 2001<sup>A</sup>].

De bouwfase wordt gevolgd door de *exploitatiefase*, waarbij het gebouw boven de infrastructuur in gebruik is. Ook in de gebruiksfase kunnen vallende objecten de veiligheid van weggebruikers in gevaar brengen, maar het risico wordt grotendeels gedomineerd door mogelijke calamiteiten op de weg, zoals brand of aanrijding. Op specifieke trajecten speelt de problematiek van ongelukken met giftige of brandbare stoffen. Het vervoer van gevaarlijke stoffen geeft in Nederland problemen voor de veiligheid. Een Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (dit is een explosie van een LPG tank) kan de verwoesting betekenen van zowel de infrastructuur als het gebouw. Ook tot op kilometers afstand zal de bebouwde omgeving hier gevaar van ondervinden. Ook het ontsnappen van giftige stoffen kan slachtoffers eisen in de wijde omgeving. Door het realiseren van een gebouw boven bestaande infrastructuur verandert de interne veiligheid. Dit is de veiligheid van mensen die zich bij de infrastructuur bevinden, zoals automobilisten en treinreizigers. Ook hier is met name het vervoer van gevaarlijke stoffen de bepalende risicofactor.

De laatste fase is de *sloopfase*. De gebruiksperiode van vastgoed is korter dan die van de infrastructuur. Bij het ontwerp zal nagedacht moeten worden over de mogelijkheden om het vastgoed veilig te slopen boven infrastructuur die in gebruik is [Suddle & Wilde, 2002].

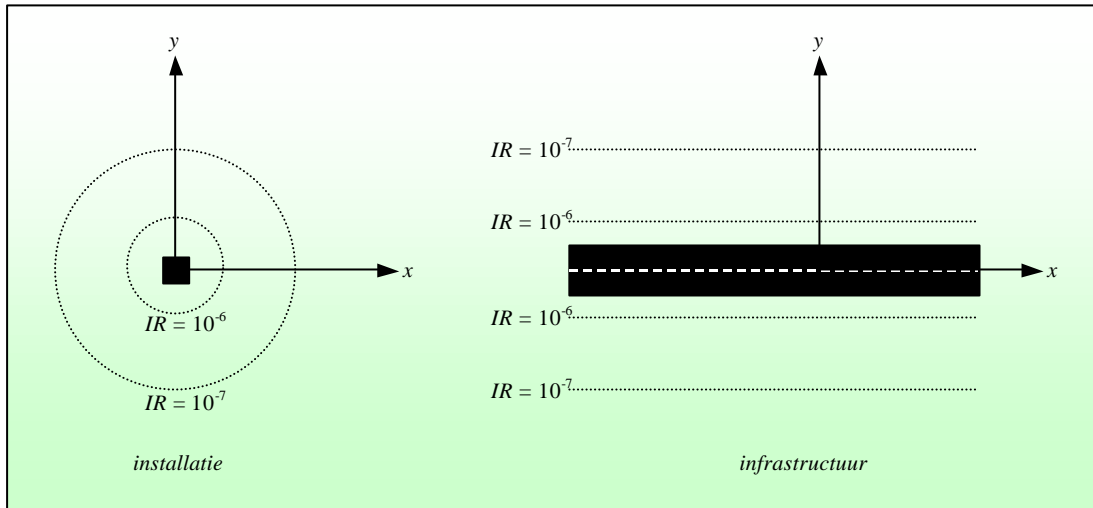
## **4 Driedimensionale veiligheidsbenadering**

### *4.1 Inleiding*

Als de eerder genoemde scenario's beschouwd worden dan kan men stellen dat voor de risicoanalyse er een derde (ruimtelijke) dimensie geïntroduceerd wordt [Suddle et al., 2002]. Derde dimensie zorgt voor hiaten in regelgeving [Vamberský et al., 2002]. De huidige regelgeving stelt eisen aan de afstand van de infrastructuur tot het vastgoed. Hierbij wordt uitgegaan van een tweedimensionale omgeving. Bij meervoudig ruimtegebruik speelt ook de derde dimensie een cruciale rol. Om de veiligheid van vastgoed boven wegen te beoordelen, is een risicomodellering en risico-evaluatie in deze dimensie cruciaal van belang. Bovendien moet bij deze modellering de interactie tussen verschillende risico's (pijl 1, 2, 3, 4) met elkaar worden vergeleken.

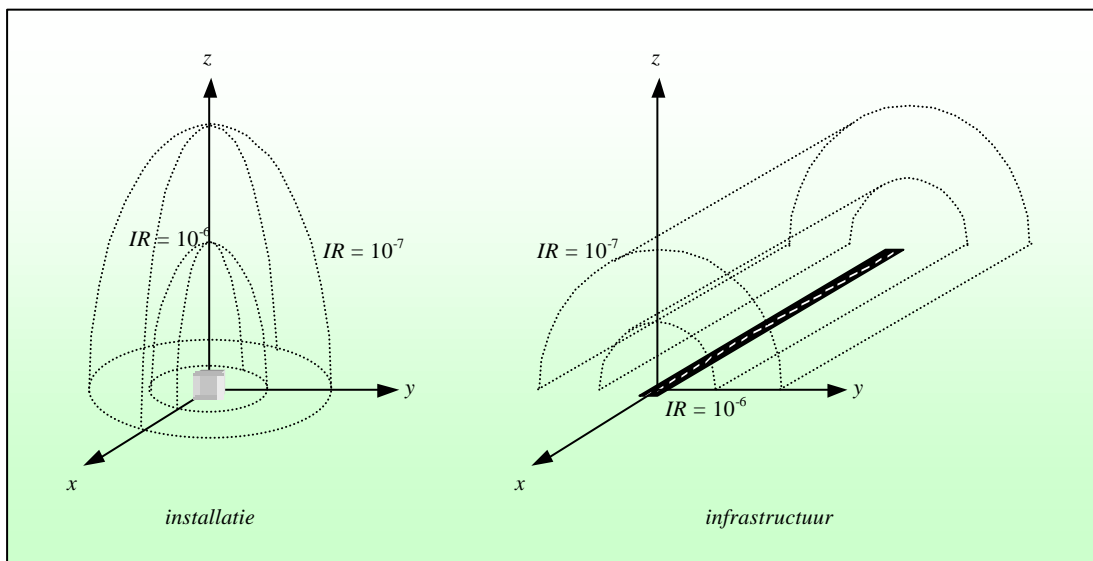
### *4.2 Individueel risico*

Aangezien het gebruikelijk was om langs wegen, sporen en installaties te bouwen was het modelleren in de derde dimensie overbodig. Derhalve werden tot op heden resultaten van individueel risicoanalyse gemodelleerd en gevisualiseerd in een tweedimensionale risicocontouren, zoals weergegeven in figuur 6 [Suddle et al., 2002].



*Figuur 6: Tweedimensionale risicocontouren voor installaties en infrastructuur .*

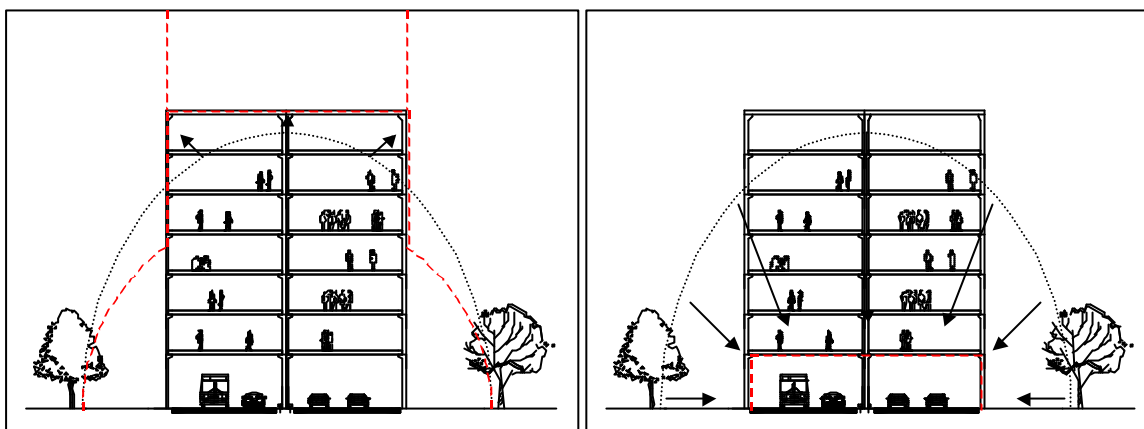
Gezien de ruimtetekort en een grote vraag naar ruimtelijke kwaliteit zullen in de toekomst projecten boven vervoerstromen worden gerealiseerd. Hiervoor is het essentieel dat risicocontouren de derde dimensie bevatten. De individuele risicocontouren in de derde dimensie zijn voor het eerst gemodelleerd en gevisualiseerd door [Suddle et. al, 2002] zoals is weergegeven in figuur 7.



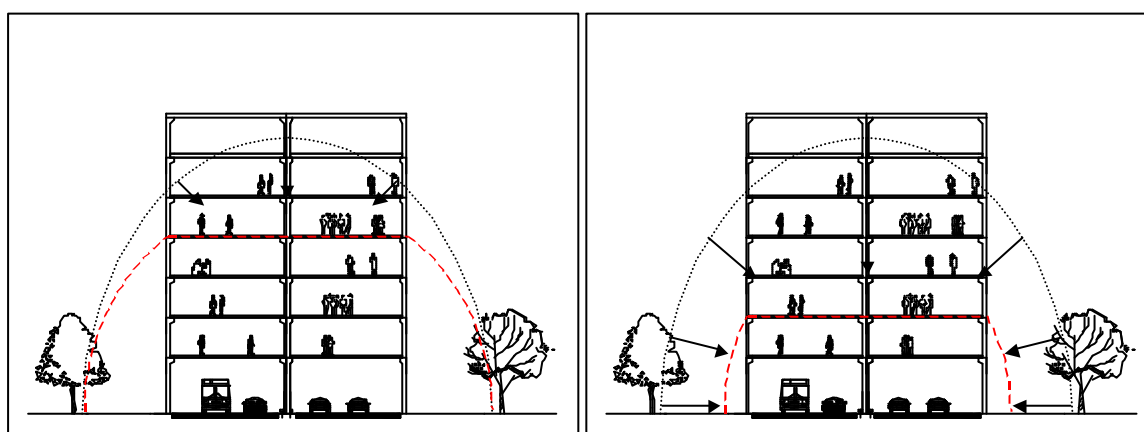
*Figuur 7: Driedimensionale risicocontouren voor installaties en infrastructuur.*

De (individuele) risicocontouren in de derde dimensie (in open lucht) hebben een vorm van een halve ellipsoïde of een halve cilinder, waarbij meestal de hoogte van de contour groter is dan de breedte. De hoogte van deze contour hangt af van de stof en de hoeveelheid hiervan, die in de installatie wordt vervaardigd of wordt vervoerd over weg of spoor. De vorm van deze contour verandert echter indien de installatie of de infrastructuur wordt overbouwd. De modellering van risico's kan aan de hand van Bayesiaanse Netwerken geschieden. In deze modellering zijn een viertal scenario's (pijl 2 en 4 van figuur 5) in beschouwing genomen, te weten; een explosie, vrijkomen van toxische gassen, botsingen en brand op infrastructuur.

De resultaten van deze modellering zijn hieronder weergegeven (figuur 7 en 8). Cruciaal van belang voor de vorm van de risicocontour is de randvoorwaarde; het al dan niet bezwijken van de constructie.



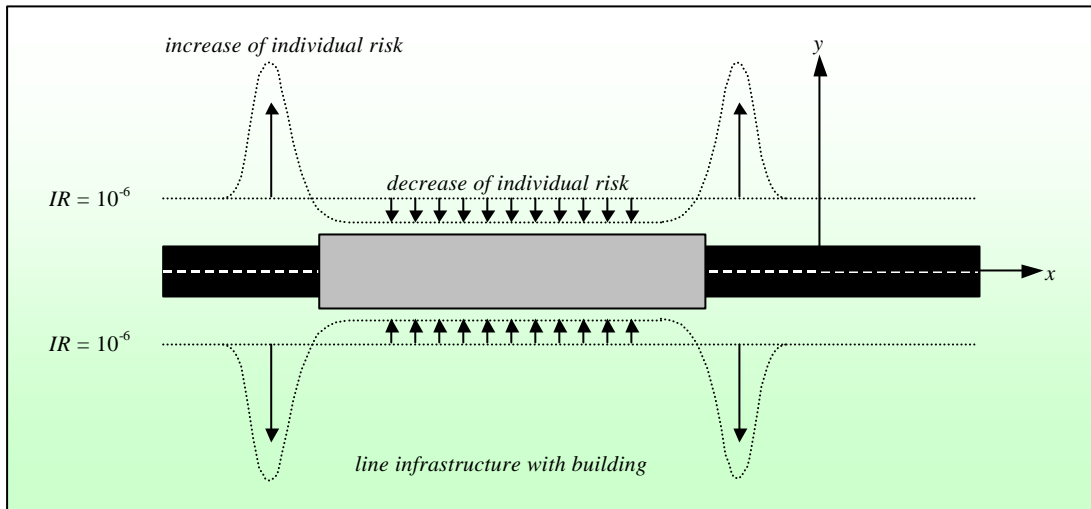
*Figuur 7: De invloed van de individuele risicocontour: explosie (links) en vrijkomen van toxische gassen (rechts).*



*Figuur 8: De invloed van de individuele risicocontour: mechanische botsingen van voertuigen op infrastructuur tegen het gebouw (links) en brand op de infrastructuur (rechts).*

Het effect van een explosie kan zich vertalen in het collapsen van het gebouw. Terwijl bij vrijkomen van toxische gassen (de risicocontouren) omsloten kunnen worden in de tunnelgedeelte (zie figuur 7). Bij aanrijding van voertuigen tegen het gebouw hangt de vorm van de risicocontour af van sterkte van de botsing. Brand op infrastructuur vormt een bedreiging voor het gebouw erboven. Deze kan worden beheerst door het toepassen van brandwerende bekleding, waardoor het risico sterk daalt voor bovenliggende verdiepingen.

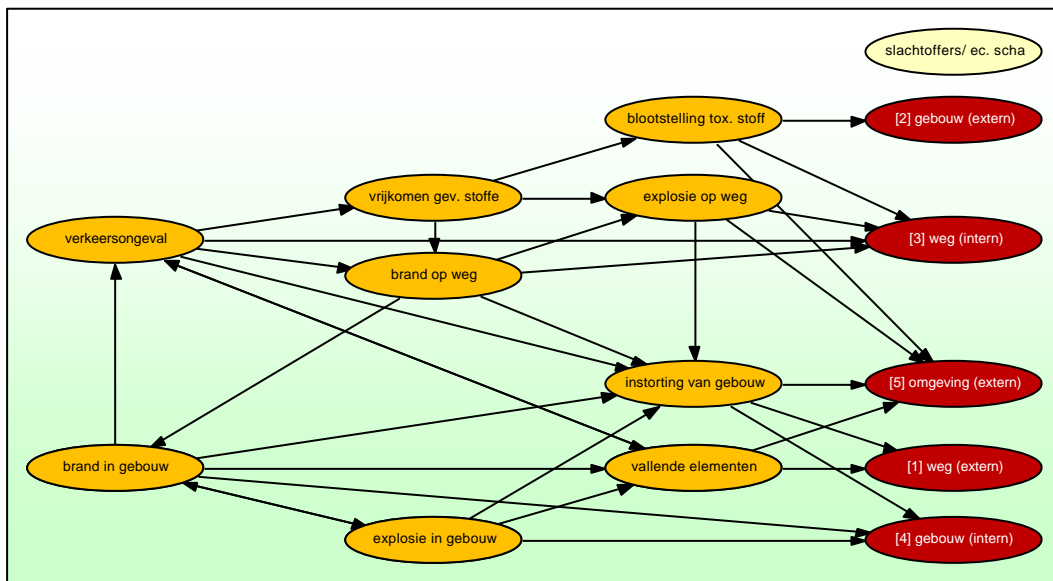
Figuur 9 toont dat een mogelijk ramp met het transport van toxisch stoffen het interessant is om de infrastructuur te overbouwen. Door de overbouwing wordt het effectgebied verkleind. Echter aan het uiteinde van het gebouw kan wel een toename van het individueel risico plaatsvinden. Overigens geldt voor alle scenario's dat door het overbouwen van infrastructuur nemen de interne risico's op de infrastructuur sterk toe. Voor eventuele verdere informatie en modellering voor het individueel risicocontour in de derde dimensie wordt verwezen naar de paper [Suddle et al., 2002].



*Figuur 9: Lokale afname en toename van het individueel risico door de infrastructuur te overbouwen voor het vrijkomen van toxisch gasen [Suddle et al., 2002].*

### 4.3 Groepsrisico

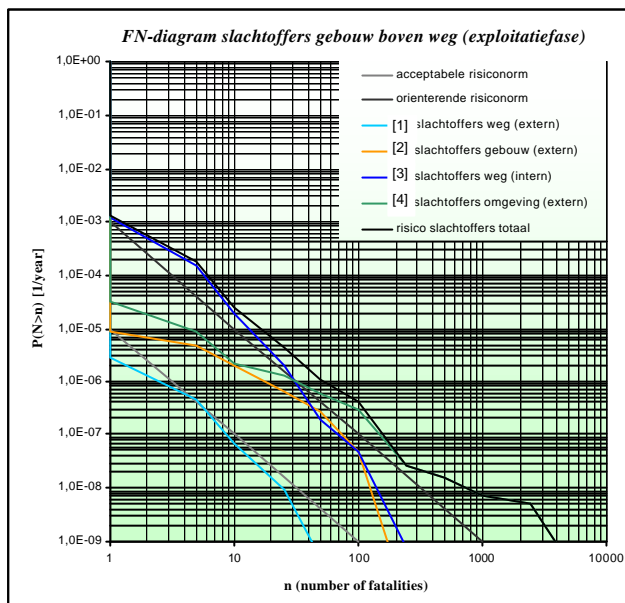
Over het groepsrisico is er een uitgebreide studie gedaan naar de modellering van fysieke veiligheid bij bouwen boven wegen sporen en bestaande gebouwen [Heilig, 2002]. Deze studie maakte deel uit van het promotieonderzoek *Fysieke veiligheid bij Meervoudig Ruimtegebruik*. Hierin zijn aan de hand van Bayesiaanse Netwerken (zie figuur 10) modellen opgesteld voor het groepsrisico, die de risicoanalyse in de derde dimensie mogelijk maken op een overzichtelijke manier. Bij deze modellen is uitgegaan van drie deelgebieden; het gebouw, de infrastructuur en de omgeving. De eigenschappen van deze deelgebieden kunnen worden gevarieerd om de werkelijke situatie te kunnen benaderen.



*Figuur 10: Bayesiaans Netwerk die relaties tussen scenario's en gevolgen van die scenario's weergeeft voor bouwen boven (weg)infrastructuur.*



Met behulp van autonome kansen op scenario's in combinatie met omgevingsaspecten kunnen de uiteindelijke kansen op de gebeurtenissen in de situaties met meervoudig ruimtegebruik worden berekend. Voor de bepaling van het groepsrisico is de omvang van de groep slachtoffers die ten gevolge van een bepaalde gebeurtenis omkomt van belang. Er wordt daarom in de risicoanalyse onderscheid gemaakt tussen kansen op het aantal slachtoffers als gevolg van één gebeurtenis [Heilig, 2002]. In de risicoanalyses is onderscheid gemaakt tussen interne op de infrastructuur (en gebouw) en externe risico's voor de verschillende deelgebieden, zoals de omgeving en het gebouw boven de infrastructuur. De resultaten van deze risicoanalyses zijn weergegeven in FN-diagrammen (figuur 11).



*Figuur 11: Resultaat risicoanalyse in FN-diagram voor bouwen boven (weg)infrastructuur.*

De risicoanalyses duidt dat voor de behandelde casestudie met een gebouw boven weginfrastructuur of railinfrastructuur, de oriënterende norm voor het groepsrisico van het Ministerie van VROM wordt overschreden. Vooral gebeurtenissen op de infrastructuur, brand, explosie of blootstelling aan toxische stoffen, wordt het groepsrisico op de infrastructuur zelf en in de omgeving overschreden. Voor eventuele verdere informatie en modellering voor het groepsrisico in de derde dimensie wordt verwezen naar het rapport [Heilig, 2002]. In het vervolg van het promotieonderzoek zal gekeken worden of het mogelijk is om het effect te verkleinen door het treffen van maatregelen (conform de veiligheidsketen).

## 5 Conclusies

In dit artikel is een globale beeld geschetst over de drie dimensionale (fysieke) veiligheidsbenadering bij meervoudig ruimtegebruik. Ook is van belang om te onderzoeken of huidige (risicoacceptatie)normen toepasbaar zijn in de derde dimensie. Het promotieonderzoek zal hierin inzicht geven. Dit artikel toont eveneens dat indien er gekozen wordt voor meervoudig ruimtegebruik dan is het essentieel om te investeren in deze maatregelen. Verder dienen bij een veiligheidsbenadering zowel de directe als indirecte kosten van de te nemen veiligheidsmaatregelen te vergelijken met de reductie van dodelijke slachtoffers per maatregel, die verkregen kan worden aan de hand van FN-diagrammen.

## 6 Literatuur

[Durmisevic, 2002]

Durmisevic, S., *Perception aspects in underground spaces using intelligent knowledge modelling*, Delft DUP Science 2002. 159 pp.

[Heilig, 2002]

Heilig, J., *Integratie van Veiligheid bij Meervoudig Ruimtegebruik met Constructieve en Functionele Aspecten*, afstudeerrapport, TU Delft, september 2002, pp. 118.

[Railned,1998]

Risico-atlas spoor, 1998

[Suddle, 2001<sup>A</sup>]

Suddle, S.I., *Veiligheid van bouwen bij Meervoudig Ruimtegebruik*, afstudeerrapport, TU-Delft, april 2001, 298 pp.

[Suddle, 2002<sup>A</sup>]

Suddle, S.I., Beoordeling veiligheid bij Meervoudig Ruimtegebruik, *Cement*, Volume 54, no. 1/2002, februari 2002, pp. 73 - 78.

[Suddle, 2002<sup>C</sup>]

Suddle, S.I., *Kan Meevoudig Meer Veilig?*, Congresverslag, De Ondergrondse & TU Delft, ISBN 90-9016076-0, juni 2002, 68 pp.

[Suddle, 2002<sup>P</sup>]

Suddle, S.I., Fysieke veiligheidsaspecten bij Meervoudig Ruimtegebruik, *Congresverslag Kan Meevoudig Meer Veilig?*, Editor: S.I. Suddle, TU Delft, June 2002, pp. 25 - 31.

[Suddle, 2002<sup>F</sup>]

Suddle, S.I., Boven elkaar bouwen creëert specifieke risico's, *Land+Water*, Volume 42, no. 10/2000, oktober 2002, pp. 24 - 27.

[Suddle et al., 2002]

Suddle, S.I., Th. S. de Wilde, B.J.M. Ale, The 3<sup>d</sup> dimension of risk contours in multiple use of space, *Proceedings of Congress ESREDA 2002*, Delft (The Netherlands), November 2002, pp. ... - .... (to be published).

[Suddle & Wilde, 2002]

Suddle, S.I. & Th.S. de Wilde, Veilig overbouwen, *Nova Terra*, Volume 2, no. 3/2002, pp. 18 - 23.

[Vamberský et al., 2002]

Vamberský, J.N.J.A., Th. S. de Wilde, S.I. Suddle, Meervoudig ruimtegebruik – Kanzen en Knelpunten, *Land+Water*, Volume 41, no. 9/2001, oktober 2002, pp. 24 - 27.

[Vlek, 1990]

Vlek, C.A.J., *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.

[Vrijling & Vrouwenfelder, 1997]

Vrijling, J.K., A.C.W.M. Vrouwenfelder e.a., *Kansen in de civiele techniek, Deel 1: Probabilistisch ontwerpen in de theorie*, CUR-rapport 190, CUR, Gouda, maart 1997.